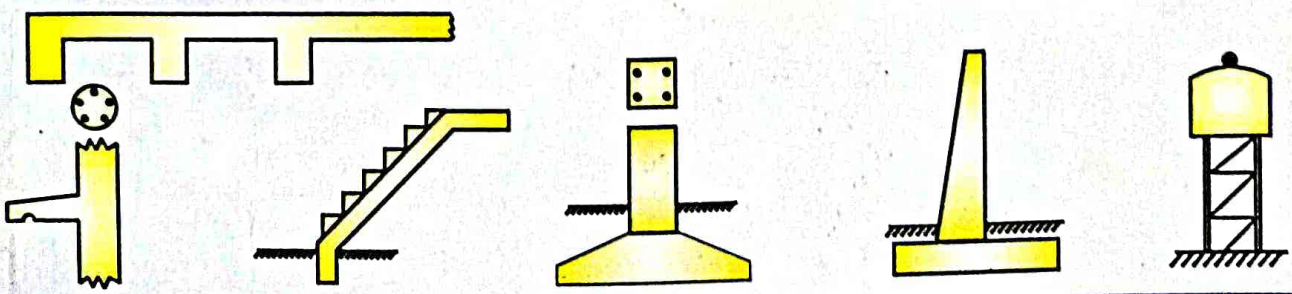
डी.वी. गुप्ता • विक्रम सिंह

प्रबलित कंक्रीट तकनीकी

REINFORCED CONCRETE TECHNOLOGY

(L.S.M. DESIGN)





एशियन पब्लिशर्स, मुज़फ़्फ़रनगर® उ.प्र. (भारत)

प्राविधिक शिक्षा परिषद्, उत्तर प्रदेश के नवीन (तथा अन्य B.T.E's के) पाठ्यक्रम पर आधारित

प्रबलित कंक्रीट तकनीकी

(सिद्धान्त एवं अभिकल्पन)

(REINFORCED CONCRETE TECHNOLOGY)

(Theory and Limit State Design)

(नवीन B.I.S. Codes तथा S.I. प्रणाली में)

IVth सेमेस्टर (द्वितीय वर्ष) सिविल अभियन्त्रण डिप्लोमा छात्रों के लिये]

लेखक:

डी० वी० गुप्ता

M.I.E., B.A. (Hons.), G.S.E. (Civil Engg.)

पूर्व अध्यक्ष, सिविल इन्जी० विभाग, उत्तर प्रदेश प्राविधिक शिक्षा,
पूर्व लेक्चरर (सिविल इन्जी०), पंजाब (संयुक्त) प्राविधिक शिक्षा,
पूर्व सिविल इन्जीनियर, नगर महापालिका, नगर इम्पप्रूवमेंट ट्रस्ट,
पंजाब सिंचाई विभाग (भाखड़ा-नंगल प्रोजेक्ट)

विक्रम सिंह

B.Tech. (Hons.), (Civil Engg.), I.I.T., Delhi
M.B.A., M.C.A., A.M.I.E., M.I.R.C., M.I.W.W.A.

पूर्व इन्जीनियर, N.T.P.C. Ltd., पूर्व प्रबन्धक, R.I.T.E.S.

SPECIMEN COPY
With Best Wishes
From Author & Publisher

2021–2022

प्रकाशक:

एशियन पब्लिशर्स, मुज़फ़्फ़रनगर®

46/20, कम्बल वाला बाग, नई मण्डी, मुज़फ़्फ़रनगर–251 001 (उ० प्र०)

civilguru.net

○ प्रबलित कंक्रीट तकनीकी (R.C.C.–LIMIT STATE DESIGN)
• डी० वी० गुप्ता • विक्रम सिंह

○ प्रकाशक:
एशियन पब्लिशर्स, मुज़फ़्फ़रनगर®
46/20, कम्बल वाला बाग, नई मण्डी,
मुज़फ़्फ़रनगर – 251 001 (उ०प्र०) (भारत)
फोन: 0131-2660989
Visit us at : www.asianpublishers.co.in
email : spmittal@asianpublishers.co.in
sales@asianpublishers.co.in

○ इस पुस्तक का मूल अथवा कोई भी अंश लेखक व प्रकाशक की लिखित पूर्वानुमति के बगैर किसी भी रूप में तथा किसी भी माध्यम (इलैक्ट्रानी, मशीनी, फोटोप्रतिलिपी, ग्राफीकली, पट्टीकरण, सूचना अन्त्रेषण प्रणाली, अभिलेखन इत्यादि) से उद्धृत, अनुवादित या प्रकाशित नहीं किया जा सकता।

© सर्वाधिकार लेखक के अधीन हैं।

○ प्रथम संस्करण : 1986-1987
○ सप्तम् संस्करण : 2015-2016
○ अष्टम् संस्करण : 2019-2020 (L.S. Design)
○ पुनः मुद्रित : 2020-2021
○ पुनः मुद्रित : 2021-2022

○ मूल्य : ₹ 450.00

○ ISBN: 978-93-5502-123-6

○ लेजर टाइपसैटिंग:
सारा एसाईनमैन्ट्स
शाहदरा, दिल्ली
फोन: 011-22572589

○ मुद्रक:
विमल प्रिन्टर्स
मेरठ
फोन: 0-9412203584

समर्पित—

——सायंकाल के 5 बज रहे थे। मैं गाजियाबाद के नये बस-अड्डे पर खड़ा, नोयडा जाने वाली बस का इन्तजार कर रहा था। चन्द कदम की दूरी पर एक युवक खड़ा था। शायद वह भी बस पकड़ना चाहता था। युवक के हाथ में कोई पुस्तक थी। मैंने पुस्तक को गौर से देखा। पुस्तक कुछ पहचानी सी लगी। मैं युवक के पास गया और उससे पूछा, "क्या यह आर० सी० सी० की पुस्तक है"। युवक ने बगैर मेरी तरफ देखे कहा, "हाँ"। मैंने फिर पूछा, "क्या इसके लेखक डी० वी० गुप्ता हैं? उसने फिर अनमने मन से "हाँ" कहा। मैंने फिर पूछा, "यह पुस्तक कैसी है"। अब वह युवक कुछ गम्भीर होकर बोला, "आर० सी० सी० की हिन्दी में जितनी पुस्तकें इस समय मार्केट में उपलब्ध हैं, यह उन सब से बेहतर है"। उसके उत्तर से लग रहा था कि वह किसी पॉलीटेक्निक का विद्यार्थी है और सिविल इन्जीनियरी में डिप्लोमा कर रहा है।

——अभी बस आती कहीं दिखायी नहीं पड़ रही थी। मैंने यूँही उससे पूछा "क्या तुमने इस पुस्तक के लेखक को देखा है"? उसने इन्कार की मुद्रा में सिर हिला दिया। तब मैं बोल उठा, "मैं ही **डी० वी० गुप्ता** हूँ"। यह सुनते ही वह युवक मेरे पाँव छूने लगा। "सर! आप डी० वी० गुप्ता हैं! मैंने प्रथम व द्वितीय वर्ष में आपकी अन्य पुस्तकों को पढ़ा है और परीक्षा में 70-80% अंक प्राप्त किये हैं। सर! आप कहाँ जा रहे हैं?"। वह युवक भावुक हो उठा था। तभी नोयडा जाने वाली बस स्टैण्ड पर आ गयी और मैं बस की तरफ चल पड़ा। वह युवक (छात्र) भी लपक कर मेरे पीछे-पीछे आया और कण्डक्टर से रौब में ऐसे बोला, जैसे वह उसे पहले से जानता हो, "देखो—हमारे गुरुजी आपकी बस से जा रहे हैं। इनको आगे की सीट देना और इनसे टिकट के पैसे मत लेना"।

——सरेआम अपनी पहचान प्रकट करने पर मुझे ग्लानि महसूस हुयी। मैं बस के भीतर जाकर एक कोने में खड़ा हो गया। तभी पास की सीट पर बैठा यात्री उठ खड़ा हुआ और बोला, "गुरुजी, आप यहाँ बैठिये"। मुझे कलियुग में भी, भारत-भूमि पर गर्व होने लगा, जहाँ अभी भी गुरु का सम्मान होता है। तभी मुझे स्कूली-छात्रकाल में, सायँकाल में 'स्वयम्सेवकों' के संग खेलते यह गीत याद आ गया, जिसे हम युवा उस काल में, प्रायः गुनगुनाया करते थे—'न चाहूँ मान दुनिया में, न चाहूँ स्वर्ग को जाना'।

——सिविल इन्जीनियरी के महत्वपूर्ण विषयों पर, मातृभाषा ऊर्दू होते हुये भी, हिन्दी भाषा में 16 पुस्तकें लिख कर, प्रशिक्षण-क्षेत्र में बहुचर्चित होने पर भी, इस प्रकार सरेआम अपने अस्तित्व को प्रकट करने पर अन्तरात्मा ने मुझे झकझोर कर रख दिया। मैं गर्दन झुका कर बैठा रहा। मुझे खेद था कि मैंने उस छात्र से, उसका नाम भी नहीं पूछा, जिसने मुक्त कण्ठ से मेरे द्वारा रचित पुस्तकों की प्रशंसा की थी। अतः यह पुस्तक उन अज्ञात-छात्रों को समर्पित है, जो **डी० वी० गुप्ता** को उनकी पुस्तकों के द्वारा ही पहचानते हैं।

मोहल्ला भटनागरान, हरथला
मुरादाबाद (यू० पी०)

–धर्मवीर गुप्ता

civilguruji.net

परिनियमक चेतावनी—

विषय सम्बन्धी जो सूचनायें, अभिकल्प-विधि तथा तकनीकी प्रक्रिया इस पुस्तक मे दी गयी है, वे त्रुटि व मानवीय भूल-चूक की सम्भावनाओं को न्यूनतम रखते हुये, ज्ञात, परखित, विश्वसनीय तथा इन्जीनियरी क्षेत्र मे स्वीकार्य स्रोतों से ली गयी है, जिनमे भारतीय व विदेशी मानकों के रीति संहितायें भी सम्मिलित है। लेखक ने यह पुस्तक तैयार करते समय, यह भी ध्यान मे रखा है कि जहाँ तक व्यवहारिक तौर पर सम्भव है, यह (पुस्तक) वर्तमान मे घोषित किसी प्रतिलिप्याधिकार (Copy Rights) अथवा किसी व्यक्ति के बौद्धिक सम्पदा अधिकार (I.P.R.) का किसी भी स्तर पर उल्लंघन न करे। लेखक/प्रकाशक द्वारा पुस्तक मे छपी किसी अभिकल्प-विधि, निर्माण-प्रक्रिया अथवा तकनीकी सूचना की पूर्णता व सत्यता के प्रति, यदि कोई भ्रम/विरोधाभास उत्पन्न होता है और उस कारण किसी व्यक्ति को जाने/अनजाने कोई असुविधा/हानि पहुंचती है, स्वच्छ बोध के विकास/प्रसार के हित मे, पुस्तक रचियता किसी प्रकार से जिम्मेदार/दोषी नहीं माने जा सकते है। यदि कोई मानवीय भूल-चूक या तकनीकी विरोधाभास पुस्तक के पठन पर सामने आता है, पाठक के लिखित में अवगत कराने पर, उसे पुस्तक के अगले संस्करण में सुधारने निरसन करने की भरपूर चेष्टा की जायेगी।

यह पुस्तक इन्जीनियरी ज्ञान का प्रसार करने और तकनीकी क्षेत्र में नये प्रवेशकों की नींव सुदृढ़ करने के लिये लिखी गयी है, अत: सिविल निर्माण क्षेत्र में व्यवसायिक सेवाओ के लिये स्थल-प्रभारी, उपयुक्त व नामित तकनीकी व्यवसायी (Licensee Professional Engineer) को ही खोजें।

—डी० वी० गुप्ता

प्रस्तावना—

—अष्टम् संस्करण—

प्रचलित कंक्रीट अभिकल्पन सिविल इन्जीनियरी शाखा का एक महत्वपूर्ण और अनिवार्य विषय है और सभी सिविल-निर्माण का आधार है। यह विषय भारतीय मानक ब्यूरो (B.I.S.) के रीति-संहिताओं से परिलक्षित व गाइड होता है। गत कुछ दसकों में प्रचलित कंक्रीट संरचनाओं के अभिकल्प से सम्बन्धित दर्शन तथा रीति-संहिताओं में आधुनिक खोज, परीक्षणों व फिल्ड-अनुभव के कारण बड़ा सुधार व विकास हुआ है। अब कंक्रीट संरचनाओं का अभिकल्पन, अधिक तर्क-संगत व मितव्ययी रखने के लिये, **सीमान्त अवस्था विधि** (Limit State Method) पर किया जाने लगा है, क्योंकि यह विधि कंक्रीट (जो एक कृत्रिम उत्पाद है) के व्यवहार व सामर्थ्य का अधिक उत्तम ढंग पर विश्लेषण करती है। अब उत्तर प्रदेश प्राविधिक शिक्षा परिषद् (B.T.E–U.P.) तथा अन्य प्रदेशों के B.T.E ने भी प्रचलित सीमेन्ट कंक्रीट (R.C.C.) की सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M) को वरीयता देते हुये, इस विषय के पाठ्यक्रम को पुनरीक्षित करके, इसे सेमेस्टर-प्रणाली में डाल दिया है। अत: पुस्तक के इस संस्करण में पूर्ण रूप से सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M) (IS 456 : 2000) को अपनाया गया है, परन्तु इससे पूर्व प्रचलित कार्यकारी प्रतिबल विधि (Working Stress Method) की भी संक्षेप में चर्चा की गयी है, क्योंकि किसी भी वंशावली को पूर्णत: समझने के लिये, उसकी पूर्वगामी पीढ़ी का ज्ञान होना भी जरुरी होता है।

सिविल संरचनाओं का परिशुद्ध एवं विस्तृत अभिकल्पन एक समयलेवा व धैर्यग्रहित कार्य है और आज का जैट-मानव सरल पथ को खोजता हुआ, समय से आगे निकल जाने की होड़ में लगा है। अत: सिविल-संरचनाओं की जटिल अभिकल्प-प्रक्रिया कम समय में, सरलता से पूर्ण हो जाये, इससे सम्बन्धित अनेक **अभिकल्पन सहाय्य युक्तियाँ** (Design Aids) (SP-16) अब उपलब्ध है, जिनकी चर्चा तथा प्रयोग-विधि इस संस्करण में (उदाहरणों सहित) दी गयी है। भारतीय मानक ब्यूरो (BIS) के नवीनतम रीति-संहिता व सहाय्य युक्तियों को, पाठ्यक्रम की दृष्टि से, इस पुस्तक में संदर्भित करने के लिये, हम इस संस्थान का तहदिल से आभार प्रकट करते है। हार्दिक अभिस्वीकृति भेंट करते हैं।

ढ़ेर-सारी इन्जीनियरी गणनाएँ इस पुस्तक में हैं। पूर्ण प्रयास से प्रूफ चेक करने पर भी हो सकता है पुस्तक में कुछ प्रिन्ट-त्रुटियाँ रह गयी हो, जिन्हें, पाठकों द्वारा अवगत कराने पर, अगले संस्करण में दूर करने का हम पूर्ण प्रयास करेंगे।

लेखक विद्वान होता है, जो जितना अधिक विद्वान होता है, विषय को उतना ही उलझाकर पाठकों के समक्ष रखता है, ऐस कुछ लोगो का कहना है। परन्तु लेखक/अध्यापक की विद्वता इसी मे है कि वह कक्ष मे सबसे पीछे बैठे छात्र को, जो खिड़क से बाहर सड़क पर चलती-फिरती परछाइयों को ताक रहा है, कक्ष मे सामने लगे ब्लैकबोर्ड पर लिखे जा रहे छोटक-अक्षरो क पहचानने के लिये प्रेरित कर सके। इस पुस्तक को तैयार करते समय यही उद्देश्य हमारे सम्मुख रहा है।

गत दशको मे इस पुस्तक की लगातार बढ़ती माँग की पूर्ति के लिये, इसके अनेक संस्करण व पुन: मुद्रण (Reprint निकाले गये है और भारतीय मानक ब्यूरो (B.I.S.) की समय-समय पर संस्तुतित नवीनतम संहिताओं को दृष्टि मे रखते हुये, इ पुस्तक का पुनर्निरीक्षण व परिवर्द्धन किया गया है। लेखक के पास इस रचना के प्रतिलिप्याधिकार (Copy Rights) है, फिर भ सिविल इन्जीनियरी पठन-पाठन क्षेत्र मे इस पुस्तक की बढ़ती माँग व लोकप्रियता को देखकर, इसकी अक्षरश: अक्षर नकली प्रति बाजार मे दीख पड़ रही है (परन्तु मुझे इसकी विशेष चिन्ता नहीं है)। अच्छा होता जाली लेखन का धन्धा करने वाले नकलची कपटी महाशयगण, जो अपने को टाटा-बाटा/जटोया-खटोया/करोड़ी-मकोड़ी/लगोटी-कमोटी के असली वंशज बताते है, पर अपना असली नाम/पद/तकनीकी आर्हतायें छुपाकर/भ्रमित बताकर, छात्रो को धोखा देते है, से निवेदन है कि हमारी इस पुस्तक से कुछ बेहतर रचना बाजार मे लाये, ताकि प्रदीप्त छात्रो का वास्तविक विद्योचित (Academic) भला हो।

हम एशियन पब्लिशर्स के श्री सत्यप्रकाश जी मित्तल के धन्यवादी है, जिनके आश्वासन 'गुप्ताजी आप जो लिखेंगे, ह छापेगें' ने गत 30 वर्षों से हमें उनके साथ बाँधें रखा है।

नोयडा (गौतमबुद्ध नगर) (उ०प्र०)

—डी० वी० गुप्त

—प्रथम संस्करण—

यह पुस्तक प्राविधिक शिक्षा परिषद् उत्तर प्रदेश द्वारा अन्तिम वर्ष डिप्लोमा सिविल इन्जीनियरी कक्षा के लिये निर्धारि पाठ्यक्रम के अनुसार तो लिखी ही गयी है, बल्कि नवीनतम I.S. Codes का अनुपालन भी करती है। यह कितनी अजीब धारण हमारे मस्तिष्क में घर कर गयी है कि इन्जीनियरी विषय पर हिन्दी मे लिखी गयी पुस्तको की सामग्री Second Rate की होत है। हो सकता है, यह धारणा किसी हद तक सही हो, क्योंकि प्रचलित सीमेंट कंक्रीट विषय पर जो दो-एक पुस्तके हिन्दी माध्य में इस समय बाजार में उपलब्ध हैं, वह सब पुराने कोड (I.S. Code 1963) पर लिखी गयी थीं और 1978 मे नया कोड आ जाने पर भी, इनको नये कोड के अनुरूप संशोधित नहीं किया गया है। परिणाम यह है कि हिन्दी माध्यम के डिप्लोमा छा अभी तक नये कोड की धाराओं से अनभिज्ञ हैं और योग्य होते हुये भी परीक्षा तथा साक्षात्कार मे उच्च अंक प्राप्त करने से र जाते हैं। अपने देश में, अपने ही तकनीकी कोडों तथा समय-समय पर इनमें हुये संशोधनों से अनभिज्ञ रहकर, हम कैसे First Rate के अभियन्ता निर्माण कर सकते हैं।

जब प्रकाशक ने हम से इस विषय पर पुस्तक लिखने का विशेष आग्रह किया तो हम कुछ समय बड़ी दुविधा मे रहे। यदि पुस्तक लिखी जाये तो नवीनतम B.I.S. Codes के अनुसार अन्यथा अन्य लेखकों की भाँति अब भी पुराने, अप्रभावित कोड क (सरल समझकर) पकड़े रहने से छात्र वर्ग का वास्तव में हित न होगा।

अत: नये कोड पर यह पुस्तक तैयार करके पाठको को प्रस्तुत करते हुये हमे बड़ा सन्तोष तथा हर्ष हो रहा है। नये B.I.S Code 456–1978 तथा पुराने कोड में काफी अधिक भिन्नता है जैसे कर्तन प्रबलन का अभिकल्पन, मरोड़, स्थानीय अभिलाग विकास लम्बाई, T तथा L धरनो की प्रभावी चौड़ाई, लम्बे स्तम्भो का श्रेणीकरण, तनुता अनुपात, लघुकरण-कारक, खण्डो के लिये न्यूनतम तथा अधिकतम प्रबलन इस्पात की मात्रा का निर्धारण, दोहरे प्रबलित खण्डो मे सम्पीडन इस्पात के लिये बढ़ा हुआ मापांक-अनुपात, गहरे धरनो के लिये फलक प्रबलन, सीमेंट कंक्रीट का नया श्रेणीकरण (N/mm^2 में), प्रति इकाई भा (2500 kg/cum), सीमांत अवस्था (Limit State) विधि, कुछ ऐसे महत्वपूर्ण संशोधन है, जिनका अनुपालन करन आवश्यक है।

सैद्धान्तिक होते हुये भी पुस्तक की भाषा सरल एवं प्रवाहमयी है। कठिन विषय को सामान्य तथा सरल ढंग से स्पष्ट करने का प्रयत्न किया गया है और इसके लिये बड़ी संख्या में उदाहरण तथा चित्र दिये गये है। पुस्तक में दिये गये 400 से अधिक उदाहरण प्रश्नो मे, अधिकतर निर्माणाधीन संरचनाओ से लिये गये हैं ताकि पुस्तक फील्ड-इन्जीनियरो के लिये भी उपयोगी तथा मार्गदर्शक सिद्ध हो। पुस्तक मे मुख्य सूत्रो की सूची अलग से भी दी गयी है ताकि आवश्यक सूत्र ढूँढने मे दिक्कत न हो।

प्रस्तुत पुस्तक मे I.S. Codes के अतिरिक्त, विषय से सम्बन्धित जिन पश्चिमी एवं भारतीय विद्वानो की कृतियों, खोज कार्यों एवं विचारो से यथा स्थान सहायता ली गयी है, उन सबके प्रति हम आभार प्रकट करते है। विभिन्न राज्यों के प्राविधिक शिक्षा परिषदो की गत वर्षों की परीक्षाओ के प्रश्न यथा स्थान पुस्तक मे प्रयोग करने के लिये हम उनके कृतज्ञ हैं।

प्रूफ चैक करते समय, मुद्रण की त्रुटियो को ठीक करने का पूर्ण प्रयास किया गया है, फिर भी हो सकता है कुछ त्रुटियाँ रह गयी हो, जिनके लिये प्रकाशक से अलग से क्षमा-याचना करने तथा अगले संस्करण में सुधार के लिये अनुरोध करते हैं।

पाठको के रचनात्मक सुझावो का हम सदा स्वागत करेंगे।

डिप्टीगंज, मुरादाबाद (उत्तर प्रदेश)
(23-09-1986) (मंगलवार)

—डी० वी० गुप्ता

BOARD OF TECHNICAL EDUCATION, U.P.

4.5 DESIGN OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

SYLLABUS

(Use of IS:456-2000 is allowed)

(A) SUGGESTED DISTRIBUTION OF MARKS:

S.No.	Topic	Time Allotted (Periods)	Marks Allotted (%)
1.	Introduction	03	03
2.	Introduction to following methods of RCC design	04	05
3.	Shear and Development Length	06	07
4.	Concept of Limit State Method	08	10
5.	Singly Reinforced beam	10	12
6.	Doubly Reinforced Beams	10	12
7.	Behavior of T beam, inverted T beam, isolated T beam and 'L' beams. Simple problems related to moment capacity	07	10
8.	One Way Slab	11	12
9.	Two Way Slab	11	12
10.	Axially Loaded Column	09	10
11.	Pre-stressed Concrete	05	07
	Total	84	100

(B) DETAILED CONTENTS:

1. Introduction (03 Periods)

1.1. Concept of Reinforced Cement Concrete (RCC).

1.2. Reinforcement Materials:

— Suitability of steel as reinforcing material.

— Properties of mild steel, HYSD steel and TMT bars.

1.3. Loading on structures as per IS: 875.

civilguruji.net

2. Introduction to following methods of RCC design (04 Periods)

2.1 Working stress method: Definition and basic assumptions.

2.2 Limit state method: Definition and basic assumptions.

2.3 Problems of singly, doubly and T beam analysis by working stress method.

3. Shear and Development Length (06 Periods)

Shear as per IS: 456-2000 by working stress method.

(i) Shear strength of concrete without shear reinforcement.

(ii) Maximum shear stress.

(iii) Shear reinforcement.

4. Concept of Limit State Method (08 Periods)

4.1. Definitions and assumptions made in limit state of collapse (flexure).

4.2. Partial factor of safety for materials.

4.3. Partial factor of safetyfor loads.

4.4. Design loads.

4.5. Stress block, parameters.

5. Singly Reinforced beam (10 Periods)

Theory and design of singly reinforced beam by Limit State Method.

6. Doubly Reinforced Beams (10 Periods)

Theory and design of simply supported doubly reinforced rectangular beam by Limit State Method.

7. Behavior of T beam, inverted T beam, isolated T beam and 'L' beams. Simple problems related to moment capacity. (07 Periods)

8. One Way Slab (11 Periods)

Theory and design of simply supported one way slab including sketches showing reinforcement details (plan and section) by Limit State Method.

9. Two Way Slab (11 Periods)

Theory and design of two-way simply supported slab with corners free to lift, no provisions for torsional reinforcement by Limit State Method including sketches showing reinforcement details (plan and two sections).

10. Axially Loaded Column (09 Periods)

10.1. Definition and classification of columns.

10.2. Effective length of column.

10.3. Specifications for longitudinal and lateral reinforcement.

10.4. Design of axially loaded square, rectangular and circular short columns by Limit State Method including sketching of reinforcement (sectional elevation and plan).

11. Pre-stressed Concrete (05 periods)

11.1. Concept of pre-stressed concrete.

11.2. Methods of pre-stressing: pre-tensioning and post-tensioning.

11.3. Advantages and disadvantages of pre-stressing.

11.4. Losses in pre-stress.

*** लेखक की अन्य उपयोगी पुस्तकें—**

1. निर्माण पदार्थ
2. प्राक्कलन, लागत एवं मूल्यांकन
3. धरती सर्वेक्षण भाग-1
4. धरती सर्वेक्षण भाग-2
5. भवन निर्माण तथा अनुरक्षण इन्जीनियरी
6. जन स्वास्थ्य इन्जीनियरी
7. कंक्रीट तकनीकी
8. सिंचाई इन्जीनियरी
9. परिवहन इन्जी०-1 (महामार्ग, रेलमार्ग एवं सेतु इन्जीनियरी)
10. परिवहन इन्जी०-II (विमान पतन, बन्दरगाहों तथा सुरंगें)
11. निर्माण प्रबन्ध, लेखा, उद्यमियता विकास तथा बौद्धिक सम्पदा अधिकार
12. इस्पात एवं चिनाई संरचनाओं का अभिकल्पन
13. भूकम्प इन्जी० तथा आपदा प्रबन्धन

* सभी एशियन पब्लिशर्स, मुजफ़्फ़रनगर द्वारा प्रकाशित

2. Introduction to following methods of RCC design (04 Periods)

2.1 Working stress method: Definition and basic assumptions.

2.2 Limit state method: Definition and basic assumptions.

2.3 Problems of singly, doubly and T beam analysis by working stress method.

3. Shear and Development Length (06 Periods)

Shear as per IS: 456-2000 by working stress method.

(i) Shear strength of concrete without shear reinforcement.

(ii) Maximum shear stress.

(iii) Shear reinforcement.

4. Concept of Limit State Method (08 Periods)

4.1. Definitions and assumptions made in limit state of collapse (flexure).

4.2. Partial factor of safety for materials.

4.3. Partial factor of safetyfor loads.

4.4. Design loads.

4.5. Stress block, parameters.

5. Singly Reinforced beam (10 Periods)

Theory and design of singly reinforced beam by Limit State Method.

6. Doubly Reinforced Beams (10 Periods)

Theory and design of simply supported doubly reinforced rectangular beam by Limit State Method.

7. Behavior of T beam, inverted T beam, isolated T beam and 'L' beams. Simple problems related to moment capacity. (07 Periods)

8. One Way Slab (11 Periods)

Theory and design of simply supported one way slab including sketches showing reinforcement details (plan and section) by Limit State Method.

9. Two Way Slab (11 Periods)

Theory and design of two-way simply supported slab with corners free to lift, no provisions for torsional reinforcement by Limit State Method including sketches showing reinforcement details (plan and two sections).

10. Axially Loaded Column (09 Periods)

10.1. Definition and classification of columns.

10.2. Effective length of column.

civilguru.net

10.3. Specifications for longitudinal and lateral reinforcement.

10.4. Design of axially loaded square, rectangular and circular short columns by Limit State Method including sketching of reinforcement (sectional elevation and plan).

11. Pre-stressed Concrete (05 periods)

11.1. Concept of pre-stressed concrete.

11.2. Methods of pre-stressing: pre-tensioning and post-tensioning.

11.3. Advantages and disadvantages of pre-stressing.

11.4. Losses in pre-stress.

civiguru.net

* लेखक की अन्य उपयोगी पुस्तकें—

1. निर्माण पदार्थ
2. प्राक्कलन, लागत एवं मूल्यांकन
3. धरती सर्वेक्षण भाग-1
4. धरती सर्वेक्षण भाग-2
5. भवन निर्माण तथा अनुरक्षण इन्जीनियरी
6. जन स्वास्थ्य इन्जीनियरी
7. कंक्रीट तकनीकी
8. सिंचाई इन्जीनियरी
9. परिवहन इन्जी०-1 (महामार्ग, रेलमार्ग एवं सेतु इन्जीनियरी)
10. परिवहन इन्जी०-II (विमान पतन, बन्दरगाहों तथा सुरंगें)
11. निर्माण प्रबन्ध, लेखा, उद्यमियता विकास तथा बौद्धिक सम्पदा अधिकार
12. इस्पात एवं चिनाई संरचनाओं का अभिकल्पन
13. भूकम्प इन्जी० तथा आपदा प्रबन्धन

* सभी एशियन पब्लिशर्स, मुजफ़्फ़रनगर द्वारा प्रकाशित

प्रतीक-चिन्ह (SYMBOLS)

पुस्तक में नीचे दिये गये प्रतीक-चिन्ह जो I.S. Code 456 (2000) द्वारा संस्तुत हैं, अपनाये गये हैं।

(A) परिच्छेद (Sections)—

A = खण्ड के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल (Cross-sectional Area)
A_g = खण्ड का सकल क्षेत्रफल (Gross Area of Section)
A_c = कंक्रीट अवयव का काट-क्षेत्रफल (प्रबलन रहित)
A_{st} = तनन इस्पात का क्षेत्रफल
A_{sc} = सम्पीडन इस्पात का क्षेत्रफल
A_s = इस्पात का क्षेत्रफल (स्तम्भ में)
A_k = स्तम्भ की कंक्रीट-कोर (Core) का क्षेत्रफल
A_{sp} = कुण्डलीदार (सर्पिल) इस्पात का आयतन (प्रति सेमी० ऊँचाई)
A_{sv} = छल्लों (Stirrup) की उदग्र टांगों का क्षेत्रफल
b = परिच्छेद (धरन या स्तम्भ) की चौड़ाई या न्यूनतम माप
b_{ef} = स्लैब की प्रभावी चौड़ाई
b_f = फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई (टी-धरनों में)
b_w = रिब (या वैब) की चौड़ाई (टी-धरनों में)
d = धरन या स्लैब की प्रभावी गहराई
d' = सम्पीडन इस्पात (गुरुत्व केन्द्र) की ऊपरी (सम्पीडन) सिरे से दूरी
D = धरन या स्लैब की कुल गहराई अथवा स्तम्भ का व्यास/फलक
D_f = फ्लैंज की मोटाई (या गहराई) (टी-धरनों में)
L = धरन या स्लैब का शुद्ध पाट (Clear Span of Slab or Beam)
l_{ef} or l = धरन या स्लैब का प्रभावी पाट अथवा स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई
l_x or B = स्लैब की छोटी भुजा (फलक)
l_y or L = स्लैब की लम्बी भुजा (फलक)
L_d = विकास लम्बाई (Development Length)
x or n = बल शून्य अक्ष (या रेखा) की गहराई (सम्पीडन सिरे से)
ϕ = सादा छड़ का व्यास
$\bar{\phi}$ = टोर छड़ का व्यास
s_v या s = छल्लों का अन्तराल या छल्लों की दूरी (Spacing of Stirrups)
p = इस्पात का प्रतिशत (% Steel)
e = उत्केन्द्रता (Eccentricity), e_{min} = न्यूनतम उत्केन्द्रता

(B) प्रतिबल (Stresses)—

E_c = कंक्रीट का प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity of Concrete)
E_s = इस्पात का प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity of Steel)
m = मापांक अनुपात (Modular Ratio)

σ = प्रतिबल (Called Sigma)
σ_{cbc} = बंकन के कारण कंक्रीट में (उपजे) अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल (स्पष्टीकरण : c for concrete, b for bending and second c stands for compresrsion) (सरलता के लिये σ_{cb} लिया गया है)।
σ_{cc} = कंक्रीट में सीधे अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल (Compressive Stress)
σ_{sc} = इस्पात में अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल (Steel in Compression)
σ_{st} = इस्पात में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल (Steel in Tension)
σ_{sv} = कर्तन (अपरूपण) प्रबलन में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल
τ_{bd} = अभिलाग प्रतिबल (Design Bond Stress)
τ_c = कंक्रीट में कर्तन (अपरूपण) प्रतिबल
τ_v = नामन कर्तन (अपरूपण) प्रतिबल (Nominal Shear Stress)
$\tau_{c\,max}$ = कंक्रीट में अधिकतम (अनुज्ञेय) कर्तन प्रतिबल (अपरूपण प्रबलन सहित)
N/mm^2 = प्रतिबलों की इकाई

(C) विकृति (Strain)—

ε = विकृति
ε_c = कंक्रीट में विकृति
ε_s = इस्पात में विकृति

(D) बल तथा आघूर्ण (Forces and Moments)—

C = कुल सम्पीडन बल
T = कुल तनन बल
V = कर्तन या अपरूपण बल (Shear Force)
M = बंकन आघूर्ण (Bending Moment Under Working Loads)
Mr = प्रतिरोध आघूर्ण (Moment of Resistance Under Working Loads)
W = कुल भार
w = प्रति इकाई-लम्बाई में समवितरित भार
D_L = अचल भार (Dead Load)
L_L = चल भार (Live Load)
P = सम्पीडन अवयव पर अक्षीय भार (स्तम्भ पर)
P_u = अभिकल्प अक्षीय भार (स्तम्भ के लिये) (Design Axial Load)
Z = परिच्छेद मापांक (Modulus of Section)
z or jd = उत्तोलक भुजा (Lever Arm)
@ = दर से
c/c = केन्द्र से केन्द्र

(E) सीमांत अवस्था विधि (L.S. Method) में प्रयुक्त प्रतीक-चिन्ह—

x_u = बल-शून्य रेखा की (सम्पीडन फलक से) गहराई (at Limit State)
$x_{u\,max}$ = बल-शून्य रेखा (अक्ष) की अधिकतम गहराई (L.S. Design)
F = अभिलक्षित भार
F_d = अभिकल्प या गुणक भार (Factored Load)
γ_f = भार के लिये आंशिक सुरक्षा गुणांक (Partial Safety Factor for Load)
γ_m = पदार्थ के लिये आंशिक सुरक्षा गुणांक (Partial Safety Factor for Material)
f_{ck} = कंक्रीट (क्यूब पतिदर्श) की अभिलक्षणिक (या विशिष्ट) सम्पीडन सामर्थ्य
f_{cr} = कंक्रीट की आनमन तनन सामर्थ्य (Flexural Tensile Strength)
f_{sc} = इस्पात में सम्पीडन प्रतिबल (0·002 विकृति पर)
W = सेवी भार (Service Load)
W_u = फैक्टर (डिजाइन) भार
e_{min} = न्यूनतम उत्केन्द्रता (Min: Eccentricity)
f_y = इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य (Characteristic Yield Strength)
f_d or f_{yd} = इस्पात में अभिकल्प सामर्थ्य (Design Strength)
ε_{cr} = कंक्रीट के लिये मन्द विरूपण विकृति (Creep Strain)
ε_{su} = इस्पात के लिये चरम विकृति (Ultimate Strain)
p_c = सम्पीडन इस्पात का प्रतिशत्
p_t = तनन इस्पात का प्रतिशत्
$p_{t\,max}$ or $p_{t\,lim}$ = तनन इस्पात का सीमान्त प्रतिशत (Limiting Percentage of Steel)
C_u = भंजन के समय कुल सम्पीडन बल
T_u = भंजन के समय कुल तनन बल
V_u = भार गुणांक के कारण कर्तन बल (Shear Force due to Factored Load)
M_u = क्रान्तिक प्रतिरोध आघूर्ण (Factored Moment)
$M_{u\,Lim}$ = सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण (एकल प्रबलित धरन के लिये)
M_d = अभिकल्प या गुणांक आघूर्ण (Factored Moment)
R_u = सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (Limiting moment of Resistance Factor)

टिप्पणी– नये कोड में S.I. Units प्रयोग किये गये हैं। S.I. यूनिट में भार/बल की इकाई न्यूटन (newton-N) ली गयी है। कोड के अनुसार प्रतिबल N/mm^2, इकाई माप mm में, क्षेत्रफल mm^2 तथा बंकन आघूर्ण (B.M.) N-mm में ली गयी है। व्यावहारिक तौर पर 1 kg (f) = 10 N लें।

(F) आरेखन (Drawings)—

α = कोण (Angle)
ϕ = सादा छड़ का व्यास
$\bar{\phi}$ = टोर छड़ का व्यास
@ = छड़ों का केन्द्र से केन्द्र अन्तराल (Spacings)
Bt = मुड़ी छड़ (Bent-up Bar)
St = सीधी छड़ (Straight Bar)
Stp = छल्ले (Stirrups)
Sp = कुण्डली (Spiral)
Ct = स्तम्भ टाई (Column Tie)

——— Dimension line (0·2 mm thick)
——— Concrete outline (0·3 mm thick)
——— Reinforcement (0·5 to 0·8 mm thick)

(G) विशेष गणित चिन्ह—

= बराबर (Equal), ≠ बराबर नहीं (Not Equal)
> अति (Greater than), < न्यून (Less than)
≥ अति अथवा बराबर, ≤ बराबर अथवा न्यून

civilguruji.net

*** लेखक की अन्य उपयोगी पुस्तकें—**

1. निर्माण पदार्थ
2. प्राक्कलन, लागत एवं मूल्यांकन
3. धरती सर्वेक्षण भाग-1
4. धरती सर्वेक्षण भाग-2
5. भवन निर्माण तथा अनुरक्षण इन्जीनियरी
6. जन स्वास्थ्य इन्जीनियरी
7. कंक्रीट तकनीकी
8. सिंचाई इन्जीनियरी
9. परिवहन इन्जी०-1 (महामार्ग, रेलमार्ग एवं सेतु इन्जीनियरी)
10. परिवहन इन्जी०-II (विमान पतन, बन्दरगाह तथा सुरंगें)
11. निर्माण प्रबन्ध, लेखा, उद्यमियता विकास तथा बौद्धिक सम्पदा अधिकार
12. इस्पात एवं चिनाई संरचनाओं का अभिकल्प
13. भूकम्प इन्जी० तथा आपदा प्रबन्धन

* सभी एशियन पब्लिशर्स, मुजफ़्फ़रनगर द्वारा प्रकाशित

विषय-सूची

अध्याय	विषय	पृष्ठ सं०
1.	**सीमेन्ट कंक्रीट (Cement Concrete)**	**1–40**
	(I) सादा सीमेन्ट कंक्रीट (Plain Cement Concrete)	1
	(II) प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट (Reinforced Cement Concrete)	26
	— अभिकल्पन विधियाँ (W.S.M, U.L.M and L.S.M)	33
2.	**कार्यकारी प्रतिबल विधि (प्रत्यास्थता सिद्धान्त) (Working Stress Method)**	**41–72**
	(I) कार्यकारी प्रतिबल (Working Stresses)	41
	(II) आनमन-भारित प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट धरन (R.C.C Beams subjected to Flexural Loads)	48
3.	**सीमांत अवस्था विधि (Limit State Method–L.S.M.)**	**73–101**
	अभिकल्पन के मूल आधार (Basics of L.S. Design)	73
	निपात की सीमान्त अवस्था-आनमन (Limit State of Collapse: Flexure)	80
	समस्यायें (Problems) (एकल प्रबलित धरनों की)	89
4.	**अपरूपण तथा अभिलाग सामर्थ्य (Shear and Bond Strengths–Limit State of Collapse)**	**102–150**
	(I) अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength of R.C. Sections)	102
	(II) अपरूपण (कर्तन) प्रबलन का प्रावधान (I.S. कोड अनुसार)	113
	(II) अभिलाग सामर्थ्य तथा विकास लम्बाई (Bond Strength and Development Length)	133
5.	**प्रबलित कंक्रीट धरन (Reinforced Concrete Beams)**	**151–228**
	(A) अभिकल्पन सम्बन्धी सामान्य विनिर्देश (General Specifications)	151
	(B) धरनों का अभिकल्पन (Design of R.C. Beams) (L.S.M.)	173
	(I) एकल प्रबलित कंक्रीट धरन (Singly Beam)	173
	(II) लिन्टल (R.C.C. Lintel)	183
	(III) प्राम धरन (Cantilever Beam)	191
	(IV) सतत धरन (Continuous R.C. Beam)	207
	(V) दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन (Doubly R.C. Beam)	211
	— इस्पात धरन (Steel Beam Theory)	223
6.	**T-धरन (फ्लैंजदार धरन) (T-Beam or Flanged Beam)**	**229–258**
	(I) एकल प्रबलित T-धरन (Singly T-Beam)	230
	(II) दोहरे प्रबलित T-धरन (Doubly T-Beam)	249
	(III) L-धरन (L-Beam)	255
7.	**प्रबलित कंक्रीट स्लैब (Reinforced Concrete Slab)**	**259–314**
	(I) एकल-दैशिक प्रबलित स्लैब (One-Way Reinforced Slab)	267
	(II) प्राम स्लैब (Cantilever Slab) (Balcony)	276
	(III) द्वि-दैशिक प्रबलित स्लैब (Two-Way Reinforced Slab)	287

	(IV) सतत स्लैब (Continuous Slab)	302
	— गोलाकार स्लैब (Circular Slab)	308
	— चपटी स्लैब (Flat Slab)	311
	— पटियादार स्लैब (Waffle Slab)	312
8.	**प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ एवं स्तम्भ-नींव (R.C.C. Column and Column-Footing) (Limit State of Collapse–Compression)**	**315–383**
	(A) प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ (R.C.C. Columns)	315
	(I) अक्षीय भारित लघु स्तम्भ (Short Column)	328
	(II) अक्षीय भारित दीर्घ स्तम्भ (Long Column)	345
	(B) एकाकी स्तम्भ पाद (Isolated Column Footing)	349
	(I) वर्गाकार (समतल) पाद (Square Uniform Footing)	364
	(II) वर्गाकार (ढालू) पाद (Squared Tapered Footing)	367
	(III) आयताकार पाद (Rectangular Footing)	370
	(C) दीवार नींव (Wall Foundation)	375
9.	**प्रबलित कंक्रीट सोपान (ज़ीना) (R.C.C. Stairs)**	**384–405**
	अभिकल्पन —प्रास ज़ीना (Cantilever Stairs)	387
	—अनुप्रस्थ दिशा में आलम्बित (Spanning Horizontly)	390
	—अनुदैर्ध्य दिशा में आलम्बित (Spanning Longitudinally)	395
	—कटि-स्लैब रहित ज़ीना (Without Waist Slab)	399
	लिफ्ट (Lift)	403
	चल सीढ़ी (Escalator)	404
10.	**प्रास प्रतिधारक दीवार (Retaining Wall—Cantilever Type)**	**406–430**
	प्रकार (Types of Retaining Wall), घटक तथा प्रकार्य	407
	कार्यरत बल तथा उनका प्रभाव (Forces Acting)	409
	विफलता के कारण तथा रोक उपाय (Failure and Checks)	410
	घटकों के माप के हस्तगुर (Thumb Rules for Various Parts)	412
	अभिकल्पन के चरण (Design Steps for R.W.)	415
11.	**जल भण्डारण टंकियाँ (Water Storage Tanks)**	**431–450**
	(I) भूमि पर आधारित टंकियाँ (Tank Resting on Ground)	435
	(II) शिरोपरि गुम्बदनुमा जल टकियाँ (Over Head Tanks–Dome Type)	441
	—इंजे टंकी (Itze Tank)	442
	—शंक्वाकार टंकी (Conical Tank)	449
12.	**विविध प्रबलित कंक्रीट रचनायें (Miscellaneous R.C.C. Structures)**	**451–48**
	(I) बहुतली भवन की नींव (Foundation of M.S. Building)	45
	(II) टी-धरन छत (T-Beam Roof)	45

(III) उल्टी टी-धरन छत (Inverted T-Beam Roof) 461
(IV) प्रबलित ईंट रचनायें (R.B. Work) 465
(A) प्रास स्लैब (Cantilever) 470
(B) लिन्टल (Lintel) 472
(C) द्वि-दैशिक (Two-way) 474
(V) बहुतली फ्रेम संरचनायें (Multistoreyed Frame Structures) 477
(VI) जालक फर्श (Waffle Floor) 482
(VII) पाइप पुलिया (Pipe Culvert) 483
(VIII) टी-धरन पुल (T-Beam Bridge) 483
(IX) प्रवेशी ढ़ाँचा (Portal Frame) 484
(X) स्थूणा नींव (Pile Foundation) 485
(XI) विद्युत संचरण खम्भा (Transmission Pole) 486

13. अभिकल्पन सहाय्य युक्तियाँ (Design Aids for R.C.C. Members) 489–514
(I) एकल प्रबलित धरन (Singly Reinforced Beam) 491
(II) अपरूपण प्रबलन (Shear Reinforcement) 493
(III) दोहरे प्रबलित धरन (Doubly Reinforced Beam) 494
(IV) टी-धरन (Singly T-Beam) 497
(V) स्लैब (Slab One Way) 499
(VI) स्तम्भ (R.C.C. Column) 500
BIS चार्ट व सारणियाँ (Charts and Tables) 503–513

14. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट (Pre-Stressed Concrete) 515–534
पूर्व-तनन विधि (Pre-Tensioning Method) 523
पश्च तनन प्रणालियाँ (Post-Tensioning Systems) 524
— फ्रेसीनेट प्रणाली (Freyssinet System) 525
— मेग्नल-ब्लेटान प्रणाली (Magnel–Blaton System) 527
— लीमेकाल प्रणाली (Lee McCall System) 528
पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट धरन (P.S. Concrete Beam) 532

• **स्ट्रक्चरल अभिकल्प, सोफ्टवेयर, छड़-सूचिका, अभिकल्प आँकड़े व सूत्र 535–563**
•• **स्मरणीय सार-संग्रह (प्रबलित कंक्रीट रचनायें) 564–576**
••• **सारणियों की सूची (Important Tables) 577**
•••• **बोर्ड प्रश्न-पत्र/मॉडल प्रश्न पत्र**

1 सीमेंट कंक्रीट
(CEMENT CONCRETE)

(I) सादा सीमेंट कंक्रीट (PLAIN CEMENT CONCRETE)

§ 1.1. सीमेंट कंक्रीट (Cement Concrete) :

सीमेन्ट कंक्रीट सिविल निर्माण के क्षेत्र में एक महत्वपूर्ण निर्माण सामग्री है। बन्धक (Cementing) पदार्थ में कुछ निष्क्रिय पदार्थों (Inert Materials) को उचित अनुपात में मिलाकर तथा पानी की आवश्यक मात्रा डालकर जो सुघट्य पेस्ट (Plastic Mass) बनाया जाता है, उसे **कंक्रीट** कहते हैं। कठोर होने पर कंक्रीट (Plastic Mass) एक कृत्रिम पत्थर का रूप धारण कर लेती है। सामर्थ्य व अन्य गुणों की दृष्टि से कंक्रीट, प्राकृतिक पत्थर से उत्तम सिद्ध हुयी है।

जब कंक्रीट में बन्धक पदार्थ के रूप में सीमेंट का प्रयोग किया जाता है, तब इसे **सीमेंट कंक्रीट** (Cement Concrete) कहते हैं। कंक्रीट में प्रयुक्त निष्क्रिय पदार्थों को मिलावा (Aggregates) कहते हैं। महीन मिलावे के रूप में बालू (Sand) तथा मोटे मिलावे के लिये पत्थर की गिट्टी (Stone Ballast) प्रयोग की जाती हैं।

सीमेन्ट मे जब पानी मिलाया जाता है, उसमें रासायनिक क्रिया होती है, जिसे जलयोजन क्रिया (Hydration of Cement) कहते हैं। जलयोजन क्रिया के कारण, सीमेन्ट महीन झिल्ली (Gel) के रुप में फूलकर, महीन व मोटे मिलावों (Aggregates) को जकड़ कर व सुखने पर, इसे पत्थर की भान्ति कठोर व सामर्थ्यवान बना देता है। जलयोजन क्रिया शुरु में मन्द गमि से होती है, परन्तु 8–10 घण्टे बाद कंक्रीट पूर्णत: सैट हो जाती है।

सीमेंट कंक्रीट की यह विशेषता है कि इसको सुघट्य अवस्था में, साँचों/फरमाबन्दी द्वारा किसी भी आकार व रूप में ढ़ाला जा सकता है। कठोर होने पर यह पत्थर की भान्ति दृढ़ बन जाती है। परन्तु पत्थर की भाँति इसे किसी चरण पर काटने-गढ़ने की आवश्यकता नहीं पड़ती है। कंक्रीट की आयु बहुत अधिक होती है और इसके संघटक सभी जगहों पर आसानी से मिल जाते हैं और सस्ते होते हैं।

सादा सीमेंट कंक्रीट, सम्पीडन में, तनन की तुलना में बहुत मजबूत (लगभग 10 गुना अधिक) होती है। इसलिये सादा सीमेंट कंक्रीट का प्रयोग, भवनों की नींव, फर्श, स्तम्भ, सड़कों तथा भाराश्रित बाँधों के लिये, जहाँ केवल **सम्पीडन प्रतिबल** उपजते हैं, अधिक किया जाता है। कंक्रीट के प्रचलन से अन्य निर्माण पदार्थों, जैसे—प्रकाष्ठ, इस्पात, पत्थर, ईंट आदि का प्रयोग-क्षेत्र घट गया है। सीमेन्ट कंक्रीट की रचनायें देखने में सुन्दर, मितव्ययी, टिकाऊ व अग्नि प्रतिरोधी होती हैं।

§ 1.2. सीमेंट कंक्रीट के संघटक (Ingredients of Cement Concrete):

सीमेंट कंक्रीट के संघटक हैं—(i) सीमेंट, (ii) महीन मिलावा, (iii) मोटा मिलावा, (iv) पानी। इनका संक्षिप्त वर्णन निम्न है (विस्तृत वर्णन के लिये लेखक की पुस्तक 'कंक्रीट तकनीकी' देखें)।

(1) सीमेंट (Cement)—जल की उपस्थिति में सीमेंट में संसंजक (Cohesive) व आसंजक (Adhesive) गुण उपजते हैं। अत: इसे जलीय सीमेंट (Hydraulic Cement) भी कहते हैं। सभी सामान्य कार्यों के लिये साधारण पोर्टलैंड सीमेंट (Ordinary Portland Cement—OPC) का प्रयोग किया जाता है। इंग्लैंड (Leeds) के एक राज-मिस्त्री श्री जोसेफ एस्पडिन ने 1824 में सर्वप्रथम इसका पेटेन्ट करवाया था। इस सीमेंट का रंग पोर्टलैंड (England) की खदानों से निकाले जाने वाले पत्थर से मिलता-जुलता है, अत: यह इसी नाम से विश्व में जाना जाने लगा है। सीमेन्ट बनाने की दो विधियाँ हैं– (i) शुष्क विधि (Dry Process) तथा (ii) गीली विधि (Wet Process)। परन्तु वर्तमान में सीमेन्ट उत्पादन की गीली विधि अधिक अपनायी जाती है।

साधारण सीमेंट लगभग 65% चूना-पत्थर तथा 35% मृत्तिका (Clay) के घोल को घूर्णी भट्ठी (Rotary Kiln) में, लगभग 1450°C पर पका कर तथा पकने पर बनी इन छोटी-छोटी गिट्टियों (Clinkers) को, महीन पीस कर बनाया जाता है। क्लिंकर को पीसते समय, इसमें 2 से 3% खड़िया मिट्टी (जिप्सम) (मंदक) मिलाया जाता है।

सीमेंट चूना से भिन्न है, क्योंकि पानी मिलाने पर यह चूने की भान्ति बुझता (Slaking) नहीं है, बल्कि सैट (Set) होने लगता है। भारत में सर्वप्रथम 1913 में पोर्टलैण्ड सीमेंट का उत्पादन शुरू हुआ था। साधारण पोर्टलैण्ड सीमेंट का रंग हरा-घूसर (Grey) होता है और छूने पर यह ठण्डा लगता है।

साधारण पोर्टलैण्ड सीमेन्ट (OPC) भारत में अब कई ग्रेड (B.I.S. वर्गीकरण) में उपलब्ध है, जैसे—33 ग्रेड OPC (I.S. 269), 43 ग्रेड OPC (I.S. 8112), 53 ग्रेड OPC (I.S. 12269)। ग्रेड-संख्या इसकी न्यूनतम सम्पीडन (N/mm^2) में सामर्थ्य दर्शाता है। (ग्रेड (सीमेन्ट की सामर्थ्य) की जाँच सीमेंट: बालू (1:3) के 50 cm^2 फलक-क्षेत्रफल के घन (Cube) बनाकर, 28 दिन की तराई (Curing) पर इसे भन्जित करके की जाती है)।

विशेष स्थितियों में अन्य प्रकार के सीमेंट, जैसे—(i) शीघ्र कठोरी सीमेंट (Rapid Hardening Cement) (I.S. 8041), (ii) स्लैग सीमेन्ट (Portland Slag Cement) (I.S. 455), (iii) पोजोलाना सीमेन्ट (Portland Pozzolana Cement—PPC) (I.S. 1489), (iv) अल्प उष्मा सीमेन्ट (Low Heat Portland Cement) (I.S. 12600), (v) सफेद व रंगदार सीमेन्ट (I.S. 8042) इत्यादि भी प्रयोग किये जाते हैं। मित्तव्ययीता की दृष्टि से साधारण पोर्टलैण्ड सीमेन्ट में कुछ प्रतिशत तक पोजोलाना (Pozzolana) व धूम भस्म (Flyash) भी मिलाये जाते हैं, तब इसे पोर्टलैण्ड पोजोलाना सीमेंट (PPC) कहा जाता है।

सीमेन्ट को सदा भार (kg) में लिया जाता है, क्योंकि वातावरणीय स्थितियों तथा हस्तन के कारण इसका आयतन (Volume) मानक नहीं रह पाता है। सीमेन्ट को सामान्यत: 50 kg (34·5 लीटर) के थैलों में भरकर सप्लाई किया जाता है। बड़ी सप्लाई (Bulk Supply) में, इसे 200 kg के ड्रमों में भी भरकर भेजा जाता है।

सीमेन्ट सदा विश्वसनीय श्रोत से ही क्रय करना चाहिये और यह 6 महीने से अधिक पुराना न हो। I.S. 456 के अनुसार कंक्रीट में सीमेंट की अधिकतम मात्रा 450 kg/cum निर्धारित की गयी है ताकि अवयव में दरारें, सकुंचन न हो।

(2) महीन मिलावा (Fine Aggregate)—महीन मिलावे के रूप में बालू का प्रयोग अधिक किया जाता है। यह प्राय: स्थानीय गड्ढों, नदी, नाले, झील की तली से निकाली जाती है अथवा भूमि में गड्ढा खोदकर प्राप्त की जाती है। बालू में किसी प्रकार की मिलावट, जैसे—मिट्टी, घास-पात, लवण, कार्बनिक पदार्थ नहीं होने चाहियें। बालू को धोकर प्रयोग करना उचित रहता है। महीन मिलावा 4·75 mm तथा इससे कम माप के कणों का भली प्रकार से श्रेणीकृत होना चाहिये। इसका सूक्ष्मता मापांक (Fineness Modulus) 2·0 से 3·5 के बीच होना चाहिये। (इसमें उच्च मान, बालू का मोटापन (Coarseness) दर्शाता है।

पत्थरों को संदलित करके भी महीन मिलावा बनाया जाता है। समुद्र से निकाली गई बालू का प्रयोग कंक्रीट के लिये नहीं करना चाहिये क्योंकि इसमें हानिकारक लवण प्रचुर मात्रा में मिले रहते हैं। (समुद्री जल में सामान्यत: 3·5% लवण घुले रहते हैं)।

(3) मोटा मिलावा (Coarse Aggregate)—मोटे मिलावे के लिये, कठोर पत्थर जैसे—ग्रेनाइट, बलुआ पत्थर, लेटेराइट, बैसाल्ट व ट्रेप को गिट्टी के आकार में तोड़कर प्रयोग किया जाता है। पत्थर की गिट्टी कठोर, साफ, खुरदरी सतह वाली, भारी तथा नुकीले कणों वाली होनी चाहिये। मोटा मिलावा 4·75 mm से 200 mm माप तक प्रयोग किया जाता है। प्रबलित सीमेंट कंक्रीट में सामान्यत: 10 mm से 20 mm माप का मिलावा प्रयोग होता है। नींव कंक्रीट में 40 mm माप का मिलावा डाला जाता है। मिलावे का अधिकतम माप, कंक्रीट अवयव (खण्ड) की न्यूनतम मोटाई के चौथाई से बड़ा नहीं होना चाहिये। मोटे मिलावे का सूक्ष्मता मापांक 6·0 से 8·5 के मध्य होना चाहिए।

कम सामर्थ्य वाली कंक्रीट के लिये क्लिन्कर, स्लैग, कोयले की राखी, सिन्दर इत्यदि का भी प्रयोग किया जाता है।

महीन और मोटे मिलावों को अलग-अलग ढेरों में संग्रह करना चाहिये। मिलावा I.S. 383 के अनुरूप होना चाहिये। कंक्रीट में कुछ विशेष गुण जैसे सामर्थ्य, जमावकाल, सुकार्यता आदि को सुधारने/बढ़ाने के लिए, इसमें अधिमिश्रण (Admixtures) मिलाये जाते हैं। यदि कंक्रीट में अधिमिश्रणों का प्रयोग किया जाता है, ये I.S. 9103 के अनुरूप होने चाहिये।

(4) पानी–सीमेंट कंक्रीट को सुघट्य बनाने के लिये पानी का प्रयोग किया जाता है। सीमेंट में पानी मिलाने पर, इसमें रासायनिक क्रिया होती है, जिसे जलयोजन क्रिया (Hydration of Cement) के नाम से जाना जाता है। इस क्रिया के फलस्वरूप, सीमेंट पतली झिल्ली (लुग्दी) (Gel) के रूप में फूलकर महीन तथा मोटे मिलावे को घेर लेता है और सूखने पर इनको आपस में आबद्ध करके पत्थर की भाँति कठोर पदार्थ बनाता है। रासायनिक क्रिया के लिये, सीमेन्ट में इसके भार का लगभग 25% जल मिलाना होता है, परन्तु अच्छी सुकार्यता (Workability) के लिये, यह मात्रा कुछ अधिक रखनी पड़ सकती है।

कंक्रीट के लिये साफ पानी, जो तेल, चिकनाहट, अम्लता, क्षारता, घास-फूँस तथा अन्य कार्बनिक एवं अकार्बनिक अशुद्धियों से मुक्त हो, प्रयोग करना चाहिये। समुद्री पानी का प्रयोग सीमेंट कंक्रीट के लिये नहीं किया जाता है। पानी का pH मान 6 से कम नहीं होना चाहिये।

कंक्रीट के संघटकों का भण्डारण I.S. 4082 के अनुसार करना चाहिये।

§ 1.3. सीमेंट का पकना या जमना (Setting of Cement) :

सीमेंट का पकना वह क्रिया है, जिससे सीमेंट-पेस्ट सुघट्य अवस्था से ठोस पिण्ड में परिवर्तित हो जाता है। सीमेंट के पकने की दर पर, कंक्रीट के मिलाने, ढुलाई, ढलाई, कुटाई इत्यदि क्रियाओं से बहुत अधिक प्रभाव पड़ता है। सीमेंट का पकना दो चरणों में पूर्ण होता है—

(i) प्रारम्भिक पकन काल (Initial Setting Time)— यह वह अवधि है जिसके बाद सीमेंट पेस्ट (या सीमेंट कंक्रीट) में यदि कोई दरार (Crack) पड़ जाये, तो वह स्वयं बन्द नहीं होती है। साधारण सीमेंट (OPC) का प्रारम्भिक पकन काल, इसमें पानी मिलाने के **तुरन्त बाद से 30 मिनट** लिया जाता है। कंक्रीट संघटको का मिलाना, ढुलाई, ढलाई, कुटाई इत्यदि सभी आवश्यक क्रियायें इस अवधि में पूर्ण हो जानी चाहिये। शीघ्र जमने वाले सीमेंट के लिये यह अवधि 5 मिनट की होती है। इस अवधि के बाद सीमेंट कंक्रीट को विचलित नहीं करना चाहिये अन्यथा यह अपनी पूर्ण सामर्थ्य ग्रहण नहीं कर पाती है।

(ii) अन्तिम पकन काल (Final Setting Time)—यह वह अवधि है जब सीमेंट की पकन क्रिया पूर्ण रूप से समाप्त हो जाती है और कंक्रीट कठोर होकर ठोस पिण्ड (Hard Mass) का रूप धारण कर लेती है और विचलित करने पर भी, अपनी स्थिति में अडिग बनी रहती है। साधारण सीमेंट का अन्तिम पकन काल, पानी मिलाने के **बाद से 10 घन्टे** लिया जाता है। शीघ्र पकने वाला सीमेंट 30 मिनट में ही पूर्ण रूप से सैट हो जाता है।

सीमेंट का प्रारम्भिक तथा अन्तिम पकन काल, विकाट उपकरण (Vicat's Apparatus) से ज्ञात किया जाता है। इसे सघनता या मानक परीक्षण (Standard Consistency Test) कहते हैं।

§ 1.4. सीमेंट कंक्रीट की बल-ग्रहण दर (Rate of Hardening) :

सीमेंट कंक्रीट के अन्तिम रूप से पकने पर, इसमें सामर्थ्य उत्पन्न होने लगती है। पहले कुछ दिनों तक बल-ग्रहण की दर अधिक होती है, परन्तु समय बीतने के साथ-साथ बल-ग्रहण दर में कमी होती जाती है। बल ग्रहण की यह क्रिया कई दिनों अथवा महीनों तक चलती रहती है।

गीली कंक्रीट को उचित आकृति में ढालने के लिये, लकड़ी अथवा लोहे की फरमा-बन्दी (Form Work) की जाती है। कुछ दिनों पश्चात्, जब सीमेंट कंक्रीट पर्याप्त बल ग्रहण कर लेती है, तब वह बिना किसी बाहरी सहारे (फरमाबन्दी) के अपनी स्थिति में बनी रह सकती है। तब फरमा-बन्दी हटा दी जाती है। फरमा-बन्दी हटाने की अवधि, सीमेंट कंक्रीट के बल ग्रहण दर पर निर्भर करती है। (देखें सारणी 1.8)।

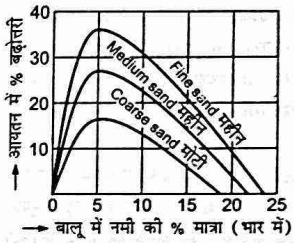
1.4-1. ऊष्मा निकास (Evolution of Heat)—सीमेंट में पानी मिलाने पर, जलयोजन क्रिया होती है, जिससे सीमेंट (मसाले अथवा कंक्रीट) से ऊष्मा बाहर आती है। सीमेन्ट (कंक्रीट) से ऊष्मा की निकासी लम्बे समय तक बनी रहती है, परन्तु समय बीतने पर निकासी-दर कम होती जाती है। सीमेंट कंक्रीट की बल ग्रहण दर, इसमें से उत्पन्न ऊष्मा पर निर्भर करती है तथा इसके समानुपाती होती है। साधारण पोर्टलैण्ड सीमेंट में, जलयोजन पर, ऊष्मा निकासी का मान 120 cal/gm लिया जा सकता है। क्योंकि कंक्रीट की ऊष्मा चालकता कम होती है, अत: स्थूल (Mass) कंक्रीट में, इसके भीतर ऊष्मा एकत्रित होने लगती है।

छोटे कार्यों में सीमेंट कंक्रीट से ऊष्मा का निकलना कोई विशेष महत्व नहीं रखता हैं, परन्तु बड़े निर्माण जैसे—कंक्रीट बाँध में ऊष्मा का निकलना लाभकारी नहीं होता है। ऊष्मा उत्पन्न होने से कंक्रीट

पिण्ड का आन्तरिक तापक्रम बढ़ जाता है और वह प्रसारित होती है तथा इसमें तनन प्रतिबल उपजते हैं। अत: ऊष्मा निकास को नियन्त्रित करने के उपाय किये जाते हैं। इस के लिये संरचना पर पानी छिड़का जाता है अथवा कंक्रीट तैयार करते समय, इसमें ठण्डा किया गया मिलावा (Cold Aggregates) प्रयोग किया जाता हैं।

§ 1.5. बालू का फूलना (Bulking of Sand) :

जब पूर्णत: सूखी बालू पानी या नमी के स्पर्श में आती है तो इसका आयतन बढ़ जाता है। पानी के घुसने पर, बालू के कणों के चारों तरफ पानी की एक बहुत पतली झिल्ली (Film) बन जाती है, जिससे बालू के कण दूर-दूर हो जाते हैं। इसके परिणामस्वरूप बालू का आयतन बढ़ जाता है। **इसे बालू का फूलना कहते हैं।** महीन बालू नमी पाकर मोटी बालू की अपेक्षा अधिक फूलती है। (चित्र 1.1)



चित्र 1.1—बालू के फूलने व प्रतिशत नमी में सम्बन्ध

जब बालू में पानी की मात्रा, इसके भार के लगभग 5% होती है, तो बालू का आयतन, सूखी अवस्था की तुलना में 30% तक बढ़ जाता है। यह बालू का अधिकतम फूलना होता है। जब बालू में इससे अधिक मात्रा में पानी मिलाया जाता है तब बालू के कणों के चारों ओर बनी पानी की झिल्ली टूट जाती है और पानी निकलकर बालू की सतह पर आ जाता है, जिसके परिणामस्वरूप बालू पुन: नीचे बैठ जाती है और इसका आयतन पुन: अपने वास्तविक सूखे बालू के आयतन के लगभग बराबर हो जाता है।

कंक्रीट तैयार करते समय, बालू में उपस्थित नमी (पानी) की मात्रा ज्ञात कर लेनी चाहिये और इसके आधार पर कंक्रीट के लिये पानी की मात्रा में आवश्यक कटौती कर देनी चाहिये।

§ 1.6. जल-सीमेंट अनुपात (Water-Cement Ratio) :

कंक्रीट की सामर्थ्य केवल सीमेंट की मात्रा पर निर्भर नहीं करती है। अधिक सीमेंट का प्रयोग करने से, कंक्रीट अधिक सामर्थ्यवान होगी, यह सर्वथा सत्य नहीं है। वास्तव में कंक्रीट की सामर्थ्य जल-सीमेंट अनुपात (W.C. Ratio) व उसकी कुटाई (Compaction) पर निर्भर करती है।

सीमेंट में मिलाये गये **पानी की मात्रा तथा सीमेंट के भार (अथवा आयतन) के अनुपात को जल-सीमेंट अनुपात कहते हैं।** अत:

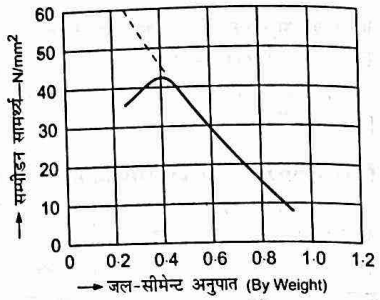
$$\text{W.C. Ratio} = \frac{\text{Weight of Water}}{\text{Weight of Cement}} = \frac{\text{जल का भार}}{\text{सीमेंट का भार}}$$

पानी की मात्रा, सीमेंट में जितनी कम रखी जायेगी, कंक्रीट की सामर्थ्य उतनी ही अधिक होगी, परन्तु पानी की मात्रा इतनी अवश्य होनी चाहिये कि कंक्रीट सुकर (Workable) बनी रहे और कंक्रीट की कुटाई पूर्णत: हो सके।

कंक्रीट में एक निश्चित जल-सीमेंट अनुपात से कम पानी की मात्रा होने पर, उसकी सामर्थ्य में बढ़ोत्तरी के स्थान पर कमी हो जायेगी। इसी प्रकार अधिक पानी की मात्रा होने पर, कंक्रीट के मोटे मिलावे

के कण, महीन मिलावे के कणों से पृथक् (Segregation) हो जायेंगे अथवा कंक्रीट की सतह पर पानी एकत्रित (Bleeding) हो जायेगा (चित्र 1.2)।

कंक्रीट की हस्त-दुरमुठों द्वारा कुटाई करने पर, अधिक जल—सीमेंट अनुपात की आवश्यकता पड़ती है, जबकि कम्पन यन्त्र (Vibrator) द्वारा कुटाई करने पर, कम पानी की आवश्यकता पड़ती है और कंक्रीट की सामर्थ्य भी अधिक प्राप्त होती है।



चित्र 1.2—भार अनुसार जल-सीमेन्ट अनुपात पर कंक्रीट की सम्पीडन सामर्थ्यता

सीमेंट की जलयोजन क्रिया के लिये, 25% से 30% पानी की मात्रा ही पर्याप्त होती है। साधारण कंक्रीट के लिये, जल-सीमेंट अनुपात 0·4 से 0·6 रखा जा सकता है। यह अनुपात रखने पर, इतना पानी कंक्रीट में उपलब्ध होता है कि सीमेंट के समस्त कण जलयोजन क्रिया करने में समर्थ होते हैं। यदि मिलावे (महीन अथवा मोटे) में, पहले से ही नमी मौजूद है, तो उपरोक्त जल-सीमेंट अनुपात कम रखा जाता है।

§ 1.7. कंक्रीट की सामर्थ्य तथा ग्रेड (Strength and Grades of Concrete):

अन्य निर्माण पदार्थों की भान्ति, कंक्रीट की सामर्थ्य भी मायने रखती है। यह N/mm^2 (न्यूटन प्रति वर्ग मिमी०) में आँकी जाती है। कंक्रीट की सामर्थ्य इसके उत्पादन में प्रयुक्त सीमेन्ट की प्रकार, मात्रा, मिलावे की सामर्थ्य व मात्रा तथा कंक्रीट मिश्रण की प्रक्रिया पर निर्भर करती है।

इस्पात की भान्ति, कंक्रीट भी सम्पीडन, तनन, कर्तन आदि सामर्थ्य रखती है, परन्तु सिविल-संरचनाओं में **कंक्रीट की सम्पीडन सामर्थ्य का ही महत्व** है, क्योंकि इसकी अन्य सामर्थ्य बहुत कम होती है। कंक्रीट की तनन सामर्थ्य, इसकी सम्पीडन सामर्थ्य का कुल 1/10 ही होती हैं। अत: इसे तनन अवयवों के लिये उपयोग नहीं किया जाता है। कंक्रीट की सम्पीडन सामर्थ्य, इसके 150 mm माप का घन (Cube) बनाकर और इसकी 28 दिन तक की तराई (Curing) पर, सम्पीडन जांच मशीन में रख कर और भंजित करके ज्ञात की जाती है (I.S. 516)।

1.7-1. अभिलक्षणिक सामर्थ्य (Characteristic Strength)—कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य वह सामर्थ्य है, जिसकी न्यूनतम 95% जांच-प्रतिदर्श पुष्टि करें अर्थात् केवल 5% तक जांच-प्रतिदर्श यह सामर्थ्य दर्शाने में विफल रहे।

कंक्रीट की सामर्थ्य ज्ञात करने के लिये, इसके मानक घन (Cubes) प्रतिदर्श बनाकर, निर्धारित अवधि की तराई पर, जांचमशीन पर परखे जाते हैं (सीमेंट कंक्रीट के घन की फलक 150 mm रखी जाती है और तराई-अवधि 28 दिन ली जाती है। घन के स्थान पर 150 mm व्यास का, 300 mm ऊंचाई का सिलिण्डर भी लिया जा सकता है, परन्तु इसकी सामर्थ्य, घन की सामर्थ्य का 0·80 ली जाती है)। कंक्रीट की सामर्थ्य, इसमें मिलाये जाने वाले जल (Water-Cement Ratio) के कारण प्रभावित होती है। पानी की अधिक मात्रा, इसकी सामर्थ्य को घटाती है और इसकी सुकार्यता (Workability) को प्रभावित करती है। अत: कंक्रीट तैयार करते समय जल की अनुकूलतम मात्रा महत्व रखती है। कंक्रीट में जल की अनुकूलतम मात्रा निर्धारित करने के लिये **अवपात परीक्षण** (Slump Test) किया जाता है।

1.7-2. ग्रेड (श्रेणी) (Grades)—सम्पीडन सामर्थ्य के आधार पर I.S. 456-2000 में कंक्रीट के 15 ग्रेड सुझाये गये हैं। ग्रेड के पहले उपसर्ग 'M' कंक्रीट का मिक्स (Mix) प्रदर्शित करता है और इसके आगे लिखा अंक, 150 मिमी० माप के घन की 28 दिन की तराई (Curing) पर अभिलक्षणिक सम्पीडन सामर्थ्य दर्शाता है। **सामर्थ्य की इकाई N/mm^2 में ली जाती है** (यह kg/cm^2 में भी आँकी जाती है)। कंक्रीट के ग्रेड सारणी 1.2 में दिये गये है। हल्के (Light) कार्यों के लिये M-5 व M-7·5 ग्रेड की कंक्रीट भी प्रयोग कर सकते हैं, परन्तु प्रबलित कंक्रीट के लिये M-15 अथवा इससे उच्च ग्रेड की कंक्रीट ही प्रयोग की जाती है। अब सामान्यत: M-20 ग्रेड की सीमेन्ट कंक्रीट अधिक प्रयोग की जाती है। पूर्व प्रतिबलित कंक्रीट (Pre-Stressed Concrete) के लिए M-30 अथवा इससे उच्च ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग की जाती है।

1.7-3. कंक्रीट की तनन सामर्थ्य (Tensile Strength)—सीमेंट कंक्रीट की तनन सामर्थ्य, इसकी सम्पीडन सामर्थ्य का 10 से 15% ही होती है। कंक्रीट की आनमन (Flexural) व विपाटन (Splitting) तनन सामर्थ्य I.S. 516 व I.S. 5816 के अन्तर्गत ज्ञात की जानी चाहिये। मोटे तौर पर कंक्रीट की तनन सामर्थ्य, सम्पीडन सामर्थ्य के आधार पर, निम्न सूत्र से भी ज्ञात की जा सकती है—

आनमन तनन सामर्थ्य (Flexural Tensile strength) $f_{cr} = 0{\cdot}7\sqrt{f_{ck}}\ N/mm^2$ (code धारा 6.2.2)

यहाँ f_{ck} कंक्रीट (घन) की 28 दिन की अभिलक्षणिक सम्पीडन सामर्थ्य है।

1.7-4. कंक्रीट का प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity of Concrete)—कंक्रीट का प्रत्यास्थता मापांक कंक्रीट मिलावे के प्रत्यास्थता गुणों से प्रभावित होता है। सीमेंट की प्रकार, कंक्रीट मिश्रण प्रक्रिया, तराई, आयु इत्यादि भी कंक्रीट की प्रत्यास्थता मापांक को कुछ सीमा तक प्रभावित करते हैं।

कंक्रीट का प्रत्यास्थता मापांक, सामान्यत: कंक्रीट की सम्पीडन सामर्थ्य से निम्न समीकरण से ज्ञात किया जा सकता है

$$E_c = 5000\sqrt{f_{ck}}\ N/mm^2$$

यहाँ E_c —कंक्रीट का स्थैतिक प्रत्यास्थता मापांक, N/mm^2 में

f_{ck} —कंक्रीट (घन) की 28 दिन की अभिलक्षणिक सामर्थ्य, N/mm^2 में

टिप्पणी— वास्तविक मापा गया प्रत्यास्थता मापांक और उपरोक्त समीकरण से ज्ञात मापांक में ± 20% का अन्तर हो सकता है (IS 456 – धारा 6.2.3.1)।

1.7-5. मंद विरुपण (Creep)—लम्बे काल तक किसी कंक्रीट अवयव के लगातार भारित (Loaded) रहने पर, इसमें मंद विरुपण उपजता है अर्थात् दीर्घकालिक प्रतिबलों के कारण अवयव में विकृति (Strain) उपजती हैं, जो काल पर निर्भर है।

यदि वास्तव आँकड़े उपलब्ध न हो, मन्द विरुपण के लिये अग्र गुणक लिये जा सकते हैं।

सारणी 1.1—कंक्रीट का मन्द विरुपण (Creep)

धारित काल	मंद विरुपण गुणक
7 दिन	2·2
28 दिन	1·6
1 वर्ष	1·1

सम्पीडन सामर्थ्य के आधार पर, कंक्रीट के ग्रेड व अभिलक्षणिक सामर्थ्य के मान सारणी 1.2 में दिये जा रहे हैं। विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट के लिये अनुज्ञेय प्रतिबलों में मान सारणी 2.1 में दिये गये हैं।

सारणी 1.2—सीमेन्ट कंक्रीट के ग्रेड (Grades of Cement Concrete)

(I.S. 456–2000–Table 2)

ग्रुप (Group)	संज्ञा (ग्रेड)	अभिलक्षणिक सम्पीडन सामर्थ्य, f_{ck} (150 mm घन की 28 दिन की तराई पर) N/mm^2	टिप्पणी
(i) सामान्य कक्रीट Ordinary Concrete	M – 10	10	(i) कम महत्व के कार्यों अथवा साधारण नींव में हल्की (Lean) सीमेन्ट कंक्रीट, M-5, M-7 ग्रेड प्रयोग की जा सकती है।
	M – 15	15	
	M – 20	20	
(ii) मानक कंक्रीट Standard Concrete	M – 25	25	(ii) अब प्रबलित सीमेंट कंक्रीट (RCC) के लिये M-20 से कम ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग नहीं होगी।
	M – 30	30	
	M – 35	35	
	M – 40	40	
	M – 45	45	(iii) पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट (Prestressed Concrete) के लिये M-30 अथवा इस से उच्च ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग करें।
	M – 50	50	
	M – 55	55	
(iii) उच्च सामर्थ्य कंक्रीट (High Strength Concrete)	M – 60	60	(iv) उच्च सामर्थ्य की कंक्रीट के लिये कोड के सामान्य प्राचल (Parameters) लागू नहीं होते, इसके लिये परीक्षणों व विशेष शोध को आधार बनाया जाये।
	M – 65	65	
	M – 70	70	
	M – 75	75	
	M – 80	80	

§ 1.8. कंक्रीट का मिश्रण-वर्गीकरण (Classification of Concrete) :

कंक्रीट को मिक्स के आधार पर निम्न दो वर्गों में रखा गया है—

(a) नामन मिक्स कंक्रीट (Nominal Mix Concrete)

(b) डिजाइन मिक्स कंक्रीट (Design Mix Concrete or Controlled Concrete)

जहाँ तक सम्भव हो, डिजाइन मिक्स कंक्रीट को वरीयता देनी चाहिये।

(a) नामन मिक्स कंक्रीट—इस कंक्रीट में विभिन्न संघटकों का अनुपातन नामन (Nominal) आधार पर किया जाता है और इस कंक्रीट का संरचना में (वास्तविक) **प्रयोग से पूर्व सामर्थ्य परीक्षण नहीं किया जाता है।** जाँच, निर्माण के दौरान, कार्य-स्थल से प्राप्त कंक्रीट प्रतिदर्श पर की जाती है। जाँच कार्य मौके (कार्य-स्थल) (Site) पर अथवा प्रयोगशाला में किया जा सकता है। **M-20 अथवा इससे कम सामर्थ्य की कंक्रीट के लिये नामन मिक्स कंक्रीट प्रयोग की जा सकती है,** परन्तु मिक्स में सीमेन्ट की मात्रा कुछ बढ़ा देनी चाहिये। सामर्थ्य की इकाई N/mm^2 में ली जाती है।

सारणी 1.3—नामन मिक्स कंक्रीट के लिये मिक्स-अनुपातन

(Proportion For Nominal Mix Concretes)

कंक्रीट का ग्रेड	प्रति 50 kg (एक थैला) सीमेन्ट के लिये सकल सूखे मिलावे का आयतन	महीन व मोटे मिलावे का अनुपात (आयतन अनुसार)	प्रति थैला सीमेंट के लिये पानी की मात्रा	जल : सीमेन्ट अनुपात (W.C. Ratio)
M – 5 (1 : 6 : 12)	800 kg	सामान्य 1 : 2,	60 लीटर	1·20
M – 7·5 (1 : 4 : 8)	625 kg	इसकी उच्चतम	45 लीटर	0·20
M – 10 (1 : 3 : 6)	480 kg	व न्यूनतम सीमायें	34 लीटर	0·68
M – 15 (1 : 2 : 4)	330 kg	$1:1\frac{1}{2}$ व $1:2\frac{1}{2}$	32 लीटर	0·64
M – 20 (1 . 1·5 : 3)	250 kg	ली जाती है।	30 लीटर	0·60

नोट— औसत मिलावे के लिये, मोटे मिलावे के 10 mm, 20 mm, व 40 mm माप के लिये, महीन व मोटे मिलावे का अनुपात 1 : 1·5, 1 : 2 व 1 : 2·5 होगा।

(b) डिजाइन मिक्स कंक्रीट—जब कंक्रीट की संरचना में **वास्तविक प्रयोग से पहले,** प्रतिदर्श तैयार करके **प्रयोगशाला में जांच** की जाती है, तो इसे **डिजाइन मिक्स कंक्रीट कहते** हैं। उपयुक्त जल-सीमेंट अनुपात के निर्धारण के लिये सीमेन्ट में पानी की विभिन्न मात्रायें मिलाकर परीक्षण किये जाते हैं। मोटे तथा महीन मिलावे में उपस्थित नमी की मात्रा पर भी ध्यान रखा जाता है।

28 दिन की कंक्रीट सामर्थ्य तथा विभिन्न जल-सीमेंट अनुपात के बीच वक्र खींचे जाते हैं तथा उस वक्र का चयन किया जाता है, जो वांछित कंक्रीट सामर्थ्य से 1·65 गुना अधिक सामर्थ्य प्रदान करता हो, क्योंकि स्थल पर कंक्रीट उत्पादन पर, प्रयोगशाला जैसा नियन्त्रण रखना कांठन होता है।

डिजाइन मिक्स कंक्रीट बनाने के लिये, विभिन्न घटकों की मात्रा भार के आधार पर ली जाती है। डिजाइन मिक्स कंक्रीट के ग्रेड M-10 से M-50 तक हो सकते हैं।

डिजाइन-मिक्स कंक्रीट के लिये संस्तुतियाँ I.S. 10262 देखें।

§ 1.9. सीमेंट कंक्रीट के लक्षण गुण-धर्म (Properties of Cement Concrete):

सीमेंट कंक्रीट के मुख्य गुण-धर्म निम्नलिखित हैं—

(i) सामर्थ्य, (ii) टिकाऊपन, (iii) सुकार्यता या सुकरता, (iv) सघनता।

इसके अतिरिक्त एक अच्छी कंक्रीट जल-रोधक, अग्नि-सह, ठोस तथा मितव्ययी भी होनी चाहिये।

(1) सामर्थ्य (Strength)—कंक्रीट की सामर्थ्य इतनी अवश्य होनी चाहिये कि वह अध्यारोपित भार को, सुरक्षा-गुणक बनाये रखते हुये, वहन कर सके। सीमेंट कंक्रीट की सामर्थ्य को प्रभावित करने वाले मुख्य कारक निम्न हैं—

(i) कंक्रीट के विभिन्न घटकों की किस्म तथा सामर्थ्य।

(ii) जल-सीमेंट अनुपात।

(iii) विभिन्न घटकों को उचित प्रकार से मिलाना।

(iv) कंक्रीट की कुटाई।

(v) कंक्रीट की तराई व तापक्रम।

(vi) आयु।

(a) सीमेंट कंक्रीट में प्रयुक्त विभिन्न घटकों की मात्रा व उनकी सूक्ष्मता मापांक (Fineness Modulus), सीमेंट कंक्रीट की सामर्थ्य को बहुत प्रभावित करती है। सीमेंट कंक्रीट की सामर्थ्य जल-सीमेंट अनुपात पर भी निर्भर करती है। जल-सीमेंट अनुपात बढ़ाने से प्राय: कंकीट की सामर्थ्य कम होती है।

(b) कंक्रीट को मिश्रक (mixer) में 1·5 से 2 मिनट तक मिलाना पर्याप्त होता है। अधिक समय तक मिलाने से कंक्रीट के संघटकों का पृथक्कीकरण हो सकता है और इसका प्रारम्भिक पकन (Initial Setting) प्रभावित होता है।

(c) कंक्रीट की कुटाई पूर्ण होनी चाहिये। 95% कुटाई की गई कंक्रीट की सामर्थ्य पूर्णत: कूटी गयी कंक्रीट का 70% होती है, जबकि 85% कुटाई की गयी कंक्रीट की सामर्थ्य केवल 10 से 20% ही रह जाती है।

(d) कंक्रीट में अच्छी सामर्थ्य उत्पन्न करने के लिये, समस्त सीमेंट का जलयोजन होना आवश्यक है। इसके लिये उचित अवधि तक कंक्रीट की तराई की जाती है। सामान्य कंक्रीट के लिये यह अवधि 14 दिन से 28 दिन तक ली जाती है।

(e) तापक्रम का भी कंक्रीट की सामर्थ्य पर प्रभाव पड़ता है। जितना उच्च तापक्रम होगा, उतनी अधिक गति से सीमेंट की जलयोजन क्रिया सम्पन्न होगी और उतनी ही तेजी से कंक्रीट सामर्थ्य ग्रहण करेगी।

(f) कंक्रीट की आयु के साथ-साथ, उसकी सामर्थ्य में भी वृद्धि होती जाती है। पहले इसकी सामर्थ्य में वृद्धि अधिक गति से होती है, परन्तु कुछ समय पश्चात्, वृद्धि की यह दर कम होने लगती है। 28 दिन के पश्चात् कंक्रीट की सामर्थ्य में वृद्धि निम्न दर से होती है—

3 महीने के पश्चात्	= 25%
6 महीने के पश्चात्	= 50%
1 वर्ष के पश्चात्	= 75%
3 वर्ष के बाद	= 100%

(2) टिकाऊपन या चिरस्थायित्व (Durability)—कंक्रीट में उत्तम गुणता का सीमेंट तथा मिलावा प्रयोग करके तथा उचित जल-सीमेंट अनुपात रखकर, भली-भाँति मिलाकर, कुटाई तथा तराई करके, इसे चिरस्थायी बनाया जा सकता है।

अनिश्चित (Un-sound) प्रकार के सीमेंट तथा निम्न कोटि के मिलावे से तैयार कंक्रीट निम्न श्रेणी की होती है। कंक्रीट के रन्ध्रों में पानी, लवण, गैसें इत्यादि घुस जाने से तथा बार-बार तापक्रम में अत्यधिक परिवर्तन होने से कंक्रीट शीघ्र नष्ट होने लगती है।

(3) सुकार्यता (Workability)—सुकार्यता या सुकरता कंक्रीट का वह गुण है, जिसके आधार पर तैयार कंक्रीट बिना **पृथक्कीकरण** (Segregation) अथवा **उत्स्रवण** (Bleeding) के, सुगमता से वांछित कार्य पर प्रयोग की जा सके (डाली व बिछायी जा सके)।

(a) कंक्रीट की सुकार्यता, इसमें मिलाये गये पानी की मात्रा पर निर्भर करती है। कंक्रीट में जितना अधिक पानी होगा, उतना ही यह अधिक आसानी से बिछायी जा सकेगी, परन्तु जल-सीमेंट अनुपात अधिक होने पर, कंक्रीट की सामर्थ्य कम हो जाती है।

(b) आवश्यकता से कम पानी मिलाने पर, कंक्रीट का मोटा मिलावा, महीन मिलावे व सीमेन्ट-पानी की लुग्दी (घोल) से अलग हो जाता है। **इसे पृथक्कीकरण कहते हैं।**

(c) कंक्रीट में आवश्यकता से अधिक पानी मिलाये जाने पर, अतिरिक्त पानी करनी (Trowel) चलाने/कुटाई करते समय कंक्रीट की सतह पर आ जाता है, **जिसे उत्स्रवण कहते हैं।**

(d) कंक्रीट की सुकार्यता बढ़ाने और उत्स्रवण रोकने के लिये इसमें अतिरिक्त सीमेंट डालना उचित नहीं है, क्योंकि इससे कंक्रीट मितव्ययी नहीं रहती हैं।

(e) कंक्रीट की सुकार्यता बढ़ाने के लिये नुकीले मिलावे के स्थान पर गोल व महीन प्रकार का मिलावा प्रयोग किया जा सकता है, परन्तु ऐसा करने पर कंक्रीट की सामर्थ्य प्रभावित होती है।

(f) कंक्रीट के विभिन्न घटकों को मिलाने की पद्धति तथा कुटाई विधि का भी कंक्रीट की सुकार्यता से सम्बन्ध रहता है। कंक्रीट मिश्रक व कम्पक (वाइब्रेटर) का प्रयोग करने से सख्त प्रकार की कंक्रीट भी भली-भाँति मिलाई व बिछाई जा सकती है तथा अपनी सामर्थ्य बनाये रखती है।

(g) कंक्रीट की सुकार्यता बढ़ाने का सबसे अच्छा तरीका, इसके मिलावे का उचित श्रेणीकरण है। उचित श्रेणीकरण से कंक्रीट भी अधिकतम घनत्व वाली प्राप्त होती है। कंक्रीट की सुकार्यता बढ़ाने के लिये कुछ अधिमिश्रण (Admixtures) भी प्रयोग किये जाते हैं। विनसोल व डेरेक्स रेजिन, लिसापोल-एन आदि रासायनिक पदार्थ उचित मात्रा में मिलाने पर कंक्रीट की सुकार्यता बढ़ जाती है, परन्तु अधिक मात्रा में प्रयोग से कंक्रीट की सामर्थ्य कम होती है।

(4) सघनता (Consistency)—कंक्रीट की द्रव के रूप में बहने (Flow) की प्रवृत्ति को सघनता या गाढ़ापन कहते हैं। कंक्रीट में जितना अधिक पानी होगा, उसकी सघनता उतनी ही कम होगी। सघनता तथा सुकार्यता कंक्रीट के दो सम्बन्धित तथ्य हैं। कंक्रीट की सघनता तथा सुकार्यता ज्ञात करने के लिये अवपात परीक्षण (Slump Test) किया जाता है। सारणी 1.4 में विभिन्न कार्यों के लिये अनुज्ञेय अवपात दिये गये हैं।

सारणी 1.4—विभिन्न कंक्रीट कार्यों के लिये अवपात (स्लम्प)

(I.S. 456-2000 Clause 7)

कंक्रीट का उपयोग	अनुज्ञेय स्लम्प (मिमी० में)
1. स्थूल कंक्रीट (Mass Concrete)	25 से 75
2. सामान्य प्रबलित खण्ड (धरन, स्लैब-फर्श तथा नींव)	25 से 75
3. अति प्रबलित खण्ड (स्तम्भ, प्रतिधारक दीवारें)	50 से 100
4. पानी के भीतर कंक्रीट कार्य, पम्पन कंक्रीट	100 से 150
5. सड़क पैवमेन्ट	संहनन गुणक परीक्षण अपनाये

§ 1.10. कंक्रीट-मिक्स डिजाइन (Design of Concrete Mix) :

किसी कार्य विशेष के लिये प्रयोग की जाने वाली कंक्रीट के विभिन्न घटकों के अनुपात का निर्धारण, कंक्रीट-मिक्स डिजाइन कहलाता है। कंक्रीट टेक्नोलॉजी में कंक्रीट-मिक्स का महत्वपूर्ण स्थान है। कंक्रीट का मिक्स निर्धारण अनुभव अथवा परीक्षण व गणना के आधार पर किया जाता है। मिक्स डिजाइन करते समय, कंक्रीट में प्रयोग होने वाली विभिन्न सामग्री के गुणों, उनकी उपलब्धि लागत तथा कंक्रीट की वाँछित सामर्थ्य, कठोरता, आयु का अध्ययन करना आवश्यक होता है।

सीमेंट कंक्रीट का सर्वप्रथम प्रयोग 19वीं शताब्दी में हुआ था। आरम्भ में कंक्रीट केवल इस्पात खण्डों के आवरण के लिये ही प्रयोग की जाती थी। पहले कंक्रीट-मिश्रण का उद्देश्य केवल उचित सामर्थ्य की कंक्रीट प्राप्त करना था और इसके लिये सीमेंट की मात्रा तथा कंक्रीट की कुटाई पर ही विशेष ध्यान दिया जाता था, परन्तु बाद में अनुभव हुआ कि मिलावे में न्यूनतम रिक्ति होने पर, अधिक सामर्थ्य वाली कंक्रीट प्राप्त होती है। पहले कंक्रीट में पानी मिलाने का अर्थ केवल इसको सुघट्य बनाना था ताकि यह उचित आकार में ढाली जा सके। प्रथम विश्व युद्ध के पश्चात् कंक्रीट टेक्नोलॉजी ने बहुत प्रगति की है। प्रोफेसर एब्राम ने 1919 में अनेक परीक्षणों के पश्चात् यह बताया कि कंक्रीट की सामर्थ्य केवल जल-सीमेंट अनुपात से ही ज्ञात की जा सकती है।

कंक्रीट-मिक्स डिजाइन की अनेक विधियाँ हैं। कुछ मुख्य विधियाँ निम्नलिखित हैं—(1) स्वैच्छिक विधि, (2) परख विधि, (3) न्यूनतम रिक्तता विधि, (4) सूक्ष्मता मापांक विधि, (5) जल-सीमेंट अनुपात विधि।

संक्षिप्त वर्णन निम्न हैं—

(1) स्वेच्छा विधि (Arbitrary Method)—इस विधि में सीमेंट, बालू तथा गिट्टी का अनुपात आयतन के आधार पर रखा जाता है। इस विधि से तैयार की गई कंक्रीट की सामर्थ्य अनिश्चित रहती है। यह विधि छोटे व कम महत्व के निर्माण कार्यों में अपनायी जाती है। विभिन्न कार्यें के लिये उपयुक्त मिक्स सारणी 1.5 में दिये गये हैं—

(2) परख विधि (Trial or Maximum Density Method)—इस विधि से, समान आयतन के लिये भिन्न-भिन्न अनुपात में घटकों को मिलाने पर, जो अनुपात सबसे अधिक भारी कंक्रीट उत्पन्न करता है, वह कंक्रीट अधिक सघन और सामर्थ्यवान मानी जाती है।

सारणी 1.5—विभिन्न कार्यों के लिये कंक्रीट मिक्स

कार्य का विवरण	मिक्स	अनुमानित ग्रेड
1. स्तम्भ, डाट, भारी धरन इत्यादि।	1 : 1 : 2	M–25
2. पानी के टैंक, प्रतिधारक दीवारें, पाइलें, पूर्व निर्मित अवयव, मध्यम भारित स्तम्भ, धरन-रहित स्लैब, छतें, पुल इत्यादि।	1 : 1·5 : 3	M–20
3. धरन, स्लैब स्तम्भ, लिन्टल, साइलो, संचय टैंक, नींव कार्य, सड़क, फर्श, पुलिया, इत्यादि।	1 : 1·5 : 3 अथवा 1 : 2 : 4	M–20 या M–15
4. स्थूल, कंक्रीट, मशीन की नींव, कोपिंग, इत्यादि।	1 : 3 : 6	M–10
5. स्थूल कंक्रीट, बांध, नीव का कंक्रीट-ब्लाक, फर्श तथा सड़क का आधार (Base Coat) इत्यादि	1 : 4 : 8 से 1 : 6 : 12	M–7·5 से M–5

(3) न्यूनतम रिक्तता विधि (Minimum Voids Method)—इस विधि के अनुसार मोटे कणों वाले घटक की रिक्तियों में महीन घटक के कण भर जाने चाहियें। अत: कंक्रीट तैयार करने के लिये, सीमेंट की मात्रा, महीन मिलावे (बालू) की रिक्तियों से थोड़ा अधिक रखी जाती है और महीन मिलावे की मात्रा, मोटे मिलावे (गिट्टी) की रिक्तियों से थोड़ा अधिक रखी जाती है।

(4) सूक्ष्मता मापांक विधि (Fineness Modulus Method)—सूक्ष्मता मापांक एक संख्यात्मक गुणक है, जो मिलावे के कणों के औसत आकार को दर्शाता है। मिलावा जिस कदर मोटा होगा, उसका सूक्ष्मता मापांक भी उसी क्रम में अधिक होगा।

महीन मिलावे (बालू) तथा मोटे मिलावे (गिट्टी) का सूक्ष्मता मापांक ज्ञात करने के लिये, दोनों को अलग-अलग मानक चलनियों (Sieves) के सैट से छाना जाता है। सैट के अन्तर्गत क्रमण में 40 mm, 20 mm, 10 mm, 4·75 mm, 2·36 mm, 1·18 mm, 600 micron, 300 micron तथा 150 micron की 9 चलनियाँ आती हैं।

महीन तथा मोटे मिलावे के लिये कुछ सूक्ष्मता मापांक सारणी 1.6 में दिये गये हैं, जिनको अपनाने से सीमेंट की न्यूनतम मात्रा से अच्छी सुकार्यता वाली कंक्रीट तैयार की जा सकती है।

सारणी 1.6—सूक्ष्मता मापांक (Fineness Modulus – F.M.)

मिलावे का अधिकतम माप	सूक्ष्मता मापांक	
	न्यूनतम	अधिकतम
(a) महीन मिलावा—	2	3·5
(b) मोटा मिलावा— 20 mm	6	6·9
40 mm	6·9	7·5
75 mm	7·5	8·0
150 mm	8·0	8·5

(5) जल, सीमेंट अनुपात विधि (Water Cement Ratio Method)—इस सिद्धान्त के अनुसार कंक्रीट के मिलावे का श्रेणीकरण एवं अनुपात, कंक्रीट की सामर्थ्य, कुटाई, सुकार्यता इत्यादि सभी कारक

जल-सीमेंट अनुपात पर निर्भर करते हैं। जब हम मिश्रण को अधिक बलशाली बनाने के लिये, इसमें अधिक सीमेंट मिलाते हैं, तो वास्तविकता यह है कि हम कंक्रीट में पानी की मात्रा कम कर रहे हैं, अर्थात जल-सीमेंट अनुपात कम कर रहे हैं। यही प्रोफेसर एब्राम का मत है।

जल-सीमेंट अनुपात का निर्धारित मान बनाये रखने के लिये, मिलावे (मोटा व महीन) में विद्यमान नमी की मात्रा पर ध्यान देना आवश्यक है। मिलावे में नमी की उपस्थिति को देखते हुये, कंक्रीट में मिलाये जाने वाले पानी की मात्रा को समायोजित कर लेना चाहिये।

जल-सीमेंट अनुपात के आधार पर प्रति घन मी० विभिन्न प्रकार की कंक्रीट के लिये घटकों की आवश्यक मात्रा सारणी 1.7 में दी गई है।

सारणी 1.7—प्रति घन मीटर (नामन मिक्स) कंक्रीट के लिये संघटक

कंक्रीट अनुपात (सीमेंट : महीन मिलावा : मोटा मिलावा)	जल सीमेन्ट (w/c) अनुपात	पानी	सीमेंट		मिलावा	
		प्रति बोरा पानी की मात्रा (लीटर में)	संख्या (बोरो में)	भार (कि०ग्रा०)	महीन (ली० में)	मोटा (ली० में)
1 : 1 : 2 (M – 25)	0·30	15	11·2	560	192	784
1 : $1\frac{1}{2}$: 3 (M – 20)	0·42	21	7·9	395	414	828
1 : 2 : 4 (M – 15)	0·55	27·5	6·2	310	434	868
1 : 3 : 6 (M – 10)	0·75	37·5	4·3	215	452	904
1 : 4 : 8 (M – 7·5)	0·95	47·5	3·3	165	462	924

नोट–उपरोक्त सारणी में महीन व मोटे मिलावे में रिक्ति क्रमश: 40% व 45% ली गई हैं।

§ 1.11. कंक्रीट के घटकों का मापन (Measurements of Material for Preparing Concrete) :

सादा सीमेंट कंक्रीट का भार 24 kN/m^3 और प्रबलित सीमेंट कंक्रीट का भार 25 kN/m^3 लिया जाता है।

कंक्रीट तैयार करने के लिये, इसमें प्रयुक्त घटकों की मात्रा का मापन निम्न प्रकार किया जात है—

(1) **सीमेंट**—आयतन के अनुसार सीमेंट का प्रयोग करने में त्रुटि हो सकती है, क्योंकि पात्र में हल्की भरी हुई एक घन मीटर सीमेंट का भार 1120 kg होता है जबकि अच्छी प्रकार से दबाकर भरने पर उसी आयतन में 1700 kg तक सीमेंट आ जाती है। इसलिये सीमेंट को सदैव **भार के अनुसार** लिया जाता है।

एक बोरी सीमेंट का मानक (शुद्ध) भार 50 kg होता है, जिसका आयतन 0·0347 घन-मी० अथवा 35 लीटर (शुद्ध 34·7 लीटर) लिया जाता है (एक घन मीटर में 30 बोरी सीमेंट आती है)।

(2) **महीन मिलावा (बालू)**—बालू के कणों में नमी होने से, इसका आयतन बढ़ जाता है। 4-6% नमी पर इसके आयतन में 20 से 35% तक बढ़ोत्तरी हो जाती है। अत: बालू का मापन करते समय इस तथ्य को सामने रखा जाता है। बालू बिल्कुल सूखा होना चाहिये। गीला होने पर, उसी दर पर बढ़ाकर लेना चाहिये।

बालू को मापने के लिये, लकड़ी अथवा लोहे का बक्सा, जिसका भीतरी माप 30 cm × 30 cm × 39 cm अथवा 35 cm × 35 cm × 28 cm होता है, प्रयोग किया जाता है। इस बक्से में 0·035 घन-मीटर बालू आ सकता है, जो एक बोरा सीमेंट के आयतन के बराबर होता है।

पूर्णत: सूखे बालू के एक घन मीटर आयतन का भार 1600 kg लिया जाता है।

(3) **मोटा मिलावा (गिट्टी)**—इसका मापन, भार या आयतन दोनों के अनुसार हो सकता है। यदि गिट्टी गीली है तो जल-सीमेंट अनुपात में आवश्यक परिवर्तन किया जाना चाहिये। गिट्टी को बालू वाले बक्सों में भर कर मापा जाता है। 13 मि० मी० पत्थर की गिट्टी का भार 1920 kg प्रति घन-मी० तथा 38 मि० मी० गिट्टी का भार 1440 kg प्रति घन-मी० लिया जाता है।

(4) **पानी**—इसका मापन, भार अथवा आयतन में किया जाता है। लीटरों के अनुसार मानक पात्र बना लिये जाते हैं, जिनको हाथों अथवा यान्त्रिक विधि से भरकर कंक्रीट मिश्रक मे पलट दिया जाता है।

छोटे कार्यों के लिये सामान्यत: सीमेंट को बोरों की संख्या में तथा मिलावे को मानक आयतन के बक्सों में भरकर माप लिया जाता है, परन्तु बड़े तथा महत्व के कार्यों पर, जहाँ नियन्त्रित कंक्रीट प्रयोग की जाती है, सभी घटकों का भार के अनुसार मापन किया जाना चाहिये।

कंक्रीट के लिये आवश्यक सामग्री का भण्डारण I.S. 4082 के अनुरूप करना चाहिये।

§ 1.12. कंक्रीट तैयार करना (Mixing of Concrete) :

कंक्रीट तैयार करने की दो विधियाँ हैं—

(1) हस्त मिश्रण विधि (Hand Mixing Method)

(2) मशीन मिश्रण विधि (Machine Mixing Method)

सम्भव होने पर सभी कंक्रीट तैयार करने के लिये मशीन मिश्रण विधि अपनानी चाहिये।

(1) **हस्त मिश्रण विधि**—जब कंक्रीट कम मात्रा में तैयार करनी हो, तब हस्त मिश्रण विधि अपनायी जा सकती है। कंक्रीट ऐसे पक्के प्लेटफार्म पर मिलानी चाहिये, जो पानी न सोखता हो।

सर्वप्रथम महीन मिलावे तथा सीमेंट को उचित मात्रा में लेकर, किसी पक्के फर्श/स्थान पर डालकर, सूखे ही फावडे से अच्छी तरह मिलाया जाता है। अब इसके ऊपर मोटा मिलावा डालकर पुन: फावडे से अच्छी तरह सूखा ही मिलाया जाता है। अब इस पर जल-सीमेंट अनुपात के अनुसार पानी डालकर, फावड़े से उथल-पुथल करके, खूब अच्छी तरह मिलाया जाता है। यह क्रिया तब तक की जाती है, जब तक कंक्रीट का सुकर मिश्रण तैयार न हो जाये।

तैयार कंक्रीट को तैगरियों में भरकर, निर्माण स्थल पर ले जाकर डाल दिया जाता है। क्योंकि साधारण सीमेंट पानी मिलाने के बाद जमना (Setting) शुरु हो जाता है, अत: कंक्रीट इतनी मात्रा में तैयार करनी चाहिये, जिसे 30 मिनट के भीतर निर्माण स्थल पर डालकर, इसकी कुटाई पूर्ण की जा सके।

साधारणत: एक बार में, सीमेंट के एक बोरे (50 kg) की कंक्रीट तैयार की जाती है।

हस्त मिश्रण विधि से कंक्रीट तैयार करने पर, इसमें 10% अधिक सीमेंट प्रयोग की जानी चाहिये, क्योंकि मशीन मिश्रण की तुलना में, हाथ से मिलाने तथा कुटाई करने में कम दक्षता आ पाती है।

(2) मशीन मिश्रण विधि—मध्यम व बड़े निर्माण कार्यों तथा उत्तम गुणता की कंक्रीट के लिये मिश्रक (Mixer) द्वारा कंक्रीट तैयार की जाती है। मिश्रक में कंक्रीट तब तक मिलाते रहना चाहिये, जब तक यह समान रंग व सघनता की दिखायी लगनी लगे। सामान्यत: यह काल $1\frac{1}{2}$ से 2 मिनट लिया जाता है। मिश्रक अनेक प्रकार के होते हैं। विभिन्न घटकों को मिश्रक तक लाने तथा तैयार कंक्रीट को निर्माण स्थल तक ले जाने के लिये ट्रक, ट्राली, चल-पट्टे, पाइप, पम्प इत्यादि प्रयोग किये जाते है।

§ 1.13. कंक्रीट डालना (Placing of Concrete) :

(a) कंक्रीट तैयार करने के पश्चात् इसको आधे घण्टे के भीतर निर्माण स्थल पर ले जाकर डाल देना चाहिये तथा इसकी कुटाई पूर्ण कर लेनी चाहिये, क्योंकि इस अवधि के बाद कंक्रीट का अन्तिम पकन (Final Setting) शुरु हो जाता है। इस अवधि के पश्चात् कंक्रीट को विचलित (Disturb) नहीं करना चाहिये। 10 घण्टे के पश्चात् कंक्रीट पूरी तरह से सैट हो जाती है।

(b) छोटे कार्यों पर कंक्रीट तैगरियों से भरकर डाली जाती है, परन्तु बड़े कार्यों पर रेढ़ियों (Wheel Barrows), बुग्गी डम्पर (Dumpers), पलटाऊ ठेले (Tipping Lorries), शूट (Chute), चल-पट्टे (Belt-Conveyors) इत्यादि प्रयोग किये जाते हैं। कंक्रीट डालते समय प्रबलन छड़ों व फरमाबन्दी को क्षति नहीं पहुँचनी चाहिये।

(c) कंक्रीट को ऊँचाई से नहीं फेंकना चाहिये, क्योंकि ऐसा करने से मोटा मिलावा बिखर जाता है और कंक्रीट का पृथक्कीकरण (Segregation) हो जाता है। पात-ऊँचाई 1·50 मी० से अधिक नहीं होनी चाहिये।

(d) कंक्रीट की ऊपरी सतह की फिनिशिंग करते समय अधिक करनी (Trowel) नहीं चलानी चाहिये और न ही अलग से सूखा सीमेंट डालना चाहिये। ऐसा करने पर, सतह पर बाद में महीन दरारें (Hair Cracks) प्रकट होने लगती हैं।

(e) कंक्रीट जब अधिक मोटाई में डालनी हो तो एक बार में 15-30 से० मी० से अधिक मोटी परत नहीं डालनी चाहिये और पहली परत की आवश्यक कुटाई करने के पश्चात् ही इसके ऊपर दूसरी परत डालनी चाहिये।

§ 1.14. कंक्रीट के लिये फरमाबन्दी (Form Work) :

(a) गीली कंक्रीट को वांछित आकार में डालने/ढालने के लिये तथा इसे इधर-उधर फैलने से रोकने के लिये, इसे अस्थायी तौर पर सहारे की आवश्यकता रहती है। यह सहारा लकड़ी अथवा लोहे का ढूला (Centering) एवं तख्ता बन्दी (Shuttering) करके दिया जाता है। फरमाबन्दी पर्याप्त दृढ़ होनी चाहिये ताकि यह गीली कंक्रीट का भार, मजदूरों का भार तथा कुटाई करते समय उत्पन्न संघट्ट सहन कर सके और नीचे को झुके नहीं अन्यथा पूरी रचना नीचे को लटक जायेगी।

(b) कंक्रीट के सैट हो जाने के पश्चात् जब यह अपना तथा अपने ऊपर पड़ने वाले भार को सम्भालने योग्य हो जाये, तब उपरोक्त फरमाबन्दी हटा दी जाती है। सामान्य प्रकार की फरमाबन्दी चित्र 1.3 में दिखाई गई है।

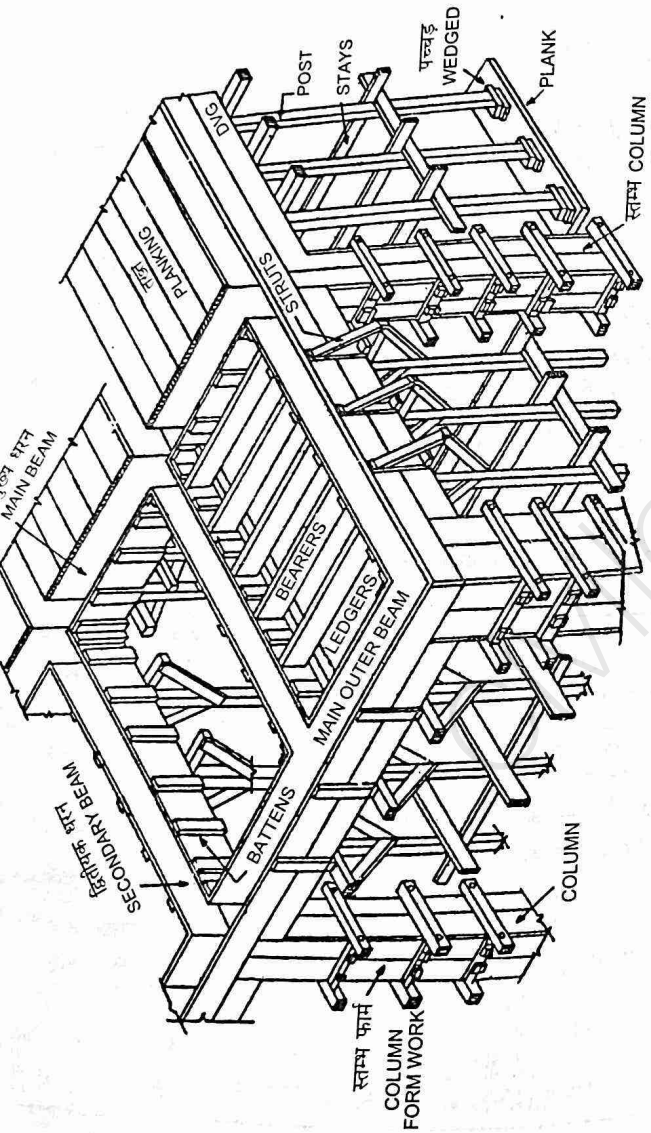
(c) कंक्रीट डालने से पहले, फरमाबन्दी की भीतरी सतह साफ कर लेनी चाहिये तथा इसकी तली एवं साइडों पर ग्रीस-तेल लगा देनी चाहिये ताकि गीली कंक्रीट इससे चिपक न जाये। फरमा- बन्दी के खोल (ढाँचे) से गीला मसाला बाहर नहीं निकलना चाहिये, अत: इसके जोड़ों का जल-रोधक होना आवश्यक है।

(d) जब तक गीली कंक्रीट पर्याप्त सामर्थ्य न ग्रहण कर ले, फरमाबन्दी मौके पर बनी रहनी चाहिये। सामान्य स्थिति में, जब क्षेत्र का तापमान 15°C से ऊपर हो, कंक्रीट सामान्य पोर्टलैण्ड सीमेन्ट (O.P.C.) से तैयार की गयी हो और इसकी आवश्यक तराई (Curing) भी की गयी हो, प्रबलित कंक्रीट के विभिन्न अवयवों की फरमाबन्दी हटाने की अवधि सारणी 1.8 में दी गयी है।

(e) फरमाबन्दी हटाते समय बड़ी सावधानी बरतनी चाहिये और इसे धीरे-धीरे हटाना चाहिये। पहले पार्श्व के खड़े तख्ते हटाये जाते हैं, इसके बाद टेकें अलग की जाती हैं। प्रबलन की गलत स्थिति, कंक्रीटिंग तथा अन्य किसी संरचनात्मक दोष के कारण, ढालित अवयवों के नीचे गिर जाने अथवा लटक जाने का भय रहता है, जिसके फलस्वरूप कोई दुर्घटना हो सकती है। सावधानीपूर्वक फरमाबन्दी हटाने से इसकी टूट-फूट भी कम होती है तथा इसका पुन: प्रयोग हो सकता है। तख्ते हटाते समय कंक्रीट सतह अथवा अवयव के किनारों को क्षति नहीं पहुँचनी चाहिये।

सारणी 1.8—फरमाबन्दी हटाने की न्यूनतम अवधि (Striking Form Work)
(I.S. 456 : 2000)

कंक्रीट अवयव का नाम	फरमाबन्दी हटाने की अवधि	
	साधारण सीमेंट कंक्रीट	शीघ्र बल-ग्राही सीमेंट कंक्रीट
(i) छोटे धरनों, स्तभों तथा दीवारों की पार्श्व (खड़ी) तख्ता बन्दी (Vertical Shutterings)	16 से 24 घण्टे	12 घण्टे
(ii) स्लैब (जबकि नीचे की टेकें यथावत लगी रहें)	3 दिन	2 दिन
(iii) स्लैब के नीचे की टेकें हटाना—		
(a) 4·5 मी० पाट तक	7 दिन	5 दिन
(b) 4·5 मी० से अधिक पाट	14 दिन	10 दिन
(iv) भारी धरनों की पार्श्व की तख्ता बन्दी हटाना	7 दिन	5 दिन
(v) डाटों, भारी धरनो व कैन्टीलीवर (प्रास) की फरमाबन्दी हटाना—		
(a) 6 मी० पाट तक	14 दिन	10 दिन
(b) 6 मी० से अधिक पाट	21 दिन	14 दिन



चित्र 1.3—फरमाबन्दी (From Work for R.C. Structures)

§ 1.15. कंक्रीट की कुटाई (Compaction of Wet Concrete) :

निर्माण स्थल पर डालने के बाद, गीली कंक्रीट की कुटाई की जाती है, ताकि इसके पिण्ड उपस्थित वायु के बुलबुले बाहर निकल जायें और कंक्रीट ठोस घन जाये। कुटाई करने से, कंक्रीट स ठोस, अपारगम्य तथा सामर्थ्यवान बन जाती है। कंक्रीट की कुटाई तब तक की जाती है, जब तक कंक्र मिश्रण की क्रीम ऊपर सतह पर आनी शुरु न हो जाये। अधिक कुटाई करने पर कंक्रीट का पृथक्कीकर हो जाता है जबकि अधूरी कुटाई पर कंक्रीट में वायु फँसी रह जाती है। कंक्रीट की 95% तक कुट करने पर 70% सामर्थ्य प्राप्त होती है जबकि 85% कुटाई पर केवल 10 से 20% सामर्थ्य ही आ पाती

कंक्रीट की कुटाई दो प्रकार से की जाती है—

(i) हस्त कुटाई (Hand Compaction or Tamping)

(ii) यान्त्रिक कुटाई (Mechanical Compaction)

(a) कंक्रीट की हस्त कुटाई करने के लिये छड़ों (Rods), दुरमुट (Rammer) अथवा टैम्पर्स (Tampe का प्रयोग किया जाता है। स्तम्भों की कुटाई लम्बी इस्पातीय छड़ों द्वारा की जाती है, क्योंकि उ दुरमुट चलाना कठिन होता है।

(b) कंक्रीट की यान्त्रिक कुटाई करने के लिये यान्त्रिक कम्पक (Vibrators) प्रयोग किये जाते है। मोटर शक्ति अथवा सम्पीडित वायु से चलाते हैं और गीली कंक्रीट में कम्पन उत्पन्न करते है, जि कंक्रीट में फँसी वायु बाहर निकल जाती है और वह स्थिर हो जाती है। (I.S. 2505, 2514, 4656

जब कंक्रीट की बाह्य कम्पक से कुटाई करनी हो, तब फरमाबन्दी पर्याप्त दृढ़ होनी चाहिये

§ 1.16. कंक्रीट की तराई (Curing of Concrete) :

स्थिर (सैट) हुई कंक्रीट पर कुछ अवधि तक पानी छिड़कते रहना तथा इसे नम (गीला) र रखने की क्रिया को, कंक्रीट की तराई कहते हैं। तराई-काल में सीमेंट अपनी रासायनिक क्रिया पूरी के लिये पानी की आवश्यक मात्रा ग्रहण करता है। **जितनी कंक्रीट की तराई अधिक होगी, उसकी साम उतनी ही अधिक बढ़ जायेगी।** अत: कंक्रीट की तराई बहुत आवश्यक है। कंक्रीट कितनी छी प्रब से क्यों न बनाई या डाली गई हो, यदि इसकी तराई ठीक ढंग से नहीं होती है, तो कंक्रीट ...नी वांछि सामर्थ्य ग्रहण नहीं कर पाती है। आरम्भ में तराई का प्रभाव बहुत तेजी से होता है, परन्तु जैसे-जैसे कंक्री में सामर्थ्य आती जाती है, यह प्रभाव कम होता जाता है।

(a) तराई की अवधि वायुमण्डलीय दशा, जैसे सीधी धूप, वायु, वर्षा आदि पर भी निर्भर करती है। र होने पर, कंक्रीट सतह की तराई स्वयं हो जाती है, परन्तु कंक्रीट तब तक सैट हो जानी चाहि

(b) सामान्य परिस्थितियों में 7 से 10 दिन तक की तराई पर्याप्त होती है, परन्तु गर्म मौसम मे यह अव 14 से 21 दिन तक बढ़ाई जा सकती है।

(c) क्षैतिज सतहों पर पानी भरकर (Ponding) अथवा गीली रेत फैलाकर कंक्रीट को तराई की जा है। ऊर्ध्वाधर सतहों पर गीले टाट (Sacking/Canvas/Hessian) लपेटकर या डालकर तराई क जाती है। टाट पर समय-समय पर पानी छिड़ककर इसे गीला रखा जाता है।

(d) पूर्व निर्मित कंक्रीट अवयवों के लिये भाप (Steam) द्वारा तराई की जाती है। इसमे समय व लगता है।

ं) आजकल कंक्रीट सतह पर जल-सह यौगिकों का लेप करके अथवा जल-सह कागज या पोलीथिन (Polyethylene) की शीटें डालकर तथा कंक्रीट पिण्ड के पानी का वाष्पीकरण रोककर, कंक्रीट की तराई की जाती है। इसे **झिल्ली तराई** (Membrane Curing) कहते हैं।

1.17. निरक्षण (Supervision) :

कंक्रीट कार्य सक्षम अधिकदर्शक की निगरानी में सम्पन्न किया जाना चाहिये, क्योंकि एक बार थल पर (कंक्रीट) डालने के बाद और जमाव काल (Final Setting) शुरु हो जाने पर, कंक्रीट पिण्ड में छेड़-छाड़ ठीक नहीं है। ऐसा करने से कंक्रीट की सामर्थ्य प्रभावित होती है और समय व व्यय अधिक लगता है। कंक्रीट डालने से पहले प्रबलन छडों के जाल की तथा छड़ों की निर्धारित दूरी (Spacing) की जांच अति आवश्यक है।

1.18. विशेष स्थितियों में कंक्रीट कार्य (Concreting in Special Situations) :

1) पानी के नीचे कंक्रीट डालना—गहरे पानी के नीचे कंक्रीट डालना एक कठिन कार्य है। समुद्री निर्माण कार्यों, गोदियों, नदियों के पुलों की गहरी नीवों तथा जल-मग्न भूमि पर निर्माण करते समय, पानी के अन्दर कंक्रीट बिछाना आवश्यक हो जाता है। यदि पानी की गहराई कम है तो निर्माण स्थल के चारों ओर काफर बाँध (Coffer Dam) बनाकर, स्थल को जल रहित कर लिया जाता है। परन्तु जब ऐसा करना सम्भव न हो, तो ऊपर से ही कंक्रीट पानी की तली तक पहुँचायी जाती है। कंक्रीट को ऊँचाई से नहीं फैंकना चाहिये, क्योंकि ऐसा करने से मिलावे का पृथक्कीकरण हो जाता है और सीमेंट पानी में घुल जाती है। कंक्रीट डालने का कार्य लगातार चलते रहना चाहिये, जब तक पूरी गहरायी तक कंक्रीट न पड़ जाये। कंक्रीट पिण्ड में सलवटें (Seams) नहीं पड़नी चाहिये।

पानी के अन्दर सामान्यत: सादा सीमेंट कंक्रीट ही प्रयोग की जाती है और इसकी कुटाई नहीं की जाती है। सम्पर्क पानी में सादा कंक्रीट M-20 ग्रेड से कम नहीं होनी चाहिये। यदि प्रबालित कंक्रीट डालनी है तो M-30 ग्रेड से कम सामर्थ्य वाली नहीं होनी चाहिये। पानी के अन्दर प्रयोग की जाने वाली कंक्रीट में सीमेंट की मात्रा 10% अधिक रखी जाती है ताकि जो सीमेंट पानी में घुल जाये, उसकी क्षतिपूर्ति हो सके। कंक्रीट में सीमेन्ट की मात्रा 350 kg/m^3 से कम नहीं होगी। जल-सीमेंट अनुपात 0·6 से अधिक नहीं होना चाहिये। कंक्रीट का स्लम्प 100 mm से कम तथा 180 mm से अधिक नहीं होना चाहिये।

यदि सम्भव हो तो पानी के अन्दर पूर्व-ढालित (Pre-cast) अवयवों को वरीयता देनी चाहिये। पूर्व-ढालित खण्ड उपयुक्त माप में, भली प्रकार तराई किये गये होने चाहिये।

पानी के अन्दर कंक्रीट बिछाने की विधियाँ निम्नलिखित हैं—

(i) ट्रेमी द्वारा (By Tremie)
(ii) तली से खुलने वाले बक्सों द्वारा (By Skips)
(iii) बोरों में कंक्रीट भरकर डालना (By Concrete Filled Bags)
(iv) ग्राउटिंग (अभिपूरण) द्वारा (By Grouting)।

(i) ट्रेमी द्वारा पानी के भीतर कंक्रीट डालना—यह 20 से 30 cm व्यास का, उचित लम्बाई का पाइप होता है, जिसका ऊपरी सिरा हापर (Hopper) आकार का बना होता है तथा तली के पास, भीतर में एक चैक वाल्व लगा रहता है। यह वाल्व कंक्रीट को तो नीचे जाने देता है, परन्तु नीचे से

पानी को पाइप के अन्दर आने से रोकता है। ट्रेमी पाइप की सामर्थ्य पर्याप्त होनी चाहिये ताकि यह जल-दाब के कारण पिचक न जाये।

ट्रेमी को कंक्रीटिंग स्थल पर खड़ा करके, ऊपर से तैयार कंक्रीट डाली जाती है, जो नीचे पानी की तली पर जा पड़ती है। कंक्रीटिंग करते समय पाइप को धीरे-धीरे ऊपर उठाते जाते हैं परन्तु ध्यान रहे कि इसका निचला सिरा थोड़ा कंक्रीट के अन्दर बना रहे।

(ii) तली से खुलने वाले बक्सों द्वारा—ऊपर से ढक्कन-बन्द इन बक्सों या डोलों की तली कीलीदार (Hinged) होती है, जो एक रस्सी द्वारा ऊपर से नियन्त्रित की जाती है। बक्से में कंक्रीट भर कर, इसे पानी के अन्दर उचित स्थान पर टिका दिया जाता है और रस्सी खींचकर, तली को खोल दिया जाता है, जिससे कंक्रीट यथा-स्थान पर पड़ जाती है। तब खाली बक्से को ऊपर खींच लिया जाता है।

बक्से को कंक्रीट से पूरा भर लेना चाहिये तथा इसे धीरे-धीरे पानी में नीचे उतारना चाहिये।

(iii) बोरों में कंक्रीट भरकर डालना—यह विधि बहते पानी में कंक्रीटिंग करने के लिये अपनायी जाती है। टाट के खाली बोरों में दो-तिहाई तक कंक्रीट भर कर तथा इनका मुँह बन्द करके, ये गोताखोरों (Divers) द्वारा अथवा अन्य व्यवस्था से, यथास्थान पर एक के ऊपर एक, चिनाई खण्डों की भाँति (Header and Stretcher Courses) रख दिये जाते हैं, जो सैट हो जाने पर कंक्रीट की दीवार का रूप धारण कर लेते हैं।

(iv) ग्राउटिंग द्वारा—नये कार्य व मरम्मत आदि के लिये ग्राउटिंग द्वारा सीमेंट कंक्रीट व सीमेंट मसाला यथास्थान पर दाब से (0·2 N/mm^2) डाला/भरा जाता है। पाइप का व्यास 38 से 50 mm होना चाहिये। कंक्रीट को स्थिति में रोके रखने के लिये, यथास्थान पर 6 mm मोटी तार की जाली का घेरा (Cage) बनाकर खड़ा कर दिया जाता है और जाल के बाहरी तरफ भाटे गिट्टी भर कर इसे स्थिर कर दिया जाता है। अब ग्राउटिंग द्वारा जाल के भीतर कंक्रीट भर दी जाती है।

(2) अधिक ठण्डे मौसम में कंक्रीट डालना—सामान्यत: कंक्रीट कार्य के लिये 15°C से 40°C का तापमान उपयुक्त रहता है। अधिक ठण्ड के प्रभाव से कंक्रीट की जलयोजन क्रिया की दर में कमी आ जाती है। कंक्रीट के कठोर होने में अधिक समय लगता है और इसको फरमाबन्दी अधिक समय तक बनाये रखना आवश्यक हो जाता है। इससे कंक्रीट-कार्य की लागत बढ़ती है। ठण्ड के कारण कंक्रीट अपनी चरम सामर्थ्य तक नहीं पहुँच पाती है। 0°C पर कंक्रीट कार्य करने पर, यह अपनी चरम सामर्थ्य का केवल 50% ही प्राप्त कर पाती है जबकि –10°C पर यह अपनी चरम सामर्थ्य का 30% मान ही ग्रहण कर पाती है। अधिक ठण्ड के कारण, कंक्रीट के भीतर का पानी जमकर फैलने लगता है। इस प्रसार के कारण संरचना नष्ट हो जाती है।

अधिक ठण्डे क्षेत्रों में कंक्रीट कार्य करते समय निम्नलिखित सावधानियाँ तथा उपाय बरतने चाहिये–

(a) कंक्रीट डालते समय तथा तराई काल में कंक्रीट का उचित तापमान बनाये रखना चाहिये। ताजा कंक्रीट को 2 दिन तक हिमीकरण से बचाना आवश्यक होता है।

(b) कंक्रीट की सतह पर, तिरपाल, खाली बोरे अथवा भूसा की परत डाल कर, संरचना को ठण्ड के प्रभाव से बचाना चाहिये।

(c) कंक्रीट मे विशेष सीमेंट, जैसे—शीघ्र बलग्राही सीमेंट, उच्च एलुमिना सीमेंट का प्रयोग करना चाहिये अथवा साधारण सीमेंट की मात्रा बढ़ा देनी चाहिये।

(d) कंक्रीट में त्वरक (Accelerators) का प्रयोग करना चाहिये। सामान्यत: इसके लिये 2 से 4% कैल्शियम क्लोराइड का प्रयोग किया जाता है। यह कंक्रीट के आन्तरिक तापमान को बढ़ाती है तथा सुकार्यता में सुधार लाती है।

(e) अधिक ठण्ड में कंक्रीट के मिलावे को गर्म करके प्रयोग करना चाहिये। मिलावे को 25°C तक गर्म किया जाता है। कंक्रीट में मिलाये जाने वाले पानी को भी 60°C तक गर्म करके प्रयोग करना चाहिये। मिलावा गर्म करने के लिये कुण्डलीदार पाइप को इसके ढेर में दबा दिया जाता है, जिसमे गर्म पानी अथवा भाप प्रवाहित की जाती है।

ग) गर्म ऋतु में कंक्रीट डालना–अत्यधिक तापक्रम पर कंक्रीट कार्य नहीं करना चाहिये, क्योंकि गर्मी के कारण कंक्रीट में उपस्थित पानी का शीघ्र वाष्पीकरण हो जाता है, जिससे सीमेंट की जलयोजन क्रिया अच्छी प्रकार से सम्पन्न नहीं हो पाती है। कंक्रीट की सतह पर संकुचन होता है तथा दरारें पड़ जाती हैं, जिन्हें बाद में बन्द करना कठिन हो जाता है। 40°C से ऊँचे तापक्रम पर कंक्रीट तैयार करने तथा बिछाने में, सीमेंट की पकन तथा कठोरता-दर तो अवश्य तेज हो जाती है, परन्तु अन्तिम सामर्थ्य बहुत कट जाती है। ताजी कंक्रीट को सूर्य की सीधी किरणों तथा शुष्क वायु से बचाना चाहिये क्योंकि पानी के शीघ्र सूख जाने पर, कंक्रीट की कुटाई में कठिनाई आती है।

अधिक गर्म ऋतु, मे कंक्रीट कार्य करते समय निम्नलिखित सावधानियाँ बरतनी चाहिये—

(a) महत्वपूर्ण संरचनओं का कंक्रीट कार्य, बहुत अधिक गर्म मौसम में, यदि सम्भव हो तो बन्द कर देना चाहिये। तेज दोपहरी में कार्य करने के स्थान पर रात्रि में कंक्रीट डालनी अच्छी रहती है।

(b) कंक्रीट मिलाने के लिये ठण्डे पानी का प्रयोग करना चाहिये।

(c) महीन तथा मोटे मिलावे को पेड़ या शैड के नीचे स्टोर करना चाहिये। मिलावे के गर्म हो जाने पर, उस पर पानी डालकर तापमान कम कर लेना चाहिये।

(d) कंक्रीट डालने से पहले तख्ता-बन्दी तथा प्रबलन-इस्पात पर पानी छिड़क देना चाहिये।

(e) गीली कंक्रीट को तिरपाल से अथवा अन्य व्यवस्था करके, ऊपर से ढाँप देना चाहिये।

(f) कंक्रीट की तराई पूर्ण तथा लगातार करनी चाहिये।

(g) कंक्रीट में मन्दक (Retarders) का प्रयोग करके, इसकी जलयोजन क्रिया की दर कम करने के उपाय करने चाहिये।

घ) कंक्रीट को जल-रोधक बनाना–अच्छी प्रकार से मिक्स निर्धारित कर, विभिन्न घटकों को उचित अनुपात में मिलाकर, ध्यानपूर्वक डाली, कुटाई तथा तराई की गई कंक्रीट स्वयं ही जल-रोधक होती है। इसको अपारगम्य बनाने के लिये जल-सह यौगिकों (Water-Proof Compounds) के मिलाने की कोई आवश्यकता नहीं है। सघन कंक्रीट, जिनमें न्यूनतम वायु-रिक्तियाँ हों, पानी से बहुत कम प्रभावित होती हैं और साधारण कार्यों के लिये सन्तोषजनक रहती है। अपारगम्य कंक्रीट तैयार करने के लिये निम्नलिखित बातें ध्यान में रखनी चाहियें—

(a) कंक्रीट के लिये फैक्टरी से सीधा लाया गया नया सीमेंट प्रयोग करना चाहिये। अधिक लम्बे काल तक स्टोर किए गये सीमेंट की सामर्थ्य काफी घट जाती है (6 महीने पुराने सीमेंट की सामर्थ्य 75% तथा एक वर्ष तक स्टोर किये गये सीमेंट की सामर्थ्य 50% तक कम हो जाती है)।

(b) कंक्रीट के लिये उपलब्ध बढ़िया से बढ़िया मिलावा प्रयोग करना चाहिये, जो घास-पात तथा अन्य अशुद्धियों से मुक्त हो।

(c) विभिन्न मिलावों का अनुपात, सूक्ष्मता मापांक विधि द्वारा निर्धारित करना चाहिये और पानी की मात्रा जल-सीमेंट अनुपात के अनुसार रखनी चाहिये।

(d) कंक्रीट के विभिन्न घटकों को अच्छी प्रकार मिलाया जाये तथा कंक्रीट डालते, कूटते व तराई करते समय विशेष सावधानी बरतनी चाहिये।

विशेष स्थितियों में जहाँ कंक्रीट रचनायें सीधी पानी के स्पर्श में आती हैं, जैसे—जल-संग्रह टैंक, प्रतिधारक दीवारें, जल-ग्रस्त नीवें, तहखाने इत्यादि को जल-रोधक बनाने के लिये, कंक्रीट में जल-रोधक यौगिक उचित मात्रा में मिलाये जाते हैं।

क्षार, सिलिकेट-ऐलुमीनियम सल्फेट, कैल्शियम क्लोराइड इत्यादि यौगिकों का कंक्रीट को जल-रोधक बनाने में प्रयोग किया जाता है। जल-सह यौगिक बाजार में ट्रेड नाम से, पाउडर अथवा द्रव रूप में उपलब्ध हैं जैसे-परमों, पडलो, कम्पोसील, सिको इत्यादि। सामान्यत: यह एक किलोग्राम प्रति बोरा सीमेंट की दर से प्रयोग किये जाते हैं।

§ 1.19. अधिमिश्रण तथा उनका उपयोग (Admixtures and their Use) :

अधिमिश्रण वे पदार्थ हैं, जो सीमेंट मसाले अथवा सीमेंट कंक्रीट में मिलाने पर इसके गुणों को सुधारते हैं अथवा इसमें विशेष गुण उत्पन्न करते हैं। अधिमिश्रण निम्न स्तर की कारीगरी के पूरक नहीं होते हैं। सीमेन्ट उत्पादन में, इसमें मिलाया जाने वाला मंदक (जिप्सम), कंक्रीट के अधिमिश्रण में नहीं आता है।

अधिमिश्रण सामान्यत: निम्न उद्देश्यों की पूर्ति के लिये प्रयोग किये जाते हैं—

(a) कंक्रीट की सुकार्यता बढ़ाने के लिये।

(b) कंक्रीट का प्रारम्भिक तथा अन्तिम पकन काल (Setting Time) कम करने के लिये।

(c) कंक्रीट को अत्यधिक कठोर तथा सामर्थ्यवान बनाने के लिये।

(d) कंक्रीट की उत्तम ढंग पर तराई के लिये।

(e) जलयोजन क्रिया के समय, कंक्रीट की ऊष्मा निकासी को नियन्त्रित करने के लिये।

(f) कंक्रीट का संकुचन रोकने के लिये।

(g) अधिमिश्रण गीली कंक्रीट को हिमीकरण के कारण नष्ट होने से बचाते हैं।

(h) कंक्रीट को जल-रोधक बनाने के लिये।

(i) कंक्रीट व प्रबलन छड़ों का अभिलाग (Bond) बढ़ाने के लिये।

(j) हल्की (Light-Weight) अथवा छिद्रित कंक्रीट (Perforated Concrete) का उत्पादन करने के लिये।

(k) कंक्रीट का उत्स्रवण (Bleeding) कम करने के लिये।

कंक्रीट में अधिमिश्रणो का प्रयोग बड़ी सोच-समझकर तथा प्रारम्भिक परीक्षणों के बाद ही करना चाहिये। जहाँ यह एक चरण पर लाभकारी है, वही दूसरे चरण पर कंक्रीट को हानि भी पहुँचा सकते है। कुछ अधिमिश्रणो का निर्धारित मात्रा से अधिक मात्रा में प्रयोग करने पर, लाभ के स्थान पर हानि अधिक हो सकती है। यह कंक्रीट मे एक गुण उत्पन्न करते है तो साथ-साथ दूसरा दोष भी उत्पन्न करते है।

विभिन्न कार्यो के लिये अधिमिश्रणो का वर्णन नीचे किया गया है—

(i) **कंक्रीट की सुकार्यता बढ़ाने वाले अधिमिश्रण**–यह पदार्थ शुष्क अथवा घोल के रूप में कंक्रीट मे मिलाये जाते है। मुख्य है—महीन पिसे हुये खनिज, बेन्टोनाइट, बुझा हुआ चूना, बुझे हुये कोयले की राखी, केओलीन इत्यादि।

(ii) **कंक्रीट में वायु उत्पन्न करने वाले अधिमिश्रण** (Air Entraining Agents)—यह अधिमिश्रण कंक्रीट मे उत्स्रवण तथा हिमीकरण को रोकते हैं। ये यौगिक है—विनसोल, रेजिन, टेलो, सल्फोनेटिड तेल इत्यादि।

1.19-1. त्वरक (Accelerators)—सीमेंट कंक्रीट में सामर्थ्य उत्पन्न होने की दर बढ़ाने वाले अधिमिश्रण को त्वरक कहते है। इन पदार्थो का प्रयोग अधिक ठण्डे क्षेत्रों में तथा आपात स्थिति में, जब सीमित समय के भीतर कंक्रीट की आवश्यक सामर्थ्य प्राप्त करना होता है, किया जाता है। त्वरक के प्रयोग से कंक्रीट शीघ्र कठोर हो जाती है और इसकी फरमाबन्दी कम समय में हटाकर दूसरे स्थान पर प्रयोग की जा सकती है। सैनिक गतिविधियों में, सेना के आगे बढ़ने के लिये आवश्यक निर्माण-पुल, हवाई-पट्टी, सुरंग इत्यादि कम समय में पूर्ण किये जा सकते हैं।

त्वरक के रूप मे कई अधिमिश्रण कंक्रीट में मिलाये जाते हैं, जैसे—कैल्शियम क्लोराइड, घुलनशील कार्बोनेट सिलीकेट इत्यादि। इसमें कैल्शियम क्लोराइड महत्वपूर्ण है। कैल्शियम क्लोराइड को कंक्रीट में मिलाने से, इसमे से ऊष्मा अधिक तेजी से उत्पन्न होने लगती है, जिससे सीमेंट की जलयोजन क्रिया में वृद्धि होने के कारण, कंक्रीट की सामर्थ्य ग्रहणता में भी वृद्धि होती है। कैल्शियम क्लोराइड के प्रयोग से कंक्रीट घर्षण-प्रतिरोधी बन जाती है। कंक्रीट का पकनकाल (Setting Time) सामान्य का 1/3 रह जाता है।

I.S. के अनुसार कैल्शियम क्लोराइड की मात्रा सीमेंट के भार का 1·5% तक पर्याप्त है। 4% से अधिक कैल्शियम क्लोराइड का प्रयोग हानिप्रद है।

1.19-2. मंदक (Retarders)—सीमेंट का पकनकाल (Setting Time) बढ़ाने के लिये, कंक्रीट में जो अधिमिश्रण मिलाये जाते हैं, उन्हें मन्दक कहते हैं। निम्न स्थितियों में कंक्रीट का पकन-काल बढ़ाना आवश्यक हो जाता है—

(a) जब तैयार कंक्रीट को अधिक दूरी पर अथवा ऊँचाई पर ले जाकर डालना हो।

(b) सुरंगों, ऊँचे जलाशयों, तेल के कुओं इत्यादि के निर्माण में तथा गर्म पानी के स्रोतों के समीप कंक्रीट कार्य पर।

निम्नलिखित पदार्थों का मंदक के रूप में प्रयोग किया जाता है—

(i) सीमेंट को पीसते समय, इसमें 2% से 3% जिप्सम (Gypsum) मिलाया जाता है,

(ii) चीनी 0·2%,

(iii) स्टार्च,

(iv) सोडियम बाई-कार्बोनेट।

§ 1.20. कंक्रीट कार्य में प्रसार जोड़ (Expansion Joints) :

कंक्रीट भी अन्य मैटीरियल की भाँति तापक्रम तथा जलांश के घटने-बढ़ने पर फैलती अथवा सिकुड़ती है। बड़ी संरचनाओं को यदि प्रसार अथवा सिकुड़ने से रोका जाये तो इससे आन्तरिक प्रतिबल उत्पन्न हो जाते है, जिसके फलस्वरूप रचना मे दरारें पड़ जाती है। 10°C के ताप परिवर्तन (बढ़ने) पर, 30 मी० लम्बी संरचना लगभग 10 mm फैल जाती है। दरारें पड़ने पर पानी का रिसन होने लगता है। इससे संरचना की स्थिरता डोल जाती है। अत: दरारें रोकने के लिये संरचना मे उचित दूरी पर प्रसार जोड़ डाले जाते हैं।

छोटे भवनों में प्रसार जोड़ देने की विशेष आवश्यकता नहीं है परन्तु अधिक बड़े भवनों मे प्रत्येक 45 मी० की दूरी पर एक प्रसार जोड़ लगाना चाहिये। L. T. H. E. आकार के भवनो में, समकोण पर मिलने वाली दीवारों के संगम पर यह जोड़ विशेष तौर पर लगने चाहिये।

प्रसार जोड़ के लिये भवन के पेरापिट से लेकर नींव तक रिक्ति (Gap) रखी जाती है। यह रिक्ति 10 mm से 40 mm तक रखी जाती है। प्रसार जोड़ में रिक्ति (Break) पूर्णत: शुद्ध (Clear) रहनी चाहिये। इसमें प्रवलन छड़ें (Reinforcement) भी सतत: नहीं डालनी चाहिये (धारा 27-1)। जलाशयो तथा टैंकों के प्रसार जोड़ जल-रोधी होने चाहियें। इसके लिये जोड़ों मे सीलन-रोक पदार्थ भर दिये जाते है। साधारणत: डामर, कार्क, रबड़, रेशे, पी० वी० सी० पदार्थों का प्रयोग किया जाता है, जो लचीले होने के कारण प्रसार तथा संकुचन पर शीघ्र नष्ट नहीं होते है। प्रसार जोड़ों मे रबड़, धातु अथवा पी० वी० सी० की जल-छड़ें (Water-Bars) भी दबा दी जाती हैं।

I.S. के अनुसार कंक्रीट तथा चिनाई के विभिन्न अवयवो के लिये प्रसार जोड़ों की दूरी सारणी 1.9 में दी गयी है।

सारणी 1.9—प्रसार जोड़ों का अन्तराल (Expansion Joints Locations)

विवरण	प्रसार जोड़ों की दूरी
1. दीवारें	30 मी०
2. बालकनी तथा मुँडेर	6 से 12 मी०
3. छत स्लैब, जिसके ऊपर उपयुक्त तापरोधक परत डाली गयी है।	20 से 30 मी०
4. ऊपर से खुली स्लैब	15 मी०
5. फ्रेम संरचनायें	30 मी०

§ 1.21. कंक्रीट संरचनाओं का निरीक्षण व जांच (Inspection and Testing of Concrete Structures) :

(a) कंक्रीट संरचनाओं की गुणता व सेवा-स्थिति बनाये रखने के लिये, इनकी निर्माण काल के दौरान तथा कार्य समाप्ति पर निरीक्षण व जांच आवश्यक है। कंक्रीट के संघटको (सीमेंट, महीन व मोटा मिलावा) तथा प्रबलन इस्पात की गुणत की जांच B.I.S. द्वारा निर्धारित मानकों के अनुसार, इनमें प्रदत्त छूट (Tolerance) का ध्यान रखते हुये करनी चाहिये।

(b) कंक्रीट की तख्ता-बन्दी हटाते ही, संरचना का ध्यानपूर्वक निरीक्षण करना चाहिये और यदि कोई दोष नजर पड़े, उसे तुरन्त ठीक कर देना चाहिये।

(c) यदि इस्तेमाल की गयी (प्रयुक्त) कंक्रीट के ग्रेड पर संदेह है, तो (I.S. 456-2000) (धारा 17.4 व 17.6) के अनुसार, इसकी **कोर जांच** (Core Test) और आनमन अवयवों के लिये **भार जांच** (Load Test) करनी चाहिये।

कंक्रीट की सम्पीडन सामर्थ्य ज्ञात करने के लिये विध्वंस जांच के अन्तर्गत, सामान्यत: घन-जांच (15 cm घन को 28 दिन की तराई पर) अथवा सिलिण्डर-जांच (15 cm व्यास, 30 cm ऊँचाई) की जाती है (I.S. 516)। सिलिण्डर-जांच के मान को 25% बढ़ा कर, इसे घन के मान के तुल्य मान लिया जाता है।

(d) कंक्रीट संरचनाओं की गुणता परखने के लिये **नान-विध्वंस जांच** (Non-Destructive Test) की जा सकती है। इसके लिये **पराश्रव्य स्पंद वेग** (Ultrasonic Pulse Velocity) (I.S. 13311-भाग I) तथा **प्रतिक्षेप घन** (Rebound Hammer) (I.S. 13311-भाग II) विधियाँ अपनायी जा सकती हैं। (अधिक जानकारी के लिए लेखक की पुस्तक 'कंक्रीट तकनीकी' देखें)।

(II) प्रबलित सीमेंट कंक्रीट
(REINFORCED CEMENT CONCRETE)

§ 1.22. प्रबलित सीमेंट कंक्रीट (R.C.C.):

जब सादा सीमेंट कंक्रीट को प्रबलित करने के लिये इसमें इस्पात की छड़ें दबा दी जाती हैं, तब इसे प्रबलित सीमेंट कंक्रीट (R.C.C.) कहते हैं। प्रबलन इस्पात की मात्रा सामान्यत: खण्ड क्षेत्रफल का 0·70% से 4% तक रखी जाती हैं। प्रबलित सीमेंट कंक्रीट एक संग्रथित (Composite) मैटिरियल है।

सादा सीमेंट कंक्रीट सम्पीडन में तो बहुत **अधिक सामर्थ्य** रखती है, परन्तु तनन में यह बहुत कमजोर होती है (सीमेंट कंक्रीट की तनन सामर्थ्य, इसकी सम्पीडन सामर्थ्य का 1/10 से 1/15 तक ही होती है)। इसलिये सादा सीमेंट कंक्रीट का प्रयोग केवल उन्हीं रचनाओं के लिये किया जाता है, जिन पर केवल सम्पीडन बल आते हैं। सादा कंक्रीट के इस दोष को दूर करने के लिये, इसमें इस्पात की छड़ों का प्रबलन दिया जाता है। सादा कंक्रीट के अवयव में प्रबलन मुख्यत: वही दिया जाता है, जहाँ पर इसमें तनन प्रतिबल उपजने की सम्भावना रहती हैं। प्रबलन देने से एक सादा कंक्रीट धरन 10 गुना से अधिक सामर्थ्यवान बन जाता है। धरन, स्लैब, प्रस्तम्भ यदि सादा सीमेन्ट कंक्रीट के बनाये जाते हैं, तब ये विफल हो जाते हैं क्योंकि इन खण्डों में भार पड़ने पर, सम्पीडन व तनन, दोनों प्रकार के प्रतिबल उपजते है। यदि खण्ड को तनन के प्रति सामर्थ्यवान नहीं किया जाता है, इसमें दरारें (Cracks) प्रकट होने लगती है और खण्ड लटक जाता (धाराशायी) है।

इस्पात, सम्पीडन तथा तनन दोनों में बराबर की सामर्थ्य तो रखता है, परन्तु अधिक लम्बाई पर तनुता (Ductility) के कारण व्याकुंचन हो जाने पर, यह अधिक सम्पीडन बल नहीं ले पाता है।

अत: सीमेंट कंक्रीट तथा इस्पात का संयोजन एक ऐसा आदर्श मेल है, जिसमें **कंक्रीट सम्पीडन प्रतिबलों** को तथा **इस्पात की छड़ें तनन प्रतिबलों** को अपनी पूर्ण सामर्थ्य तक वहन करती हैं। इस प्रकार

सीमेंट कंक्रीट और इस्पात, दोनों के दोष गौण पड़ जाते हैं। इसके अतिरिक्त प्रबलन इस्पात कंक्रीट की कर्तन सामर्थ्य में सुधार लाता है और प्रसार तथा संकुचन के कुप्रभावों से बचाता है। इस्पात, कंक्रीट की तुलना में लगभग 60 गुणा महँगा पड़ता है, परन्तु समान क्षेत्रफल में यह कंक्रीट से 280 गुना अधिक तनन प्रतिबल ग्रहण कर सकता है। अत: कंक्रीट और इस्पात का संयोजन एक उत्तम संयोजन है।

प्रबलित सीमेंट कंक्रीट, आधुनिक निर्माण कार्यों के लिये एक वरदान सिद्ध हुई है। अब हर प्रकार की संरचनाओं, जैसे—भवन, पुल, पानी के टैंक, चिमनियाँ, साइलो इत्यादि में प्रबलित सीमेंट कंक्रीट का प्रयोग होने लगा है और यह निर्माण कार्य लागत, सामर्थ्य तथा आयु में हर प्रकार से इस्पात, पत्थर अथवा काष्ठ की संरचनाओं से बेहतर सिद्ध हुए हैं।

§ 1.23. प्रबलित सीमेंट कंक्रीट के गुण-दोष (Merits and Demerits of R.C.C.) :

(a) **गुण (Merits)**—प्रबलित कंक्रीट एक ऐसा निर्माण पदार्थ है, जिसमें कार्य की आवश्यकताओं के अनुरूप वांछित गुण विकसित किये जा सकते हैं, जो अन्य निर्माण पदार्थों में प्राय: सम्भव नहीं होते हैं। मुख्य गुण निम्नलिखित हैं—

(i) **सामर्थ्य**—प्रबलित सीमेंट कंक्रीट तनन व सम्पीडन दोनों में काफी उच्च सामर्थ्य रखती है। सम्पीडन बल मुख्यत: कंक्रीट और तनन बल इस्पात द्वारा वहन किये जाते हैं, अत: प्रबलित सीमेंट कंक्रीट के अवयव सम्पीडन तथा तनन, दोनों प्रकार के प्रतिबलों के लिये समान रूप से सामर्थ्यवान होते हैं।

(ii) **इच्छित ढ़लाई**—कंक्रीट किसी भी इच्छित आकार में सरलता से ढाली जा सकती है। इनको अन्य निर्माण पदार्थ जैसे—इस्पात, काष्ठ, पत्थरों की भाँति काटने, छाँटने, छीलने, जोड़ने, ठोकने की आवश्यकता नहीं होती है। सुघट्य कंक्रीट को सरलता से पम्प करके कठिन स्थलों तक पहुंचाया जा सकता है।

(iii) **उत्तम खण्ड**—प्रबलित कंक्रीट की रचनायें देखने में सुन्दर, आकर्षक तथा विशाल लगती हैं।

(iv) **अग्नि-सह**—इसकी रचनायें पर्याप्त अग्नि-सह तथा टिकाऊ होती हैं।

(v) **बाह्य प्रभाव**—कंक्रीट वायुमण्डलीय प्रभावों जैसे—धूप, जल, वर्षा, कोहरा, ताप, ठण्ड इत्यादि से कम प्रभावित होती हैं।

(vi) **सीलन**—यह नमी तथा सीलन के कारण काष्ठ की भाँति गलती-सड़ती नहीं है।

(vii) **कीट-प्रकोप**—इस पर कीटों, दीमक का प्रकोप नहीं होता है।

(viii) **आयु**—प्रबलित कंक्रीट के अवयव यदि शुद्धता से अभिकल्पित तथा सावधानी से ढाले जायें, तब इनकी आयु बहुत अधिक (100 वर्ष तक) होती है।

(ix) **संघटक**—इसके लिये स्थानीय उपलब्ध सामग्री जैसे बालू, गिट्टी का प्रयोग होता है, जिससे यह काफी सस्ती पड़ती हैं।

(x) **भूकम्प-सह**—भली-भान्ति अभिकल्पित तथा निर्मित प्रबलित कंक्रीट रचनायें बड़ी सीमा तक भूकम्प के झटके (Shocks) सह लेती है।

(xi) **अनुरक्षण**—प्रबलित सीमेंट कंक्रीट की रचनाओं पर अनुरक्षण व्यय लगभग शुन्य के बराबर होता है, अत: भविष्य में मितव्ययी सिद्ध होती हैं।

(b) **दोष**—गुणो को देखते हुये, प्रबलित सीमेट कंक्रीट मे दोष बहुत कम है, फिर भी कुछ मुख्य दोष निम्नलिखित है—

(i) **अभिकल्पन**—प्रबलित सीमेट कंक्रीट अवयवो के अभिकल्पन में काफी सूझ-बूझ, अनुभव तथा व्यावहारिक ज्ञान की आवश्यकता है, क्योंकि यह पूर्णत: भिन्न-भिन्न प्रकार के पदार्थों का अनोखा सयोजन है।

(ii) **निर्माण**—रचनाओ के निर्माण के लिये कुशल कारीगरों की आवश्यकता पड़ती है।

(iii) **फेर-बदल**—निर्माण काल मे अथवा इसके बाद, प्रबलित कंक्रीट की रचनाओं मे फेर-बदल करना अति कठिन तथा संशयपूर्ण होता है। निर्माण काल मे तनिक लापरवाही के कारण पूरी संरचना नष्ट हो सकती है अथवा अलाभकारी सिद्ध होती है।

(iv) **फरमाबन्दी**—अवयवो को ढालने के लिये दृढ फरमाबन्दी की आवश्यकता पड़ती है। इस पर अतिरिक्त व्यय आता है।

(v) **भारी निर्माण**—प्रबलित कंक्रीट रचनाये सामान्यत: इस्पात, कांच, प्रकाष्ठ, प्लास्टिक की रचनाओ से अधिक भारी-भरकम होती है और अधिक स्थान घेरती हैं।

(vi) **प्रारम्भिक व्यय**—प्रबलित सीमेट कंक्रीट की रचनाओं पर प्रारम्भिक व्यय अधिक आता है। इस्पात जो इसका मुख्य घटक है, एक मूल्यवान पदार्थ है, जिसका उपयोग इससे उत्तम कार्यों के लिये हो सकता है।

(vii) **उपयोग**—प्रबलित कंक्रीट रचनायें अपनी वाँछित सामर्थ्य प्राप्त करने में कुछ समय लेती है, अत: इस्पात, काष्ठ रचनाओं की भान्ति इन्हें पूर्ति पर, तुरन्त प्रयोग में नहीं लाया जा सकता है।

(viii) **मरम्मत कार्य**—इसकी रचनाओ में उत्पन्न दोषों को दूर करना तथा दरारें भरना कठिन होता है। लकड़ी/इस्पात की भान्ति इसकी ठोका/पीटी नहीं हो सकती है।

§ 1.24. प्रबलित सीमेंट कंक्रीट की रचनायें (R.C.C. Construction) :

भवनो के अतिरिक्त, अब प्रबलित सीमेंट कंक्रीट का प्रयोग लगभग सभी सिविल निर्माण कार्यों मे बड़े पैमाने पर होने लगा है। कुछ मुख्य प्रयोग इस प्रकार हैं—

(1) भवन-धरन, स्लैब, स्तम्भ, केन्टीलीवर, लिन्टल, नींव, ज़ीना इत्यादि।

(2) पानी के टैंक, छत-स्लैब, टैंक मचान जिंग तथा आधार, पाइप, फुटिंग, नींव, गुम्बद।

(3) कारखानों की चिमनी, साइलो (Silos), प्रतिधारक दीवारें, संग्रह टैंक, रेलवे स्लीपर, हवायी-पट्टियाँ इयादि।

(4) जलीय संरचनायें—पुल, पुलिया, जल-सेतु, गोदी कार्य, ऊर्ध्व-लंघक, साइफन, समपारक, जल-विद्युत उत्पादन निर्माण, सुरंग, कुण्ड, पात-नल, चैनल इत्यादि।

§ 1.25. प्रबलन (Reinforcement For R.C.C. Work) :

सादा कंक्रीट को प्रबलित करने के लिये कोई भी उपयुक्त पदार्थ का प्रयोग किया जा सकता है, यहां तक कि बांस (Bamboo) को भी प्रबलन के तौर पर इस्तेमाल करके परीक्षण किये गये हैं, परन्तु इस्पात को सबसे उत्तम प्रबलन पाया गया है। इसका कंक्रीट से अभिलाग (Bond) उत्तम होता है।

1.25-1. प्रबलन के लिये इस्पात का प्रयोग—प्रबलित सीमेंट कंक्रीट मे प्रबलन के लिये सामान्यत: मृदु या उच्चसनन इस्पात का प्रयोग किया जाता है। इसके मुख्य कारण निम्नलिखित है—

(i) इस्पात की आयु काफी लम्बी होती है।

(ii) इस्पात की तनन व सम्पीडन सामर्थ्य काफी अधिक होती है। यह अपरूपण (Shear) व ऐंठन (Torsion) मे भी अधिक सामर्थ्य रखता है।

(iii) कंक्रीट तथा इस्पात का ताप प्रसार गुणांक (Coefficient of Expansion) लगभग बराबर होता है (कंक्रीट 9.9×10^{-6}/°C, इस्पात 11.7×10^{-6}/°C)। अत: प्रबलित सीमेंट कंक्रीट में ताप भिन्नता पर कोई प्रारम्भिक प्रतिबल उत्पन्न नहीं होते है।

(iv) इस्पात एक उच्च प्रत्यारथ मापांक वाला पदार्थ है अत: इसे (छड़ो को) मोड़ने/काटने मे दिक्कत नहीं आती है। छड़ो का हस्तन सरल है और हस्तन-औजार भी सामान्य ही होते है।

(v) इस्पात का सीमेंट कंक्रीट मे अभिलाग (Bond) उत्तम होता है। सैट होने पर कंक्रीट इस्पात की छड़ों को जकड़ लेती है और जो प्रतिबल वह स्वयं नहीं वहन कर पाती है, इस्पात पर स्थानान्तरित कर देती है।

(vi) इस्पात एक अल्प तन्य (Ductile) पदार्थ है, विफल होने से पूर्व, यह पर्याप्त खींच (Elongation) लेता है और पूर्व चेतावनी देता है।

(vii) यह अन्य धातुओं से सस्ता पड़ता है और प्रचुर मात्रा में आसानी से बाजार में उपलब्ध है।

(viii) इस्पात की छड़ें सीमेंट कंक्रीट मे दबाये जाने पर, इसका संक्षारण नहीं होता है।

परन्तु प्रबलन इस्पात के कुछ दोष है, जैसे इसको शीघ्र जंग (Rust) लग जाती है और उच्च तापमान पर यह अपनी सामर्थ्य खोने लगता है। अत: छड़ो पर पर्याप्त आवरण (Concrete Cover) देना पड़ता है।

1.25-2. प्रबलित कंक्रीट में इस्पात का प्रकार्य—इस्पात के मुख्य प्रकार्य निम्न प्रकार हैं—

(a) यह कंक्रीट अवयव में उत्पन्न सभी तनन प्रतिबलों को सम्भालता है।

(b) कंक्रीट खण्ड के सम्पीडन भाग में डाले जाने पर, यह इसकी सम्पीडन सामर्थ्य बढ़ाता है (दोहरे प्रबलित धरनों व प्रस्तम्भों में)।

(c) आनमन खण्डु में उत्पन्न कर्तन बलों को प्रतिरोधित करता है (नत छड़ों व स्ट्रीप्स के रूप मे)।

(d) यह ताप प्रतिबलों तथा संकेन्द्रित प्रतिबलों को अधिक बड़े क्षेत्र में फैला देता है (स्लैब मे वितरण इस्पात के रूप में)।

(e) यह लकड़ी, चिनाई की भाँति अकस्मात टूटकर नीचे नहीं आता है, बल्कि विफलता की पूर्व चेतावनी देता है।

1.25-3. प्रबलन इस्पात के प्रकार—प्रबलन के लिये सामान्यत: 3 प्रकार का इस्पात उपलब्ध है—(i) मृदु इस्पात (Mild Steel) (ii) मध्यम तनन इस्पात (Medium Tensile Steel) तथा (iii) उच्च पराभव सामर्थ्य इस्पात (High Yield Strength Steel (HYS Steel)। इस्पात की तनन सामर्थ्य बढ़ाने तथा इसका कंक्रीट से अभिलाग बढ़ाने के लिये, छड़ो की ऊपरी सतह (परिधि) को विरूपित/ऐंठन कर दिया जाता है।

भारतीय मानक ब्यूरो (B.I.S.) ने प्रबलन के लिये निम्न प्रकार का इस्पात सुझाया है। प्रबलन इस्पात धूली, मिट्टी, जंग-पर्पड़ी, तेल-चिकनायी आदि अशुद्धियों से मुक्त होना चाहिये।

(a) मृदु इस्पात ग्रेड Fe 250 (Mild Steel) (Cold Worked) (I.S. : 432)

(b) मृदु इस्पात Fe 250 (Hot Rolled) (I.S. : 1139)

(c) उच्च परिणत सामर्थ्य इस्पात (High Yield Strength Steel) (I.S. : 1786)

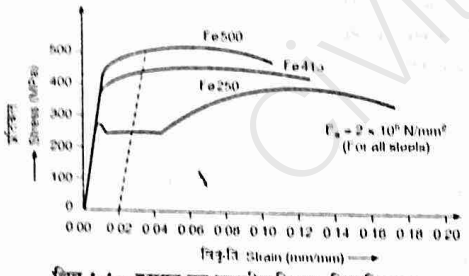
(i) ग्रेड Fe 415 (Known as Tor-40)

(ii) ग्रेड Fe 500 (Known as Tor-50)

यह विरूपित छड़ों (Deformed Steel Bars) के रूप में उपलब्ध है। ये HYSD छड़े कहलाती है।

(d) उच्च सामर्थ्य वाली इस्पातीय तार जाली (High Strength Steel Wire Fabric) (I.S. : 1566) । यह जाली स्लैबों, सड़क पैवमेन्टों तथा कोशों (Shells) में डाली जाती है। तार जाली (Welded Mesh) के प्रयोग से अन्तत में प्रतिबलों का वितरण समान रूप से अधिक क्षेत्रफल पर होता है। इससे कंक्रीट से अभिलाग (Bond) भी उत्तम होता है।

उपरोक्त में Fe इस्पात के लिये है और इसके आगे दिया गया अंक (जब इसका परिणत बिन्दु (Yield Point) स्पष्ट से प्रभाषित न हो) इस्पात के लिये 0.2% प्रमाण प्रतिबल (Proof Stress) या परिणत प्रतिबल (Yield Stress) (अभिलक्षणिक सामर्थ्य) दर्शाते है। यह N/mm² में आंके जाते है। अत: उपरोक्त ग्रेड Fe 250 का अर्थ है—इस मृदु इस्पात की चरम सामर्थ्य 250 N/mm² है। इस्पात के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल, परिणत प्रतिबलों का 0.55 f_y (लगभग) लिया जाता है अर्थात् Fe 250 इस्पात में अनुमत प्रतिबल 0.55 × 250 = 137.5 अथवा (Say) 140 N/mm² लिये जाते है। विभिन्न इस्पात के लिये प्रत्यी प्रतिबल विकृति वक्र (Stress-Strain Curves) चित्र 1.4 में दर्शाये गये है। (इस्पात के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल सारणी 2.2 में दिये गये है)।



चित्र 1.4—इस्पात का प्रत्यी प्रतिबल-विकृति वक्र
(Typical Stress-strain Curves for Various Steel)

कंक्रीट से अभिलाग (Bond) बढ़ाने के लिये छड़ों की ऊपरी सतह (परिधि) को खुरदरा (डोरी की भाँति) व विरूपित बनाया जाता है। ऐंठी हुई विरूपित छड़ों (Twisted Deformed Bars) में सादा (Plain) छड़ों की तुलना में लगभग 50% अधिक परिणत प्रतिबल (Yield Stress) उपजते है। अब सादा (Plain) छड़ों का व्यापारिक उत्पादन लगभग बन्द हो गया है। अब I.S. के अनुसार सभी इस्पात का प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity) E_s = 200 kN/mm² (2 × 10⁵ N/mm²) लिया जाता है। (धारा 5.6.3 I.S. 456)

1.25-1. प्रबलन इस्पात का आकार (Shape)—

(a) गोल छड़ें—प्रतिबलों का संकेन्द्रण रोकने के लिये, प्रबलन इस्पात का सतही क्षेत्रफल न्यूनतम होना चाहिये और इसके कोने नहीं होने चाहियें। इस्पात की पत्ती (Flat) अथवा एंगल (Angle) पर, गोल (Round) छड़ की तुलना में अभिलाग कम बनता है। इसलिये रीमेंट कंक्रीट में प्रबलन के लिये **गोलाकार छड़ों** का प्रयोग किया जाता है। सामान्यत: गोलाकार छड़े निम्न व्यास की होती है—6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45 व 50 (सभी व्यास मि० मी० में)। बाजार में प्रबलन छड़ों की अधिकतम लम्बाई **13 मी०** उपलब्ध है (इन छड़ों का क्षेत्रफल तथा अन्य विवरण इस पुस्तक के अन्त में दी गयी सारणियों से ज्ञात किया जा सकता है)। छड़ों को प्रयोग करने से पूर्व इन्हें टाट से भली-भाँति साफ कर लेना चाहिये ताकि इन पर जंग (Corrosion) व तैलीय पदार्थ न लगा रहे। छड़ों को मैल अथवा जंगीकृत नहीं करना चाहिये क्योंकि इससे अभिलाग कम हो जाता है।

प्रचलित कंक्रीट दीवारों, फर्श, शैल (Shell) तथा पेवमेन्ट में, जहाँ तल प्रतिबल एक से अधिक दिशा में उत्पन्न होने की सम्भावना रहती है, जालीदार (Mesh) प्रबलन का प्रयोग किया जा सकता है। बनी जाली (Expanded Metal) के प्रबलन से केन्द्रित भार का प्रभाव उत्तम ढंग से बड़े क्षेत्र पर वितरित होता है तथा इसमें अभिलाग भी अधिक होता है।

(b) विरूपित छड़ें (Deformed Bars)—कंक्रीट में दबायी गयी छड़ों को, प्रतिबलों के कारण सरकने से या फिसलने से रोकने के लिये और कंक्रीट की अभिलाग (Bond) बढ़ाने के लिये, छड़ों की बाहरी सतह को खुरदरा (Rough) बनाया जाता है। इसके लिये छड़ की परिधि पर लहरियाँ, प्रक्षेप (Projections), दाँत अथवा गड्ढे डाल दिये जाते है। ऐसी छड़ों को **विरूपित छड़** कहते है। विरूपित छड़ों के प्रयोग से 40% प्रबलन इस्पात की बचत होती है।



चित्र 1.5—विरूपित छड़ें
(Deformed Bars)

(c) ऐंठी हुई छड़ें (Twisted Bars)—इन छड़ों को टोर इस्पात (Tor Steel) के नाम से जाना जाता है। यह छड़ें रस्सी की भाँति ऐंठी (बटी) हुई होती है। इन छड़ों की परिणत सामर्थ्य, सामान्य गोलाकार छड़, से 50% अधिक होती है। इनकी अभिलाग सामर्थ्य भी 40% अधिक होती है। अभिलाग में बढ़ोत्तरी के कारण, भरनों में कम दरारें पड़ती है और वह भी बहुत महीन होती है। ऐंठी हुयी छड़ों के प्रयोग से 33% से 40% प्रबलन इस्पात की बचत की जा सकती है। विरूपित (Deformed) व ऐंठी (Twisted) छड़ों का कंक्रीट से अभिलाग (Bond) क्योंकि अधिक होता है अत: इन छड़ों पर हुक (Hook) नहीं दिये जाते है।



चित्र 1.6—ऐंठी हुई छड़ें
(Twisted Bars)

अब मृदु इस्पात की सादा (Plain) गोलाकार छड़ों का व्यापारिक उत्पादन लगभग बन्द हो गया है और इनके स्थान पर विरूपित व ऐंठी हुयी छड़ों का प्रयोग होने लगा है। यह छड़े (HYSD Bars) (High Yield Strength Deformed Bars) कहलाती है। इन्हे टोर इस्पात (Tor Steel) भी कहते है। HYSD छड़ों के परिणत प्रतिबल 415 N/mm² तथा अनुमत तनन प्रतिबल 230 N/mm² लिये जाते है। Fe 500 HYSD छड़ों के परिणत प्रतिबल 500 N/mm² तथा अनुमत तनन प्रतिबल 275 N/mm² लिये जाते हैं। अब T.M.T. (Thermo Mechanically Treated) Fe 415 टोर छड़ें (I.S. 1786-1985) भी बाजार में आ गयी है। ये छड़ें HYSD छड़ों से अधिक सामर्थ्य रखती हैं। इनकी

अभिलाग सामर्थ्य (Bond Strength) मृदु इस्पात की छड़ों से 60% अधिक होती है। अत: अवयवों में प्रबलन इस्पात की मात्रा कम लगती है। फिर दोनों प्रकार के इस्पातों (Mild Steel और HYS Steel) के मूल्यों में कोई बड़ा अन्तर नहीं है। T.M.T. छड़ों को जंग (Rust) कम लगती है और ये छड़ें अधिक तन्य (Ductile) होती है। गर्म बेल्लित छड़ों को एकदम ठण्डे पानी में से पारित किया जाता है, जिससे इन छड़ों की ऊपरी सतह अल्प कठोर हो जाती है।

(d) **CRS छड़ें**—अब बाजार में **जंग-रोधक छड़ें** (Corrosion Resistant Steel Bars) (CRS Bars) भी उपलब्ध है। CRS छड़ों में 0·18% कार्बन होता है, जबकि HYSD छड़ों में यह मात्रा 0·20% रहती है। CRS छड़ों में जंग लगने को रोकने के लिए क्रोमियम की मात्रा 1·5% तक रखी जाती है। अब भारत में SAIL व TISCO कम्पनियाँ इन छड़ों का उत्पादन कर रही हैं।

टोर छड़ों के सिरों पर (अभिलाग बढ़ाने के लिये), हुक डालने की आवश्यकता नहीं है। जब HYSD छड़ें प्रयोग की जाती है, तब M-20 या उच्च ग्रेड की कंक्रीट इस्तेमाल की जाती है।

टोर छड़ें भी अनुच्छेद 1.25-4 में दिये गये व्यास में उपलब्ध हैं।

(e) **छड़ का व्यास** (Dia: of Bar)—गोलाकार छड़ों का व्यास, इनका नामन व्यास होता हैं। टोर छड़ों के लिये व्यास, उस वृत का व्यास माना जाता है, जो समतुल्य प्रभावी क्षेत्रफल प्रदान करता है।

1.25-5. प्रबलन छड़ों को मोड़ना तथा जाल तैयार करना—कंक्रीट कार्य शुरु करने से पहले, अवयव के अभिकल्पन के अनुसार छड़ों को आवश्यक लम्बाई में काटा, मोड़ा तथा जाल के रूप में बाँधा जाता है। (I.S. 2502)। प्रत्येक छड़ को उचित लम्बाई में काटने तथा उपयुक्त बिन्दु पर शुद्धता से मोड़ने के लिये, छड़-सूचिका (Bar-Bending Schedule) तैयार की जाती है, जिसमें छड़ का नामकरण (मुख्य, माप आदि), व्यास, कुल लम्बाई, नत बिन्दु इत्यादि की गणना की जाती है। (छड़-सूचिका तैयार करने की विधि पुस्तक के परिशिष्ट भाग में दी गयी है)।

(a) छड़ों को उचित उपकरण (Bar Bender) से ठण्डी अवस्था में ही मोड़ा जाता है। छड़ों को उचित स्थिति में जाल के रूप में रखकर 20-24 गेज की महीन काली तार (Binding-Wire) से बाँध दिया जाता है, ताकि कंक्रीट डालते समय, ये छड़ें अपनी निर्धारित स्थिति में बनी रहें। प्रबलन छड़ों की वास्तविक स्थिति में, अवयव की 200 mm की प्रभावी गहरायी तक ±10 mm और इससे अधिक गहरायी पर ±15 mm की सीमा-छूट (Tolerance) मान्य है।

सामान्यत: तनन वाली सादा (Plain) छड़ों के सिरों पर ही हुक (Hook) दिये जाते हैं। विरुपित/टोर (Deformed/Twisted) छड़ें, यदि विकास लम्बाई (Development Length) की शर्त की पूर्ति करती है, इनके सिरों पर हुक नहीं दिये जाते हैं।

(b) छड़ों की तली पर आवश्यक आवरण (Concrete cover) प्रदान करने के लिये, सीमेंट:बालू मसाला 1:2 के पूर्व-ढालित गुटके (Block) प्रबलन जाल के नीचे, उचित दूरी (अन्तराल) पर रख दिये जाते हैं। ब्लाक की मोटाई, तली पर कंक्रीट आवरण के बराबर होती है।

(c) छड़ों की ऊपर-नीचे की दो परतों का आपसी ऊर्ध्वाधर अन्तराल बनाये रखने के लिये, इनके मध्य, लम्बाई की दिशा में, उचित दूरी पर अन्तराल-छड़ें (Spacer Bars) रख दी जाती है (यह दूरी 1 मी० से अधिक नहीं होनी चाहिये I.S. code धारा 12·3·2)।

(d) प्रबलन जाल को ऊँचाई से नहीं पटकना चाहिये।

(e) इस्पात की छड़ों को प्रयोग में लाने से पहले, इन्हें टाट-पट्टी से भली भान्ति साफ कर लेना चाहिये। छड़ों पर धूल-मिट्टी, जंग व कोई तैलीय पदार्थ नहीं लगा रहना चाहिये अन्यथा प्रबलन-छड़ों की कंक्रीट से पकड़ (अभिलाग) कमजोर रहती है। छड़ों पर पेन्ट आदि भी नहीं होना चाहिये।

1.25-6. प्रबलन जाल में कंक्रीट भरना—प्रबलन छड़ों के जाल को तख्ता/फरमाबन्दी के अन्दर टिका कर, इसमें कंक्रीट भरी जाती है। कंक्रीट को प्रारम्भिक जमाव-काल (आधा घण्टा) के भीतर, शुद्ध स्थिति में डालकर इसकी कुटाई पूर्ण कर लेनी चाहिये। कंक्रीट डालते तथा कुटाई करते समय प्रबलन छड़ों व तख्ताबन्दी को विचलित नहीं होने देना चाहिये। कंक्रीट को 1·5 मी० से अधिक ऊँचाई से नहीं गिराना चाहिये और इसकी साथ-साथ कुटाई भी पूर्ण कर लेनी चाहिये।

§ 1.26. प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं के क्षति-ग्रस्त होने के कारण (Causes of Deterioration of R.C.C. Structures) :

उत्तम ढंग से निर्मित प्रबलित कंक्रीट अवयवों की आयु चिनाई की भाँति बहुत अधिक होती है। जब कंक्रीट पूर्णत: सघन नहीं होती है तो इसमें नमी प्रवेश कर जाती है, जिसके कारण प्रबलन छड़ों का संक्षारण होने लगता है। इसके परिणामस्वरूप रचनाओं के किनारे, कोने तथा जोड़ फटने लगते हैं। जब छड़ों को जंग लग जाती है तो इसकी सतह फूल जाती है, जिससे कंक्रीट का आवरण फटने व उखड़ने लगता है और छड़ें नंगी हो जाती हैं। ऐसा होने पर कंक्रीट तथा इस्पात का अभिलाग क्षीण पड़ जाता है और संरचना क्षति-ग्रस्त हो जाती है। अत्यधिक महीन बालू का प्रयोग भी कंक्रीट की सामर्थ्य कम कर देता है।

शीघ्र-शीघ्र ताप परिवर्तन से, बार-बार शुष्क तथा गीले होने से तथा कोहरे के प्रभाव से कंक्रीट कमजोर पड़ जाती है। बाहरी सतह पर अत्यधिक सीमेंट का प्रयोग, अपर्याप्त तराई, असम प्रसार एवं संकुचन, रासायनिक क्रिया, जलांश में परिवर्तन इत्यादि के कारण कंक्रीट की सतह पर बहुत ही महीन दरारें (Hair Cracks) पड़ जाती हैं। यह दरारें कंक्रीट की सामर्थ्य को तो प्रभावित नहीं करतीं परन्तु देखने में अच्छी नहीं लगती हैं।

उपायों के अन्तर्गत, प्रबलन छड़ों पर पर्याप्त आवरण (Concrete Cover) देना चाहिये। महीन दरारों को सीमेंट मसाले, डिस्टेम्पर पेन्ट से भर देना चाहिये। बड़ी दरारों में सीमेंट-बालू मसाला बल-पूर्वक (ग्राऊटिंग से) भर दिया जाता है।

§ 1.27. प्रबलित कंक्रीट अवयवों के अभिकल्पन की विधियाँ (Methods of Design of R.C.C. Members) :

प्रबलित कंक्रीट अभिकल्पन का उद्देश्य ऐसी संरचनाओं का निर्माण करना है, जो सुरक्षित लाभकारी, तथा मितव्ययी हों। इसके लिये संरचना के विभिन्न अवयवों पर पड़ने वाले भारों का सही-सही आकलन करना और खण्डों का माप व प्रबलन इस्पात की मात्रा की गणना करना होता है।

प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं (तथा पूर्वप्रतिबलित कंक्रीट व इस्पातीय रचनाओं) के अभिकल्पन की निम्न तीन विधियाँ हैं—

(i) कार्यकारी प्रतिबल या प्रत्यास्थता सिद्धान्त विधि (Working Stress Method or Elastic Theory)

(ii) चरम भार विधि (Ultimate Load Method) or (Load Factor Method)

(iii) सीमांत अवस्था विधि (Limit State Method)

भारित कंक्रीट के अस्पष्ट व्यवहार को देखकर तथा प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं का लम्बे समय तक अध्ययन करने पर एक के बाद दूसरी अभिकल्पन विधि उपयुक्त समझी गयी। इन तीनों विधियों (दर्शन) का आधार अनेक मान्यताये है, जिनमे कुछ समान है, जैसे (i) कंक्रीट की तनन सामर्थ्य पर विचार नहीं किया जाता है, क्योंकि यह तनन मे बहुत कमजोर होती है। (ii) कंक्रीट में विभिन्न प्रकृति वाले पदार्थ होते है, फिर भी इसे समांगी (Homogeneous) मान लिया जाता है इत्यादि।

सीमांत अवस्था विधि, चरम भार विधि का ही सुधरा हुआ रूप है। भारतीय मानक ब्यूरो ने I.S. कोड 456-2000 मे प्रबलित कंक्रीट रचनाओं के अभिकल्पन के लिये कार्यकारी प्रतिबल विधि और सीमांत अवस्था विधि, दोनों की ही संस्तुति की है, परन्तु अधिक जोर सीमांत अवस्था विधि पर दिया है, क्योंकि ऐसा अनुभव है कि सीमांत अवस्था विधि अधिक व्यावहारिक और तर्कसंगत है और **इस विधि पर अभिकल्पित संरचनायें अधिक सुरक्षित, सेवायोग्य और मितव्ययी होती हैं।** अत: स्पष्ट है भविष्य में **सीमांत अवस्था** विधि को ही पूर्णत: अपनाया जायेगा; परन्तु स्ट्रक्चरल इन्जीनियरी के नये छात्रों को **सीमांत अवस्था विधि** को समझने के लिये, पहले कार्यकारी प्रतिबल विधि (जो इनकी मूल है), से परिचित होना जरूरी है। अब भी संरचना के विभिन्न अवयवों का बंकन-विक्षेप जानने के लिये चरम भारों (Ultimate Loads) के स्थान पर कार्यकारी भारों (Working Loads) को ही ध्यान में रखा जाता है।

1.27-1. कार्यकारी प्रतिबल विधि (Working Stress Method)—कार्यकारी प्रतिबल विधि में कार्यकारी भारों (Working Loads) को आधार माना जाता है और कंक्रीट व इस्पात को प्रत्यास्थ मानकर अभिकल्पन किया जाता है। परन्तु व्यवहारिकता में कंक्रीट प्रत्यास्थ नहीं है। **चरम प्रतिबलों पर पहुंचने पर, कंक्रीट प्रत्यास्थ स्थिति (Elastic Stage) से सुघट्य स्थिति (Plastic Stage) में आ जाती है।** कंक्रीट के इस बदलाव के कारण, खण्ड की भार-वाहन क्षमता का शुद्धता से आंकलन नहीं हो पाता है।

प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं के अभिकल्पन की यह एक पुरानी एवं सर्वाधिक प्रचलित विधि है, इस विधि का प्रतिपादन सन् 1900 में कोजनेट व टेडस्को (Coignet and Tedesco) ने किया था। यह विधि सन् 1900 से सन् 1960 तक प्रयोग में आ रही थी। इस सिद्धान्त में कंक्रीट को प्रत्यास्थ सीमा के अन्दर प्रत्यास्थ माना गया है। प्रत्यास्थ सीमा तक इस्पात और कंक्रीट संयुक्त रूप से कार्य करते हैं और संरचना की विफलता तक प्रतिबल व विकृति में रेखीय सम्बन्ध (Linear Stress-Strain Relationship) बना रहता है। दोनों पदार्थों, इस्पात और कंक्रीट के बीच बन्ध (अभिलाग) (Bond) पूर्ण माना जाता है। कार्यकारी भारों के लिये कंक्रीट और इस्पात अपने-अपने अनुज्ञेय प्रतिबलों की सीमा में बने रहते हैं। खण्डों का अभिकल्पन बंकन के प्रत्यास्थ सिद्धान्त पर किया जाता है और यह माना जाता है कि दोनों पदार्थ (इस्पात और कंक्रीट) **हुक के नियम** का पालन करते हैं। प्रतिबलों के **सरल रेखीय वितरण** के कारण इस विधि में गणनायें काफी सरल हो जाती हैं।

कार्यकारी प्रतिबल विधि में कार्यकारी भारों की गणना में स्पष्टता का अभाव तथा सहयोगी पदार्थों के गुणों में भिन्नता को दृष्टि में रखकर, पर्याप्त सुरक्षा गुणक (Factor of Safety) अपनाया जाता है। I.S. 456 के अनुसार **कंक्रीट के बंकन में सम्पीडन प्रतिबलों के लिये 28 दिन के घन (क्यूब) की**

अभिलक्षणिक सामर्थ्य (Characteristic Strength) पर 3 और इस्पात के बंकन में तनन प्रतिबलों के लिये पराभव सामर्थ्य (Yield Strength) पर 1·78 का सुरक्षा गुणक लिया जाता है।

कार्यकर प्रतिबल विधि में कुछ आधारभूत दोष हैं, जो निम्न हैं—

(a) इस विधि में कंक्रीट को एक प्रत्यास्थ पदार्थ मान लिया गया है, जो वास्तव में सत्य नहीं है। कंक्रीट का अप्रत्यास्थ बर्ताव कम प्रतिबलों पर ही प्रकट होने लगता है। कार्यकारी प्रतिबल विधि भौतिक रूप से वास्तविकता पर आधारित नहीं है।

(b) इस विधि में **प्रतिबलों** पर ही सुरक्षा-गुणक (Factor of Safety) लगाया जाता है, **भारों** (Loads) पर नहीं। अत: अज्ञात भारों (जब कभी कार्यरत हो जाते हैं) के कारण, खण्ड की विफलता का पता नहीं लगता है।

(c) कंक्रीट खण्ड में प्रतिबल वितरण सरल रेखीय दिखाया जाता है, जो सत्य नहीं है। कार्यकारी प्रतिबल विधि में प्रतिबलों व विकृति के मध्य रेखीय सम्बन्ध वास्तविकता पर आधारित नहीं है।

(d) कंक्रीट पर संकुचन व मन्द विरुपण (Creep) के प्रभाव काल-आधारित होते हैं। इनके प्रभावों को प्रतिबल की प्रत्यास्थ गणनाओं में नहीं लिया गया है।

(e) अवयव के निपात (Collapse) के समय, उत्पन्न स्थिति पर यह विधि ध्यान नहीं देती है।

(f) कार्यकारी प्रतिबल विधि से अवयव का अभिकल्पित परिच्छेद अनावश्यक रूप से काफी बड़ा आता है, जिसके निर्माण पर व्यय अधिक होता है। **अत: यह मितव्ययी अभिकल्पन विधि नहीं है। यह विधि अब अपना महत्व खो रही है।** इसका उपयोग अब संरचना का विक्षेप (Deflection) ज्ञात करने के लिये किया जाता है, जहाँ चरम भार (Ultimate Loads) के स्थान पर कार्यकारी भार (Working Loads) अधिक विचारणीय माने जाते हैं।

उपरोक्त कारणों से प्रबलित कंक्रीट अवयवों के अभिकल्पन के लिये अन्य विधियाँ विकसित हुयीं। I.S. कोड़ 456-2000 भी स्पष्ट करता है कि यदि किसी कारणवश सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M) अपनानी **सम्भव न हो**, तब कार्यकारी प्रतिबल विधि (W.S.M) अपनायी जा सकती है। अन्य विकसित विधियों को समझने के लिये, फिर भी कार्यकारी प्रतिबल विधि को समझना जरूरी है।

1.27-2. चरम भार विधि (Ultimate Load Method)—इस विधि से अभिकल्पन करने पर कंक्रीट और प्रबलन इस्पात की सामर्थ्य का पूर्णत: लाभ उठाया जाता है और संरचना अधिक भार वहन कर लेती है। चरम भार सिद्धान्त पर प्रबलित कंक्रीट अवयवों का अभिकल्पन करने के लिये चरम भार (Ultimate or Collapse Load) पर विचार किया जाता है। संरचना पर पड़ने वाले अधिकतम सम्भावित भार को उपयुक्त कारक (Called Load Factor) से **गुणा** करके, चरम भार (Ultimate Load) निर्धारित किया जाता है और संरचना का इस चरम भार के लिये अभिकल्पन किया जाता है। चरम भार को निपात भार (Collapse Load) भी कहते हैं। **चरम भार व कार्यकारी भार के अनुपात को भार गुणक** (Load Factor) कहते हैं।

$$\text{भार गुणक} = \frac{\text{निपात भार}}{\text{कार्यकारी भार}} = \frac{\text{Collapse Load}}{\text{Working Load}}$$

भार गुणक से संरचना की सुरक्षा सम्बन्धी स्थिति का पता चलता है। चरम भार विधि में प्रत्यास्थ विधि की तुलना में 40% तक प्रबलन इस्पात की बचत होती है।

प्रत्यास्थ सिद्धान्त के अन्तर्गत सीमेंट कंक्रीट को एक प्रत्यास्थ पदार्थ मान लिया गया है। इसके अनुसार, अनुज्ञेय भार सीमा तक, प्रतिबल, विकृति के समानुपाती होते हैं। इसे सरल रेखीय सिद्धान्त भी कहते है। प्रत्यास्थ सिद्धान्त के अनुसार बंकन में कंक्रीट में अनुमत प्रतिबल, कंक्रीट के चरम बिन्दु प्रतिबलो (सामर्थ्य) को सुरक्षा गुणक (Safety Factor) से भाग देकर निर्धारित किये जाते है। धरन की सामर्थ्य सम्पीडन मे धरन के सबसे ऊपरी रेशो में अनुमत प्रतिबलों के आधार पर प्राप्त की जाती है, जबकि बल-शून्य रेखा पर यह प्रतिबल शून्य होते है। धरन के सबसे ऊपरी रेशों में प्रतिबल यदि अनुज्ञेय प्रतिबलो से आगे बढ़ते है, तो धरन सुरक्षित नही कही जा सकती है। यदि विचार करें, तो स्पष्ट होगा कि धरन के सबसे ऊपरी रेशो के नीचे स्थित रेशों मे प्रतिबल अनुज्ञेय से बहुत कम होते है और कुल मिलाकर धरन न्यून प्रबलित होती है और काफी सुरक्षित रहती है।

परन्तु व्यवहार मे, कंक्रीट पूर्णत: प्रत्यास्थ पदार्थ नही है। जब एक धरन को समरूपी भारित करते हुये, विफलता बिन्दु तक ले जाया जाता है, तो सबसे ऊपरी रेशों में चरम प्रतिबल (Ultimate Stress) पहुँचने पर भी **धरन एकदम विफल नहीं होता** है जबकि प्रत्यास्थ सिद्धान्त में सबसे ऊपरी रेशों में चरम प्रतिबल पहुँचने पर, खण्ड को विफल (Fail) मान लिया जाता है। भार के चरम सीमा पार करने पर, कंक्रीट प्रत्यास्थ अवस्था (Elastic Stage) से सुघट्य (पराप्रत्यास्थ) अवस्था (Plastic Stage) की तरफ अग्रसर होती है और चरम प्रतिबल धरन के निचले रेशों में अन्तरित होने लगते हैं। इस प्रकार धरन का सुघट्य (प्लास्टिक) क्षेत्र नीचे तक फैल जाता है, इससे बल शून्य रेखा भी नीचे की ओर खिसक जाती है। प्रतिबल आरेख की आकृति परवलयकार होती है (जबकि प्रत्यास्थ सिद्धान्त में यह त्रिभुजाकार मानी गयी है)। इससे स्पष्ट है कि **कार्यकारी बलों से अधिक बलों पर भी कंक्रीट खण्ड सुरक्षित बना रहता है।**

चरम भार विधि में भार गुणक (Load Factor), सुरक्षा गुणक (Factor of Safety) से अधिक महत्व रखता है। इसमें अभिकल्पक को पता रहता है कि संरचना वगैर ध्वस्त हुये, कार्यकारी भार से कितना अधिक भार सम्भाल सकती है।

चरम भार सिद्धान्त के अनुसार कंक्रीट व इस्पात में विद्यमान सामर्थ्य का अधिकतम लाभ उठाया जाता है। दोनो पदार्थों के सुरक्षित अनुज्ञेय प्रतिबलों के स्थान पर **क्रान्तिक प्रतिबलों** का प्रयोग किया जाता है। इससे खण्ड की भार वहन क्षमता अधिक प्राप्त होती है।

दोष— चरम भार विधि में प्रबलित कंक्रीट अवयव का खण्ड-माप **काफी छोटा** (Thin Section) आता है। ऐसे छोटे, परन्तु अत्यधिक प्रबलन इस्पात रखते हुये भी खण्ड, कार्यकारी प्रतिबल विधि से अभिकल्पित अवयवों की अपेक्षा अधिक झुकते (विक्षेप) और दरारें खातें है। उच्च सामर्थ्य की विरुपित छड़ें भी विक्षेप (Deflection) को बढ़ाने में अग्रसर होती हैं। अत्यधिक विक्षेप चाहे संरचना की सामर्थ्य को प्रभावित न करे, परन्तु सेवा योग्यता (Servicibility) की दृष्टि से ठीक नहीं है।

चरम भार विधि में **धरनों के कर्तन (Shear) व अभिलाग (Bond) सम्बन्धी सही जानकारी उपलब्ध नहीं है। अत: यह जांच प्रत्यास्थता सिद्धान्त के आधार पर की जाती है।**

चरम भार विधि में कंक्रीट के **संकुचन, दरारों व मन्द विरुपन** (Creep) पर भी कोई विचार नहीं किया जाता है। इससे भी अवयवों की सेवा योग्यता (सेव्यता) (Serviceability) प्रभावित होती है।

1.27-3. सीमांत अवस्था विधि (Limit State Method)—सीमांत अवस्था विधि एक तर्कसंगत विधि है, जो चरम भार विधि का सुधरा हुआ रूप है और यह विधि सुघट्य (प्लास्टिक) अभिकल्पन पर आधारित है। सीमांत अवस्था अभिकल्पन में संरचना की **चरम सामर्थ्य** के साथ-साथ, इसकी **सेवा योग्यता** व **टिकाऊपन** पर भी विचार किया जाता है। सीमांत अवस्था भारण (Loading) की एक ऐसी सीमा है, जब संरचना अभिकल्पन की आवश्यकताओं की पूर्ति बन्द कर देती है और यह उपयोगी नहीं रहती है।

सीमांत अवस्था विधि में मुख्यत: दो सीमाओं पर विचार किया जाता है। अवयव अपनी आयु-अवधि में पड़ने वाले सभी भारों के प्रति सुरक्षित बना रहे, इसका विक्षेप, संकुचन, दरार पड़ना इत्यादि सीमा में रहे और संरचना अपनी पूर्ण आयु-अवधि में सेवा योग्य बनी रहे। **किसी संरचना के विफल होने से पूर्व, सुरक्षा तथा सेवायोग्यता की स्वीकार्य सीमायें, सीमांत अवस्था (Limit State) कहलाती है।** भारतीय मानक ब्यूरो (B.I.S.) ने I.S. 456-2000 कोड में इसी अभिकल्पन विधि पर **अधिक बल** दिया है।

सीमांत अवस्था विधि की मुख्य सीमायें निम्न है—

(a) निपात की सीमांत अवस्था (Limit State of Collapse)—यह सीमांत अवस्था संरचना की सामर्थ्य पर विचार करती है। जब संरचना ध्वस्त (Collapse) होती है, इसे चरम अवस्था (Ultimate State) कहते हैं। इस सीमांत अवस्था में अवयव की निम्न निपात बातों को ध्यान में रखा जाता है—

(i) अनमन, (Flexural) (ii) कर्तन, (Shear) (iii) अभिलाग (Bond)
(iv) मरोड़ (Torsion), (v) सम्पीडन (Compression)।

(b) सेवायोग्यता (सेव्यता) की सीमांत अवस्था (Limit State of Servicibility)—यह वह अवस्था है जब अत्यधिक विकृति के कारण संरचना सेवा योग्य न रहे। इस सीमांत अवस्था में खण्ड के (i) विक्षेप (Deflection), (ii) दरारें (Cracking) तथा (iii) कम्पन (Vibration) पर विचार किया जाता है।

सामान्यत: कंक्रीट अवयव किसी एक क्रान्तिक सीमांत अवस्था के लिये अभिकल्पित किया जाता है और अन्य सीमांत अवस्था के लिये इसकी जाँच की जाती है। इस उद्देश्य की प्राप्ति के लिये पदार्थों की अभिलक्षणिक सामर्थ्य और भारों की भिन्नता को अभिकल्पन का आधार माना जाता है। सभी अभिलक्षणिक मान, सांख्यिकीय आँकड़ों पर आधरित होने चाहियें। यदि ऐसे आँकड़े उपलब्ध न हो, तब अनुभव को भी आधार माना जाना चाहिये।

सीमांत अवस्था विधि चरम भारों पर सुरक्षा (Ultimate Load Method) तथा कार्यकारी भारों पर सेवायोग्यता (Working Stress Method), दोनों विधियों की आवश्यकताओं की पूर्ति को ध्यान में रखती है और इसमें प्रत्यास्थ सिद्धान्त और चरम भार सिद्धान्त, दोनों की कमियों को दूर किया गया है। भारों तथा मैटिरियल पर आंशिक सुरक्षा गुणक (Partial Safety Factor) लगाकर, अभिकल्प भार (Factor Load) तथा अभिकल्प प्रतिबल (Design Stresses) निर्धारित किये जाते हैं।

नोट—I.S. 456-2000 ने छूट दी है, यदि सीमान्त अवस्था विधि यथावसर (Conveniently) नहीं अपनायी जा सकती है, तब कार्यकारी प्रतिबल विधि अपनायी जा सकती है (धारा 18.2.2.–I.S. कोड)।

§ 1.28. कार्यकारी प्रतिबल विधि तथा सीमांत अवस्था विधि की तुलना (Comparison in between Working Stress and Limit State Methods) :

यह तुलना निम्न है—

कार्यकारी प्रतिबल विधि (Working Stress Method)	सीमांत अवस्था विधि (Limit State Method)
1. **आधार नियम**–यह विधि यान्त्रिकी के सामान्य नियमों पर आधारित है और सैद्धान्तिक है। इसमें गणनायें सरल पड़ती हैं।	1. अभिकल्पन विधि प्रेक्षण द्वारा उपलब्ध आँकड़ों पर आधारित है। गणनाओं को सरल बनाने के लिये कुछ मान्यतायें अपनायी जाती हैं।
2. **कंक्रीट की प्रकृति**–अभिकल्पन के लिये कंक्रीट को प्रत्यास्थ माना जाता है, जो वास्तव में नहीं है।	2. कंक्रीट विफल होने से पहले प्रत्यास्थ अवस्था से सुघट्य अवस्था में आ जाती है। इस विधि में इस तथ्य को आधार माना गया है।
3. **भार निर्धारण**–संरचना पर भारों का निर्धारण सरल पड़ता है।	3. संरचना पर भार निर्धारण अनुभव व सूझ-बूझ के आधार पर किया जाता है।
4. **हुक नियम**–प्रतिबल, विकृति के समानुपाती होते हैं। यह विधि हुक के नियम पर आधारित है।	4. सीमांत अवस्था विधि हुक के नियम को विचार में नहीं लाती है।
5. **प्रतिबल आरेख**–प्रतिबलों का वितरण सरल रेखीय माना जाता है। इस आधार पर सम्पीडन प्रतिबल आरेख **त्रिभुजाकार** होता है।	5. प्रतिबलों का वितरण **सरल रेखीय** नहीं होता है। सम्पीडन प्रतिबल **आरेख परवलयकार** होता है, जिसे गणनाओं की **सरलता के लिये** समतुल्य आयत में बदल लिया जाता है।
6. **पदार्थों की सामर्थ्य**–अभिकल्पन में मापांक अनुपात = m लिया जाता है। इस्पात की सामर्थ्य परिस्थान कंक्रीट की सामर्थ्य से m गुना ली जाता है, जब कि इस्पात की वास्तविक सामर्थ्य काफी अधिक होती है।	6. अभिकल्पन में कंक्रीट और इस्पात की वास्तविक प्रेक्षण सामर्थ्य ली जाती है। इससे इस्पात, जो एक महंगा पदार्थ है, की पूर्ण सामर्थ्य का लाभ मिलता है।
7. **सुरक्षा गुणक**–कार्यकारी प्रतिबलों को निर्धारित करने के लिये **सुरक्षा गुणक** (Safety Factor) का प्रयोग किया गया है।	7. सीमांत अवस्था विधि में कंक्रीट व इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य तथा **आंशिक सुरक्षा गुणक** (Partial Safety Factor) अपनाये जाते हैं।
8. **प्रबलन**–अधिकतर धरन-खण्ड सन्तुलित अथवा अतिप्रबलित होते हैं। कंक्रीट की पूर्ण सामर्थ्य का उपयोग हो पाता है।	8. इस्पात की पूर्ण सामर्थ्य प्राप्त करने के लिये न्यून प्रबलित धरनों को वरीयता दी जाती है। इससे इस्पात की मात्रा कम लगती है।
9. **मितव्ययी खण्ड**–इस सिद्धान्त पर अभिकल्पित खण्ड मितव्ययी नहीं होते हैं।	9. अभिकल्पित खण्ड मितव्ययी होते हैं।
10. **अन्य प्रतिबल**–कर्तन तथा अभिलाग के लिये सीमांत अवस्था विधि अपनायी जाती है।	10. विक्षेप (Deflection) के लिये प्रत्यास्थता विधि का आश्रय लिया जाता है।
11. **सेवायोग्यता**–कंक्रीट संरचना पर कालान्तर पड़ने वाले प्रभाव-संकुचन व मन्द विरुपण (Creep) पर ध्यान नहीं दिया जाता है।	11. कंक्रीट के इस दोषों पर भी ध्यान दिया जाता है।
12. **खण्डमाप**–अभिकल्पित खण्ड काफी बड़े आते हैं, जिस कारण इस्पात व कंक्रीट की खपत अधिक होती है।	12. अभिकल्पित खण्ड का माप उपयुक्त होता है, अतः मितव्ययी भी होता है।

प्रश्नावली–1

1. (a) सीमेंट कंक्रीट उत्पादन में कौन-कौन से पदार्थ डाले जाते हैं और इनका क्या प्रकार्य होता है, स्पष्ट वर्णन करें।
   (b) सामान्य सीमेन्ट को जलीय सीमेन्ट (Hydraulic Cement) क्यों कहते हैं?
   (c) एक बोरी सीमेंट में कितना सीमेंट (भार/आयतन) होता है।
   (d) सीमेन्ट को भार (Weight) में क्यों लेना चाहिये?
2. सादा सीमेंट कंक्रीट भवन निर्माण में कहाँ प्रयोग की जाती है, लिखिये।
3. कंक्रीट में प्रबलन क्यों डाला जाता है और सामान्यतः यह किस पदार्थ का होता है, स्पष्ट उत्तर दें।
4. (a) सीमेंट कितने प्रकार का होता है। सादा कंक्रीट में कौन-सा सीमेंट प्रयोग किया जाता है, लिखिये।
   (b) B.I.S. के अनुसार O.P.C. का वर्गीकरण लिखिए।
5. निम्नलिखित पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखें—
   (i) OPC ग्रेड 43 सीमेंट (ii) पकन काल
   (iii) जलयोजन क्रिया (iv) सुकार्यता
   (v) बालू का फूलना (vi) जल:सीमेंट अनुपात *[B.T.E.]*
6. नामन मिक्स कंक्रीट और डिजाइन मिक्स कंक्रीट में अन्तर स्पष्ट करें।
7. कंक्रीट के पृथक्कीकरण (Segregation) तथा उत्स्रवण (Bleeding) को स्पष्ट करें।
8. कंक्रीट की सुकार्यता व सघनता में क्या सम्बन्ध है? लिखिये।
9. कंक्रीट के लिये मशीन मिश्रण विधि को क्यों वरीयता दी जाती है, लिखिये।
10. कंक्रीटन के लिये फरमाबन्दी की आवश्यकता क्यों पड़ती है? स्लैब की फरमाबन्दी कब हटाई जा सकती है, लिखिये। *[B.T.E.]*
11. कंक्रीट की कुटाई क्यों आवश्यक है? यह कैसे सम्पन्न की जाती है? पूर्ण कुटाई कार्य की क्या पहचान है? स्पष्ट वर्णन करें। *[B.T.E.]*
12. निम्नलिखित पर संक्षेप में प्रकाश डालें—
   (i) कंक्रीट की तराई *[B.T.E.]*
   (ii) पानी के भीतर कंक्रीट डालना
   (iii) अधिक ठण्डे क्षेत्रों में कंक्रीट कार्य
   (iv) मंद विरुपण (Creep)।
13. निम्नलिखित का प्रयोग कंक्रीट में क्यों किया जाता है—
   (i) त्वरक (Accelerators) (ii) मंदक (Retarders) *[B.T.E.]*
14. कंक्रीट कार्य में जोड़ डालने क्यों आवश्यक हैं ? एक स्लैब के लिये प्रसार जोड़ का चित्र दें। *[B.T.E.]*
15. (i) प्रबलित कंक्रीट और सादा कंक्रीट में अन्तर स्पष्ट करें।
   (ii) प्रबलित सीमेंट कंक्रीट के गुण-दोषों पर प्रकाश डालें।
16. (i) प्रबलित इस्पात के लिये इस्पातीय छड़ें क्यों प्रयोग की जाती हैं ? स्पष्ट उत्तर दें।
   (ii) टोर छड़ों के उपयोग पर प्रकाश डालें। इन्हें सादा (Plain) छड़ों पर, क्यों वरीयता दी जाती है?
17. स्लम्प परीक्षण किस लिये किया जाता है, बताइये।

18. कंक्रीट मिक्स डिजाइन की मुख्य विधियो के नाम लिखिये।
19. निम्नलिखित प्रबलित कंक्रीट अवयवो की फरमाबन्दी कब हटाई जा सकती है—
    (i) भारी धरन (iii) स्तम्भ (ii) स्लैब।।
20. बालू का फूलना (Bulking of Sand) क्या होता है? कंक्रीट तैयार करते समय इस पर क्यों ध्यान देना चाहिये? स्पष्ट उत्तर दे।
21. कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य क्या होती है? यह कैसे ज्ञात की जाती है। लिखे।
22. कंक्रीट के ग्रेड से आप क्या समझते है? I.S. के अनुसार कंक्रीट के मुख्य सात ग्रेड बताइये। *[B.T.E.]*
23. प्रबलित कंक्रीट मे डाला जाने वाला इस्पात कितने प्रकार का होता है? संक्षेप में लिखें।
24. (i) सीमेट कंक्रीट मे M-15 का क्या तात्पर्य है, लिखिये।
    (ii) कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य पर प्रकाश डालें।
25. विरुपित छड़े (Deformed Bars) का प्रयोग अब क्यो किया जाने लगा है? वर्णन कीजिये।
26. प्रबालेत कंक्रीट संरचनाओ के क्षति-ग्रस्त होने के कारणों पर प्रकाश डालें।
27. प्रबलित कंक्रीट संरचनाओ के अभिकल्पन की विधियो के नाम दे तथा उन पर संक्षिप्त प्रकाश डालें।
28. अन्तर स्पष्ट करें—
    (i) कार्यकारी प्रतिबल विधि तथा सीमांत अवस्था विधि।
    (ii) सुरक्षा गुणक तथा आंशिक सुरक्षा गुणक।
29. कार्यकारी प्रतिवल विधि व सीमांत अवस्था विधि की तुलना करें।
30. सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M.) में अवयव की किन-किन सीमाओं (Limit State) पर विचार किया जाता है? स्पष्ट उत्तर दे।
31. सीमान्त अवस्था विधि पर कंक्रीट अवयवों का अभिकल्पन करते हुये भी, किस सीमा-स्थिति के लिये, प्रत्यास्था विधि (कार्यकर प्रतिबल विधि) का सहारा लिया जाता है? लिखिए।
32. निम्न वाक्यो को पूर्ण करें—
    (i) कंक्रीट की सामर्थ्य जल-सीमेंट अनुपात (W.C. Ratio) बढ़ाने से — हैं।
    (ii) M-25 ग्रेड की कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य 150 mm घन की 28 दिन की तराई पर — N/mm^2 होती है।
    (iii) 150 mmϕ बेलनाकार प्रतिदर्श तथा 150 mm घन प्रतिदर्श की सम्पीडन क्षमता का अनुपात — होता हैं। *[B.T.E.]*

(उत्तर: (i) घटती है। (ii) 25 N/mm^2 (iii) 0·8)

2 कार्यकारी प्रतिबल विधि (प्रत्यास्थता सिद्धान्त)

[WORKING STRESS METHOD (ELASTIC THEORY)]

(I) कार्यकारी प्रतिबल (WORKING STRESSES)

§ 2.1. भूमिका (Introduction) :

भवनों तथा अन्य संरचनाओं के विभिन्न संघटकों जैसे—धरन (Beam), स्लैब (Slab), लिन्टल (Lintel), छज्जे (Cantilever), स्तम्भ (Column) इत्यादि को इस प्रकार सुनिश्चित ढंग से निर्माण करना होता है कि वे अपने ऊपर आने वाली सभी भारों—चल (Live), अचल (Dead), वायु (Wind) इत्यादि को दक्षतापूर्वक वहन करें और संरचना अपनी लाभकारी आयु तक सुरक्षित व सेवा योग्य बनी रहे। इस उद्देश्य की प्राप्ति में प्रबलित कंक्रीट का योगदान बड़ा महत्व रखता है।

प्रबलित सीमेंट कंक्रीट रचनाओं के अभिकल्पन के लिये बलों (Forces), प्रतिबलों (Stresses), विकृति (Strains), प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity), बंकन आघूर्ण (Bending Moment), कर्तन (Shear), विक्षेप (Deflection) इत्यादि की सैद्धान्तिक जानकारी की आवश्यकता पड़ती है और ऐसा समझा जाता है कि इनके बारे में विद्यार्थी अपनी निचली कक्षाओं में 'द्रव्यों की सामर्थ्य' के अर्न्तगत पढ़ चुके हैं।

जैसा पिछले अध्याय में बताया गया है, कंकीट सम्पीडन में काफी अधिक सामर्थ्य रखती है, परन्तु तनन में बहुत कमजोर होती है (इसकी तनन सामर्थ्य, सम्पीडन सामर्थ्य का कुल 10 से 15% ही होती है)। एक सादा सीमेन्ट कंक्रीट (Plain Cement Concrete) का बना धरन बहुत कम भार ले पाता है और तनन क्षेत्र में दरारें पड़ने पर विफल हो जाता है, अत: कंक्रीट के इस दोष को दूर करने के लिये, इसमें इस्पात का प्रबलन दिया जाता है। यह प्रबलन आनमन अवयवों (Flexural Members) में तनन क्षेत्र में दिया जाता है। यह तनन क्षेत्र सामान्य धरनों में बल-शून्य रेखा (उदासीन अक्ष) के नीचे स्थित माना जाता है (प्रास धरन में यह बल-शून्य रेखा के ऊपर स्थित होता है)।

प्रबलित खण्डों के अभिकल्पन के अर्न्तगत अवयवों का माप, इनमें प्रबलन इस्पात की मात्रा, इसकी स्थिति तथा खण्ड की सामर्थ्य ज्ञात की जाती है। प्रबलन इस्पात सादा (Plain) अथवा टोर छड़ों (Twisted Bars) के रूप में दिया जाता है।

प्रबलित कंक्रीट अवयवों के अभिकल्प की अनेक विधियाँ हैं, जिनकी चर्चा अनुच्छेद 1.27 में की गयी है, जिसमें कार्यकारी प्रतिबल विधि (Working Stress Method) गत अनेक दशकों से अपनायी जाती रही है क्योंकि यह सरल पड़ती है, परन्तु वर्तमान में अपनायी जा रही सीमांत अवस्था विधि (Limit State Method), जो लम्बे समय तक किये गये अनुसाधनों/परीक्षणों पर आधारित है, अधिक न्याय संगत व व्यवहारिक है, को ठीक से समझने के लिये, कार्यकारी प्रतिबल विधि (Working Stress Method) को मूल आधार के रूप में समझना आवश्यक है। नवीनतम I.S. कोड भी अवयवों में विक्षेप (Deflection) व दरारों (Crackings) की जांच के लिये कार्यकारी प्रतिबल विधि की ही संस्तुति करता है। हम इस अध्याय में इसी अभिकल्पन विधि की चर्चा करेगें।

§ 2.2. प्रबलित कंक्रीट धरनों के बंकन सिद्धान्त की मूल संकल्पनाएँ (Basic Assumptions in Theory of Simple Bending for R.C.C. Beams):

किसी भी इन्जीनियरी संरचना का अभिकल्प स्वीकृत विधि से जो यान्त्रिकी के नियमों तथा प्रबलित कंक्रीट के सिद्धान्तों का पालन करती हो, किया जाता है। संरचनाओं के अभिकल्प के लिये अपनायी गयी कार्यकारी प्रतिबल विधि का आधार बंकन का प्रत्यास्थ सिद्धांत (Elastic Theory of Bending) है। इस विधि में कंक्रीट की चरम सम्पीडन सामर्थ्य को और इस्पात के पराभव प्रतिबल (Yield Stress) को उपयुक्त सुरक्षा गुणक (Factor of Safety) से भाग देकर, कार्यकारी भारों के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल निर्धारित कर लिये जाते हैं। प्रबलित सीमेंट कंक्रीट में, कंक्रीट तथा इस्पात रचना व गुणों की दृष्टि से दो बिल्कुल भिन्न-भिन्न पदार्थ हैं, परन्तु जब इनको संयुक्त रूप में प्रयोग किया जाता है, तब कुछ सीमाओं के अन्दर रहते हुये, प्रबलित सीमेंट कंक्रीट एक समांगी पदार्थ (Homogeneous Material) की भाँति कार्य करती है और हुक के नियम (Hooke's law) का पालन करती है। अत: प्रत्यास्थ सिद्धान्त (Elastic Theory) पर प्रबलित सीमेंट कंक्रीट के खण्डों का विश्लेषण करने के लिये निम्नलिखित मूल संकल्पनाएँ, सुविधा की दृष्टि से, अपनाई जाती हैं—

(1) **कोई भी अनुप्रस्थ परिच्छेद** (Cross Section) **जो बंकन से पूर्व समतल है, बंकन के पश्चात् भी समतल रहता है** अर्थात् खण्ड के बल शून्य अक्ष (Neutral Axis) के ऊपरी तथा निचले भागों में विकृति (Strain) इसकी बल शून्य रेखा की दूरी के समानुपाती होती है। बल शून्य अक्ष (रेखा) पर विकृति व प्रतिबल शून्य होते हैं। अर्थात् विकृति-वितरण आरेख (Strain Diagram) एक त्रिभुज होती है, जिसका मान बल शून्य अक्ष पर शून्य तथा खण्ड के उच्चतम रेशों में अधिकतम होता है। इसे बरनोली (Bernoullis) संकल्पना भी कहते हैं।

(2) **कार्यकारी सीमा के अन्दर, कंक्रीट तथा इस्पात पूर्ण रूप से प्रत्यास्थ माने जाते हैं** अर्थात् प्रतिबल, विकृति के समानुपाती होते हैं।

(3) **कार्यकारी भार पर, इस्पात और कंक्रीट का प्रतिबल-विकृति सम्बन्ध एक सीधी सरल रेखा** (Straight Line) **में रहता है।**

(4) **सभी तनन प्रतिबल प्रबलन इस्पात वहन करता है और कंक्रीट इससे पूर्ण मुक्त मानी जाती है।** तनन क्षेत्र की कंक्रीट, इस्पात की छड़ों को निर्धारित स्थिति में बनाये रखने के अतिरिक्त कोई अन्य योगदान नहीं देती है।

(5) **कंक्रीट व इस्पात में अभिलाग** (Bond) **इस्पात की प्रत्यास्थ सीमा तक परिपूर्ण** (Perfect) **होता है** और दोनों पदार्थ एक इकाई के रूप में कार्य करते हैं।

(6) **कंक्रीट में दबाते समय प्रबलन इस्पात तथा कंक्रीट में किसी भी प्रकार के प्रारम्भिक प्रतिबल नहीं होते हैं।**

(7) इस्पात तथा कंक्रीट की प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity)—E_s व E_c अचर (constant) माने जाते हैं। इस्पात व कंक्रीट के प्रत्यास्थता मापांकों के अनुपात 'm' का मान $\frac{280}{3\sigma_{cb}}$ लिया जायेगा। यहां σ_{cb} कंक्रीट में बंकन में अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल (N/mm^2) है।

ऊपर दी गयी मान्यताओं के आधार पर विकसित समतुल्य प्रतिबल आरेख (Equivalent Stress Diagram) चित्र 2.4 में दर्शाया गया है।

§ 2.3. प्रतिबल (Stresses) :

जब किसी संरचनात्मक खण्ड पर बाहरी भार (बल) कार्य करते हैं, तो (प्रतिक्रिया के रूप में) उसमें आन्तरिक प्रतिरोध (बल) उपजते हैं, जिन्हें प्रतिबल (Stresses) कहते हैं।

प्रतिबल तनन (Tensile), सम्पीडन (Compressive) व अपरूपण (Shear) प्रकार के हो सकते हैं। तीव्रता (intensity) की दृष्टि से प्रतिबल निम्न श्रेणी में रखे जाते हैं—

(i) चरम प्रतिबल (Ultimate Stress),

(ii) सुरक्षित, कार्यकारी या अभिकल्प प्रतिबल (Safe, Working or Design Stress),

(iii) वास्तविक प्रतिबल (Actual Stress)।

(1) चरम प्रतिबल—किसी खण्ड के भार के कारण, विफल होने के समय उत्पन्न प्रतिबल, चरम प्रतिबल कहलाते हैं। यह प्रतिबल खण्ड की **कुल** सामर्थ्य दर्शाते हैं। चरम प्रतिबल प्रयोगशाला में प्रतिदर्श की जांच करके ज्ञात किये जाते हैं, जैसे M-15 ग्रेड की कंक्रीट की, 15 cm घन (Cube) की 28 दिन तक तराई (Curing) के बाद इसे भंजन करने पर उपलब्ध सामर्थ्य, चरम सम्पीडन सामर्थ्य [15 N/mm^2 (150 kg/cm^2)] ली जाती है। इसे अभिलक्षणिक सामर्थ्य (Characteristic Strength f_{ck}) भी कहते हैं।

(2) सुरक्षित, कार्यकारी या अभिकल्प प्रतिबल—किसी भी अवयव को अकस्मात विफल होने से रोकने के लिये, व्यवहार में इसे कभी भी चरम सीमा तक भारित नहीं किया जाता है।

अत: प्रयोगशाला से प्राप्त चरम प्रतिबलों को सुरक्षा गुणक (Factor of Safety) से भाग देकर, सुरक्षित कार्यकारी प्रतिबल निर्धारित कर लिये जाते हैं, जिन्हें अभिकल्पन में अपनाया जाता है। सुरक्षा गुणक का मान स्थल पर उपलब्ध निर्माण सामग्री, कार्य प्रणाली तथा व्यावहारिक स्थितियों के आधार पर निर्धारित किया जाता है।

(i) कंक्रीट का बंकन सम्पीडन (Bending Compression) में कार्यकारी प्रतिबल, चरम सम्पीडन प्रतिबल (28 दिन की घन सामर्थ्य) को **सुरक्षा गुणक 3** से भाग देकर प्राप्त किया जाता है, जैसे M-15 ग्रेड (चरम प्रतिबल 15 N/mm^2) की कंक्रीट के लिये—

$$\text{कार्यकारी प्रतिबल} = \frac{\text{चरम प्रतिबल}}{\text{सुरक्षा गुणक}} = \frac{15}{3} = 5 \text{ N/mm}^2 (50 \text{ kg/cm}^2)$$

(ii) कंक्रीट का सीधे सम्पीडन (Direct Compression) में सुरक्षा गुणक 4 लिया जाता है।

(iii) इस्पात की तनन में पराभव सामर्थ्य (Yield Strength) पर सुरक्षा गुणक 1·78 लिया जाता है। मृदु इस्पात Fe 250 का पराभव प्रतिबलों का मान 250 N/mm^2 होता है, परन्तु अभिकल्पन के लिये अनुमत प्रतिबल, **सुरक्षा गुणक 1·78 अपनाते** हुये, $\frac{250}{1{\cdot}78}$ = 140·45 अर्थात् 140 N/mm^2 लिया जाता है। (नोट 1 N/mm^2 = 10 kg/cm^2)।

टिप्पणी—कंक्रीट की सामर्थ्य में, इसके संघटकों के मिलाने, कुटाई, तराई आदि क्रियाओं में अत्य भिन्नता होने के कारण, अन्तर आ जाता है, अत: इसके लिये बड़ा (अधिक) सुरक्षा गुणक (अर्थात 3) रखा गया है, जबकि इस्पात नियन्त्रित प्रक्रम में फैक्ट्री उत्पादित है, अत: इसके लिये सुरक्षा गुणक कम (अर्थात 1·78) लिया जाता है।

(3) वास्तविक प्रतिबल—यह अवयव पर किसी समय पड़ने वाले भार के कारण उपजे वास्तविक प्रतिबल होते हैं। भार की तीव्रता बदलने पर, इनका मान भी बदल जाता है, परन्तु सुरक्षा की दृष्टि से वास्तविक प्रतिबल, कभी भी अनुमत प्रतिबलो से अधिक नहीं बढ़ने चाहिये।

§ 2.4. अनुज्ञेय कार्यकारी प्रतिबल (Permissible Working Stresses) :

(1) कंक्रीट में—विभिन्न श्रेणी की कंक्रीट के लिये, अनुज्ञेय प्रतिबल सारणी 2.1 में दिये गये हैं। प्रबलित कंक्रीट अभिकल्पन मे M-15 ग्रेड अथवा इससे उच्च ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग की जाती है।

सारणी 2.1—कंक्रीट की श्रेणी तथा अनुज्ञेय प्रतिबल (N/mm² में)
(I.S. 456-2000) (Table 21)

कंक्रीट की श्रेणी (Grade)	150 mm के घन (cube) की 28 दिन की तराई पर अभिलक्षणिक सम्पीडन सामर्थ्य f_{ck} (N/mm²)	कंक्रीट के सम्पीडन में अनुज्ञेय प्रतिबल (N/mm²)		अभिलाग (Average bond) में अनुज्ञेय प्रतिबल	
		बंकन में (Bending) σ_{cb}	सीधे (Direct compression) σ_{cc}	जब तनन क्षेत्र में सादा छड़ें डाली गयी हैं τ_{bd} (N/mm²)	जब तनन क्षेत्र में HYSD छड़ें डाली गयी है τ_{bd} (N/mm²)
M-10	10	3·0	2·5	–	–
M-15	15	5·0	4·0	0·6	0·96
M-20	20	7·0	5·0	0·8	1·28
M-25	25	8·5	6·0	0·9	1·44
M-30	30	10·0	8·0	1·0	1·60
M-35	35	11·5	9·0	1·1	1·76
M-40	40	13·0	10·0	1·2	1·92
M-45	45	14·5	11·0	1·3	2·08
M-50	50	16·0	12·0	1·4	2·24

टिप्पणी– (i) विरूपित छड़ों (Deformed Bars) के लिये उपरोक्त अभिलाग प्रतिबल 60% बढ़ाये जाते हैं (धारा B-2.1.2/I.S. 456-2000)। HYSD छड़ों के लिये ये प्रतिबल उपरोक्त सारणी में दर्शाये गये हैं।

(ii) जब छड़ें सम्पीडन में हों तो उपरोक्त अभिलाग प्रतिबल 25% बढ़ाये जाते हैं।

(iii) कंक्रीट में अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल सारणी 4.1 में दिये गये हैं।

(2) इस्पात में—प्रबलन इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल सारणी 2.2 में दिये गये हैं।

§ 2.5. मापांक अनुपात (Modular Ratio) :

इस्पात तथा कंक्रीट के प्रत्यास्थता म्मपांको (Modulus of Elasticity) के अनुपात को **मापांक अनुपात** कहते हैं। मापांक अनुपात को '*m*' अक्षर द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। प्रबलित कंक्रीट में मापांक

(शेष पृष्ठ 46 पर)

सारणी 2.2–प्रबलन इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल, N/mm² में
(I.S. 456–2000) (Table 22)

प्रबलन इस्पात में प्रतिबल का प्रकार (Type of stress in steel)	मृदु इस्पात (ग्रेड I) की सादा छड़ें अथवा विरूपित मृदु छड़ें (I.S. 432)	मध्यम तन्य इस्पात की सादा अथवा विरूपित छड़ें (I.S. 432)	उच्च पराभव सामर्थ्य इस्पात की विरूपित छड़ें (I.S. 1786)	
			ग्रेड Fe 415	ग्रेड Fe 500
1	2	3	4	5
1. अभिलक्षणिक सामर्थ्य (f_y)	250	350	415	500 (For stirrups = 415)
2. तनन व कर्तन में (σ_{st}, σ_{sv})				
(a) 20 mm व्यास तक की छड़ें	140	प्रत्याभूत पराभाव प्रतिबलो का आधा या 190 जो भी कम है।	230	275
(b) 20 mm से अधिक व्यास वाली छड़ें	130		230	275
3. सम्पीडन (स्तम्भ छड़ें) (σ_{sc})	130	130	190	190
4. धरन या स्लैब की सम्पीडित छड़ों में सम्पीडन प्रतिबल, जबकि कंक्रीट का सम्पीडन प्रतिरोध भी गणना मे लिया गया है।	1·5 m × परिस्थान कंक्रीट मे परिकलित सम्पीडन प्रतिबल अथवा σ_{sc} जो भी न्यून हो। (यहां m = मापांक अनुपात)			
5. धरन या स्लैब की सम्पीडित छड़ों में सम्पीडन प्रतिबल, जबकि कंक्रीट का सम्पीडन प्रतिरोध गणना में नहीं लिया गया है।				
(a) 20 mm व्यास तक की छड़ें	140	प्रत्याभूत पराभव प्रतिबलों का आधा या 190, जो भी कम है।	190	–
(b) 20 mm से अधिक व्यास वाली छड़ें	130		190	–

टिप्पणी— (i) जब ग्रेड II की छड़ें प्रयोग की जाती हैं, तब स्तम्भ 2 में दिये गये प्रतिबलो का 90% ही मान्य होगा। यदि अभिकल्पन ग्रेड I छड़ो पर आधारित है, तो मौके पर ग्रेड II की छड़ों का क्षेत्रफल 10% बढ़ाकर ले।

(ii) एक ही खण्ड मे विभिन्न सामर्थ्य वाली छड़ें (जैसे Fe 250, Fe 415) अथवा सादा व टोर छड़ें पास-पास (Side by Side) प्रयोग करने से बचना चाहिये। इससे कार्यस्थल पर भ्रम उत्पन्न होता है और त्रुटि की सम्भवना रहती है, परन्तु उप-प्रबलन (जैसे टाई व छल्लों) के लिये, यदि मुख्य प्रबलन उच्च पराभव सामर्थ्य वाला डाला गया है, मृदु इस्पात का प्रयोग किया जा सकता है।

का विशेष महत्व है, क्योंकि इसमें कंक्रीट और इस्पात, दो भिन्न-भिन्न गुणों वाले पदार्थों का संयुक्त प्रयोग होता है।

अत: मापांक अनुपात = $\frac{\text{इस्पात का प्रत्यास्थता मापांक}}{\text{कंक्रीट का प्रत्यास्थता मापांक}}$ अथवा $m = \frac{E_s}{E_c}$

E_s का मान 2×10^5 N/mm^2 और E_c का मान $5000\sqrt{f_{ck}}$ N/mm^2 लिया जाता है (भारा 5.6.3 व 6.2.3.1-I.S. Code 456-2000)। यहाँ f_{ck} कंक्रीट की अभिलाक्षणिक सम्पीडन सामर्थ्य है।

ध्यान रहे कंक्रीट का प्रत्यास्थता मापांक, कंक्रीट की सामर्थ्य (ग्रेड) के अनुरूप बदल जाता है अत: उपरोक्त प्रकार से ज्ञात किया गया मापांक अनुपात प्रबलित कंक्रीट अभिकल्पन में (व्यवहार में) नहीं लिया जाता है। I.S. कोड 456-2000 में कंक्रीट की, सामर्थ्य व मन्द विरूपण (Creep) पर ध्यान देते हुये m के लिये निम्न सूत्र निर्धारित किया है—

$$m = \frac{280}{3\sigma_{cb}} \qquad \text{...(2.1)}$$

यहाँ σ_{cb} कंक्रीट (ग्रेड अनुसार) में अनुमत बंकन सम्पीडन प्रतिबल है। M-15 ग्रेड की कंक्रीट के लिये $\sigma_{cb} = 5$ N/mm^2 लेने पर,

$$m = \frac{280}{3 \times 5} = 18{\cdot}7 \text{ say } 18$$

इस पुस्तक में m का मान 18 (M-15 ग्रेड की कंक्रीट के लिये) लिया गया है। m का मान कंक्रीट के ग्रेड (सामर्थ्य) के अनुसार 7 से 31 तक विचरता है।

§ 2.6. सीधे भार पर प्रबलित कंक्रीट खण्डों में प्रतिबलों का वितरण (Distribution of Stresses in R.C.C. Sections Under Direct Load) :

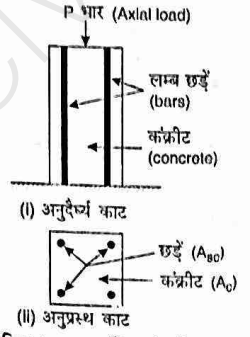
चित्र 2.1 में दर्शाये गये एक प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ (Composite Section of Concrete and Steel) पर विचार करें, जिस पर सीधा भार P आ रहा है। स्तम्भ में प्रबलन के लिये, इस्पात की छड़े पूर्ण रूप से दबा दी गयी हैं।

इस व्यवस्था में भार के कारण खण्ड में सीधे (प्रत्यक्ष) प्रतिबल उपजते है।

जब खण्ड पर पड़ने वाले बल का अक्ष तथा खण्ड का अक्ष एक सीध (रेखा) (सम्पाती) पर स्थित होते हैं, तब खण्ड में उपजने वाले प्रतिबल, **सीधे (प्रत्यक्ष) प्रतिबल** कहलाते हैं।

उपरोक्त दी गयी मूल संकल्पनाओं (अनुच्छेद 2.2) के अनुसार, कंक्रीट और इस्पात का अभिलाग (Bond) पूर्ण है, अत: दोनों पदार्थों में विकृति (Contraction) समान होगी, अर्थात् स्तम्भ पर आ रहे भार P के कारण कंक्रीट तथा इस्पात में विकृति बराबर होगी।

अत: इस्पात में विकृति = कंक्रीट की विकृति।



चित्र 2.1—प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ (R.C.C. Column)

हुक के नियम के अनुसार प्रत्यास्थता मापांक,

$$E = \frac{\text{प्रतिबल}}{\text{विकृति}} \qquad \left[E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}}\right]$$

माना E_s, e_s व σ_{sc} इस्पात में तथा E_c, e_c व σ_{cc} कंक्रीट में क्रमश: प्रत्यास्थता मापांक, विकृति व प्रतिबल के मान है।

अत: इस्पात के लिये, $E_s = \frac{\sigma_{sc}}{e_s}$ अथवा $e_s = \frac{\sigma_{sc}}{E_s}$ ...(i)

और कंक्रीट के लिये, $E_c = \frac{\sigma_{cc}}{e_c}$ अथवा $e_c = \frac{\sigma_{cc}}{E_c}$ ...(ii)

परन्तु इस्पात में विकृति = कंक्रीट में विकृति (मूल संकल्पना)

अर्थात् $e_s = e_c$ ...(iii)

उपरोक्त समीकरण में (i) व (ii) के मान रखने पर,

$$\therefore \quad \frac{\sigma_{sc}}{E_s} = \frac{\sigma_{cc}}{E_c}$$

$$\frac{\sigma_{sc}}{\sigma_{cc}} = \frac{E_s}{E_c}$$

परन्तु $\frac{E_s}{E_c} = m$, मापांक अनुपात (Modular Ratio) है

अत: $\frac{\sigma_{sc}}{\sigma_{cc}} = m$

अथवा $\sigma_{sc} = m\,\sigma_{cc}$ ...(2.2)

अर्थात् इस्पात में उत्पन्न प्रतिबल, परिस्थान कंक्रीट के प्रतिबलों के m गुना होते हैं। इससे यह भी स्पष्ट होता है कि इस्पात का प्रभावी क्षेत्रफल, कंक्रीट क्षेत्रफल का m गुना होगा और समान क्षेत्रफल के लिये इस्पात, कंक्रीट की तुलना में m गुना अधिक भार वहन करेगा।

§ 2.7. प्रबलित कंक्रीट खण्ड का समतुल्य क्षेत्रफल (Equivalent Area of R.C. Section) :

उपरोक्त चित्र 2.1 पर पुन: विचार करते हुये—

यदि P = स्तम्भ पर आ रहा कुल भार

P_c = कंक्रीट द्वारा वहन किया गया भार

P_s = इस्पात द्वारा वहन किया गया भार

civilguru.net

$$\therefore \quad P = P_c + P_s$$
$$= \sigma_{cc} \times A_c + \sigma_{sc} \times A_s$$

यहाँ σ_{cc} = कंक्रीट मे उत्पन्न प्रतिबल

A_c = कंक्रीट का क्षेत्रफल

σ_{sc} = इस्पात में उत्पन्न प्रतिबल

A_s = इस्पात का क्षेत्रफल

परन्तु $\sigma_{sc} = m\sigma_{cc}$ ...(सूत्र 2.2 के अनुसार)

$$\therefore \quad P = \sigma_{cc} \times A_c + m\sigma_{cc} \times A_s$$

अथवा $$P = \sigma_{cc}[A_c + mA_s] \quad ...(2.3)$$

कोष्ठ मे लिखा हुआ पद $[A_c + mA_s]$ खण्ड का समतुल्य क्षेत्रफल (Equivalent Area) कहलाता है। इससे यह स्पष्ट है किसी प्रबलित सीमेंट कंक्रीट खण्ड में, इस्पात के क्षेत्रफल को m से गुना करके तथा कंक्रीट के क्षेत्रफल में जोड़कर, खण्ड का समतुल्य क्षेत्रफल ज्ञात किया जा सकता है और सम्पूर्ण खण्ड को एक **समांगी खण्ड** (Homogeneous Section) माना जा सकता है।

(II) आनमन-भारित प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट धरन
(R.C.C. BEAMS SUBJECTED TO FLEXURAL LOADS)

धरनों पर इसकी लम्बाई के अक्ष के लम्बवत् भार (Transverse Loading) पड़ता है, अत: इसमें उपजे प्रतिरोधित प्रतिबलों का स्वरूप, स्तम्भों से भिन्न होता है।

प्रबलित कंक्रीट धरन, इसमे डाले गये प्रबलन इस्पात की स्थिति के अनुसार निम्न दो प्रकार के होते हैं—

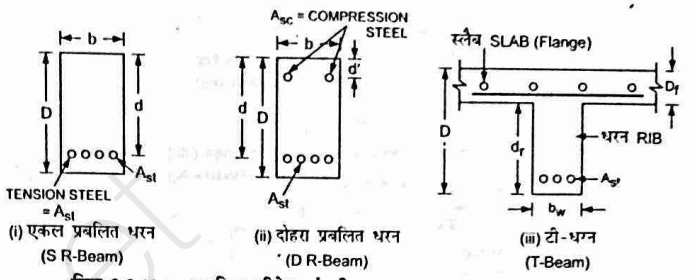
(i) एकल प्रबलित कंक्रीट धरन (Singly Reinforced Concrete Beam)

(ii) दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन (Doubly Reinforced Concrete Beam)

जब धरन के केवल तनन क्षेत्र में प्रबलन इस्पात डाला जाता है, तो इसे **एकल प्रबलित कंक्रीट धरन** कहते हैं, जब तनन एवं सम्पीडन, दोनों क्षेत्रों में प्रबलन दिया जाता है, तब यह **दोहरा प्रबलित कंक्रीट धरन** कहलाता है।

एक भारित धरन की बल शून्य रेखा (अक्ष) के ऊपर स्थित क्षेत्र **सम्पीडन क्षेत्र** तथा इससे नीचे स्थित **तनन क्षेत्र** माना जाता है। प्रास धरन (Cantilever) में यह व्यवस्था पल्ट जाती है।

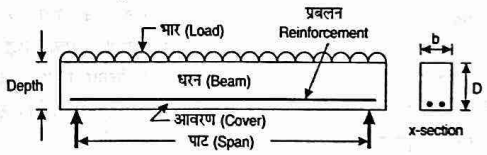
जब (छत) स्लैब तथा इसके नीचे डाले गये धरन को एकाश्मी (Monolithic) ढ़ाला जाता है अर्थात दोनो अवयवों की कंक्रीट एक साथ डाली जाती है, तब इसे पंखधर या फ्लैंजदार धरन (Flanged Beam) कहते हैं। फ्लैंजदार धरन में, भार पड़ने पर, जब धरन नीचे झुकता है, तब स्लैब का कुछ भाग (चौड़ाई) भी इसके साथ नीचे झुकता है। इस रचना में मध्य-स्थित धरन को टी-धरन (Tee Beam) और सिरे (End) के धरन को एल-धरन (Ell Beam) कहा जाता हैं। (चित्र 2.2(A))



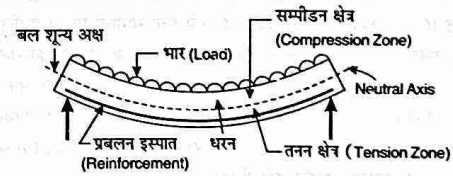
चित्र 2.2 (A)—प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट धरन (Types of R.C.C. Beam)

§ 2.8. एकल प्रबलित कंक्रीट धरन की आनमन सामर्थ्य (Flexural Strength of Singly Reinforced Concrete Beam) :

जैसा हम द्रव्यों की सामर्थ्य में पढ़ चुके हैं, जब किसी शुद्धालम्बित धरन पर इसकी लम्बाई में, अक्ष के लम्बवत् भार पड़ता है तो यह एक वृत्त की चाप (या धनुष) की भाँति नीचे को झुकता है (चित्र 2.2), जिसके कारण धरन की ऊपरी परतें कुछ सिकुड़ जाती हैं जबकि निचली परतें कुछ खिच जाती हैं अर्थात् खण्ड की बलशून्य रेखा (उदासीन अक्ष) (Neutral Axis) (काल्पनिक समतल) के **ऊपरी क्षेत्र में सम्पीडन प्रतिबल तथा उसके निचले क्षेत्र में तनन प्रतिबल उपजते हैं।** चूँकि सीमेंट कंक्रीट सम्पीडन में पर्याप्त सामर्थ्य रखती है परन्तु तनन प्रतिबलों के प्रति बहुत कमजोर रहती है, इसलिये **धरन खण्ड के निचले भाग में इस्पात का प्रबलन दिया जाता है।** यह प्रबलन सामान्यत: इस्पात की गोलाकार छड़ों के रूप में दिया जाता है, जिसका क्षेत्रफल (व्यास तथा संख्या) धरन खण्ड में उत्पन्न तनन प्रतिबलों के आधार पर निर्धारित किया जाता है। अत: ऐसे प्रबलित कंक्रीट धरन, जिनके तनन क्षेत्र में (केवल तनन प्रतिबलों को वहन करने के लिये) इस्पात का प्रबलन दिया जाता है, **एकल प्रबलित कंक्रीट धरन कहलाते हैं।** चित्र 2.3 में एक **एकल-प्रबलित कंक्रीट धरन** खण्ड दर्शाया गया है।



चित्र 2.2 (a)—शुद्धालम्बित प्रबलित कंक्रीट धरन



चित्र 2.2 (b)—भार के कारण झुका हुआ प्रबलित कंक्रीट धरन

$\therefore \quad P = P_c + P_s$

$= \sigma_{cc} \times A_c + \sigma_{sc} \times A_s$

यहाँ σ_{cc} = कंक्रीट में उत्पन्न प्रतिबल

A_c = कंक्रीट का क्षेत्रफल

σ_{sc} = इस्पात में उत्पन्न प्रतिबल

A_s = इस्पात का क्षेत्रफल ...(सूत्र 2.2 के अनुसार)

परन्तु $\sigma_{sc} = m\sigma_{cc}$

$\therefore \quad P = \sigma_{cc} \times A_c + m\sigma_{cc} \times A_s$ ...(2.3)

अथवा $P = \sigma_{cc}[A_c + mA_s]$

कोष्ठ में लिखा हुआ पद $[A_c + mA_s]$ खण्ड का समतुल्य क्षेत्रफल (Equivalent Area) कहलाता है। इससे यह स्पष्ट है किसी प्रबलित सीमेंट कंक्रीट खण्ड में, इस्पात के क्षेत्रफल को m से गुना करके तथा कंक्रीट के क्षेत्रफल में जोड़कर, खण्ड का समतुल्य क्षेत्रफल ज्ञात किया जा सकता है और सम्पूर्ण खण्ड को एक **समांगी खण्ड** (Homogeneous Section) माना जा सकता है।

(II) आनमन-भारित प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट धरन
(R.C.C. BEAMS SUBJECTED TO FLEXURAL LOADS)

धरनों पर इसकी लम्बाई के अक्ष के लम्बवत् भार (Transverse Loading) पड़ता है, अत: इसमें उपजे प्रतिरोधित प्रतिबलों का स्वरूप, स्तम्भों से भिन्न होता है।

प्रबलित कंक्रीट धरन, इसमें डाले गये प्रबलन इस्पात की स्थिति के अनुसार निम्न दो प्रकार के होते हैं—

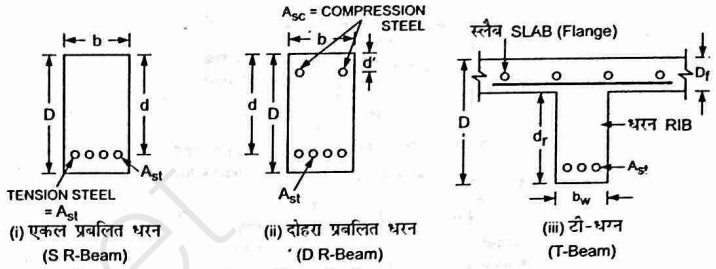
(i) एकल प्रबलित कंक्रीट धरन (Singly Reinforced Concrete Beam)

(ii) दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन (Doubly Reinforced Concrete Beam)

जब धरन के केवल तनन क्षेत्र में प्रबलन इस्पात डाला जाता है, तो इसे **एकल प्रबलित कंक्रीट धरन** कहते हैं, जब तनन एवं सम्पीडन, दोनों क्षेत्रों में प्रबलन दिया जाता है, तब यह **दोहरा प्रबलित कंक्रीट धरन** कहलाता है।

एक भारित धरन की बल शून्य रेखा (अक्ष) के ऊपर स्थित क्षेत्र **सम्पीडन क्षेत्र** तथा इससे नीचे स्थित **तनन क्षेत्र** माना जाता है। प्रास धरन (Cantilever) में यह व्यवस्था पल्ट जाती है।

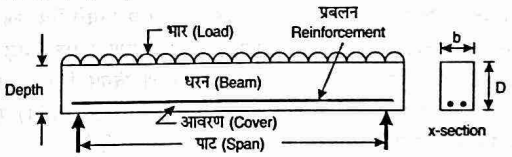
जब (छत) स्लैब तथा इसके नीचे डाले गये धरन को एकाशमी (Monolithic) ढाला जाता है अर्थात दोनों अवयवों की कंक्रीट एक साथ डाली जाती है, तब इसे पंखधर या फ्लैंजदार धरन (Flanged Beam) कहते हैं। फ्लैंजदार धरन में, भार पड़ने पर, जब धरन नीचे झुकता है, तब स्लैब का कुछ भाग (चौड़ाई) भी इसके साथ नीचे झुकता है। इस रचना में मध्य-स्थित धरन को टी-धरन (Tee Beam) और सिरे (End) के धरन को एल-धरन (Ell Beam) कहा जाता हैं। (चित्र 2.2(A))



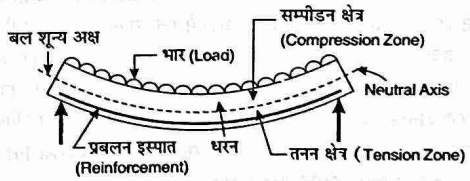
चित्र 2.2 (A)—प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट धरन (Types of R.C.C. Beam)

§ 2.8. एकल प्रबलित कंक्रीट धरन की आनमन सामर्थ्य (Flexural Strength of Singly Reinforced Concrete Beam) :

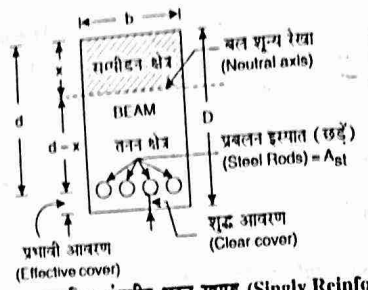
जैसा हम द्रव्यों की सामर्थ्य में पढ़ चुके हैं, जब किसी शुद्धालम्बित धरन पर इसकी लम्बाई में, अक्ष के लम्बवत् भार पड़ता है तो यह एक वृत्त की चाप (या धनुष) की भाँति नीचे को झुकता है (चित्र 2.2), जिसके कारण धरन की ऊपरी परतें कुछ सिकुड़ जाती हैं जबकि निचली परतें कुछ खिंच जाती हैं अर्थात् खण्ड की बलशून्य रेखा (उदासीन अक्ष) (Neutral Axis) (काल्पनिक समतल) के **ऊपरी क्षेत्र में सम्पीडन प्रतिबल तथा उसके निचले क्षेत्र में तनन प्रतिबल उपजते हैं।** चूँकि सीमेंट कंक्रीट सम्पीडन में पर्याप्त सामर्थ्य रखती है परन्तु तनन प्रतिबलों के प्रति बहुत कमजोर रहती है, इसलिये **धरन खण्ड के निचले भाग में इस्पात का प्रबलन दिया जाता** है। यह प्रबलन सामान्यत: इस्पात की गोलाकार छड़ों के रूप में दिया जाता है, जिसका क्षेत्रफल (व्यास तथा संख्या) धरन खण्ड में उत्पन्न तनन प्रतिबलों के आधार पर निर्धारित किया जाता है। अत: ऐसे प्रबलित कंक्रीट धरन, जिनके तनन क्षेत्र में (केवल तनन प्रतिबलों को वहन करने के लिये) इस्पात का प्रबलन दिया जाता है, **एकल प्रबलित कंक्रीट धरन कहलाते हैं।** चित्र 2.3 में एक **एकल-प्रबलित कंक्रीट धरन** खण्ड दर्शाया गया है।



चित्र 2.2 (a)—शुद्धालम्बित प्रबलित कंक्रीट धरन



चित्र 2.2 (b)—भार के कारण झुका हुआ प्रबलित कंक्रीट धरन



चित्र 2.3—एकल प्रबलित कंक्रीट धरन खण्ड (Singly Reinforced Beam)

चित्र 2.3 में प्रयोग किये गये पद इस प्रकार है—

b = धरन की कुल चौड़ाई (Width),

D = धरन की कुल गहराई (Overall Depth),

d = धरन की प्रभावी गहराई (Effective Depth)। यह धरन के ऊपरी सिरे (Topmost Edge) से प्रबलन इस्पात की छड़ों के केन्द्रक (Centroid) तक की दूरी होती है।

N.A. = बल शून्य अक्ष (Neutral Axis) अर्थात् धरन खण्ड में सम्पीडन क्षेत्र व तनन क्षेत्र को विभाजित करने वाली (काल्पनिक) रेखा। इसे **बल शून्य रेखा** या **उदासीन अक्ष** भी कहते हैं।

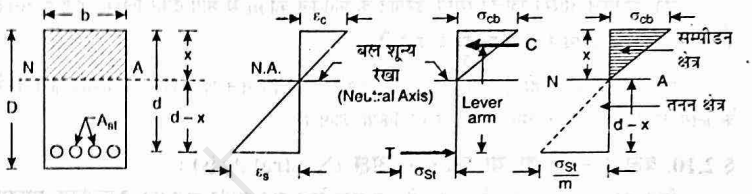
x = ऊपरी सिरे से बल शून्य रेखा की गहराई या दूरी (Depth of N.A.) (इसे 'n' से भी प्रदर्शित करते है)।

A_{st} = प्रबलन इस्पात (छड़ों) का क्षेत्रफल

आवरण (Cover)—प्रबलन इस्पात को वाह्य प्रभावों—ताप, नमी, अग्नि, वायु इत्यादि से सुरक्षित रखने तथा कंक्रीट के साथ इसका पूर्ण अभिलाग बनाये रखने के लिये, छड़ों पर कंक्रीट का पर्याप्त मोटा आवरण (चढ़ाव) दिया जाता है। छड़ों के केन्द्रक से धरन के निचले सिरे तक की दूरी, **प्रभावी आवरण** (Effective Cover) कहलाती है। सामान्यत: प्रभावी आवरण, (मुख्य) छड़ के व्यास का 1·5 से 2 गुना रखा जाता है। गणनाओं में प्रभावी आवरण पर ही विचार किया जाता है। अत: कुल गहरायी=प्रभावी गहरायी+प्रभावी आवरण। प्रबलन छड़ के बाहरी फलक (परिधि) से धरन के बाहरी (निचले) सिरे तक की दूरी **शुद्ध आवरण** (Clear Cover) कहलाती है।

§ 2.9. प्रतिबल तथा विकृति आरेख (Stress and Strain Diagrams) :

(a) अनुप्रस्थ काट (Cross Section)—चित्र 2.4(i) में एक सामान्य एकल प्रबलित कंक्रीट धरन का अनुप्रस्थ परिच्छेद, प्रबलन इस्पात की स्थिति सहित दिखाया गया है। खण्ड की बल शून्य रेखा खण्ड को सम्पीडन तथा तनन क्षेत्रों में विभाजित करती है। इस रेखा से ऊपर स्थित क्षेत्र, जिसे रेखाच्छादित किया गया है, के रेशों (Fibres) में सम्पीडन प्रतिबल उत्पन्न होते हैं। सम्पीडन प्रतिबलों की तीव्रता, बल शून्य रेखा पर शून्य (Zero) तथा खण्ड की ऊपरी सतह पर (Topmost Edge) अधिकतम होगी (बलशून्य रेखा पर कोई प्रतिबल उत्पन्न नहीं होगा)।



(i) X-section of R.C. beam (ii) Strain diagram (iii) Stress diagram (iv) Equivalent stress diagram

ε_c = कंक्रीट में सम्पीडन विकृति ε_s = इस्पात में तनन विकृति

C = कुल सम्पीडन बल T = कुल तनन बल

x = उदासीन अक्ष की ऊपरी फलक से गहरायी

चित्र 2.4—प्रतिबल-विकृति आरेख
(Stress-Strain Diag: in Working Stresses Method)

खण्ड की बल शून्य रेखा के नीचे स्थित क्षेत्र तनन में होता है। चूँकि कंक्रीट तनन प्रतिबलों को वहन करने में बहुत कमजोर सिद्ध हुई है, अत: उपरोक्त वर्णित मूल संकल्पना 4 के अनुसार, बल शून्य रेखा के नीचे स्थित खण्ड-भाग की कंक्रीट की कोई सामर्थ्य गणना में नहीं ली जाती है। **धरन की तली के समीप डाली गयी इस्पात की छड़ें ही समस्त तनन प्रतिबलों को वहन करती हैं।**

बल शून्य रेखा से नीचे स्थित कंक्रीट प्रबलन छड़ों को अपनी निर्धारित स्थिति में बनाये रखने का ही कार्य करती हैं।

(b) विकृति आरेख (Strain Diagram)—मूल संकल्पना 1 के अनुसार, धरन का अनुप्रस्थ काट, जो बंकन से पूर्व समतल था, बंकन के पश्चात् भी समतल रहता है। इससे स्पष्ट है कि धरन में बंकन के कारण, इसकी ऊपरी परतें छोटी हो जाती हैं, जबकि इसकी निचली परतें बढ़ जाती हैं और परतों में विकृति, परत की बल शून्य रेखा से दूरी के समानुपाती होती हैं।

अत: विकृति आरेख एक सीधी रेखा में होता है जैसा चित्र 2.4(ii) में दिखाया गया है। क्योंकि कंक्रीट और प्रबलन इस्पात में अभिलाग पूर्ण होता है, इसलिये इस्पात के परिस्थान कंक्रीट में विकृति भी बराबर होगी। इस आधार पर कंक्रीट के प्रतिबल, प्रबलन इस्पात में संचारित होते हैं।

(c) प्रतिबल आरेख (Stress Diagram)—बलशून्य रेखा के ऊपर स्थित सम्पीडन क्षेत्र में उत्पन्न प्रतिबल एक सरल रेखीय नियम के अनुसार बढ़ते जाते हैं। यह बल शून्य रेखा पर शून्य तथा खण्ड की ऊपरी सतह पर अधिकतम होते हैं। यह प्रतिबल बल शून्य रेखा के ऊपर एक त्रिभुज की शक्ल में दर्शाये गये हैं। चित्र 2.4(iii) देखें।

बल शून्य रेखा के नीचे, तनन क्षेत्र की कंक्रीट में किसी प्रतिबल की गणना नहीं की जाती है। अत: खण्ड की तनन सामर्थ्य प्रबलित इस्पात के तल पर ही केन्द्रित मानी जाती है। इस दशा में प्रतिबलों की भिन्नता-दर रेखीय नियम में नहीं होती हैं।

(d) समतुल्य प्रतिबल आरेख (Equivalent Stress Diagram)—चूँकि प्रबलित कंक्रीट की गणनाओं में खण्ड को समांग मान लिया जाता है और खण्ड को इसके समतुल्य कंक्रीट खण्ड में परिवर्तित कर लिया जाता है, प्रबलन इस्पात में प्रतिबल परिस्थान कंक्रीट में उत्पन्न समतुल्य प्रतिबलों के रुप में लिये जाते हैं।

अत: प्रतिबल आरेख खींचते समय, इस्पात के प्रतिबल को m से भाग देकर लिखा जाता है अर्थात् प्रबलन इस्पात में प्रतिबल = $\frac{\sigma_{st}}{m}$ लिये जाते हैं।

समतुल्य प्रतिबल आरेख चित्र 2.4(iv) में दर्शाया गया है। बल शून्य रेखा की स्थिति ज्ञात करने के लिये समतुल्य प्रतिबल आरेख पर विचार किया जाता है।

§ 2.10. बल शून्य रेखा या उदासीन अक्ष (Neutral Axis) :

जैसा हम ऊपर बता चुके हैं, धरन की बल शून्य रेखा या उदासीन अक्ष एक **काल्पनिक समतल** है, जो धरन के अनुप्रस्थ परिच्छेद को दो भागों में विभाजित करता है। शुद्धालम्बित भारित धरन में, ऊपरी भाग सम्पीडन में तथा निचला भाग तनन में होता है जबकि प्रास धरन (केन्टीलीवर) में इसके विपरीत प्रतिबल उपजते हैं। **बल शून्य रेखा पर प्रतिबल शून्य होते हैं।**

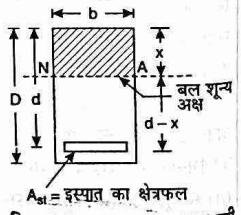
आयताकार परिच्छेद वाले समांग काष्ठ धरन में अथवा समरूपी इस्पात धरन में, बलशून्य रेखा सदा धरन की मध्य-गहराई में स्थित होती है। जबकि प्रबलित कंक्रीट धरन असमांगी (Non-Homogeneous) होता है, क्योंकि इसके तनन क्षेत्र में इस्पात डाला जाता है और इसकी मात्रा (क्षेत्रफल), धरन खण्ड का माप निश्चित होते हुये भी, इच्छानुसार बढ़ाई/घटाई जा सकती है। इसके परिणामस्वरूप **बल-शून्य रेखा की स्थिति खण्ड की शुद्ध मध्य-गहराई (Centre of Section) में नहीं रहती है।** यह (बल-शून्य रेखा) प्रबलन इस्पात की मात्रा (क्षेत्रफल) के अनुसार, खण्ड की गहराई में **ऊपर अथवा नीचे को खिसकती रहती है।**

अत: खण्ड में उत्पन्न सम्पीडन तथा तनन प्रतिबलों को ठीक-ठीक ज्ञात करने के लिये, प्रबलित कंक्रीट धरन-खण्ड की बल-शून्य रेखा की स्थिति अर्थात् **खण्ड की ऊपरी सतह से इसकी गहराई ज्ञात करना आवश्यक होता है।**

2.10-1. बल शून्य रेखा की गहराई ज्ञात करना (Depth of N.A.)—बल शून्य रेखा की स्थिति अर्थात् खण्ड की ऊपरी सतह से इसकी गहराई उपलब्ध अनुज्ञेय प्रतिबलों अथवा ज्ञात प्रबलन इस्पात के क्षेत्रफल के आधार पर ज्ञात की जाती हैं। अनुज्ञेय प्रतिबलों के आधार पर ज्ञात बलशून्य रेखा (उदासीन अक्ष), **क्रान्तिक बल शून्य रेखा** (Critical N.A.) और प्रबलन इस्पात के आधार पर ज्ञात की गयी बलशून्य रेखा, **वास्तविक बलशून्य रेखा** (Actual N.A.) कहलाती है। इनको ज्ञात करने की विधियाँ नीचे दी गयी हैं।

(I) क्रान्तिक बल शून्य रेखा (उदासीन अक्ष)ज्ञात करना–यह विधि बंकन सिद्धान्त (Bending Theory) पर आधारित है। जब धरन खण्ड के परिमाप तथा कंक्रीट व इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल अर्थात् σ_{cb} एवं σ_{st} दे रखें हो तो बल-शून्य रेखा की स्थिति निम्न प्रकार ज्ञात की जाती है। इस आधार पर जो बल शून्य-रेखा ज्ञात की जाती है, उसे **क्रान्तिक बल शून्य रेखा** (Critical N.A.) कहते हैं।

माना खण्ड के ऊपरी सिरे से इस्पात की (केन्द्रक) गहराई d और बलशून्य रेखा की गहराई x है (चित्र 2.5)। चूँकि धरन-खण्ड के किसी भी बिन्दु पर, कंक्रीट तथा इस्पात में विकृति, इसकी बल शून्य रेखा से दूरी के समानुपाती होती है (संकल्पना 1 के अनुसार), अत: खण्ड के विकृति आरेख (चित्र 2.4) पर विचार करने पर—



चित्र 2.5—बल-शून्य अक्ष की स्थिति (N.A)

$$\frac{\text{खण्ड के ऊपरी सिरे पर विकृति}}{\text{इस्पात में विकृति}} = \frac{x}{(d-x)} \quad \text{...(i)}$$

प्रत्यास्थता मापांक, $E = \frac{\text{प्रतिबल}}{\text{विकृति}}$ अथवा $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

$\therefore$ विकृति, $\varepsilon = \frac{\text{प्रतिबल}}{E}$

अत: कंक्रीट में विकृति, $\varepsilon_c = \frac{\sigma_{cb}}{E_c}$ ...(ii)

और इस्पात में विकृति, $\varepsilon_s = \frac{\sigma_{st}}{E_s}$ ...(iii)

समीकरण (i) में यह मान रखने पर—

$$\frac{\frac{\sigma_{cb}}{E_c}}{\frac{\sigma_{st}}{E_s}} = \frac{x}{(d-x)}$$

$$\frac{\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} \times \frac{E_s}{E_c} = \frac{x}{(d-x)}$$

परन्तु, $\frac{E_s}{E_c} = m$, मापांक अनुपात होता है

$\therefore$ $$\frac{\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} \times m = \frac{x}{(d-x)}$$

अथवा $$\frac{m\,\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} = \frac{x}{(d-x)} \quad \text{...(2.4)}$$

उपरोक्त सूत्र को निम्न रूप में भी लिखा जा सकता है—

$$m\,\sigma_{cb}(d-x) = x\,(\sigma_{st})$$
$$m\,\sigma_{cb}\,d - m\,\sigma_{cb}\,x = x \cdot \sigma_{st}$$
$$x\,\sigma_{st} + m\,\sigma_{cb}\,x = m\,\sigma_{cb}\,d$$
$$x\,[\sigma_{st} + m\,\sigma_{cb}] = m\,\sigma_{cb}\,d$$
$$x = \frac{m\,\sigma_{cb}\,d}{(m\,\sigma_{cb} + \sigma_{st})} \quad \text{...(2.5)}$$

यहाँ— x = क्रांतिक बल-शून्य रेखा की खण्ड के ऊपरी सिरे से गहराई

m = मापांक अनुपात (Modular Ratio)

σ_{cb} = कंक्रीट में बंकन में सम्पीडन प्रतिबल

σ_{st} = इस्पात में तनन प्रतिबल

d = खण्ड की प्रभावी गहराई

जब खण्ड मे अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल σ_{cb} तथा σ_{st} दोनों एक साथ उत्पन्न होते है तो यह **सन्तुलित खण्ड** (Balanced Section) कहलाता है। इसे **मितव्ययी खण्ड** (Economical Section) भी कहते है।

(II) वास्तविक बल शून्य रेखा (उदासीन अक्ष) ज्ञात करना—जब धरन खण्ड के प्रबलन इस्पात सहित सभी माप दे रखे है, परन्तु अनुज्ञेय प्रतिबलों की चर्चा न की गई हो, तब बल-शून्य रेखा की स्थिति ज्ञात करने के लिये निम्न विधि अपनाई जाती है। इस विधि का आधार यह है कि समांग धरन की बल-शून्य रेखा सदैव खण्ड के गुरुत्व केन्द्र से पारित होती है अर्थात् **सम्पीडन एवं तनन क्षेत्रों का बल शून्य रेखा के सापेक्ष आघूर्ण बराबर होते हैं।**

इस विधि में सम्पीडन कंक्रीट और तनन इस्पात के क्षेत्रफलों का बल-शून्य रेखा के प्रति आघूर्ण लिया जाता है। आघूर्ण लेते समय, तनन इस्पात के क्षेत्रफल को कंक्रीट के समतुल्य क्षेत्रफल में परिवर्तित कर लिया जाता है। ऐसा करके दो विभिन्न पदार्थो (कंक्रीट तथा इस्पात) वाले प्रबलित सीमेंट कंक्रीट खण्ड को एक समांग खण्ड मान लिया जाता है। इसके लिये तनन इस्पात के क्षेत्रफल को मापांक अनुपात m से गुणा कर दिया जाता है।

$\therefore$ इस्पात का, कंक्रीट के समतुल्य क्षेत्रफल $= m \times A_{st}$

यहाँ A_{st} प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल है।

चित्र 2.5 के अनुसार सम्पीडन तथा तनन क्षेत्रफलों का बल-शून्य रेखा के सापेक्ष आघूर्ण लेते हुये और N.A. से नीचे स्थित कंक्रीट को छोड़ते हुये—

$$b \times x \times \frac{x}{2} = m \times A_{st}(d-x)$$

$$\frac{bx^2}{2} = m A_{st}(d-x) \qquad ...(2.6)$$

यह एक द्विघातीय समीकरण (Quadratic Equation) है। हल करने पर x के दो मान आते हैं, परन्तु x का **धनात्मक मान** ही स्वीकार्य होता है। (द्विघातीय सूत्र के लिये परिशिष्ट देखें)।

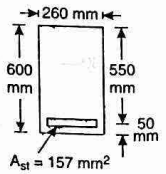
इस विधि से जो बल-शून्य रेखा ज्ञात होती है, वह **वास्तविक बल शून्य रेखा** (Actual N.A.) कहलाती है।

उदाहरण 2.1 : प्रबलित कंक्रीट का एक आयताकार धरन 260 mm × 600 mm माप का है। इसकी तली में 157 mm² तनन प्रबलन, 50 mm के प्रभावी आवरण पर डाला गया है। यदि $\sigma_{cb} = 7$ N/mm², $\sigma_{st} = 140$ N/mm² तथा $m = 13$ हो तो क्रान्तिक (Critical) तथा वास्तविक (actual) बल शून्य रेखाओं की स्थिति ज्ञात करें। [B.T.E.]

हल : प्रश्नानुसार—

कंक्रीट आवरण = 50 mm

धरन की प्रभावी गहराई = 600 − 50 = 550 mm



चित्र 2.6

(i) क्रान्तिक बल-शून्य रेखा की स्थिति—

$$\frac{m\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} = \frac{x}{d-x} \qquad ...(\text{सूत्र})$$

अथवा $$x = \frac{m\sigma_{cb}\, d}{m\sigma_{cb} + \sigma_{st}}$$

$\therefore$ $$x = \frac{13 \times 7 \times 550}{13 \times 7 + 140}$$

$$x = 217 \text{ mm.}$$ **उत्तर**

(ii) वास्तविक बल-शून्य रेखा की स्थिति—कंक्रीट तथा इस्पात के समतुल्य क्षेत्रफलों का बल-शून्य रेखा के प्रति आघूर्ण लेने पर—

$$\frac{bx^2}{2} = m A_{st}(d-x) \qquad ...(\text{सूत्र})$$

$$\frac{260\,x^2}{2} = 13 \times 157\,(550-x)$$

$$130x^2 + 2041x - 1122550 = 0$$

$$x^2 + 15{\cdot}7x - 8635 = 0$$ यह एक द्विघातीय समीकरण है,

हल करने पर, $$x = \frac{-15{\cdot}7 \pm \sqrt{(15{\cdot}7)^2 + 4 \times 8635}}{2}$$

$$x = \frac{-15{\cdot}7 \pm \sqrt{34786}}{2}$$

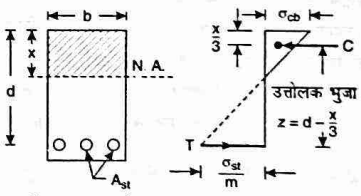
$$x = \frac{-15{\cdot}7 \pm 186{\cdot}2}{2}$$

$$x = 85 \text{ mm.}$$ **उत्तर**

§ 2.11. उत्तोलक भुजा (Lever Arm) :

कुल सम्पीडन बल तथा कुल तनन बल के क्रिया-बिन्दुओं (Lines of action) के मध्य, लम्बवत् दूरी को **उत्तोलक भुजा** कहते हैं। इसे z अक्षर से प्रदर्शित करते हैं।

जैसा चित्र 2.7 में दिये गये प्रतिबल आरेख से स्पष्ट होता है, सम्पीडन कंक्रीट में प्रतिबल बल शून्य रेखा पर शून्य तथा खण्ड के ऊपरी सिरे पर अधिकतम होते हैं और प्रतिबल आरेख एक समकोण त्रिभुज होती है। इस त्रिभुज का गुरुत्व केन्द्र धरन के ऊपरी सिरे (फलक) से बल शून्य रेखा की गहराई



चित्र 2.7–उत्तोलक भुजा (Lever Arm)

का एक तिहाई, अर्थात् $\frac{x}{3}$ पर स्थित होता है जिस पर परिणामी बल (Resultant Force) कार्य करता माना जाता है।

दूसरी ओर, तनन प्रतिबल केवल तनन इस्पात पर ही कार्यरत माने जाते हैं, अत: परिणामी तनन बल का क्रिया-बिन्दु प्रबलन इस्पात के **केन्द्रक** पर लिया जाता है। इस केन्द्रक तल की दूरी, धरन के ऊपरी सिरे से d ली जाती है।

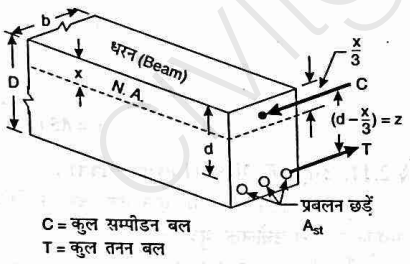
अत: उत्तोलक भुजा, $$z = \left(d - \frac{x}{3}\right) \quad ...(2.7)$$

§ 2.12. प्रतिरोध आघूर्ण–*Mr* (Moment of Resistance of the Section) :

एक प्रबलित कंक्रीट खण्ड में, इस्पात का कुल तनन बल (जो इसके केन्द्रक (Centroid) पर कार्यरत है) और कंक्रीट का कुल सम्पीडन बल (जो इसके प्रतिबल आरेख के गुरुत्व केन्द्र (Centre of Gravity) पर लग रहा है), के युग्म द्वारा विकसित आघूर्ण को प्रतिरोध आघूर्ण (Moment of Resistance) कहते हैं। इसे Mr से प्रदर्शित किया जाता है।

एक भारित धरन (Loaded Beam) पर बाहरी भार पड़ने पर बंकन आघूर्ण (Bending Moment) M कार्य करने लगती है (जो बाहरी भार व धरन के पाट के अनुरूप होती है)। इस बंकन आघूर्ण के प्रतिरोध में धरन खण्ड के भीतर सम्पीडन व तनन प्रतिबल उपजते हैं। खण्ड की स्थिरता के लिये यह आवश्यक है इनके परिणामी सम्पीडन बल (C) और तनन बल (T) के मान समान हों और ये बल एक प्रतिरोधी बल-युग्म बनायें, जो बाह्य बंकन आघूर्ण M के बराबर हो।

चित्र 2.8 में सम्पीडन प्रतिबलों का परिणामी बल, C द्वारा दर्शाया गया है जो खण्ड की ऊपरी सतह से $\frac{x}{3}$ की दूरी (गहरायी) पर (प्रतिबल आरेख त्रिभुज का गुरुत्व) कार्य करता है। इसी प्रकार तनन प्रतिबलों का परिणामी बल, T द्वारा दिखाया गया है, जो प्रबलन इस्पात के केन्द्रक अर्थात् खण्ड की ऊपरी सतह से d गहराई पर कार्य करता है। भारित धरन की सन्तुलित स्थिति के लिये ये दोनों बल समान, समान्तर तथा विपरीत दिशा में होने चाहियें अर्थात्— $C = T$



चित्र 2.8—प्रतिरोध आघूर्ण – *Mr* (Moment of Resistance)

C तथा T कार्यरत बलों के मध्य लम्बवत् दूरी, जिसे उत्तोलक भुजा (Lever Arm) कहते हैं, $\left(d - \frac{x}{3}\right)$ होती है। अत: इन बलों द्वारा जनित युग्म, $C \times$ उत्तोलक भुजा अथवा $T \times$ उत्तोलक भुजा, आन्तरिक आघूर्ण या **प्रतिरोधी आघूर्ण**, Mr कहलाती है। सन्तुलन की दशा में यह प्रतिरोधी आघूर्ण, बाह्य आघूर्ण M के बराबर तथा विपरीत होती है, अर्थात्

$$M = Mr$$

अत: Mr = आन्तरिक प्रतिरोधी बल × उत्तोलक भुजा

$$= C \text{ (या } T) \times \left(d - \frac{x}{3}\right)$$

$$= C \text{ (या } T) \times z$$

(a) सम्पीडन कंक्रीट पर विचार करने पर—

C = कुल सम्पीडन बल

= धरन का N.A. से ऊपर स्थित क्षेत्रफल × औसत सम्पीडन प्रतिबल

$$= (b \times x) \times \left(\frac{0 + \sigma_{cb}}{2}\right)$$

धरन का खण्ड आयताकार है और सम्पीडन प्रतिबल की तीव्रता ऊपरी सिरे पर σ_{cb} से बल शून्य रेखा पर शून्य तक विचरती है।

$$\therefore \quad C = \frac{b \times \sigma_{cb}}{2} \quad ...(2.8)$$

अत: $$Mr = \frac{b \times \sigma_{cb}}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right) \quad ...(2.9)$$

(b) तनन इस्पात पर विचार करने पर—

T = कुल तनन बल

= इस्पात में प्रतिबल × इस्पात का क्षेत्रफल

$$\therefore \quad T = \sigma_{st} \times A_{st} \quad ...(2.10)$$

बल शून्य रेखा से नीचे स्थित कंक्रीट का क्षेत्रफल तनन बल की गणना में नहीं लिया जाता है।

अत: $$Mr = \sigma_{st} A_{st}\left(d - \frac{x}{3}\right) \quad ...(2.11)$$

$$\therefore \text{ प्रतिरोधी आघूर्ण, } Mr = \frac{b \times \sigma_{cb}}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right) = \sigma_{st} A_{st}\left(d - \frac{x}{3}\right) \quad ...(2.12)$$

प्रतिरोध आघूर्ण (Mr) को निम्न लघु रूप में भी लिखा जाता है—

माना बल-शून्य रेखा कारक, $x_1 = \frac{x}{d}$

और उत्तोलक भुजा कारक, $z_1 = \frac{z}{d}$

अत: $x = x_1 d$

और $z = z_1 d$ ...(i)

परन्तु $z = \left(d - \frac{x}{3}\right)$

अर्थात् $z_1 d = \left(d - \frac{x_1 d}{3}\right)$, z तथा x का मान रखने पर

$$z_1 d = d\left[1 - \frac{x_1}{3}\right]$$

अर्थात् $$z_1 = \left[1 - \frac{x_1}{3}\right] \quad ...(ii)$$

प्रतिरोध आघूर्ण, $Mr = \frac{b x \sigma_{cb}}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right)$, समीकरण में x का मान उपरोक्त (i) के अनुसार रखने पर—

$$Mr = \frac{1}{2} b \sigma_{cb} x_1 d \left(d - \frac{x_1 d}{3}\right)$$

$$Mr = \frac{1}{2} b \sigma_{cb} x_1 d^2 \left[1 - \frac{x_1}{3}\right]$$

कोष्ठ में उपरोक्त (ii) का मान रखने पर—

$$Mr = \frac{1}{2} b \sigma_{cb} x_1 d^2 z_1$$

$$Mr = \frac{1}{2} \sigma_{cb} x_1 z_1 (b d^2)$$

समीकरण में $\frac{1}{2}\sigma_{cb} x_1 z_1 = R$ रखते हुये

$$Mr = R\, bd^2 \quad ...(2.13)$$

R को **प्रतिरोध आघूर्ण गुणक** (Resisting Moment Factor) कहते हैं। यह धरन के मापों पर निर्भर न होकर दिये गये **प्रतिबलों के मान तथा मापांक अनुपात के लिये स्थिर होता है।**

§ 2.13. धरन खण्डों में इस्पात का प्रतिशत (Percentage of Steel in R.C.C. Beams) :

यह प्रबलन इस्पात के क्षेत्रफल तथा धरन के अनुप्रस्थ परिच्छेद के प्रभावी क्षेत्रफल का अनुपात होता है, अर्थात

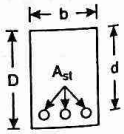
$$p = \frac{A_{st}}{b \times d} \times 100 \quad ...(2.14)$$

यहाँ A_{st} = इस्पात का क्षेत्रफल,

b तथा d खण्ड की चौड़ाई तथा प्रभावी गहराई

p = इस्पात का प्रतिशत

अथवा $$A_{st} = \frac{p \times b \times d}{100}$$



चित्र 2.9

सीमेंट कंक्रीट की तुलना में, इस्पात का मूल्य पर्याप्त अधिक (60 गुणा से अधिक) होता है, अतः प्रबलित सीमेंट कंक्रीट रचनाओं में इस्पात का न्यूनतम अनुपात, इसको मितव्ययी रखता है।

2.13-1. मितव्ययी प्रतिशत—इस्पात का मितव्ययी प्रतिशत तभी माना जाता है, जब खण्ड सन्तुलित होता है अर्थात् कंक्रीट तथा इस्पात में अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल एक साथ उपजते हैं। इस स्थिति में—

कुल सम्पीडन बल = कुल तनन बल

$$C = T$$

C व T का मान उपरोक्त सूत्र 2.8 व 2.10 के अनुसार रखने पर—

$$\frac{b x \sigma_{cb}}{2} = \sigma_{st} \times A_{st}$$

अथवा $$A_{st} = \frac{b x \sigma_{cb}}{2\sigma_{st}} \quad ...(i)$$

परन्तु सूत्र 2.14 के अनुसार, $A_{st} = \frac{b \times d \times p}{100}$

$$\therefore \quad \frac{b \times d \times p}{100} = \frac{b x \sigma_{cb}}{2\sigma_{st}}$$

$$p = \frac{b x \sigma_{cb}}{2\sigma_{st}} \times \frac{100}{b \times d}$$

$$p = \frac{50 \sigma_{cb} x}{\sigma_{st} d} \quad ...(ii)$$

सूत्र 2.4 के अनुसार— $\frac{m\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} = \frac{x}{d-x}$

या $$\frac{\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} = \frac{x}{m(d-x)} \quad ...(iii)$$

यह मान उपरोक्त समीकरण (ii) में रखने पर,

$$p = \frac{50x}{d} \times \left[\frac{x}{m(d-x)}\right] = \frac{50x^2}{md(d-x)}$$

अतः इस्पात का प्रतिशत, $$p = \frac{50x^2}{md(d-x)} \quad ...(2.15)$$

उदाहरण 2.2 : एक प्रबलित कंक्रीट धरन आयताकार खण्ड का है। इसकी चौड़ाई b सेमी० तथा प्रभावी गहरायी d सेमी० है। अनुज्ञेय प्रतिबलों का मान $\sigma_{cb} = 5$ N/mm², $\sigma_{st} = 140$ N/mm² तथा $m = 18$ लेते हुये, निम्न के मान ज्ञात कीजिये—

(i) बल-शून्य रेखा की गहराई (N.A.) (ii) उत्तोलक भुजा (z)

(iii) प्रतिरोध आघूर्ण (Mr) (iv) इस्पात का प्रतिबल (p) [B.T.E.]

हल : (i) क्रान्तिक बल-शून्य रेखा की गहराई (N.A.)—

$$\frac{m\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} = \frac{x}{(d-x)} \quad ...(\text{सूत्र})$$

civilguru.net

अथवा $$x = \frac{m\sigma_{cb} \times d}{m\sigma_{cb} + \sigma_{st}}$$

$$= \frac{18 \times 5 \times d}{18 \times 5 + 140} = \frac{9}{23}d$$

$$\therefore \quad x = 0{\cdot}39\,d$$ **उत्तर**

(ii) उत्तोलक भुजा (Lever Arm)—

$$z = \left(d - \frac{x}{3}\right) = \left(d - \frac{0{\cdot}39d}{3}\right)$$

$$= d - 0{\cdot}13d$$

$$= 0{\cdot}87d$$

$$\therefore \quad z = 0{\cdot}87d$$ **उत्तर**

(iii) प्रतिरोध आघूर्ण (*Mr*)—

Mr = कुल सम्पीडन बल × उत्तोलक भुजा

$$= \frac{b\,x\,\sigma_{cb}}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right)$$

$$= \frac{b \times 0{\cdot}39d \times 5}{2} \times 0{\cdot}87d$$

$$= 0{\cdot}85\,bd^2$$

$$\therefore \quad Mr = 0{\cdot}85\,bd^2$$ **उत्तर**

(iv) इस्पात का प्रतिशत (*p*)—

कुल सम्पीडन बल = कुल तनन बल

$$\frac{b\,x\,\sigma_{cb}}{2} = \sigma_{st} A_{st}$$

$$\frac{b \times 0{\cdot}39d \times 5}{2} = 140\,A_{st}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{0{\cdot}39 \times 5bd}{2 \times 140} = 0{\cdot}00696\,bd$$

$$\therefore \quad \text{इस्पात का प्रतिशत, } p = \frac{A_{st} \times 100}{b \times d}$$

$$p = \frac{0{\cdot}00696\,bd \times 100}{b \times d}$$

$$= 0{\cdot}696 \quad \text{say} \quad 0{\cdot}70$$

$$\therefore \quad p = 0{\cdot}70\%$$ **उत्तर**

सारणी 2.3—सन्तुलित प्रबलित कंक्रीट खण्डों के लिये मुख्य गुणक
(Factors for Balanced Reinforced Concrete Sections)

कंक्रीट की श्रेणी (ग्रेड)	अभिलाक्षणिक सामर्थ्य f_{ck} (N/mm²)	अनुज्ञेय प्रतिबल σ_{cb} (N/mm²)	मापांक अनुपात $m = \frac{280}{3\sigma_{cb}}$	बलशून्य रेखा गुणक $x_1 = \frac{m\sigma_{cb}}{m\sigma_{cb} + \sigma_{st}}$	उत्तोलक भुजा गुणक $z_1 = \left(1 - \frac{x_1}{3}\right)$	प्रतिरोध आघूर्ण गुणक $Q = \frac{1}{2}\sigma_{cb} x_1 z_1$ (इसे R भी लिखते हैं)	इस्पात प्रतिशत गुणक $p = \frac{50 x_1 \sigma_{cb}}{\sigma_{st}}$
(A) कंक्रीट ग्रेड M-15 से M-39, इस्पात Fe250, σ_{st} = 140 N/mm²							
M-15	15	5	18	0·391	0·870	0·85	0·70
M-20	20	7	13	0·394	0·869	1·20	0·99
M-30	30	10	9	0·391	0·870	1·70	1·40
(B) कंक्रीट ग्रेड M-15 से M-30, इस्पात Fe415, σ_{st} = 230 N/mm²							
M-15	15	5	18	0·281	0·906	0·64	0·31
M-20	20	7	13	0·284	0·905	0·90	0·43
M-30	30	10	9	0·281	0·906	1·27	0·61

टिप्पणी— (i) सुरक्षा गुणक—कंक्रीट के लिये = 3
—इस्पात के लिये = 1·78

(ii) गणनाओं की सरलता के लिये '*m*' का मान पूर्ण अंकों में लिया गया है। '*m*' क
मान कंक्रीट के ग्रेड के अनुसार 7 से 31 तक विचरता है।

§ 2.14. प्रबलित कंक्रीट धरन की श्रेणियाँ (Classes of R.C.C. Beam) :

प्रबलित कंक्रीट धरन-खण्डों के तनन क्षेत्र में जो प्रबलन इस्पात डाला जाता है वह बाजार में उपलब्ध मानक व्यास की छड़ों के रूप में होता है। छड़ों की संख्या बढ़ाने/घटाने तथा उपयुक्त मानक व्यास का चयन करने पर भी, खण्ड में गणना के अनुसार एकदम सही (Exact) मात्रा में इस्पात (क क्षेत्रफल) डालना व्यावहारिक रूप में सम्भव नहीं होता है। दूसरी ओर सन्तुलित खण्ड प्राप्त करने के लिये, जिसमें कंक्रीट तथा इस्पात में अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल एक साथ उपजते हैं, इस्पात का प्रतिशत निश्चित होता है। अत: सन्तुलित खण्ड के लिये आवश्यक इस्पात के क्षेत्रफल तथा खण्ड में वास्तविक रूप में डाले गये इस्पात के क्षेत्रफल में अन्तर आ जाने के कारण, धरनों की (निम्न) तीन श्रेणियाँ बन सकती हैं—

(i) सन्तुलित अथवा मितव्ययी खण्ड (Balanced or Economical Section),

(ii) अल्प प्रबलित खण्ड (Under Reinforced Section),

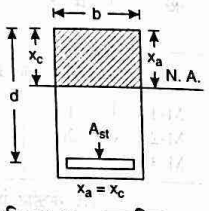
(iii) अति प्रबलित खण्ड (Over Reinforced Section)।

धरनों की उपरोक्त (ii) व (iii) श्रेणी, **असन्तुलित खण्ड** के नाम से भी जानी जाती है।

civilguruji.net

2.14-1. सन्तुलित अथवा मितव्ययी खण्ड (Balanced Section)—जब किसी खण्ड में, भार पड़ने पर कंक्रीट तथा प्रबलन इस्पात, दोनों में अपने-अपने **अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल एक साथ उपजते हैं**, उस खण्ड को **सन्तुलित खण्ड** कहते हैं, इसे **मितव्ययी खण्ड** भी कहते हैं, क्योंकि अनुज्ञेय प्रतिबलों के अपनी अधिकतम सीमाओं तक एक साथ पहुँचने से, कंक्रीट तथा इस्पात दोनों पदार्थों की सामर्थ्य का पूरा-पूरा लाभ प्राप्त होता है। सन्तुलित खण्ड में चरम भार पर दोनों पदार्थ-कंक्रीट तथा इस्पात एक साथ विफल होंगे। इसे सन्तुलित विफलता (Balanced Failure) कहते हैं।

उदाहरण के तौर पर यदि कंक्रीट तथा इस्पात में अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल क्रमशः 5 N/mm^2 तथा 140 N/mm^2 निर्धारित है तो सन्तुलित खण्ड में कंक्रीट 5 N/mm^2 का अनुज्ञेय प्रतिबल ग्रहण करेगी, उसी समय तनन इस्पात भी अपनी अधिकतम अनुज्ञेय सीमा 140 N/mm^2 पर पहुँच जायेगा।



चित्र 2.10—सन्तुलित खण्ड

सन्तुलित खण्ड में क्रान्तिक बल-शून्य रेखा (Critical N.A.) तथा वास्तविक बल-शून्य रेखा (Actual N.A.) **एक ही तल पर स्थित होती है** (चित्र 2.10)। ऐसे खण्डों में इस्पात का प्रतिशत स्थिर रहता है।

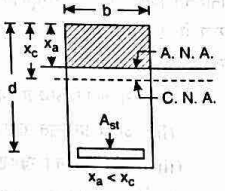
सन्तुलित खण्ड की बल-शून्य रेखा (उदासीन अक्ष) निम्न समीकरण से ज्ञात की जा सकती है—

$$x = \frac{m\sigma_{cb}\, d}{m\sigma_{cb} + \sigma_{st}}$$

और प्रतिरोध आघूर्ण, $$Mr = \frac{b\,x\,\sigma_{cb}}{2}\left[d - \frac{x}{3}\right] \quad \text{...(सूत्र)}$$

अथवा $$Mr = \sigma_{st} \times A_{st}\left(d - \frac{x}{3}\right) \quad \text{...(सूत्र)}$$

2.14-2. अल्प प्रबलित खण्ड (Under Reinforced Section)—जब धरन खण्ड में सन्तुलित खण्ड के लिये आवश्यक इस्पात से **कम** इस्पात होता है तो यह **अल्प प्रबलित खण्ड** कहलाता है। इस प्रकार के खण्ड में, क्योंकि प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल कम होता है, अतः इस्पात, कंक्रीट की अपेक्षा अपने अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल पहले ग्रहण कर लेता है। इस प्रकार का धरन इस्पात में पहले विफल होगा। **अल्प प्रबलित खण्ड में तनन विफलता** (Tension Failure) **होती है।** उपरोक्त उदाहरण के अनुसार इस्पात में प्रतिबल अपनी अधिकतम अनुज्ञेय सीमा 140 N/mm^2 पर पहुँच जायेगा जबकि कंक्रीट अपने अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल, 5 N/mm^2 पर नहीं पहुँची होगी।



चित्र 2.11—अल्प प्रबलित खण्ड (Under Reinforced Section)

अल्प प्रबलित खण्ड में, वास्तविक बल शून्य रेखा (Actual N.A.), क्रांतिक बल रेखा (Critical N.A.) के **ऊपर** स्थित होती है (चित्र 2.11)। अल्प प्रबलित खण्ड की पहचान करने के लिये वास्तविक तथा क्रांतिक, दोनों बल-शून्य रेखाओं

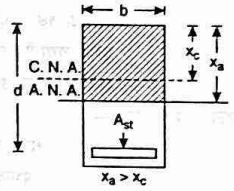
की स्थिति ज्ञात की जाती है। वास्तविक बल शून्य रेखा सूत्र 2.6 से तथा क्रांतिक बल शून्य रेखा सूत्र 2.4 से ज्ञात की जा सकती है।

खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करने के लिये इस्पात का क्षेत्रफल गणना में लिया जाता है।

$$Mr = \sigma_{st} A_{st}\left(d - \frac{x}{3}\right) \quad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ x = वास्तविक बल शून्य रेखा का मान है।

2.14-3. अति प्रबलित खण्ड (Over Reinforced Section)—इस प्रकार के खण्ड में, सन्तुलित खण्ड के लिये आवश्यक से अधिक मात्रा में तनन इस्पात डाला गया होता है। अति प्रबलित खण्ड में कंक्रीट, इस्पात की अपेक्षा, अपना अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल पहले ग्रहण कर लेती है, अर्थात् कंक्रीट में प्रतिबल अपनी अधिकतम अनुज्ञेय सीमा, 5 N/mm^2 पर पहले पहुँच जायेगा, जबकि इस्पात अपने अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल 140 N/mm^2 पर नहीं पहुँचा होगा। इस प्रकार का धरन कंक्रीट में पहले विफल होगा। इसे **सम्पीडन विफलता** (Compression Failure) कहते हैं।



चित्र 2.12—अति प्रबलित खण्ड (Over Reinforced Section)

अति प्रबलित खण्ड में, वास्तविक बल शून्य रेखा (Actual N.A.), क्रान्तिक बल शून्य रेखा (Critical N.A.) से **नीचे** स्थित होती है (चित्र 2.12)। खण्ड की पहचान के लिये उपरोक्त दोनों बल शून्य रेखाओं की स्थिति ज्ञात करनी होती है—

खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण सम्पीडन कंक्रीट के क्षेत्रफल द्वारा ज्ञात किया जाता है।

$$Mr = \frac{b\,x\,\sigma_{cb}}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right) \quad \text{...(सूत्र)}$$

उपरोक्त समीकरण में x वास्तविक बल शून्य रेखा की गहराई (ऊपरी सिरे से) है (देखें संकेत)।

टिप्पणी— (i) अल्प प्रबलित अथवा अति प्रबलित खण्डों में, दोनों पदार्थ-कंक्रीट तथा इस्पात में से किसी एक पदार्थ का पूर्णतः सदोपयोग नहीं होता है। अल्प प्रबलित खण्ड में इस्पात अनुज्ञेय प्रतिबल पहले ग्रहण कर लेता है और कंक्रीट अपनी सम्पूर्ण दक्षता नहीं दर्शा पाती है, जबकि अति प्रबलित खण्ड में इसके विपरीत स्थिति होती है।

(ii) चरम सीमा आने पर अति प्रबलित खण्ड में कंक्रीट पहले विफल होती है। कंक्रीट क्योंकि एक भंगुर पदार्थ है, यह बिना चेतावनी दिये अकस्मात ध्वस्त होती है। अल्प प्रबलित खण्ड में इस्पात हालाँकि कंक्रीट से पहले चरम प्रतिबल ग्रहण कर नष्ट होता है, परन्तु यह तन्य होने के कारण, टूटने में कुछ समय लेता है, जिससे संरचना के नष्ट होने की पूर्व चेतावनी मिल जाती है।

अतः व्यावहारिक तौर पर **अल्प प्रबलित खण्ड अभिकल्पित करना अधिक सुरक्षित होता है।**

संकेत (Hint)—*यह ज्ञात करने के लिये कि कोई खण्ड अल्प प्रबलित अथवा अति प्रबलित है, निम्न वाक्य याद रखो। यह गुर प्रिसपल (कैप्टन) एम० जी० के० मूर्ति ने 1952 में अपने एक क्लास-लेकचर में सुझाया था।*

LESS TEA—MORE COFFEE

इसका अर्थ है, यदि वास्तविक बल शून्य रेखा का मान (गहरायी), क्रान्तिक बल शून्य रेखा से कम (Less) है तो खण्ड अल्प प्रबलित है और प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करने के लिये टी अर्थात् इस्पात का प्रतिबल, σ_{st} प्रयोग करें।

यदि वास्तविक बल शून्य रेखा का मान (गहरायी) अधिक (More) है, तब खण्ड अति प्रबलित है और कंक्रीट का प्रतिबल, σ_{cb} खण्ड को नियन्त्रित करेगा।

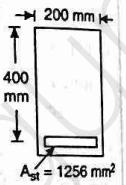
उदाहरण 2.3 : एक आयताकार आर० सी० सी० धरन खण्ड 200 mm चौड़ा तथा प्रबलन के केन्द्रक तक 400 mm गहरा है। धरन के तनन क्षेत्र में 1256 mm^2 प्रबलन इस्पात डाला गया है। यदि $\sigma_{cb} = 5\ N/mm^2$, $\sigma_{st} = 140\ N/mm^2$ तथा $m = 18$ हो, ज्ञात करें कि धरन अल्प प्रबलित है अथवा अति प्रबलित। [B.T.E.]

हल : प्रश्नानुसार—

धरन की चौड़ाई = 200 mm

प्रभावी गहरायी = 400 mm

तनन इस्पात, $A_{st} = 1256\ mm^2$



चित्र 2.13

(i) धरन की क्रान्तिक बल-शून्य रेखा—

$$x_c = \frac{m\sigma_{cb}\, d}{m\sigma_{cb} + \sigma_{st}}$$

$$\therefore \quad x_c = \frac{18 \times 5 \times 400}{18 \times 5 + 140} = \mathbf{157\ mm}$$

(ii) धरन की वास्तविक बल-शून्य रेखा— x_a के लिये—

$$\frac{b x^2}{2} = m A_{st} (d - x)$$

$$\frac{200 \times x^2}{2} = 18 \times 1256\,(400 - x)$$

$$x^2 + 226\,x - 90432 = 0 \quad \text{(यह एक द्विघातीय समीकरण है)}$$

अत: $$x = \frac{-226 \pm \sqrt{(226)^2 - (4 \times -90432)}}{2}$$

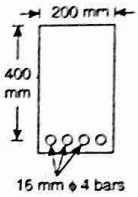
$$x = \frac{-226 \pm 643}{2}$$, धनात्मक मान लेने पर—

$$\therefore \quad x_a = \mathbf{209\ mm}$$

चूँकि $x_a > x_c$, वास्तविक बल शून्य रेखा, क्रान्तिक बल शून्य रेखा के **नीचे** स्थित है, अत: यह धरन खण्ड **अति प्रबलित** है। **उत्तर**

उदाहरण 2.4 : एक प्रबलित सीमेंट कंक्रीट धरन का अनुप्रस्थ काट 200 mm × 400 mm (प्रभावी) है तथा उसकी तली पर 16 मिमी० व्यास की 4 छड़ों का प्रबलन डाला गया है। धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करें तथा यह भी बतायें कि यह खण्ड सन्तुलित, अति प्रबलित अथवा अल्प प्रबलित है। $\sigma_{cb} = 5\ N/mm^2$, $\sigma_{st} = 140\ N/mm^2$ तथा $m = 18$ मान लें। [B.T.E.]

हल : खण्ड के सन्तुलित अथवा अति/अल्प प्रबलित होने की जाँच के लिये, सर्वप्रथम क्रान्तिक तथा वास्तविक बलशून्य रेखाओं की स्थिति ज्ञात करनी होती है।



चित्र 2.14

(i) **क्रान्तिक बल शून्य रेखा**—

$$\frac{m\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} = \frac{x}{(d - x)}$$

या $$x = \frac{m\sigma_{cb}\, d}{m\sigma_{cb} + \sigma_{st}} = \frac{18 \times 5 \times 400}{18 \times 5 + 140}$$

= 157 mm. इसे x_c मान लें

(ii) **वास्तविक बल शून्य रेखा**—

$$\frac{b x^2}{2} = m A_{st} (d - x)$$

$$\frac{200\, x^2}{2} = 18 \times (4 \times 201)\,(400 - x)$$

$$x^2 + 144{\cdot}72\, x - 57888 = 0$$

$$x = 179\ \text{mm. इसे } x_a \text{ मान लें}$$

चूँकि वास्तविक N.A., क्रान्तिक N.A. से नीचे स्थित है, अत: यह खण्ड **अति प्रबलित** (Over Reinforced) है। **उत्तर**

अति प्रबलित खण्ड में चूंकि प्रबलन इस्पात की मात्रा, सन्तुलित खण्ड से अधिक होती है, इसलिये सम्पीडन कंक्रीट सर्वप्रथम अपना अधिकतम अनुमत प्रतिबल ग्रहण कर लेगी। अत: इस खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण (Mr) ज्ञात करने के लिये निम्न सूत्र का प्रयोग किया जायेगा—

$$Mr = \frac{b\, x\, \sigma_{cb}}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right) = \frac{200 \times 179 \times 5}{2}\left(400 - \frac{179}{3}\right)$$

$$= 89500 \times 340{\cdot}33$$

$$= 30459535\ \text{N-mm}$$

$$= \mathbf{30459{\cdot}5\ kN\text{-}mm} \qquad \textbf{उत्तर}$$

civilguru.net

उदाहरण 2.5 : एक आयताकार प्रबलित कंक्रीट धरन की चौड़ाई 200 mm है तथा प्रभावी गहराई 350 mm है। यदि धरन 24×10^6 Nm के बंकन आघूर्ण के अधीन हो, तो तनन प्रबलन का क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये। $\sigma_{cb} = 5$ N/mm², $\sigma_{st} = 140$ N/mm², $m = 18$ मान लें। *[U.P.T.U.]*

हल : (i) प्रतिबल वक्र सूत्र से,— $\dfrac{m\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} = \dfrac{x}{(d-x)}$ ...सूत्र

अथवा $x = \dfrac{m\sigma_{cb}d}{m\sigma_{cb} + \sigma_{st}}$

$= \dfrac{18 \times 5 \times 350}{18 \times 5 + 140}$

$= 137$ mm

(ii) खण्ड की बंकन आघूर्ण, $Mr = \sigma_{st} A_{st}\left(d - \dfrac{x}{3}\right)$ ...सूत्र

$24 \times 10^6 = 140\, A_{st}\left(350 - \dfrac{137}{3}\right)$

$\therefore \quad A_{st} = \dfrac{24 \times 1000000}{140 \times 304{\cdot}33}$

$= 564$ mm² **उत्तर**

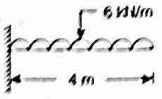
उदाहरण 2.6 : एक प्राय धरन का पाट 4 मी० है। इस पर 6 kN/m का अध्यारोपित भार आ रहा है। धरन की माप 300 mm × 500 mm (कुल) पूरी लम्बाई में है। इस्पात का प्रभावी आवरण 50 mm है। इस धरन के लिये तनन इस्पात ज्ञात कीजिये तथा चित्र भी दीजिये। प्रबलित कंक्रीट का घनत्व भार 25 kN/m³ मान लें। M-15 ग्रेड की कंक्रीट तथा Fe 250 इस्पात का उपयोग करें। *[U.P.T.U.]*

हल :

(i) भार— प्राय धरन पर अध्यारोपित भार = 6000 N/m

धरन का भार = $1 \times 0{\cdot}3 \times 0{\cdot}5 \times 25000 = 3750$ N/m

कुल परिकल्पित भार = 9750 N/m



चित्र 2.15

(ii) अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = \dfrac{wl^2}{2}$

$= \dfrac{9750 \times 4 \times 4}{2}$

$= 78000$ N-m

अथवा $= 78000 \times 1000$ N-mm

(iii) आवद्ध सिरे पर इस्पात का क्षेत्रफल, जबकि कंक्रीट आवरण 50 mm है।

$$A_{st} = \frac{Mr}{\sigma_{st} \times 0{\cdot}87d}$$

Fe 250 ग्रेड के इस्पात के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल, $\sigma_{st} = 140$ N/mm² लिया जाता है। यहाँ $d = 500 - 50 = 450$ mm है।

$\therefore \quad A_{st} = \dfrac{78000 \times 1000}{140 \times 0{\cdot}87 \times 450}$

$= 1423$ mm²

20 mm ϕ की छड़ें प्रयोग करने पर, $N = \dfrac{1423}{314} = 4{\cdot}6$ say 5 छड़ें।

अत: प्राय धरन में 20 mm व्यास की 5 छड़ें डाली जायेंगी। यह छड़ें खण्ड के ऊपरी भाग (जहाँ तनन प्रतिबल उपजते हैं) में 50 mm के प्रभावी आवरण पर डाली जायेंगी।

(iv) प्राय धरन के मध्य पाट में अधिकतम बंकन आघूर्ण,

$$M_1 = \frac{wl^2}{2} = \frac{9750 \times 2 \times 2}{2} = 19500 \text{ N-m}$$

अथवा 19500×1000 N-mm

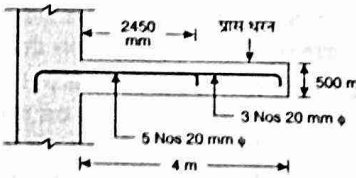
मध्य पाट में इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{st_1} = \dfrac{19500 \times 1000}{140 \times 0{\cdot}87 \times 450}$

$= 356$ mm²

20 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या, $N = \dfrac{356}{314} = 1{\cdot}2$

व्यवहार में मध्य पाट में, 20 mm व्यास की 3 छड़ें डाली जायेंगी, अर्थात् आवद्ध सिरे से आती हुई 5 छड़ों में से 2 छड़ों को मध्य पाट पर समाप्त कर दिया जायेगा और शेष 3 छड़ें मुक्त सिरे तक ले जायी जायेंगी।

प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 2.16 में दर्शायी गयी है। छोटी छड़ों (Cut-off Bars) को पाट के मध्य से $12\,\phi$ या d, जो भी अधिक है, तक आगे बढ़ाया जायेगा— 12×20 अथवा 450 mm, अत: यह दूरी 450 mm ली जायेगी। अत: छोटी छड़ें आलम्ब-फलक से $2000 + 450 = 2450$ mm आगे तक बढ़ी रहेंगी (चित्र 2.16)।



चित्र 2.16

civilguru.net

§ 2.15. दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन (Doubly Reinforced Concrete Beams):

जब सीमेन्ट कंक्रीट धरन में तनन और सम्पीडन, दोनों क्षेत्रों में प्रबलन इस्पात डाला जाता है, इसे दोहरा प्रबलित कंक्रीट धरन कहते हैं। वास्तुकला अथवा निर्बाध-ऊंचाई (Head Room) की दृष्टि से, जब धरन-खण्ड का परिमाप (गहरायी) बढ़ाना उचित न हो, तब इसके माप को सीमित करके, इसके सम्पीडन क्षेत्र में भी प्रबलन इस्पात डाल दिया जाता है। यह सम्पीडन इस्पात कहलाता है। इस इस्पात (परिस्थान-कंक्रीट के सम्पीडन इस्पात) में उत्पन्न सम्पीडन प्रतिबलों का मान $1{\cdot}5m \times \sigma'_c$ अथवा इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल σ_{sc}, जो भी **न्यूनतम** है, लिये जाते हैं।

दोहरे प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट धरनों सम्बन्धी अभिकल्प सूत्र इस प्रकार है—

(i) क्रान्तिक (Critical) बलशून्य रेखा,

$$x = \frac{m\sigma_{cb}d}{m\sigma_{cb} + \sigma_{st}} \qquad ...(2.16)$$

(ii) वास्तविक (Actual) बलशून्य रेखा—

$$\frac{bx^2}{2} + (1{\cdot}5m - 1)A_{sc}(x - d') = mA_{st}(d - x) \qquad ...(2.17)$$

(iii) प्रतिरोध आघूर्ण (M.R)—

(a) अतिप्रबलित खण्ड के लिये—

$$Mr = \frac{bx\sigma_{cb}}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right) + (1{\cdot}5m - 1)A_{sc}.\sigma'_{cb}(d - d') \qquad ...(2.18)$$

यहाँ $\sigma'_{cb} = \dfrac{\sigma_{cb}(x - d')}{x}$

(b) अल्प प्रबलित खण्ड के लिये—

$$Mr = \sigma_{st}A_{st}(d - y) \qquad ...(2.19)$$

यहाँ $y = \dfrac{\left(C_1 \times \dfrac{x}{3}\right) + (C_2 \times d')}{(C_1 + C_2)}$

C_1 व C_2 सम्पीडन कंक्रीट का तथा सम्पीडन इस्पात का परिणामी बल।

नोट: पाठ्यक्रम को देखते हुये, दोहरे प्रबलित धरनों की व्याख्या इतनी ही पर्याप्त समझी गयी है।

उदाहरण 5.5 : एक 300 mm × 500 mm (कुल गहराई) के दोहरी प्रबलित कंक्रीट धरन को तली पर 22 mm व्यास की 4 छड़ों तथा ऊपर 20 mm व्यास की 2 छड़ों से प्रबलित किया गया है। प्रत्येक छड़-पंक्ति का प्रभावी आवरण 50 mm है। इसके 8 मीटर प्रभावी पाट पर भार, जो यह धरन वहन कर सकता है, ज्ञात कीजिये। M-15 ग्रेड की कंक्रीट व Fe 415 ग्रेड का इस्पात इस्तेमाल करें, $m = 18$ मान लें।

हल : (1) प्रश्नानुसार—

M-15 ग्रेड की कंक्रीट के लिये, $\sigma_{cb} = 5\ \text{N/mm}^2$

Fe 415 ग्रेड के इस्पात के लिये, $\sigma_{st} = 230\ \text{N/mm}^2$

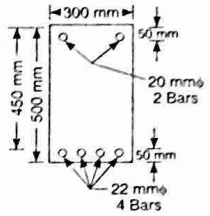
धरन की चौड़ाई = 300 mm

प्रभावी गहराई = 500 − 50 = 450 mm

सम्पीडन इस्पात, $A_{sc} = 2 \times 314 = 628\ \text{mm}^2$

तनन इस्पात, $A_{st} = 4 \times 380 = 1520\ \text{mm}^2$

धरन का प्रभावी पाट = 8 m.



चित्र 2.17

(2) खण्ड की क्रान्तिक बल शून्य रेखा—

$$\frac{m\sigma_{cb}}{\sigma_{st}} = \frac{x}{(d - x)}$$

$$x = \frac{m\sigma_{cb}d}{m\sigma_{cb} + \sigma_{st}} = \frac{18 \times 5 \times 450}{18 \times 5 + 230} = 127\ \text{mm}$$

(3) खण्ड की वास्तविक बल शून्य रेखा—

$$\frac{bx^2}{2} + (1{\cdot}5\,m - 1)A_{sc}(x - d') = mA_{st}(d - x)$$

$$\frac{300\,x^2}{2} + [(1{\cdot}5 \times 18 - 1)\,628\,(x - 50)] = 18 \times 1520\,(450 - x)$$

$$x^2 + 108{\cdot}9\,(x - 50) = 182{\cdot}4\,(450 - x)$$

$$x^2 + 291{\cdot}3\,x - 87525 = 0$$

$$x = \frac{-291{\cdot}3 \pm \sqrt{(291{\cdot}3)^2 + (4 \times 87525)}}{2}$$

$$x = \frac{-291{\cdot}3 \pm 659{\cdot}5}{2} = 184\ \text{mm}$$

(4) चूँकि वास्तविक बल शून्य रेखा, क्रान्तिक बल शून्य के **नीचे** स्थित है, अत: यह खण्ड **अति प्रबलित** है। इसलिये कंक्रीट का अनुज्ञेय प्रतिबल खण्ड पर प्रभावी होगा।

खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण—

$$Mr = \frac{b\,x\,\sigma_{cb}}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right) + (1{\cdot}5\,m - 1)A_{sc}\,\sigma'_{cb}(d - d')$$

यहाँ $\sigma'_{cb} = \dfrac{\sigma_{cb}(x - d')}{x} = \dfrac{5(184 - 50)}{184} = 3{\cdot}64\ \text{N/mm}^2$

अत: $Mr = \dfrac{300 \times 184 \times 5}{2}\left(450 - \dfrac{184}{3}\right) + [(1{\cdot}5 \times 18 - 1)\,628 \times 3{\cdot}64\,(450 - 50)]$

$= 53682000 + 23773568$

$= 77455568\ \text{N-mm.}$

civilguru.net

(5) माना धरन पर प्रति मीटर लम्बाई पर कुल समवितरित भार = w Newton

प्रभावी पाट = 8 m

$$\therefore \quad \text{अधिकतम बंकन आघूर्ण} = \frac{wl^2}{8} \text{ N-m}$$

$$= \frac{w \times 8^2}{8} \times 1000 \text{ N-mm}$$

$$= 8000\, w \text{ N-mm}$$

बंकन आघूर्ण को प्रतिरोध आघूर्ण के तुल्य रखते हुये—

$$8000\, w = 77455568$$

$$\therefore \quad \text{कुल समवितरित भार}, w = \frac{77455568}{8000} = 9682\text{N}.$$

धरन का प्रति मीटर लम्बाई में स्वयं का भार = $1 \times 0{\cdot}30 \times 0{\cdot}50 \times 25000 = 3750$ N/m

अत: धरन पर शुद्ध अध्यारोपित भार = कुल भार – स्वयं का भार

= 9682 – 3750 = 5932 N/m

अथवा **5·932 kN/m** **उत्तर**

प्रश्नावली–2

1. प्रबलित कंक्रीट धरनो के बंकन सिद्धान्त की मूल संकल्पनाएँ संक्षेप में लिखिये। **[B.T.E.]**
2. (i) प्रबलित कंक्रीट रचनाओं मे मापांक अनुपात, m की उपयोगिता बताइये।
   (ii) सिद्ध करो कि इस्पात मे प्रतिबल, कंक्रीट के प्रतिबलों का 'm' गुना होते हैं। **[B.T.E.]**
   (iii) एकल प्रबलित कंक्रीट खण्ड में इस्पात का इष्टतम प्रतिशत क्या है? **[B.T.E.]**
3. प्रबलित कंक्रीट खण्ड मे समतुल्य क्षेत्रफल के बारे में आप क्या जानते हैं? यह कैसे ज्ञात किया जाता है, लिखिये।
4. निम्नलिखित पर प्रकाश डालें—
   (i) बल शून्य रेखा (Neutral axis) (iii) प्रतिरोध आघूर्ण (Moment of Resistance)
   (ii) उत्तोलक भुजा (Lever Arm) **[B.T.E.]** (iv) प्रभावी गहराई (Effective Depth)
5. प्रबलित कंक्रीट खण्ड इसमें डाले गये प्रबलन के आधार पर, कितने प्रकार के हो सकते हैं, उनके नाम दीजिये।
6. (i) सन्तुलित खण्ड तथा असन्तुलित खण्ड की पहचान कैसे की जाती है? **[B.T.E.]**
   (ii) एक सन्तुलित खण्ड तथा मितव्ययी इस्पात से क्या तात्पर्य है, बताइये। **[B.T.E.]**
   (iii) असन्तुलित धरन खण्ड कितने प्रकार के होते हैं और उनमें क्या भेद होता है? स्पष्ट करें।
7. निम्नलिखित वाक्यो को शुद्ध कीजिये :
   (i) एक अति प्रबलित कंक्रीट धरन मे वास्तविक बल शून्य रेखा, क्रान्तिक बल शून्य रेखा के ऊपर/नीचे स्थित होती है। **(उत्तर : नीचे)**

   (ii) जब तनन इस्पात की पूर्ण क्षमता (अनुज्ञेय प्रतिबल) प्राप्त नहीं होती है तो इसे न्यून/अति प्रबलित खण्ड कहते हैं। **(उत्तर : अति प्रबलित)**
   (iii) प्रबलित कंक्रीट खण्ड में समस्त तनन प्रतिबल इस्पात/कंक्रीट द्वारा वहन किये जाते हैं। **(उत्तर : इस्पात)**
   (iv) सन्तुलित प्रबलित खण्डों में इस्पात का प्रतिशत सदा स्थिर/अस्थिर रहता है। **(उत्तर : स्थिर)**
   (v) इस्पात का प्रतिशत ज्ञात करने के लिये खण्ड की प्रभावी गहराई/सम्पूर्ण गहराई ली जाती है। **(उत्तर : प्रभावी गहरायी)**
8. एक एकल प्रबलित सीमेंट कंक्रीट धरन की चौड़ाई 150 mm है और तनन इस्पात के केन्द्रक तक गहराई 300 mm है। यदि धरन के लिये अनुमत प्रतिबल, $\sigma_{cb} = 5$ N/mm^2, $\sigma_{st} = 230$ N/mm^2 तथा मापांक अनुपात, $m = 18$ हो तो धरन की बल शून्य रेखा की स्थिति ज्ञात कीजिये। **(उत्तर : $x = 85$ mm)**
9. प्रबलित सीमेंट कंक्रीट का एक परिच्छेद 200 mm × 400 mm (प्रभावी) है और इसे सन्तुलित खण्ड के रूप में अभिकल्पित करना है। खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण व प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये। $\sigma_{cb} = 5$ N/mm^2, $\sigma_{st} = 140$ N/mm^2 तथा $m = 18$ मान लें। **(उत्तर : $Mr = 27218$ kN-mm, $A_{st} = 558$ mm^2)**
10. एक प्रबलित सीमेंट कंक्रीट धरन का खण्ड 150 mm × 250 mm है। इसमें 12 mm व्यास की 4 छड़ों का प्रबलन दिया गया है। छड़ों के केन्द्रक से धरन की तली 30 mm की दूरी पर है। धरन खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिये। $\sigma_{cb} = 5$/mm^2, $\sigma_{st} = 140$ N/mm^2 तथा $m = 18$ मान लें। **[B.T.E.]**
    (उत्तर : $x = 116$ mm, $Mr = 7864$ kN-mm)
11. प्रबलित कंक्रीट का एक परिच्छेद 200 mm × 400 mm (प्रभावी) है। इसको सन्तुलित खण्ड के रूप में डिजाइन करना है। इसका प्रतिरोध आघूर्ण एवं प्रबलन इस्पात का परिमाण ज्ञात कीजिये। $\sigma_{cb} = 5$ N/mm^2, $\sigma_{st} = 140$ N/mm^2 तथा $m = 18$ मान लें। **[B.T.E.]**
    (उत्तर : $A_{st} = 260$ mm^2, $Mr = 2720 \times 10^4$ N-mm)
12. एक आयताकार कंक्रीट धरन का अभिकल्पन करे जो 400 mm चौड़ी है और 7 मी० के प्रभावी पाट पर टिकी है। धरन पर अपने भार सहित 25000 N/meter का भार लग रहा है। कक्रीट तथा प्रबलन इस्पात में अधिकतम अनुमत प्रतिबल क्रमश: 5 N/mm^2 व 140 N/mm^2 मान लें। $m = 18$ लें। **[B.T.E.]**
    (उत्तर : $D = 710$ mm, $A_{st} = 1871$ mm^2)
13. एक प्रास धरन का पाट 2 मी० है। इस पर 6 kN/m का अध्यारोपित भार आ रहा है। यदि प्रास धरन की कुल लम्बाई में माप 200 mm × 400 mm हो, तो तनन इस्पात ज्ञात कीजिये। M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 250 ग्रेड का इस्पात प्रयोग करें। कंक्रीट का भार 25 kN/m^3 ले।
    (संकेत : Fe 250 के लिये $\sigma_{st} = 140$ N/mm^2 ले) **(उत्तर : $A_{st} = 350$ mm^2)**
14. एक प्रबलित सीमेंट कंक्रीट धरन 300 mm चौड़ी है और इसकी प्रभावी गहराई 600 mm है। इसको 20 mm व्यास की 4 छड़ों से प्रबलित किया गया है। ज्ञात करें कि यह धरन 6 मी० के पाट पर कितना समवितरित भार वहन कर सकती है। इस्पात तथा कंक्रीट में उत्पन्न अधिकतम प्रतिबल भी ज्ञात कीजिये। **[B.T.E.]**
    (उत्तर : 15850 N/m, $\sigma_{st} = 140$ N/mm^2, $\sigma_{cb} = 5$ N/mm^2)

Gurukul

15. एक 6 m पाट वाले आर० सी० सी० धरन, जो 2×10^5 kN-mm की बंकन आघूर्ण वहन कर रहा है, अभिकल्पित कीजिये। $\sigma_{cb} = 5$ kN-mm^2, $\sigma_{st} = 140$ N/mm^2, $m = 18$ मान लें। [*B.T.E.*]
(**उत्तर :** $b = 480$ mm, $D = 730$ mm, $A_{st} = 2570$ mm^2)

16. एक एकल प्रबलित कंक्रीट धरन का अनुप्रस्थ काट 300 mm चौड़ा तथा प्रबलन इस्पात के केन्द्रक तक 400 mm गहरा है। प्रबलन में 14 mm ϕ की 4 छड़े है। धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिये। $\sigma_{cb} = 5$ N/mm^2, $\sigma_{st} = 230$ N/mm^2, $m = 18$ मान लें। [*B.T.E.*]
(**उत्तर :** $Mr = 51360$ kN-mm)

17. एक दोहरा प्रबलित कंक्रीट धरन का माप 400 mm × 600 mm (प्रभावी) है। इसके तनन क्षेत्र में 25 mm ϕ की 4 छडें (प्रभावी आवरण 40 mm) डाली गयी है। धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए। कंक्रीट M-20, इस्पात Fe 415 तथा $m = 13$ मान लें। (**उत्तर :** 215 kNm)

18. एक दोहरा प्रबलित कंक्रीट धरन का माप 250 mm × 500 mm है और यह 65000 N-m का बंकन घूर्ण प्रतिरोधित करता है। $\sigma_{cb} = 5$ N/mm^2, $\sigma_{st} = 140$ N/mm^2 और $m = 18$ लेते हुये, धरन के लिये तनन तथा सम्पीडन इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात कीजिए। प्रबलन इस्पात पर (केन्द्रक तक) आवरण (नीचे तथा ऊपर) 50 mm मान लें।
(**उत्तर :** तनन इस्पात = 1180 mm^2
सम्पीडन इस्पात = 590 mm^2)

19. एक प्रबलित कंक्रीट आयताकार धरन का माप 300 mm × 500 mm (प्रभावी) है और इस पर 95 kN.m का बंकन आघूर्ण लग रहा है। धरन के लिये M-20 की कंक्रीट और Fe415 इस्पात का प्रयोग किया गया है। धरन के लिये कार्यकारी प्रतिबल विधि अपनाते हुये, प्रबलन इस्पात (सम्पीडन एवं तनन) की गणना कीजिए।
(**Hint:** $\sigma_{cb} = 7$ N/mm^2, $\sigma_{st} = 230$ N/mm^2, $d' = 50$ mm) [*U.P.T.U.*]
(**उत्तर :** $A_{st} = 920$ mm^2
$A_{sc} = 680$ mm^2)

20. एक आयताकार धरन 300 mm चौड़ा और प्रभावी गहरायी 500 mm है। इसमें 16 mm ϕ की 4 छडें डाली गयी हैं। धरन में कंक्रीट का ग्रेड M-20 है। धरन पर 50 kNm का बँकन आघूर्ण लग रहा है। इस्पात तथा कंक्रीट में उपजे प्रतिबलों की गणना कीजिए। [*BTE-HR.*]
(**उत्तर :** $\sigma_{st} = 139$ N/mm^2,
$\sigma_c = 4.8$ N/mm^2)

3 सीमांत अवस्था विधि
(LIMIT STATE METHOD—L.S.M.)

§ 3.1. सीमांत अवस्था (Limit State) :

परिचय तथा संकल्पना—किसी इन्जीनियरी संरचना के विफल (धराशायी) होने से पूर्व तक, इसकी सुरक्षा (Safety) तथा सेवायोग्यता (Serviceability) की स्वीकार्य अवस्था को **सीमांत अवस्था** (Limit State) कहते हैं। इस सीमांत अवस्था के बाद, संरचना अभिकल्पन सम्बन्धी निर्धारित किसी भी माप-दण्ड की पूर्ति नहीं करती है। सीमांत अवस्था अभिकल्पन (L.S. Design) प्रत्यास्थ अभिकल्प (Elastic Design) अथवा चरम भार अभिकल्प (Ultimate Load Design), दोनों का आशोधित (Modified) रूप है, परन्तु यह आवश्यक नहीं है कि सीमांत अवस्था का उल्लंघन होने पर, संरचना ध्वस्त ही हो जायेगी। प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं के अभिकल्पन की कार्यकारी प्रतिबल विधि (Working Stresses or Elastic Theory) कार्यकर भारों पर तो सन्तोषजनक पायी गयी है, परन्तु संरचना के निपात के समय (Time of Collapse) उत्पन्न अवस्था पर इस विधि के अन्तर्गत गहन विचार नहीं किया गया है। कार्यकारी प्रतिबल विधि में सुरक्षा-सीमा (Margin of Safety) का आधार स्पष्ट व तर्कसंगत भी नहीं है। इस कमी को चरम भार विधि (भारगुणक विधि) (Ultimate Load Method or Load Factor Method) पर आधारित अभिकल्पन में सुधारा गया है। परन्तु चरम भार विधि संरचनाओं में अत्य विक्षेप (Excessive Deflection) व दरारों (Cracks) को उत्पन्न करती है, क्योंकि खण्ड सामर्थ्य में तो सुरक्षित होते हैं, परन्तु बहुत पतले (Thin) होने के कारण, इनमें विक्षेप अधिक होता है। अत: उपरोक्त दोनों विधियों के इन दोषों के निरसन के लिये, **सीमांत अवस्था विधि (Limit State Method) को विकसित किया गया है।** यह विधि कंक्रीट तकनीकी क्षेत्र में लम्बे समय के प्रक्षणों व परीक्षणों पर उपलब्ध आँकड़ों, अनुभव व तर्कसंगत सूझ-बूझकर पर आधारित है। I.S. रीति संहिता 456–2000 भी प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं के अभिकल्पन के लिये सीमांत अवस्था विधि को ही वरीयता देती है।

सीमांत अवस्था विधि सांख्यिकीय सम्भावनाओं (Statistical Probabilities) के विश्लेषण की एक नयी पहुँच है। अभिकल्पन की यह विधि संरचनाओं को इनके पूरे सेवाकाल में पड़ने वाले **सभी सम्भावित भारों** के प्रति सुरक्षित बनाये रखने के **साथ-साथ**, इनकी सेवायोग्यता (विक्षेप, दरारें, फटान इत्यादि की सीमा) पर भी विचार करती है और यह आशा की जाती है, कि सीमांत अवस्था पर पहुंचने से पूर्व तक संरचना अपने सभी सामर्थ्य सम्बन्धी दायित्व कौशलता से निभायेगी और सेवायोग्य भी बनी रहेगी अर्थात् अपनी सेवा-अवधि में पड़ने वाले सभी भारों के प्रति सुरक्षित बनी रहेगी तथा विक्षेप (Deflection) व दरारों (Cracks) की उत्पत्ति से भी बची रहेगी। इस विधि में विफलता से पूर्व तक, सुरक्षा तथा सेवा योग्यता की स्वीकार्य सीमा बनी रहती है।

I.S. कोड़ 456–2000 के अनुसार संरचनाओं की निम्न सीमांत अवस्था महत्वपूर्ण है और अवयवों का अभिकल्पन करते समय, इनको आधार माना जाता है।

(i) निपात (धराशायी) सीमांत अवस्था (Limit State of Collapse)—इसके अन्तर्गत अवयव के (a) आनमन (Bending), (b) सम्पीडन (Compression), (c) अपरूपण (Shear) तथा (d) ऐंठन (Torsion) की सीमांत अवस्था पर विचार किया जाता है। संरचना अपने पूर्ण सेवा काल में इस पर पड़ने वाले सभी भारों के प्रति सुरक्षित बनी रहे। सीमान्त अवस्थाओं में निपात सीमान्त अवस्था (Limit State of Collapse) **सबसे क्रान्तिक** होती है, अत: महत्वपूर्ण मानी जाती है। कंक्रीट तथा अन्य सभी संरचनाओं का अभिकल्पन सर्वप्रथम इसी सीमान्त अवस्था अनुसार किया जाता है। इसके बाद सेवा योग्यता सीमान्त अवस्था (विक्षेप, दरारें, कम्पन आदि) पर विचार किया जाता है। निपात सीमांत अवस्था का विश्लेषण चरम सामर्थ्य (Ultimate Strength) के आधार पर किया जाता है।

(ii) सेवायोग्यता (प्रयोज्यता) सीमांत अवस्था (Limit State of Serviceability)—इसके अन्तर्गत अवयवों के (a) विक्षेप (Deflection), (b) दरारों (Cracking), (c) संक्षारण (Corrosion) व (d) अत्यधिक कम्पन (Vibrations) की सीमांत अवस्था पर विचार किया जाता है। कोई भी संरचना यदि सेवा योग्य नहीं है, तब वह बेकार होती है। सभी भारों तथा संकुचन, ताप, मन्द विरुपण (Creep) आदि के कारण उत्पन्न विक्षेप $\frac{\text{पाट}}{350}$ से अधिक नहीं होनी चाहिये (विक्षेप की सीमान्त अवस्था) और कंक्रीट की सतह पर दरारें-फटान 0·3 mm से अधिक (चौड़ी) नहीं होनी चाहिये (दरार-फटान की सीमान्त अवस्था)। संरचना अपने पूर्ण सेवा-काल में इन दोषों के प्रति अपनी सुरक्षित सीमा में रहे। संरचना की सेवायोग्यता तभी बनी रहती है, जब यह टिकाऊ (लम्बा जीवनकाल) रखती हो। सेवा भारों (Service Loads) की सीमांत अवस्था **प्रत्यास्थ विश्लेषण** के आधार पर ज्ञात की जाती है, क्योंकि कार्यकारी भारों पर संरचना के उत्पन्न विरुपण महत्व रखता है।

ऊपर दी गयी सीमाओं के लिये अवयवों की सक्षमता बनाये रखने के लिये B.I.S. कोड में अनेक सूत्र सुझाये गये हैं, जिनका वर्णन अगले पृष्ठों पर किया गया है।

सामान्यत: संरचना को किसी एक क्रान्तिक सीमांत अवस्था के लिये अभिकल्पित किया जाता है और अन्य सीमांत अवस्था के लिये जांच की जाती है।

सीमांत अवस्था विधि में संरचना को निर्माण पदार्थों (Materials) और भारों (Loads) के अभिलक्षणिक मान (Characteristics Values) के लिये अभिकल्पित किया जाता है। अभिलक्षणिक मानों का आधार सांख्यिकीय आँकड़े होने चाहिये। यदि यह आँकड़े उपलब्ध न हो, तब अनुभव को आधार माना जाना चाहिये। व्यवहार में पदार्थों की सामर्थ्य के अभिलक्षणिक मान (Values) नहीं अपनाये जाते हैं, क्योंकि ऐसे मान अपनाने पर अवयव की विफलता (Failure) दर अधिक होती है। अत: अभिकल्पन में पदार्थों की अभिलक्षणिक सामर्थ्य के मानों (Values) को **कुछ कम** करके अपनाया जाता है। इसलिये संरचना की सीमान्त सुरक्षा बनाये रखने के लिये, अभिलक्षणिक मानों पर उपयुक्त सुरक्षागुणक अपनाये जाते हैं। L.S.M. में इन सुरक्षा गुणक को **आंशिक सुरक्षा गुणक** (Partial Safety Factor) कहा जाता है।

सीमांत अवस्था विधि से अभिकल्पित खण्ड न्यूनतम माप के होते हैं, काफी हल्के पड़ते हैं और मितव्ययी सिद्ध होते हैं।

देखने में आया है कि चरम प्रतिबल पहुंचने पर, कंक्रीट बगैर चेतावनी दिये, अकस्मात् फेल होती है, जबकि इस्पात तन्य होने के कारण, पर्याप्त चेतावनी देता है। अत: सीमांत अवस्था अभिकल्पन में **अतिप्रबलित खण्ड** (Over-Reinforced Sections) **नहीं अपनाये जाते हैं।**

§ 3.2. सीमांत अवस्था अभिकल्पन के मूल आधार (Basics of Limit State Design) :

(1) पदार्थों की अभिलक्षणिक सामर्थ्य (Characteristic Strength of Materials)—किसी पदार्थ की सामर्थ्य जांच द्वारा आँकी जाती है। सभी जाँच-प्रतिदर्शों की सामर्थ्य समान नहीं होती है। इनमें कुछ भिन्नता अवश्य पायी जाती है। अत: **किसी पदार्थ की अभिलक्षणिक (या विशिष्ट) सामर्थ्य वह मान (Value) है, जिसकी पुष्टि 95% जाँच-प्रतिदर्श, जाँच परीक्षण (Test Result) पर अवश्य करें** और केवल 5% तक प्रतिदर्श वह मान प्राप्त करने में विफल हों। उदाहरण के तौर पर, यदि किसी पदार्थ की अभिलक्षणिक सामर्थ्य 15 N/mm^2 है, तो इसका तात्पर्य है कि जाँच परीक्षणों में केवल 5% जाँच-प्रतिदर्श के जाँच परिणाम ही 15 N/mm^2 का मान प्राप्त करने में विफल रहेंगे। विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट की अभिलक्षणिक सम्पीडन सामर्थ्य, f_{ck} के मान सारणी 1.2 में दिये गये हैं।

पदार्थों की अभिलक्षणिक सामर्थ्य 'f' से प्रदर्शित की जाती है। कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य 'f_{ck}' और इस्पात की 'f_y' से प्रदर्शित की जाती है।

(i) **कंक्रीट की अभिलक्षणिक सम्पीडन सामर्थ्य,** 28 दिन (की तराई) के, 150 mm माप (फलक) के घन (Cube) के लिये आँकी जाती हैं। विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य तथा अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान सारणी 2.1 में दिये गये हैं।

(ii) इस्पात के लिये, इसकी न्यूनतम पराभव सामर्थ्य (Minimum Yield Strength) अथवा (HYSD Bars के लिये) 0·2% प्रमाण प्रतिबल (Proof Stress) (जब पराभव बिन्दु—Yield Point स्पष्ट परिभाषित न हो), इसकी **अभिलक्षणिक सामर्थ्य** मानी जाती है। विभिन्न ग्रेड के इस्पात की पराभव सामर्थ्य सारणी 2.2 में दी गयी हैं।

(2) अभिलक्षणिक भार (Characteristic Load)—भारण (Loading) का वह मान, जिसके संरचना की पूर्ण आयु में बढ़ने की 95% सम्भावना **नहीं** है, **अभिलक्षणिक भार** कहलाता है। इसे 'F' से प्रदर्शित किया जाता है। अभिलक्षणिक भार I.S. 875 (भाग 1 से 4) के अनुसार लेने चाहिये।

संरचना में प्रयुक्त किसी मैटीरियल की सामर्थ्य, इसकी अभिलक्षणिक सामर्थ्य से सदा कम होती है, क्योंकि उसके उत्पादन तथा गुणता-नियन्त्रण में अनेक चरणों पर कुछ न कुछ अन्तर हो जाता है, अत: **अभिकल्पन में पदार्थों की सामर्थ्य के अभिलक्षणिक मान नहीं अपनाये जाते हैं।**

(3) आंशिक सुरक्षागुणक (Partial Safety Factor)—संरचना की पर्याप्त सुरक्षा व दीर्घ सेवायोग्यता को सुनिश्चित करने के लिये कोड में पदार्थों व भारों के लिये सुरक्षागुणक सुझाये हैं। अभिकल्पन मान प्राप्त करने के लिये, अभिलक्षणिक मान को सुरक्षागुणक से **भाग** दिया जाता है अथवा **गुना** कर लिया जाता है। सीमांत अवस्था विधि में ये गुणक, **आंशिक सुरक्षागुणक (Partial Safety Factor)** कहलाते हैं। इसको 'γ' से प्रदर्शित किया जाता है, अर्थात—

γ_m —पदार्थों के लिये आंशिक सुरक्षागुणक

γ_f – भारों के लिये आंशिक सुरक्षागुणक

निपात (धराशायी) की सीमांत अवस्था विधि में कंक्रीट के लिये आंशिक सुरक्षागुणक, γ_{mc} = 1·5 और प्रबलन इस्पात के लिये आंशिक सुरक्षागुणक, γ_{ms} = 1·15 लिया जाता है।

कंक्रीट का आंशिक सुरक्षागुणक इस्पात से अधिक रखा गया है, क्योंकि कंक्रीट उत्पादन की क्रियायें खुले क्षेत्र (Open) में की जाती है और इसकी सामर्थ्य अनेक कारणों (संघटकों की गुणता में अन्तर, संहनन व संमाधन (Curing) में कमी)से प्रभावित होती है, जबकि इस्पात फैक्ट्री मे नियन्त्रित परिस्थितियों मे बनाया जाता है, अत: इसकी सामर्थ्य में परिवर्तन की गुंजाइश कम रहती है।

नोट— कार्यकारी प्रतिबलों विधि (Working Stress Method) में आंशिक सुरक्षागुणक (Partial Safety Factor) के स्थान पर, सुरक्षागुणक (Safety Factor) लिये जाते हैं। इसके अन्तर्गत कंक्रीट के लिये 3 और इस्पात के लिये 1·78 मान लिये जाते हैं और कार्यकारी प्रतिबल निर्धारित किये जाते हैं (अनुच्छेद 2.3)।

(4) अभिकल्प मान (Design or Factored Values)—सीमांत अवस्था विधि से संरचनाओं का अभिकल्पन करते समय, पदार्थों की अभिलक्षणिक सामर्थ्य के स्थान पर **अभिकल्प मान** (Design Values) लिये जाते है। इसी प्रकार भारण (Loading) के लिये भी **अभिकल्प मान** अपनाये जाते हैं।

अभिकल्प मान निर्धारित करने के लिये, अभिलक्षणिक सामर्थ्य तथा अध्यारोपित भारों पर उपयुक्त **आंशिक सुरक्षागुणक (Partial Safety Factor)** लगाया जाता है।

(a) पदार्थ की अभिकल्प सामर्थ्य (Design or Factored Strength of Material)—

$$f_d = \frac{f}{\gamma_m} \qquad ...(3.1)$$

यहाँ f_d = पदार्थ की अभिकल्प सामर्थ्य
(Design or Factored Strength of Material)

f = पदार्थ की अभिलक्षणिक सामर्थ्य
(Characteristic Strength of Material)
(कंक्रीट के लिये, f_{ck} तथा इस्पात के लिये, f_y)

γ_m = आंशिक सुरक्षागुणक (Partial Safety Factor)
(कंक्रीट के लिये, $\gamma_{mc} = 1{\cdot}5$ और प्रबलन इस्पात के लिये $\gamma_{ms} = 1{\cdot}15$)

I.S. कोड़ के अनुसार, अभिकल्पन के लिये **कंक्रीट की सम्पीडन सामर्थ्य,** इसकी अभिलक्षणिक सामर्थ्य का 0·67 गुना ली जाती है, क्योंकि लैब में घन-जाँच द्वारा दर्शायी गयी सामर्थ्य और कार्यस्थल पर (तैयार की गयी) कंक्रीट की सामर्थ्य में अन्तर होता है (मौके पर कंक्रीट की सामर्थ्य कम उपलब्ध हो पाती है) अत: 0·67 गुणक लगाया जाता है और इस पर 1·5 का आंशिक सुरक्षागुणक भी लगाया जाता है। अत: कंक्रीट की अभिकल्प-सामर्थ्य,

$$f_{ckd} = \frac{0{\cdot}67\, f_{ck}}{1{\cdot}5} = \mathbf{0{\cdot}446}\, f_{ck} \qquad ...(3.1.1)$$

और प्रबलन इस्पात की अभिकल्प-सामर्थ्य, $f_{sd} = \dfrac{f_y}{1{\cdot}15} = \mathbf{0{\cdot}87}\, f_y$ ...(3.1.2)

इस्पात के लिये अभिकल्प सामर्थ्य (Design Strength) के मान अनुच्छेद 3.4-1 में दिये गये हैं।

(b) अभिकल्प भार या भाज्य भार (Design or Factored Load)—सीमांत अवस्था विधि में अभिकल्प भार (Factored Load), अभिलक्षणिक भार को उपयुक्त आंशिक सुरक्षा गुणक से गुना करके लिया जाता है। इससे अभिलक्षणिक भार से भी अधिक भार पर, खण्ड सुरक्षित बना रहता है।

$$F_d = F \times \gamma_f \qquad ...(3.2)$$

यहाँ F_d = अभिकल्प (या फैक्टर्ड) भार (Factored Load)

F = अभिलक्षणिक भार (Characteristic Load)

γ_f = आंशिक सुरक्षागुणक (Partial Safety Factor)

ध्यान देने की बात है कि अभिकल्प (फैक्टर्ड) भार के आधार पर ही फैक्टर्ड बंकन आघूर्ण (Factored B.M.), फैक्टर्ड अपरूपण बल (Factored S.F.) आदि ज्ञात किये जाते हैं।

भारों के लिये आंशिक सुरक्षागुणक (γ_f) सारणी 3.1 में दिये जा रहे हैं (I.S. टेबल 18)

सारणी 3.1–भारों के लिये आंशिक सुरक्षागुणक = γ_f
(Values of Partial Safety Factor For Loads)

भारों का संयोजन Load Combination	निपात सीमांत अवस्था Limit State of Collapse			सेवायोग्यता सीमांत अवस्था Limit State of Serviceability		
	DL	LL	WL	DL	LL	WL
(i) DL + LL	1·5	1·5	–	1·0	1·0	–
(ii) DL + WL	1·5 or 0·9*	–	1·5	1·0	–	1·0
(iii) DL + LL + WL	1·2	1·2	1·2	1·0	0·8	0·8

DL = Dead Load (अचल भार), LL = Live Load (चल भार), WL = Wind Load (पवन भार), EL = Earthquake Load (भूकम्प भार)

* यह मान तब लिया जाता है जब पलटने के प्रति स्थिरता अथवा प्रतिबल-उत्क्रमता (Reversal of stress) क्रान्तिक हो भूकम्प भार

नोट— (i) γ_f के मान लघु अवधि-प्रभावों के लिये है। मन्दविरूपण (Creep) के कारण दीर्घ-अवधि प्रभाव के लिये, केवल अचल भार व उन भारों पर ही विचार करना चाहिये, जो स्थायी प्रकार के हैं।

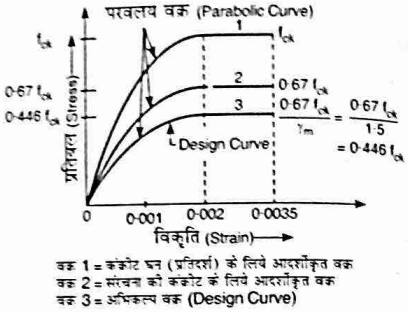
(ii) जब भूकम्प के प्रभाव पर विचार किया जाता है, तब पवन भार (WL) के स्थान पर भूकम्प भार (EL) लें।

§ 3.3. कंक्रीट के प्रतिबल–विकृति में सम्बन्ध (Stress-Strain Relationship for Concrete) :

कंक्रीट के प्रतिबलों और विकृति में सम्बन्ध, कंक्रीट के घटकों के प्रकार, कंक्रीट के मिश्रण, कुटाई, सामर्थ्य, आयु, मन्द विरूपण (Creep) तथा प्रतिदर्श के आकार के कारण प्रभावित होता है।

प्रयोगों के आधार पर कंक्रीट के प्रतिबल-विकृति का वक्र खींचना काफी **जटिल** पड़ता है। I.S. कोड़ 456–2000 ने अभिकल्प के लिये इसे सरल कर दिया है, जो चित्र 3.1 में दर्शाया गया है। शून्य विकृति से 0·002 (अथवा 0·2%) विकृति तक वक्र **परवलय** (Parabolic) होता है। इसके आगे प्रतिबल स्थिर रहता है परन्तु विकृति 0·002 से बढ़कर 0·0035 हो जाती है। इस विकृति पर **कंक्रीट को विफल मान लिया जाता है (वक्र सं० 1)।**

कंक्रीट के घन (अथवा बेलन) प्रतिदर्श पर जाँच से प्राप्त सम्पीडन सामर्थ्य और संरचना में (बंकन अवयव के लिये) प्रयुक्त कंक्रीट की सम्पीडन सामर्थ्य में अन्तर होता है। प्रयुक्त कंक्रीट (स्थल कंक्रीट) की सामर्थ्य कुछ कम रहती है। इस अन्तर को पाटने के लिये, भारतीय मानक कोड ने 0·67 का गुणक अपनाने की संस्तुति की है। अर्थात् संरचना में वास्तव में इस्तेमाल हो रही कंक्रीट की सामर्थ्य, घन (प्रतिदर्श) की कंक्रीट का 0·67 ली जाती है। अत: कंक्रीट की विफल सम्पीडन सामर्थ्य $0{\cdot}67 \times f_{ck}$ ली जाती है (वक्र संख्या 2)। कंक्रीट के अनिश्चित व्यवहार को दृष्टि में रखते हुये, अभिकल्प सामर्थ्य (Design Strength) निर्धारित करने के लिये, इस पर आंशिक सुरक्षा गुणक, (Partial Safety Factor), $\gamma_{mc} = 1{\cdot}5$ भी लगाया जाता है अर्थात् कंक्रीट की अभिकल्प सम्पीडन सामर्थ्य (Design Compressive Strength), $f_{ckd} = \dfrac{0{\cdot}67\, f_{ck}}{1{\cdot}5}$ ली जाती है। इसे सरल करने पर, $f_{ckd} = 0{\cdot}446\, f_{ck}$ आती है (वक्र स० 3)। अत: $f_{ckd} = 0{\cdot}446 f_{ck}$ ...(3.3)



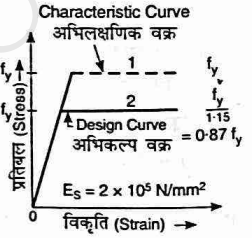
वक्र 1 = कंक्रीट घन (प्रतिदर्श) के लिये आदर्शीकृत वक्र
वक्र 2 = संरचना की कंक्रीट के लिये आदर्शीकृत वक्र
वक्र 3 = अभिकल्प वक्र (Design Curve)

चित्र 3.1—कंक्रीट का प्रतिबल-विकृति वक्र (Design Stress-Strain Curve for Concrete)

§ 3.4. इस्पात के प्रतिबल-विकृति में सम्बन्ध (Stress-Strain Relationship for Steel) :

प्रबलन के लिये सीमेंट कंक्रीट में इस्पात डाला जाता है। यह मृदु इस्पात (Mild Steel) (Fe 250) या उच्च पराभव सामर्थ्य (High Yield Strength) (Fe 415 व Fe 500) ग्रेड का होता है। Fe लौह (Ferrous) मैटीरियल को प्रदर्शित करता है। सभी ग्रेड के इस्पात के लिये प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity), E का मान 2×10^5 N/mm^2 (I.S. धारा 5.6-3) लिया जाता है। **इस्पात के तनन और सम्पीडन दोनों के लिये प्रतिबल-विकृति सम्बन्ध समान माना जाता है।**

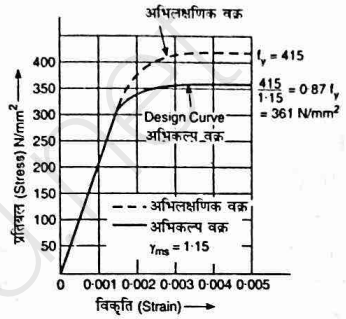
मृदु इस्पात के लिये पराभव प्रतिबल (Yield Stress) ही अभिलक्षणिक प्रतिबल लिये जाते हैं। मृदु इस्पात में पराभव बिन्दु (Yield Point) तक विकृति, प्रतिबलों के समानुपाती होती है। इसके बाद स्थिर प्रतिबल पर भी विकृति बढ़ती रहती है (चित्र 3.2 वक्र-1)। अभिकल्प प्रतिबल (Design Stress) प्राप्त करने के लिये इस्पात के पराभव प्रतिबल f_y को आंशिक सुरक्षा गुणांक, γ_{ms} से भाग दिया जाता है। γ_{ms} का मान 1·15 लिया जाता है,



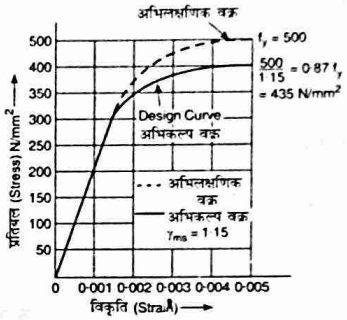
चित्र 3.2—मृदु इस्पात (Fe 250) के लिये प्रतिबल-विकृति वक्र (Design Stress-Strain Curve for Mild Steel)

अत: $f_{yd} = \dfrac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y$ हो जाता है (वक्र-2)। ...(3.4)

मृदु इस्पात में **प्रत्यास्थ स्थिति से प्लास्टिक स्थिति में बदल अकस्मात** (Sudden Change) होता है, जबकि उच्च पराभव सामर्थ्य वाले इस्पात (Fe 415 व Fe 500) में यह बदल **धीमी-समान गति** (Quite Gradual) से होता है (देखें चित्र 3.3 व 3.4)।



चित्र 3.3—Fe 415 इस्पात के लिये प्रतिबल-विकृति वक्र (Design Stress-Strain Curve for Fe 415)



चित्र 3.4—Fe 500 इस्पात के लिये प्रतिबल-विकृति वक्र (Design Stress-Strain Curve for Fe 500)

क्योंकि Fe 415 व Fe 500 ग्रेड के इस्पातों में **पराभव बिन्दु स्पष्ट नहीं होता है, अत: पराभव प्रतिबल (Yield Stress) के स्थान** पर **प्रमाण प्रतिबल** (Proof Stress) गणनाओं में ली जाती है, जो 0·2% (अर्थात् 0·002) विकृति पर स्वेच्छ ज्ञात की जाती है। उच्च पराभव सामर्थ्य वाले इस्पात के लिये प्रतिबल-विकृति सम्बन्ध $0{\cdot}8 f_y$ तक रेखीय रहता है और विकृति, प्रत्यास्थ विकृति (Elastic Strain) होती है। इसके पश्चात् इस्पात में अप्रत्यास्थ विकृति (Inelastic Strain) उत्पन्न होती है, जिसके मान सारणी 3.2 में दिये गये हैं।

सारणी 3.2

प्रतिबल (Stress)	अप्रत्यास्थ विकृति (Inelastic Strain)
$0{\cdot}80 f_y$	शून्य
$0{\cdot}85 f_y$	0·0001
$0{\cdot}90 f_y$	0·0003
$0{\cdot}95 f_y$	0·0007
$0{\cdot}975 f_y$	0·0010
$1{\cdot}00 f_y$	0·0020

3.4-1. इस्पात के लिये अभिकल्प सामर्थ्य मान (Design Strength Values for Steel)–

(i) मृदु इस्पात, Fe 250, $f_d = \frac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y = 0{\cdot}87 \times 250 = 217{\cdot}5 \text{ N/mm}^2$.

(ii) उच्च सामर्थ्य इस्पात, Fe 415, $f_d = 0{\cdot}87 \times 415 = 361 \text{ N/mm}^2$.

(iii) उच्च सामर्थ्य इस्पात, Fe 500, $f_d = 0{\cdot}87 \times 500 = 435 \text{ N/mm}^2$.

निपात की सीमान्त अवस्था-आनमन
(Limit State of Callapse: Flexure)

§ 3.5. आनमन में निपात सीमांत अवस्था की संकल्पनायें (Assumptions in Limit State of Collapse in Flexure-Bending) :

मूल संकल्पनायें निम्न हैं—

(1) अवयव (धरन) के अक्ष के समकोणक कोई भी समतल-काट, बंकन के बाद भी **समतल** (Plane) रहता है। इसका अर्थ है अनुप्रस्थ परिच्छेद के किसी बिन्दु पर विकृति, बल-शून्य अक्ष (Neutral axis) से दूरी के समानुपाती होती है।

(2) कंक्रीट की तनन सामर्थ्य पर विचार नहीं किया जाता है।

(3) बंकन (Bending) में कंक्रीट के सबसे ऊपरी सम्पीडन रेशे में, सभी ग्रेड की कंक्रीट के लिये अधिकतम विकृति (Max. Strain) 0·0035 ली जायेगी।

(4) कंक्रीट के सम्पीडन प्रतिबलों के वितरण और विकृति में सम्बन्ध किसी भी आकृति (आयताकार, समलम्बाकार, परवलयाकार इत्यादि) में हो सकता है, जब तक अनुमानित सामर्थ्य, परीक्षणों से प्राप्त सामर्थ्य से मेल खाती रहे। (सामान्यत: यह आकृति परवलयाकार (Parabolic) ली जाती है)।

अभिकल्पन के लिये कंक्रीट की सम्पीडन सामर्थ्य, उसकी अभिलक्षणिक सामर्थ्य का 0·67 गुना ली जाती है और इस पर आंशिक सुरक्षा गुणांक $\gamma_{mc} = 1{\cdot}5$ भी लगाया जाता है, अर्थात् अधिकतम सम्पीडन प्रतिबल, $f_{ckd} = \frac{0{\cdot}67 f_{ck}}{1{\cdot}5} = 0{\cdot}446 f_{ck}$ निर्धारित है।

(5) प्रबलन इस्पात के लिये प्रतिबल का मान, इस्पात की श्रेणी से सम्बन्धित प्रतिबल-विकृति वक्र से ज्ञात किया जाता है। अभिकल्पन के लिये आंशिक सुरक्षा गुणक $\gamma_{ms} = 1{\cdot}15$ लिया जाता है। अत: इस्पात की अभिकल्प सामर्थ्य, $f_{yd} = \frac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y$.

(6) खण्ड के तनन प्रबलन में विफलता के समय अधिकतम विकृति (Max: Strain) निम्न से कम नहीं होगी:—

$$\varepsilon_{SU} = \left(\frac{f_y}{1{\cdot}15.E_s}\right) + 0{\cdot}002$$

अथवा $$\varepsilon_{SU} = \frac{0{\cdot}87 f_y}{E_s} + 0{\cdot}002$$

यहाँ ε_{SU} = विफलता के समय इस्पात में विकृति

f_y = इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य

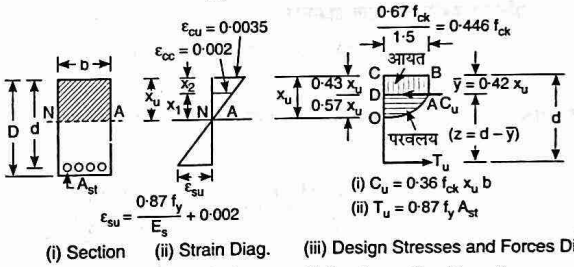
E_s = इस्पात का प्रत्यास्थता मापांक $2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

इस मान्यता के कारण खण्ड में **बल शून्य अक्ष की गहराई सीमित (Restrict) हो जाती है।**

(7) खण्ड की विफलता तक, इस्पात और कंक्रीट में अभिलाग पूर्ण होता है।

§ 3.6. अभिकल्प प्रतिबल–ब्लॉक प्राचल (Design Stress Block Parameters):

I.S. कोड 456–2000 के अनुसार विकृति आरेख व अभिकल्प प्रतिबल ब्लॉक चित्र 3.5 में दर्शाये गये हैं। विकृति आरेख (Strain Diagram) देखने से पता चलता है, सभी ग्रेड की कंक्रीट में सबसे ऊपरी सम्पीडन रेशों में चरम विकृति, $\varepsilon_{cu} = 0{\cdot}0035$ ली गयी है और तनन प्रबलन में विफलता पर विकृति, $\varepsilon_{su} = \left(\frac{0{\cdot}87 f_y}{E_s}\right) + 0{\cdot}002$ ली जाती है। प्रतिबल आरेख (Stress Diagram) बल शून्य अक्ष के ऊपर, 0·002 विकृति तक परवलयकार है और इससे ऊपर 0·0035 विकृति पर, B तक रेखीय है। कंक्रीट में अधिकतम अभिकल्प प्रतिबल $\frac{0{\cdot}67 f_{ck}}{\gamma_{mc}} = \frac{0{\cdot}67 f_{ck}}{1{\cdot}5} = 0{\cdot}446 f_{ck}$ लिये जाते हैं। इस्पात के लिये अभिकल्प प्रतिबल $\frac{f_y}{\gamma_{ms}} = \frac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y$ लिये जाते हैं।



चित्र 3.5—प्रबलित कंक्रीट खण्ड में विकृति व प्रतिबलों का वितरण (अभिकल्पन के लिये) (I.S. 456 अनुसार)।

(1) प्रतिबल ब्लॉक का क्षेत्रफल (Area of Stress Block)—ऊपर दी गयी संकल्पना (1) के अनुसार खण्ड के किसी बिन्दु पर विकृति इसके बल शून्य अक्ष से दूरी के समानुपाती होती है।

(i) परवलयाकार भाग की गहराई, x_1 के लिये (विकृति आरेख में समरूपी त्रिभुजों OCB व ODA के लिये),

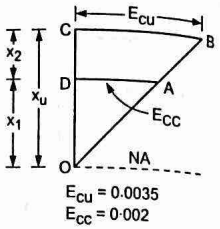
$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x_u} = \frac{\varepsilon_{cc}}{x_1}$$

ε_{cu} व ε_{cc} का मान रखने पर—

$$\frac{0{\cdot}0035}{x_u} = \frac{0{\cdot}002}{x_1}$$

$$\therefore \quad x_1 = \frac{0{\cdot}002}{0{\cdot}0035} \times x_u$$

$$\therefore \quad \boldsymbol{x_1 = 0{\cdot}57\, x_u} \text{ अथवा } \frac{4}{7}\, x_u$$



चित्र 3.5 (a)—विस्तारित विकृति आरेख (Strain Diagram)

(ii) आयताकार भाग की गहरायी, $x_2 = x_u - 0{\cdot}57x_u$

$$\therefore \quad \boldsymbol{x_2 = 0{\cdot}43\, x_u} \text{ अथवा } \frac{3}{7}\, x_u$$

(iii) प्रतिबल ब्लॉक का क्षेत्रफल = (परवलय भाग का क्षेत्रफल) + (आयत भाग का क्षेत्रफल)

(a) परवलयाकार भाग का क्षेत्रफल $= \frac{2}{3} \times \frac{0{\cdot}67\, f_{ck}}{1{\cdot}5} \times 0{\cdot}57\, x_u$

$= \frac{2}{3} \times 0{\cdot}446 f_{ck} \times 0{\cdot}57\, x_u = \boldsymbol{0{\cdot}17 f_{ck} x_u}$

(b) आयताकार भाग का क्षेत्रफल $= 0{\cdot}446 f_{ck} \times 0{\cdot}43\, x_u = \boldsymbol{0{\cdot}19 f_{ck} x_u}$

∴ **प्रतिबल ब्लॉक का कुल क्षेत्रफल** (Area of Stress Block) $= (a) + (b)$

$= (0{\cdot}17 f_{ck} x_u) + (0{\cdot}19 f_{ck} x_u)$

$= \boldsymbol{0{\cdot}36 f_{ck} x_u}$ (I.S. धारा 38.1) ...(3.5)

(2) प्रतिबल ब्लॉक के गुरुत्व केन्द्र की ऊपरी सिरे से गहराई (Depth of C.G. of Stress Block)—माना यह गहराई $\bar{y}$ है।

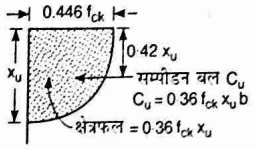
अत: $$\bar{y} = \frac{\left[(0{\cdot}19 f_{ck} x_u)\left(\frac{x_2}{2}\right)\right] + \left[(0{\cdot}17 f_{ck} x_u)\left(x_2 + \frac{3}{8} x_1\right)\right]}{[0{\cdot}19 f_{ck} x_u + 0{\cdot}17 f_{ck} x_u]}$$

उपरोक्त में $x_2 = 0{\cdot}43\, x_u$ व $x_1 = 0{\cdot}57\, x_u$ रखने पर,

$$\bar{y} = \frac{\left[\frac{0{\cdot}19 f_{ck} x_u \times 0{\cdot}43 x_u}{2}\right] + \left[(0{\cdot}17 f_{ck} x_u)\left(0{\cdot}43 x_u + \frac{3 \times 0{\cdot}57 x_u}{8}\right)\right]}{0{\cdot}36 f_{ck} x_u}$$

$$\bar{y} = \frac{(0{\cdot}041 f_{ck} x_u^2) + (0{\cdot}11 f_{ck} x_u^2)}{0{\cdot}36 f_{ck} x_u} = 0{\cdot}419\, x_u \text{ say } \boldsymbol{0{\cdot}42\, x_u} \quad ...(3.6)$$

अत: सम्पीडन बल का परिणामी ऊपरी सिरे से $0{\cdot}42\, x_u$ की गहराई पर स्थित होगा (I.S. Code 456–2000 – 38·1)। प्रतिबल-ब्लॉक प्राचल (Stress Block Parameter) चित्र 3.5 (b) में दर्शाये गये हैं।



चित्र 3.5 (b)—कंक्रीट प्रतिबल-ब्लॉक प्राचल (सम्पीडन में) (Enlarged view)

(3) कंक्रीट में कुल सम्पीडन बल—

C_u = प्रतिबल ब्लॉक का क्षेत्रफल × धरन की चौड़ाई

$$\therefore \quad \boldsymbol{C_u = 0{\cdot}36 f_{ck} x_u \times b} \quad ...(3.7)$$

यह बल खण्ड की ऊपरी फलक (Extreme Fibre) से $0{\cdot}42\, x_u$ की गहरायी पर कार्यरत होगा। (चित्र 3.5 (b))

(4) प्रबलन इस्पात में कुल तनन बल—

T_u = इस्पात का क्षेत्रफल × अनुमत प्रतिबल

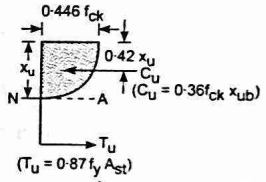
$$= A_{st} \times \frac{f_y}{\gamma_{ms}}$$ यहाँ γ_{ms} इस्पात के लिये आंशिक सुरक्षा गुणांक है।

$$\therefore \quad T_u = A_{st} \times \frac{f_y}{1{\cdot}15} \text{ अथवा } \boldsymbol{T_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}} \quad ...(3.8)$$

यह बल तनन इस्पात के गुरुत्व-केन्द्र पर कार्यरत होगा।

(5) बल शून्य अक्ष की स्थिति, x_u—

बल शून्य अक्ष पर प्रतिबल शून्य (Zero) होते हैं और यह अक्ष खण्ड के गुरुत्व केन्द्र (Centre of Gravity) पर स्थित होता है। एकल प्रबलित खण्ड के लिये बल शून्य अक्ष की गहरायी (ऊपरी फलक से) ज्ञात करने के लिये तनन और सम्पीडन बलों को तुल्य रखा जाता है।



चित्र 3.5 (c)—कंक्रीट प्रतिबल-ब्लॉक कार्यरत बल (C_u व T_u)

कुल सम्पीडन बल = कुल तनन बल

$$C_u = T_u$$

$$0{\cdot}36 f_{ck} x_u b = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$$

$$\therefore \quad x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b} \quad ...(3.9)$$

यहाँ—

b = खण्ड (धरन) की चौड़ाई (Width)

d = धरन की प्रभावी गहरायी (Effective Depth)

x_u = बल शून्य अक्ष की ऊपरी सिरे (Edge) से गहरायी

A_{st} = तनन प्रबल इस्पात का क्षेत्रफल (Area of Tension Steel)
f_y = इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य
f_{ck} = कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य
C_u = कुल सम्पीडन बल (Total Compression)
T_u = कुल तनन बल (Total Tension)

टिप्पणी— x_u का यह मान सन्तुलित खण्ड के लिये है। यह मान $x_{u\,max}$ से बढ़ाना नहीं चाहिये। यदि $x_u > x_{u\,max}$ है, तब बल शून्य अक्ष की गहराई (ऊपरी सिरे से) $x_{u\,max}$ ली जायेगी, यह एक आवश्यक शर्त है (क्योंकि L.S.M. में अति प्रबलित खण्ड मान्य नहीं है)।

(6) बल शून्य अक्ष का सीमान्त मान, $x_{u\,max}$ (अथवा $x_{u\,Lim}$)—

मान्यता 6 के अनुसार (अनुच्छेद 3.5), खण्ड की तनन विफलता के समय अधिकतम विकृति निम्न से कम नहीं होगी—

$$\varepsilon_{su} = \left[\frac{f_y}{1{\cdot}15 E_s}\right] + 0{\cdot}002 = \frac{0{\cdot}87 f_y}{E_s} + 0{\cdot}002$$

ताकि प्रबलन इस्पात में $\frac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y$ के बराबर प्रतिबल उत्पन्न हो। इससे बल शून्य अक्ष की गहराई सीमित हो जाती है।

$$\frac{x_{u\,max}}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{su}}$$

$$\frac{x_{u\,max}}{d} = \frac{0{\cdot}0035}{0{\cdot}0035 + \left(\frac{0{\cdot}87 f_y}{E_s} + 0{\cdot}002\right)}$$

$$\frac{x_{u\,max}}{d} = \frac{0{\cdot}0035}{0{\cdot}0055 + \frac{0{\cdot}87 f_y}{E_s}}$$

$$\frac{x_{u\,max}}{d} = \frac{0{\cdot}0035 E_s}{0{\cdot}0055 E_s + 0{\cdot}87 f_y}, \; E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 \text{ रखने पर,}$$

$$\frac{x_{u\,max}}{d} = \frac{700}{1100 + 0{\cdot}87 f_y} \text{ अथवा } x_{u\,max} = \frac{700 d}{1100 + 0{\cdot}87 f} \quad ...(3.10)$$

मृदु इस्पात के लिये $f_y = 250 \text{ N/mm}^2$ लेने पर,

$$\frac{x_{u\,max}}{d} = \frac{700}{1100 + (0{\cdot}87 \times 250)}$$

$$\frac{x_{u\,max}}{d} = 0{\cdot}53$$

$$\therefore \quad \mathbf{x_{u\,max} = 0{\cdot}53\, d} \quad ...(3.11)$$

विभिन्न ग्रेड के इस्पात के लिये $x_{u\,max}$ के मान सारणी 3.3 में दिये गये हैं।

सारणी 3.3–विभिन्न ग्रेड के इस्पात के लिये, बल शून्य अक्ष के सीमान्त मान, $x_{u\,max}$ (या $x_{u\,Lim}$)
(Limiting Values of N.A.)

इस्पात का ग्रेड	f_y (N/mm²)	सीमान्त मान ($x_{u\,max}$)	विकृति (अधिकतम) (ε_{su})
(i) मृदु इस्पात–Fe 250	250	0·53 d	0·00308
(ii) HYSD–Fe 415	415	0·48 d	0·00380
(iii) HYSD–Fe 500	500	0·46 d	0·00417

(7) प्रबलन इस्पात का अधिकतम प्रतिशत, $p_{t\,Lim}$—

$$C_{u\,max} = T_{u\,max}$$

$$0{\cdot}36 f_{ck} x_{u\,max} b = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$$

अथवा $$\frac{A_{st}}{bd} = \frac{0{\cdot}36 f_{ck} x_{u\,max}}{0{\cdot}87 f_y d} = \frac{0{\cdot}414 f_{ck} x_{u\,max}}{f_y d}$$

$\frac{A_{st}}{bd} = p_{t\,Lim}$ रखने पर—

$$p_{t\,Lim} = \frac{0{\cdot}414 f_{ck} x_{u\,max}}{f_y d} \quad ...(3.12)$$

M–15 कंक्रीट और Fe 250 मृदु इस्पात के लिये—

$$x_{u\,max} = 0{\cdot}53\, d \quad \text{(सारणी 3.3 से)}$$

$$\therefore \quad p_{t\,Lim} = \frac{0{\cdot}414 \times 15 \times 0{\cdot}53 d}{250 \times d}$$

$$= 0{\cdot}0132 \text{ अथवा } \mathbf{1{\cdot}32\%}$$

कंक्रीट और प्रबलन इस्पात के विभिन्न ग्रेड के लिये $p_{t\,Lim}$ के मान सारणी 3.4 में दिये गये हैं।

सारणी 3.4–प्रबलन इस्पात का सीमान्त मान, $p_{t\,Lim}$ % में
(Limiting Values of Reinforcing Steel)

कंक्रीट के ग्रेड	f_{ck} (N/mm²)	$f_y = 250$ (N/mm²)	$f_y = 415$ (N/mm²)	$f_y = 500$ (N/mm²)
M-15	15	1·32 %	0·72 %	0·57 %
M-20	20	1·76 %	0·96 %	0·76 %
M-25	25	2·20 %	1·20 %	0·95 %
M-30	30	2·64 %	1·44 %	1·11 %
M-40	40	3·52 %	1·91%	1·51 %

civilguruji.net

(8) सम्पीडन बल (Compressive Force) (Cu) की धरन-खण्ड के ऊपरी सिरे से गहरायी, $\bar{y}$ — चरम सम्पीडन बल (C_u), कंक्रीट प्रतिबल आरेख के गुरुत्व केन्द्र (C.G.) पर कार्यरत होगा। गुरुत्व केन्द्र की धरन-खण्ड के ऊपरी सिरे से गहरायी सूत्र 3.7 द्वारा ज्ञात की जायेगी, अर्थात् $\bar{y} = 0{\cdot}42\, x_u$

(9) उत्तोलक भुजा (Lever Arm), z— $z = d - \bar{y}$

$$z = d - 0{\cdot}42\, x_u \qquad ...(3.13)$$

x_u का मान सूत्र 3.9 के अनुसार रखने पर—

$$z = d - 0{\cdot}42\left(\frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b}\right) \qquad ...(3.14)$$

सरलीकरण करने पर— $z = d - \dfrac{f_y A_{st}}{f_{ck} \times b}$ ...(3.15)

(10) प्रतिरोध आघूर्ण (Moment of Resistance–Mr)—चरम प्रतिबल पहुँचने पर कंक्रीट अकस्मात विफल होती है जबकि इस्पात तन्य होने के कारण, पर्याप्त चेतावनी देता है, क्योंकि इस्पात में विफल होने से पूर्व अवयव में काफी विकृति दीख पड़ती है। अत: **सीमांत अवस्था विधि में अति प्रबलित खण्ड** (Over Reinforced Sections) **स्वीकार्य नहीं है।**

इस आधार पर सीमांत अवस्था विधि में निम्न **दो प्रकार के खण्ड ही अपनाये जाते हैं**—

(a) अल्प प्रबलित खण्ड (Under Reinforced Sections)

(b) सन्तुलित खण्ड (Balanced Sections)।

(a) अल्प प्रबलित खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण—जब $x_u < x_{u\,max}$ (अथवा $Pt < p_{t\,Lim}$) है, तब खण्ड **अल्प प्रबलित** कहलाता है। निपात (Collapse) की सीमांत स्थिति के समय इस्पात में विकृति $\dfrac{0{\cdot}87 f_y}{E_s} + 0{\cdot}002$ से अधिक होगी और इस्पात में अभिकल्पन प्रतिबल $0{\cdot}87 f_y$ होगे।

M_u = कुल तनन × उत्तोलक भुजा

$M_u = T_u \times z$ यहाँ $z = d - 0{\cdot}42\, x_u$

$$\therefore \quad M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42\, x_u) \qquad ...(3.16)$$

इस सीमकरण को निम्न रूप में भी लिखा जाता है,

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b} = 2{\cdot}416 \frac{f_y A_{st}}{f_{ck} b}$$

यह मान सूत्र 3.16 में रखने पर,

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}\left[d - 0{\cdot}42\left(\frac{2{\cdot}416 f_y A_{st}}{f_{ck} b}\right)\right]$$

$$\therefore \quad M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}\left[d - \frac{f_y A_{st}}{f_{ck} b}\right] \qquad ...(3.17)$$

(b) सन्तुलित खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण—जब $x_u = x_{u\,max}$ (अथवा $p_t = p_{t\,Lim}$) है, तब खण्ड **सन्तुलित** कहलाता है और निपात की सीमांत स्थिति के समय कंक्रीट में विकृति 0·0035 और इस्पात में विकृति $\dfrac{0{\cdot}87 f_y}{E_s} + 0{\cdot}002$ होगी और प्रतिरोध आघूर्ण अधिकतम (सीमान्त) होगा।

$$M_{u\,Lim} = C_u \times z$$
$$= (0{\cdot}36 f_{ck}\, x_{u\,max} \times b)(d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max}) \qquad ...(3.18)$$

यह समीकरण निम्न रूप में भी लिखा जाता है—

$$M_{u\,Lim} = 0{\cdot}36 f_{ck} \frac{x_{u\,max}}{d}\left[1 - 0{\cdot}42 \frac{x_{u\,max}}{d}\right] b d^2 \qquad ...(3.19)$$

अथवा $M_{u\,Lim} = R_u b d^2$

यहाँ $$R_u = 0{\cdot}36\left(\frac{x_{u\,max}}{d}\right)\left(1 - 0{\cdot}42 \frac{x_{u\,max}}{d}\right) f_{ck}$$

R_u = सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (Limiting Moment of Resistance Factor)। R_u के मान सारणी 3.6 में दिये गये हैं।

(10.1) प्रतिरोध आघूर्ण के सीमान्त मान $M_{u\,Lim}$ —

(i) मृदु इस्पात ग्रेड I के लिये $f_y = 250$ N/mm² और $x_{u\,max} = 0{\cdot}53\, d$

$$\therefore \quad M_{u\,Lim} = 0{\cdot}36 f_{ck} \frac{x_{u\,max}}{d}\left[1 - 0{\cdot}42 \frac{x_{u\,max}}{d}\right] b d^2$$
$$= 0{\cdot}36 f_{ck} \frac{0{\cdot}53 d}{d}\left[1 - 0{\cdot}42 \frac{0{\cdot}53 d}{d}\right] b d^2$$
$$= 0{\cdot}191 f_{ck} \times 0{\cdot}777\, b d^2$$
$$M_{u\,Lim} = \mathbf{0{\cdot}149\, b d^2 f_{ck}} \text{ अथवा } M_{u\,Lim} = R_u b d^2 \qquad ...(3.20)$$

यहाँ R_u = सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (Limiting Moment of Resistance Factor)

(ii) इस्पात Fe 415 के लिये, $f_y = 415$ N/mm² व $x_{u\,max} = 0{\cdot}48\, d$

$$\therefore \quad M_{u\,Lim} = 0{\cdot}36 f_{ck} \frac{x_{u\,max}}{d}\left[1 - 0{\cdot}42 \frac{x_{u\,max}}{d}\right] b d^2$$
$$= 0{\cdot}36 f_{ck} \frac{0{\cdot}48 d}{d}\left[1 - 0{\cdot}42 \frac{0{\cdot}48 d}{d}\right] b d^2$$
$$= 0{\cdot}173 f_{ck} \times 0{\cdot}798\, b d^2$$
$$M_{u\,Lim} = \mathbf{0{\cdot}138\, b d^2 f_{ck}} \text{ अथवा } R_u b d^2 \qquad ...(3.21)$$

civilguru.net

(iii) इस्पात Fe500 के लिये, $f_y = 500\ \text{N/mm}^2$ व $x_{u\,max} = 0{\cdot}46\,d$

$$\therefore\quad M_{u\,Lim} = \frac{0{\cdot}36\,f_{ck} \times 0{\cdot}46\,d}{d}\left(1 - 0{\cdot}42 \times \frac{0{\cdot}46\,d}{d}\right) b\,d^2$$

$$= 0{\cdot}166\,f_{ck} \times 0{\cdot}807\,b\,d^2$$

$$M_{u\,Lim} = \mathbf{0{\cdot}133\,b\,d^2 f_{ck}} \quad \text{अथवा} \quad R_u\,b\,d^2 \qquad \text{...(3.22)}$$

$M_{u\,Lim}$ के मान सारणी के रूप में निम्न दिये जा रहे हैं—

सारणी 3.5–प्रतिरोध आघूर्ण के सीमान्त मान, $M_{u\,Lim}$

इस्पात का ग्रेड	$M_{u\,Lim}$ (N-mm में)
(i) मृदु इस्पात ग्रेड I-Fe 250	$0{\cdot}149\,b\,d^2 f_{ck}$
(ii) HYSD–Fe 415	$0{\cdot}138\,b\,d^2 f_{ck}$
(iii) HYSD–Fe 500	$0{\cdot}133\,b\,d^2 f_{ck}$

सारांश— सीमांत अवस्था अभिकल्पन (Limit State Design) में अति प्रबलित (Over Reinforced) खण्ड स्वीकार्य नहीं हैं, अत: अभिकल्पन सम्बन्धी अधिकतम सीमान्त मान (Max: Limiting Values) निम्न है—

(i) अधिकतम विकृति (Max: Strain)—

(a) कंक्रीट के लिये, $\varepsilon_{cu} = 0{\cdot}0035$

(b) इस्पात के लिये, $\varepsilon_{su} = \dfrac{0{\cdot}87\,f_y}{E_s} + 0{\cdot}002$

(ii) अभिकल्प प्रतिबल (Design Stresses)—

(a) कंक्रीट के लिये, $f_{ckd} = 0{\cdot}446\,f_{ck}$

(b) इस्पात के लिये, $f_{yd} = 0{\cdot}87\,f_y$

(iii) अधिकतम/सीमान्त मान (Limiting Values)—

(a) वलशून्य अक्ष, $x_{u\,max}$ — सारणी 3.3

(b) तनन इस्पात, $p_{t\,Lim}\,\%$ — सारणी 3.4

(c) प्रतिरोध आघूर्ण, $M_{u\,Lim}$ — सारणी 3.5

(d) सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक, R_u — सारणी 3.6

(10.2) सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक—R_u गुणक—कंक्रीट के और इस्पात के विभिन्न ग्रेडों के लिये सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक–R_u (Limiting Moment of Resistance Factor–R_u) के मान सारणी 3.6 में दिये गये हैं।

$$R_u = 0{\cdot}36\,f_{ck}\,\frac{x_{u\,max}}{d}\left[1 - \frac{0{\cdot}42\,x_{u\,max}}{d}\right]$$

सारणी 3.6—R_u के मान (सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक)

कंक्रीट के ग्रेड	इस्पात Fe 250 $R_u = 0{\cdot}1487\,f_{ck}$	इस्पात Fe 415 $R_u = 0{\cdot}1383\,f_{ck}$	इस्पात Fe 500 $R_u = 0{\cdot}1339\,f_{ck}$
M-15	2·23	2·07	2·01
M-20	2·98	2·76	2·68
M-25	3·72	3·46	3·35
M-30	4·46	4·15	4·02
M-40	5·95	5·53	5·35

स्पष्टीकरण—(i) Fe 250 व M-15 के लिये, $R_u = 0{\cdot}1487 \times 15 = 2{\cdot}231$

(ii) $M_{u\,Lim} = R_u\,bd^2$, कंक्रीट के ग्रेड और इस्पात की श्रेणी के कालमों को देखते हुये, R_u का मान पढ़े।

नोट: 'R_u' की तुलना यदि कार्यकारी प्रतिबल विधि के 'R' (सूत्र 2.13) से की जाये, तो ज्ञात होगा कि 'R_u' का मान 'R' से दो-गुना से भी अधिक है। इसी कारण L.S.M. में कंक्रीट खण्ड काफी छोटा (माप में) आता है।

सीमांत अवस्था अभिकल्पन विधि में, सन्तुलित खण्ड में कंक्रीट की मात्रा न्यूनतम होती है, जबकि प्रबलन इस्पात की मात्रा अधिकतम होती है।

इस्पात कंक्रीट से महंगा होता है। इसलिये इसकी मात्रा कम रखने के लिये L.S.M. अभिकल्प में न्यूनतम प्रबलित खण्ड रखना सस्ता पड़ता है। न्यूनतम प्रबलित खण्ड अपनाने का एक लाभ और भी है। चरम प्रतिबल पहुँचने पर, कंक्रीट अकस्मात फेल होती है, जबकि इस्पात अपनी तन्यता के कारण, इस स्टेज पर आने पर पर्याप्त चेतावनी देता है (कंक्रीट की भाँति एकदम ध्वस्त नहीं होता है)। इसलिये L.S.M. अभिकल्पन में अति प्रबलित खण्ड (Over-Reinforced Section) **नहीं** अपनाया जाता है।

§ 3.7. एकल प्रबलित धरनों की समस्यायें (Types of Problems in Singly Reinforced Beams) :

एकल प्रबलित कंक्रीट धरनों का विश्लेषण करते समय L.S.M. में निम्न प्रकार की समस्यायें उत्पन्न होती हैं—

(1) समस्या 1—बल शून्य अक्ष, x_u की स्थिति ज्ञात करना—

(i) बल शून्य अक्ष, $x_u = \dfrac{0{\cdot}87\,f_y\,A_{st}}{0{\cdot}36\,f_{ck}\,b}$ ...(सूत्र 3.9)

(ii) सीमान्त बल शून्य अक्ष, $x_{u\,max} = \left(\dfrac{700}{1100 + 0{\cdot}87\,f_y}\right) \times d$ ...(सूत्र 3.10)

अथवा सारणी 3.3 से—

$x_{u\,max} = 0{\cdot}53\,d$ Fe 250 के लिये

$= 0{\cdot}48\,d$ Fe 415 के लिये

$= 0{\cdot}46\,d$ Fe 500 के लिये

civilguru.net

जाँच—यदि $x_u < x_{u\,max}$ खण्ड **अल्प** प्रबलित है।

$x_u = x_{u\,max}$ खण्ड **सन्तुलित** है।

$x_u > x_{u\,max}$ खण्ड **अतिप्रबलित** है।

टिप्पणी—सीमांत अवस्था अभिकल्पन में अतिप्रबलित खण्ड प्रयोग नहीं किया जाता है (देखें अनुच्छेद 3.6-10)।

(2) समस्या 2—खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करना—

हल करने के चरण निम्न हैं—

(i) प्रतिबलों के आधार पर दोनों बल शून्य अक्षों (x_u व $x_{u\,max}$) की स्थिति ज्ञात करें।

(ii) निर्णय लें खण्ड अति/अल्प अथवा सन्तुलित (प्रबलित) है।

(क) सन्तुलित व अतिप्रबलित खण्ड के लिये—

$$M_{u\,Lim} = (0{\cdot}36 f_{ck} x_{u\,max} \times b)(d - 0{\cdot}42 x_{u\,max})$$

अथवा $$M_u = 0{\cdot}36 \frac{x_u}{d}\left(1 - 0{\cdot}42 \frac{x_u}{d}\right) f_{ck} b d^2$$ ...(सूत्र 3.18, 3.19)

अथवा $M_{u\,Lim} = R_u b d^2$,

R_u का मान इस्पात व कंक्रीट के ग्रेड के लिये सारणी 3.6 से पढ़ें।

(ख) अल्प प्रबलित खण्ड के लिये—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}(d - 0{\cdot}42 x_u)$$ ...(सूत्र 3.16, 3.17)

अथवा $$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}\left[d - \frac{f_y A_{st}}{f_{ck} b}\right]$$

(3) समस्या 3—दिये गये बंकन आघूर्ण (M_u) के लिये, खण्ड का माप अर्थात् b, d व A_{st} ज्ञात करना।

हल करने के चरण निम्न हैं—

(i) बल शून्य अक्ष (सीमान्त) ज्ञात करें।

$$x_{u\,max} = \frac{700 d}{1100 + 0{\cdot}87 f_y}$$ ...(सूत्र 3.10 अथवा सारणी 3.3 से)

जैसे Fe 250 के लिये $x_{u\,max} = 0{\cdot}53 d$ है।

(ii) b व d का उपयुक्त अनुपात मान लें। यह 1·5 से 3 तक लिया जाता है।

(iii) अब $M_u = R_u b d^2$ (सारणी 3.6 से R_u का मान लें)।

Fe 250 के लिये, $R_u = 0{\cdot}149 f_{ck}$ लेने पर, b ज्ञात कर लें।

(iv) प्रबलन इस्पात A_{st} ज्ञात करने के लिये—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}(d - 0{\cdot}42 x_{u\,max})$$ ...(सूत्र 3.16)

इसको निम्न प्रकार से भी ज्ञात कर सकते हैं—

$$p_{t\,Lim} = \frac{0{\cdot}414 f_{ck} x_{u\,max}}{f_y d}$$ ...(सूत्र 3.12)

$p_{t\,Lim}$ का मान सारणी 3.4 से भी देखा जा सकता है।

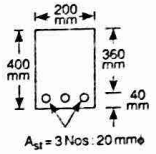
अत: $A_{st} = p_{t\,Lim} \times b \times d$

उदाहरण 3.1 : एक आयताकार धरन 200 mm चौड़ी और 400 mm गहरी है। इसकी तली से 40 mm के प्रभावी आवरण पर 20 mm व्यास की 3 छड़ें प्रबलन के रूप में डाली गयी हैं। सीमांत अवस्था विधि (L.S. Method) का प्रयोग करते हुये, खण्ड की बल शून्य रेखा ज्ञात करें और बतायें क्या यह खण्ड अल्प/सन्तुलित/अति प्रबलित है? प्रतिबलों के मान निम्न लें—

(i) $f_{ck} = 15$ N/mm², $f_y = 250$ N/mm²

(ii) $f_{ck} = 20$ N/mm², $f_y = 415$ N/mm²

हल : (i) प्रश्नानुसार,



चित्र 3.6

धरन की कुल गहराई, $D = 400$ mm

धरन की प्रभावी गहराई, $d = 400 - 40 = 360$ mm

तनन इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{st} = 3 \times 314 = 942$ mm²

(ii) खण्ड का कुल सम्पीडन बल, $C_u = 0{\cdot}36 f_{ck} b x_u$ ...(सूत्र 3.7)

खण्ड का कुल तनन बल, $T_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$ ...(सूत्र 3.8)

सन्तुलित खण्ड के लिये— $C_u = T_u$

$$0{\cdot}36 f_{ck} b x_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$$ ...(सूत्र)

(a) $f_{ck} = 15$ N/mm² व $f_y = 250$ N/mm² के प्रतिबलों के लिये, खण्ड की बल शून्य रेखा—

$$0{\cdot}36 \times 15 \times 200 \times x_u = 0{\cdot}87 \times 250 \times 942$$

$$\therefore \quad x_u = \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times 942}{0{\cdot}36 \times 15 \times 200} = \mathbf{189{\cdot}7\ mm}$$ **उत्तर**

परन्तु यह मान $x_{u\,max} = \frac{700 d}{1100 + 0{\cdot}87 f_y} = \frac{700 d}{1100 + (0{\cdot}87 \times 250)}$ ...(सूत्र 3.10)

$= 0{\cdot}53 d$ से बढ़ना नहीं चाहिये।

(यह मान सारणी 3.3 से भी पढ़ा जा सकता है)।

अर्थात् $x_{u\,max} = 0{\cdot}53 \times 360 = 190{\cdot}8$ mm, चूंकि $x_u < x_{u\,max}$; अर्थात् 189·7 < 190·8, यह खण्ड **अल्प-प्रबलित** (Under-Reinforced) है। **उत्तर**

$\therefore$ बल शून्य रेखा की गहरायी = 189·7 say **190 mm** **उत्तर**

(b) $f_{ck} = 20$ N/mm² व $f_y = 415$ N/mm² के प्रतिबलों के लिये, खण्ड की बलशून्य रेखा—

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b}$$, ज्ञात मान रखने पर

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 942}{0{\cdot}36 \times 20 \times 200} = \mathbf{236\ mm}$$ **उत्तर**

$$x_{u\,max} = \frac{700\,d}{1100 + (0{\cdot}87 \times 415)} = 0{\cdot}48\,d$$

(यह मान सारणी 3.3 से भी पढ़ा जा सकता है)।

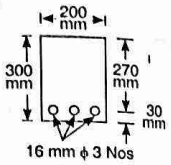
अर्थात् $x_{u\,max} = 0{\cdot}48 \times 360 = \mathbf{173\ mm}$

चूँकि $x_u > x_{u\,max}$, **यह खण्ड अतिप्रबलित (Over-Reinforced) है।** उत्तर

उदाहरण 3.2 : सन्मुख (चित्र 3.7) दर्शाये गयी प्रबलित कंक्रीट धरन के लिये उत्तोलक भुजा ज्ञात कीजिये, यदि कंक्रीट व इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य (f_{ck} व f_y) निम्न हो—

(i) $f_{ck} = 20\ N/mm^2$ व $f_y = 250\ N/mm^2$

(ii) $f_{ck} = 25\ N/mm^2$ व $f_y = 415\ N/mm^2$



चित्र 3.7

हल : (i) प्रश्नानुसार—

धरन की कुल गहराई, $D = 300$ mm

∴ प्रभावी गहराई, $d = 300 - 30 = 270$ mm

तनन इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{st} = 3 \times 201 = 603\ mm^2$

(ii) खण्ड का कुल सम्पीडन बल, $C_u = 0{\cdot}36 f_{ck}\, b\, x_u$

खण्ड का कुल तनन बल, $T_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$

सन्तुलित खण्ड के लिये, $C_u = T_u$

$$0{\cdot}36 f_{ck}\, b\, x_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$x_u = \frac{0{\cdot}87\, f_y A_{st}}{0{\cdot}36\, f_{ck}\, b}$$

(a) ज्ञात मान रखने पर, $x_u = \dfrac{0{\cdot}87 \times 250 \times 603}{0{\cdot}36 \times 20 \times 200} = 91$ mm

परन्तु $f_y = 250\ N/mm^2$ के लिये, $x_{u\,max} = \dfrac{700\,d}{1100 + 0{\cdot}87\, f_y}$ ...(सूत्र)

$= \dfrac{700\,d}{1100 + (0{\cdot}87 \times 250)} = 0{\cdot}53\,d$ से अधिक नहीं होगा। (यह मान सारणी 3.3 से भी पढ़ा जा सकता है)

अर्थात् $0{\cdot}53 \times 270 = 143$ mm से अधिक नहीं होगा। अत: $x_u = \mathbf{91\ mm}$ लिया जायेगा।

उत्तोलक भुजा की गहरायी, $z = d - 0{\cdot}42\, x_u$

$= 270 - (0{\cdot}42 \times 91)$

$= 270 - 38 = \mathbf{232\ mm}$ उत्तर

(b) बल शून्य रेखा की ऊपरी सिरे से गहराई, $x_u = \dfrac{0{\cdot}87\, f_y A_{st}}{0{\cdot}36\, f_{ck}\, b}$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर, $x_u = \dfrac{0{\cdot}87 \times 415 \times 603}{0{\cdot}36 \times 25 \times 200} = 121$ mm

बलशून्य रेखा की अधिकतम गहरायी, $x_{u\,max}$.

$f_y = 415\ N/mm^2$ के लिये, $x_{u\,max} = 0{\cdot}48\,d$ है (सारणी 3.3)।

अर्थात $0.48 \times 270 = 130$ mm। अत: $x_u = 121$ mm स्वीकार्य है।

उत्तोलक भुजा की गहरायी, $z = d - 0{\cdot}42\, x_u$

$z = 270 - (0{\cdot}42 \times 121) = \mathbf{219\ mm}$ उत्तर

उदाहरण 3.3 : एक आयताकार कंक्रीट धरन का परिच्छेद 200 mm × 400 mm (प्रभावी) है। धरन के लिये मृदु इस्पात (Fe 250) व M–15 ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग की गयी है। खण्ड को सन्तुलित मानते हुये, तनन इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात करें।

हल : M–15 ग्रेड की कंक्रीट के लिये, $f_{ck} = 15\ N/mm^2$

Fe 250 इस्पात के लिये, $f_y = 250\ N/mm^2$

$$x_{u\,max} = \frac{700\,d}{1100 + 0{\cdot}87\, f_y} \quad \text{...(सूत्र 3.10)}$$

ज्ञात मान रखने पर, $x_{u\,max} = \dfrac{700 \times 400}{1100 + (0{\cdot}87 \times 250)}$

$= 213$ mm

सन्तुलित खण्ड के लिये, तनन इस्पात का अधिकतम (सीमान्त) क्षेत्रफल—

$$p_{t\,Lim} = \frac{0{\cdot}414\, f_{ck}\, x_{u\,max}}{f_y\, d} \quad \text{...(सूत्र 3.12)}$$

ज्ञात मान रखने पर, $p_{t\,Lim} = \dfrac{0{\cdot}414 \times 15 \times 213}{250 \times 400} = 0{\cdot}0132$

$A_{st} = 0{\cdot}0132 \times b \times d$

$= 0{\cdot}0132 \times 200 \times 400$

$= \mathbf{1058\ mm^2}$ उत्तर

अथवा सारणी 3.4 से $f_{ck} = 15\ N/mm^2$ व $f_y = 250\ N/mm^2$ के लिये $p_{t\,Lim} = 1{\cdot}32\%$ होता है।

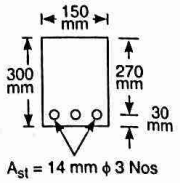
$\therefore A_{st} = \dfrac{1{\cdot}32}{100} \times 200 \times 400 = 1056\ mm^2$, जो ऊपर ज्ञात किये मान के लगभग बराबर है।

civilguru.net

उदाहरण 3.4 : एक एकल-प्रबलित कंक्रीट धरन-खण्ड की चौड़ाई 150 mm तथा कुल गहरायी 300 mm है। इसकी तली में 30 mm के प्रभावी आवरण पर 14 mm व्यास की 3 छड़ें डाली गयी हैं। यदि $f_{ck} = 15$ N/mm² व $f_y = 415$ N/mm² हो, तो धरन का प्रतिरोध आघूर्ण, सीमांत अवस्था विधि (L.S.M.) से ज्ञात कीजिये।

हल : (i) प्रश्नानुसार धरन की प्रभावी गहरायी, $d = 300 - 30 = 270$ mm

प्रबलन इस्पात, $A_{st} = 3 \times 154 = 462$ mm²



चित्र 3.8

(ii) खण्ड का कुल सम्पीडन बल, $C_u = 0{\cdot}36 f_{ck} b x_u$

खण्ड का कुल तनन बल, $T_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$

खण्ड के सन्तुलन के लिये, $C_u = T_u$

$$0{\cdot}36 f_{ck} b x_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$$

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck}} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 462}{0{\cdot}36 \times 15 \times 150}$$

$$x_u = 206 \text{ mm}$$

$f_y = 415$ N/mm² के लिये, $x_{u\,max} = \dfrac{700 d}{1100 + 0{\cdot}87 f_y}$ अथवा $x_{u\,max} = 0{\cdot}48 d$

(सारणी 3.3 से)

$$= \frac{700 \times 270}{1100 + (0{\cdot}87 \times 415)} = 130 \text{ mm}$$

चूँकि $x_u > x_{u\,max}$ यह एक **अतिप्रबलित** खण्ड है। क्योंकि सीमांत अवस्था अभिकल्पन में अतिप्रबलित खण्ड स्वीकार्य नहीं है, अत: धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करने के लिये $x_u = 130$ mm ही लिया जायेगा।

उत्तोलक भुजा, $z = d - 0{\cdot}42 x_{u\,max}$

$= 270 - (0{\cdot}42 \times 130) = 215{\cdot}4$ mm

प्रतिरोध आघूर्ण, $M_u = (0{\cdot}36 f_{ck} b x_{u\,max}) \times z$

$= 0{\cdot}36 \times 15 \times 150 \times 130 \times 215{\cdot}4$

$= 22681620$ N-mm

$= \mathbf{22{\cdot}68}$ **kN-mm** **उत्तर**

M_u को सारणी 3.6 के आधार पर भी ज्ञात किया जा सकता है—

$M_{u\,Lim} = R_u b d^2$ (R_u का मान सारणी 3.6 से)

$= 2{\cdot}074 \times 150 \times (270)^2$

$= 22679190$ N.mm

अथवा **22·68 kN.m** **उत्तर**

उदाहरण 3.5 : एक एकल प्रबलित धरन खण्ड की चौड़ाई 150 mm तथा कुल गहरायी 300 mm है। इसकी तली में, 30 mm के प्रभावी आवरण पर 14 mm व्यास की 3 छड़ें डाली गयी हैं। धरन का प्रतिरोध आघूर्ण सीमांत अवस्था विधि से ज्ञात करें। $f_{ck} = 15$ N/mm² व $f_y = 250$ N/mm² मान लें।

खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण कार्यकारी प्रतिबल विधि (Working Stress Method) से भी ज्ञात करें। $m = 18$ मान लें।

हल : प्रश्नानुसार—धरन की प्रभावी गहरायी, $d = 300 - 30 = 270$ mm

प्रबलन इस्पात, $A_{st} = 3 \times 154 = 462$ mm²

(A) सीमांत अवस्था विधि द्वारा धरन खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण—

धरण-खण्ड का कुल सम्पीडन बल, $C_u = 0{\cdot}36 f_{ck} b x_u$

धरण-खण्ड का कुल तनन बल, $T_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$

धरण-खण्ड के सन्तुलन के लिये, $C_u = T_u$

$$0{\cdot}36 f_{ck} b x_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$$

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b} = \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times 462}{0{\cdot}36 \times 15 \times 150} = 124 \text{ mm}$$

परन्तु यह मान $x_{u\,max}$ से बढ़ना नहीं चाहिये (सीमांत अवस्था विधि की मान्यता 6 के अनुसार)।

$f_y = 250$ N/mm² के लिये, $x_{u\,max} = 0{\cdot}53 d$ (सारणी 3.3 से) अर्थात् $0{\cdot}53 \times 270 = 143$ mm

$\because$ 124 mm < 143 mm अत: $x_u = 124$ mm लिया जायेगा।

चूँकि $x_u < x_{u\,max}$ अत: यह एक **अल्प प्रबलित** खण्ड है। खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, M_u प्रबलन इस्पात के आधार पर निर्धारित किया जायेगा।

टिप्पणी—सीमांत अवस्था अभिकल्पन में अति प्रबलित खण्ड (Over Reinforced Section) स्वीकार्य नहीं है, क्योंकि इसमें कंक्रीट पहले अपने चरम प्रतिबलों पर पहुँच जाती है और इसकी विफलता बगैर चेतावनी के अकस्मात होती है। दूसरे इस्पात, कंक्रीट से पर्याप्त महँगा होता है और अति प्रबलित खण्ड अपनाने से इसका अपव्यय होता है।

$\therefore$ उत्तोलक भुजा, $z = d - 0{\cdot}42 x_u$

$= 270 - (0{\cdot}42 \times 124) = 218$ mm

प्रतिरोध आघूर्ण, $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} \times z$

$= 0{\cdot}87 \times 250 \times 462 \times 218$

$= 21905730$ N-mm say **21·906 kN-m** **उत्तर**

(B) कार्यकारी प्रतिबल विधि द्वारा खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण—

प्रश्न के अनुसार दिये गये अभिलक्षणिक प्रतिबलों के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल $\sigma_{cb} = 5$ N/mm², $\sigma_{st} = 140$ N/mm² तथा $m = 18$ लेते हुये— (अध्याय 2 का संदर्भ ले)

(i) क्रान्तिक बल शून्य अक्ष, $x = \dfrac{m \sigma_{cb} d}{m \sigma_{cb} + \sigma_{st}}$ ...(सूत्र 2.5)

$$= \frac{18 \times 5 \times 270}{18 \times 5 + 140} = 106 \text{ mm}$$

(ii) वास्तविक बल शून्य अक्ष, x_a के लिये—

$$\frac{bx^2}{2} = m A_{st}(d-x) \qquad \text{...(सूत्र 2.6)}$$

$$\frac{150\,x^2}{2} = 18 \times 462\,(270-x)$$

$$x^2 + 110{\cdot}9\,x - 29938 = 0$$

$$x_a = \frac{-110{\cdot}9 \pm \sqrt{(110{\cdot}9)^2 + (4 \times 29938)}}{2}$$

$$x_a = \frac{-110{\cdot}9 \pm 363{\cdot}4}{2} = 126 \text{ mm}$$

(iii) चूँकि वास्तविक बल शून्य अक्ष (x_a), क्रान्तिक बल शून्य अक्ष (x) के नीचे स्थित है, अत: यह एक **अति प्रबलित** खण्ड है। धरन के प्रतिरोध आघूर्ण के लिये कंक्रीट का अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल प्रभावी होगा।

धरन खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, $M_r = \frac{b\,x\,\sigma_{cb}}{2}\left(d - \frac{x}{3}\right)$ ...(सूत्र 2.12)

$$= \frac{150 \times 126 \times 5}{2}\left(270 - \frac{126}{3}\right)$$

$$= \frac{150 \times 126 \times 5 \times 228}{2}$$

$$= 10773 \text{ kN-mm अथवा } \mathbf{10{\cdot}773\ kN.m}$$ **उत्तर**

निष्कर्ष—यह मान सीमांत अवस्था विधि द्वारा ज्ञात प्रतिरोध आघूर्ण का आधे (50%) से **कम** है। अत: स्पष्ट है सीमांत अवस्था अभिकल्पन में कंक्रीट और इस्पात दोनों पदार्थों का अधिकतम लाभ प्राप्त होता है और कुल मिलाकर खण्ड मितव्ययी पड़ता है।

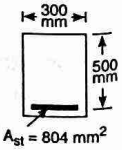
उदाहरण 3.6 : एक आयताकार एकल प्रबलित कंक्रीट धरन-खण्ड 300 mm × 500 mm (प्रभावी गहराई) है। इसके तनन क्षेत्र में 804 mm² प्रबलन इस्पात डाला गया है। सीमांत अवस्था विधि से धरन की अभिकल्प आघूर्ण (Design Moments) ज्ञात कीजिये। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान लें। *(B.T.E. DELHI)*

हल : (i) प्रश्नानुसार—धरन खण्ड की चौड़ाई = 300 mm

खण्ड की प्रभावी गहराई = 500 mm

तनन इस्पात का क्षेत्रफल = 804 mm²

$f_{ck} = 20$ N/mm², $f_y = 415$ N/mm²



चित्र 3.9

(ii) खण्ड का कुल सम्पीडन बल, $C_u = 0{\cdot}36 f_{ck}\, b\, x_u$

खण्ड का कुल तनन बल, $T_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$

सन्तुलित खण्ड के लिये, $C_u = T_u$

$$0{\cdot}36 f_{ck}\, b\, x_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$$

$$\therefore \quad x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck}\, b} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 804}{0{\cdot}36 \times 20 \times 300}$$

$= 134$ mm परन्तु यह मान, $x_{u\,max}$ से अधिक नहीं होगा।

M-20 कंक्रीट व Fe 415 के लिये, $x_{u\,max} = 0.48\,d$

अथवा $x_{u\,max} = \frac{700\,d}{1100 + 0{\cdot}87 f_y} = \frac{700 \times 500}{1100 + (0{\cdot}87 \times 415)}$

$$= \frac{350000}{1461} = 240 \text{ mm, यह मान ऊपर ज्ञात } x_u = 134 \text{ से अधिक है।}$$

अत: $x_u = 134$ mm ही लिया जायेगा।

चूँकि $x_u < x_{u\,max}$ अत: यह एक **अल्प प्रबलित खण्ड** है। खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, M_u इस्पात के आधार पर निर्धारित किया जायेगा।

उत्तोलक भुजा, $z = d - 0{\cdot}42\,x_u$

$= 500 - (0{\cdot}42 \times 134) = 444$ mm

प्रतिरोध आघूर्ण, $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} z$

$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 804 \times 444$

$= \mathbf{128{\cdot}89 \times 10^6\ N.mm}$ **उत्तर**

उदाहरण 3.7 : एक आयताकार एकल प्रबलित कंक्रीट धरन 200 mm चौड़ी और प्रबलन इस्पात के केन्द्रक तक 400 mm गहरी है। कार्यकारी भारण पर यह 32 kN.m का बंकन आघूर्ण वहन करती है। सीमांत अवस्था विधि (L.S.M.) से प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात करें। M–15 ग्रेड की कंक्रीट और HYSD ग्रेड Fe 415 का इस्पात प्रयोग करें।

हल : बंकन आघूर्ण, $M = 32$ kN.m

भार के लिये आंशिक सुरक्षा गुणंक $\gamma_f = 1{\cdot}5$ रखने पर,

चरम (Ultimate) बंकन आघूर्ण, $M_u = 1{\cdot}5 \times 32 = 48$ kN.m

Fe 415 इस्पात के लिये सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण = $0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck}$ (सारणी 3.5 से)

$$\therefore \quad M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck} \text{ N.mm}$$

$$= 0{\cdot}138 \times 200 \times (400)^2 \times 15$$

$$= 66240000 \text{ N.mm} = 66{\cdot}24 \text{ kN.m}$$

$\because M_u < M_{u\,\text{Lim}}$, अत: धरन खण्ड अल्प प्रबलित है। अल्प प्रबलित खण्ड के लिये, प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}(d - 0{\cdot}42\,x_u)$$

$$\because \quad x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck}\, b} = \frac{2{\cdot}416 f_y A_{st}}{f_{ck}\, b}$$

और $$0{\cdot}42\, x_u = \frac{0{\cdot}42 \times 2{\cdot}416\, f_y\, A_{st}}{f_{ck}\, b} = \frac{f_y\, A_{st}}{f_{ck}\, b}$$

अत: उपरोक्त समीकरण निम्न प्रकार भी लिखा जाता है—

$$M_u = 0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}\left[d - \frac{f_y\, A_{st}}{f_{ck}\, b}\right] \quad \text{...(देखें सूत्र 3.17)}$$

ज्ञात मान रखने पर,

$$48 \times 10^6 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}\left[400 - \left(\frac{415\, A_{st}}{15 \times 200}\right)\right]$$

$$48 \times 10^6 = 361{\cdot}05\, A_{st}\,[400 - 0{\cdot}138\, A_{st}]$$

$$48 \times 10^6 = 144420\, A_{st} - 49{\cdot}83\, A_{st}^2$$

$$49{\cdot}83\, A_{st}^2 - 144420\, A_{st} + 48 \times 10^6 = 0$$

$$A_{st}^2 - 2898\, A_{st} + 963275 = 0 \text{ यह एक द्विघातीय समीकरण है,}$$

हल करने पर, $A_{st} = 383\ \text{mm}^2$ **उत्तर**

उदाहरण 3.8 : एकल प्रबलित धरन (Simply Reinforced Beam) की माप 250 mm × 500 mm है, जिसकी तली पर, 50 mm के प्रभावी आवरण पर, 16 mm व्यास की 5 छड़ें डाली गयी हैं। ज्ञात करें 5 मी० के प्रभावी पाट पर यह धरन कितना समवितरित भार (UDL) वहन कर सकती हैं। कंक्रीट का ग्रेड M-20 और इस्पात की श्रेणी Fe 415 मान लें।

हल : (i) प्रश्नानुसार—

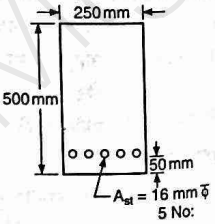
धरन खण्ड = 250 mm × 500 mm

प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल,

$$A_{st} = 5 \times 201 = 1005\ \text{mm}^2$$

धरन की प्रभावी गहरायी = 500 − 50 = 450 mm

$f_{ck} = 20\ \text{N/mm}^2$ $f_y = 415\ \text{N/mm}^2$



चित्र 3.10

(ii) बल शून्य अक्ष की गहरायी, NA—

$$x_u = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}}{0{\cdot}36\, f_{ck}\, b}$$

$$= \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 1005}{0{\cdot}36 \times 20 \times 250} = 202\ \text{mm}$$

$x_{u\,Lim} = 0{\cdot}48\, d = 0{\cdot}48 \times 450 = 216\ \text{mm}$ —(सारणी 3.3 से)

चूँकि $x_u < x_{u\,Lim}$, यह धरन अल्प प्रबलित (Under Reinforced) है।

(iii) धरन का प्रतिरोध आघूर्ण (M_u)—

$$M_u = 0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}\,(d - 0{\cdot}42\, x_u)$$

$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 1005\,[450 - 0{\cdot}42 \times 202]$$

$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 366986$$

$$= 132500295\ \text{N.mm} = 132{\cdot}5\ \text{kN.m}$$

(iv) मान धरन पर, प्रति मोटर पाट पर समवितरित भार (UDL) = w_u

बंकन आघूर्ण, $M = \frac{w_u\, l^2}{8}$

$M = M_u$ रखने पर, $\frac{w_u \times (5)^2}{8} = 132{\cdot}5$

$$\therefore \quad w_u = \frac{132{\cdot}5 \times 8}{25} = 42{\cdot}4\ \text{kN/m}$$

अत: धरन पर सुरक्षित (कार्यकारी) भार, भार-गुणक 1·5 लेते हुये—

$$w = \frac{42{\cdot}4}{1{\cdot}5} = 28{\cdot}3\ \text{kN/m}$$ **उत्तर**

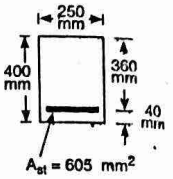
प्रश्नावली–3

1. सीमांत अवस्था विधि के बारे में आप क्या जानते हैं? यह कार्यकारी प्रतिबल विधि से किस प्रकार भिन्न है, लिखिये?
2. सीमांत अवस्था की परिभाषा दें। इस पर अभिकल्पित खण्ड मितव्ययी क्यों होते हैं? लिखिये।
3. सीमांत अवस्था विधि से मूल सिद्धान्त लिखिये। **[B.T.E.]**
4. निम्नलिखित पदों को स्पष्ट करें—
   (i) अभिलक्षणिक सामर्थ्य, (ii) अभिलक्षणिक भार, (iii) आंशिक सुरक्षा गुणक।
5. कंक्रीट व इस्पा के लिये निर्धारित आंशिक सुरक्षा गुणक के मान लिखिए।
6. कंक्रीट के प्रतिबल व विकृति में सम्बन्ध पर प्रकाश डालें।
7. निम्न इस्पातों के प्रतिबलों व विकृति में सम्बन्ध ग्राफ की सहायता से स्पष्ट करें—
   (i) मृदु इस्पात Fe 250 (ii) उच्च तनन इस्पात Fe 415
8. आनमन में निपात सीमांत अवस्था की संकल्पनायें संक्षेप में लिखें।
9. सीमांत अवस्था अभिकल्पन में अति प्रबलित खण्ड क्यों स्वीकार्य नहीं हैं? स्पष्ट उत्तर लिखें।
10. सीमांत अवस्था अभिकल्पन में एक धरन खण्ड का अभिकल्प प्रतिबल आरेख खींचे और उस पर बल शून्य अक्ष तथा कार्यरत बलों की स्थिति दर्शायें।
11. एक धरन की माप 230 mm × 520 mm (प्रभावी) है। इसके तनन क्षेत्र में 16 mm व्यास की 4 छड़ें डाली गयी हैं। कंक्रीट की श्रेणी M-15 और प्रबलन इस्पात Fe 415 ग्रेड का है। बल शून्य की गहराई ज्ञात करें।
    (उत्तर : 234 mm)

civilguru.net

12. एक प्रबलित कंक्रीट धरन-खण्ड 250 mm × 400 mm (प्रभावी) है। धरन के तनन क्षेत्र में 20 mm व्यास की 3 छड़े डाली गयी है। धरन की बलशून्य रेखा की गहरायी ज्ञात कीजिए। $f_{ck} = 20$ N/mm² और $f_y = 415$ N/mm² मान ले। **(उत्तर : 188·5 mm)**

13. चित्र 3.11 में दर्शायी गयी धरन खण्ड के निम्न प्राचाल (Parameters) ज्ञात करे। कंक्रीट का ग्रेड M-20 और इस्पात का ग्रेड Fe 415 है।
(i) बल शून्य अक्ष, x_u (ii) उत्तोलक भुजा, z
(iii) प्रतिरोध आघूर्ण, M_r



चित्र 3.11

14. एक आयताकार एकल प्रबलित कंक्रीट धरन का प्रतिच्छेद 200 mm × 400 mm (प्रभावी गहराई) है। इसके तनन क्षेत्र में 20 mm व्यास की 3 छड़े डाली गयी है। कंक्रीट M-15 और इस्पात Fe 250 ग्रेड का है। धरन खण्ड का सीमांत अवस्था विधि द्वारा प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिये। *[B.T.E.]*
(उत्तर : 66383 kN-mm)

15. एक प्रबलित कंक्रीट धरन, जिसकी माप 300 mm × 500 mm (प्रभावी) है, पर 175 kN.m की फैक्टर आघूर्ण लग रही है। यदि M-20 व Fe 415 हो, धरन के लिये तनन इस्पात की मात्रा ज्ञात कीजिए।

16. एक धरन 250 mm × 500 mm (प्रभावी गहराई) है। इसमें 20 mm व्यास की 4 छड़ें तनन क्षेत्र में डाली गयी हैं। M-15 और Fe 250 ग्रेड के पदार्थ प्रयोग किये गये हैं। धरन खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण (M_u) ज्ञात करें।
यदि Fe 415 का प्रबलन इस्पात डाला जाये, तो प्रतिरोध आघूर्ण का मान क्या होगा?
(उत्तर : (i) 113·62 kN-m, (ii) 129·45 kN-m)

17. एक सिंगली प्रबलित कंक्रीट धरन की माप 230 mm × 450 mm है। इसके तनन क्षेत्र में 16 mm व्यास की 4 छड़ें, 40 mm के प्रभावी आवरण (Cover) पर डाली गयी हैं। कंक्रीट का ग्रेड M-20 और इस्पात की श्रेणी Fe 415 है। खण्ड की प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए। *[U.T.E.]*
(उत्तर : 97·65 kN.m)

18. एक प्रबलित कंक्रीट धरन का परिच्छेद 300 mm × 600 mm (प्रभावी) है। इसके लिये M-15 एवं Fe 415 के पदार्थ प्रयोग किये गये हैं। सीमांत अवस्था विधि द्वारा खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण एवं तनन इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात करें। **(उत्तर : M_u = 321·7 kN-m, A_{st} = 3165 mm²)**

19. एक आयताकार एकल प्रबलित कंक्रीट खण्ड 250 mm × 450 mm (प्रभावी) है। इस पर 50 kN-m की अभिकल्प (फैक्टर) आघूर्ण लग रही है। कंक्रीट M-15 व प्रबलन इस्पात Fe 250 ग्रेड का है। प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात करें। **(उत्तर : A_{st} = 560 mm²)**

20. एक प्रबलित कंक्रीट स्लैब की कुल गहरायी 150 mm और प्रभायी गहरायी 125 mm है। स्लैब में तनन प्रबलन के लिये 10 mm ϕ की छड़ें 180 mm c/c डाली गयी हैं। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का इस्पात मानते हुये, खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, सीमांत अवस्था विधि (L.S.M.) द्वारा ज्ञात कीजिये। **(उत्तर : M_u = 18·24 kN-m)**

21. एकल-प्रबलित कंक्रीट धरन की चौड़ाई 300 mm और प्रभावी गहरायी 566 mm है। इसके तनन क्षेत्र में 1016 mm² क्षेत्रफल की छड़ें डाली गयी है। M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात लेते हुये, धरन की चरम प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए। **(उत्तर : 172·78 × 10⁶ N.mm)**

22. एक शुद्धालम्बित धरन की माप 300 mm × 500 mm (प्रभावी) और इसका प्रभावी पाट 7·0 मी० है। धरन के तनन क्षेत्र में कितना अधिकतम तनन प्रबलन डाला जा सकता है, ज्ञात कीजिए। यह धरन कितना अधिकतम समवितरित भार (UDL) वहन कर सकती है, यह भी ज्ञात करें। खण्ड में M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी की इस्पात डाली गयी है। *[U.P.T.U.]*
(उत्तर : A_{st} = 1440 mm², UDL = 34 kN/m)

23. एकल प्रबलित (Singly Reinforced) कंक्रीट धरन की माप 200 mm × 500 mm (प्रभावी) है। इसके तनन क्षेत्र में 25 mm व्यास की 4 छड़ें डाली गयी है। यह धरन अपने 5 मी० के पाट (प्रभावी पाट) पर कितना चरम भार वहन कर सकती है? ज्ञात कीजिये। धरन के लिये M-20 और Fe 415 के मैटिरियल प्रयोग होंगे।

24. एक प्रबलित कंक्रीट धरन की माप 200 mm × 400 mm (प्रभावी) है। इसके तनन क्षेत्र मे 16 mm व्यास की 3 छड़ें प्रबलन के रूप में डाली गयी है। M-20 की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात मानते हुये ज्ञात कीजिए कि, यह धरन 5 मी० के पाट पर कितना चरम समवितरित भार (Ultimate U.D.L) ले सकती है? *[B.T.E. Pb.]*
(उत्तर : 23·5 kN/m)

4 अपरूपण तथा अभिलाग सामर्थ्य
(SHEAR AND BOND STRENGTHS) (LIMIT STATE OF COLLAPSE)

(I) प्रबलित कंक्रीट खण्डों की अपरूपण (कर्तन) सामर्थ्य
(SHEAR STRENGTH OF R.C. SECTIONS)

§ 4.1. समांग खण्डों में अपरूपण प्रतिबल (Shear Stress in Homogeneous Sections) :

(1) समांग खण्ड—जब धरन (या अन्य कोई अवयव) एक ही पदार्थ का बना होता है, उसे समांग खण्ड (Homogeneous Section) कहते हैं, जैसे—लकड़ी, इस्पात के धरन इत्यादि। जब यह खण्ड अनेक पदार्थों को मिलाकर बनाया जाता है, तब इसे असमांग खण्ड (Hetrogeneous Section) कहते हैं। इसे संग्रथित खण्ड (Composite Section) भी कहते हैं। प्रबलित कंक्रीट का खण्ड, असमांग खण्ड कहलाता है, क्योंकि इसके निर्माण में दो **विभिन्न** पदार्थ-कंक्रीट और इस्पात प्रयोग किये जाते हैं। कंक्रीट स्वयं भी अनेक पदार्थों (सीमेंट, बालू व गिट्टी) का मिश्रण है।

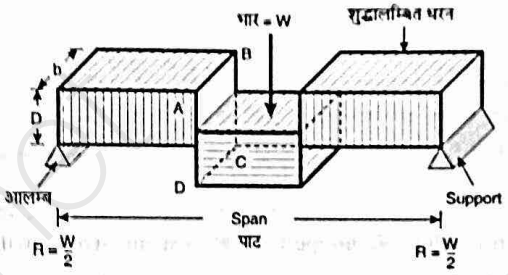
(2) अपरूपण या कर्तन बल (Shear Force)—जब अवयव के किसी परिच्छेद पर कार्यरत बलों के कारण, आस-पास के तल (Planes), एक-दूसरे पर से सरकने (Shear Off) की चेष्टा करते हैं, तो इसे **अपरूपण** (कर्तन) कहते हैं। यह उस तल पर **विपरीत दिशा में कार्यरत कर्तन बलों** के कारण घटता है।

एक शुद्ध आलम्बित धरन में, समवितरित अनुप्रस्थ भार के कारण बंकन आघूर्ण (Bending Moment) उपजती है, जो पाट के मध्य में अधिकतम होती है और सिरों (Ends) (Supports) की ओर जाते-जाते घटती चली जाती है। अत: एक **भारित धरन में पाट की लम्बाई में बंकन आघूर्ण के बदलते मान के कारण, अपरूपण (कर्तन) बल उपजता है। यह कर्तन बल किसी काट (Section) पर, बंकन आघूर्ण के परिवर्तन की दर के बराबर होता है।** धरन के किसी भी परिच्छेद पर कर्तन बल, उस परिच्छेद के दायीं या बायीं ओर के सभी कार्यरत बलों का बीजीय योगफल होता है।

जब धरन पर बाहरी बल कार्य करता है तो धरन के सभी खण्डों पर बंकन आघूर्ण और कर्तन बल उपजते हैं। बंकन आघूर्ण को धरन, विपरीत प्रवृत्ति का प्रतिरोध आघूर्ण (Moment of Resistance) उत्पन्न करके रोकता है जबकि कर्तन बल को धरन का अनुप्रस्थ काट (Cross Section) प्रतिरोधित करता है।

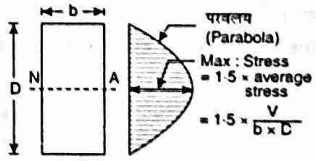
(3) अपरूपण प्रतिबल (Shear Stress)—चित्र 4.1 में एक शुद्धालम्बित धरन दिखाया गया है, जिस पर केन्द्र में एक संकेन्द्रित भार W लग रहा है। काट $ABCD$ पर कर्तन बल, $V = \frac{W}{2}$ होगा। यदि कर्तन की तीव्रता, काट (Section) पर समान होती तो—

$$\text{औसत कर्तन प्रतिबल} = \frac{\text{कर्तन बल}}{\text{काट का क्षेत्रफल}} = \frac{V}{b \times D}$$



चित्र 4.1—शुद्धालम्बित धरन (Simply Supported Beam)

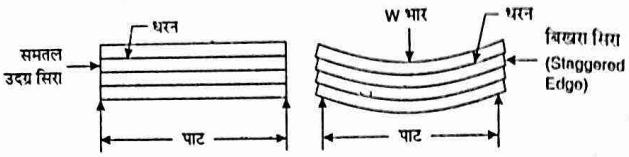
परन्तु समांग धरनों के काट पर कर्तन प्रतिबल का वितरण समान नहीं होता है। कर्तन प्रतिबल की तीव्रता चित्र 4.2 के अनुसार होती है। ये प्रतिबल धरन के उदासीन अक्ष (बल शून्य रेखा) पर अधिकतम तथा ऊपरी व निचले सिरों पर घटकर शून्य (Zero) हो जाते हैं। अत: एक समांग आयताकार धरन का कर्तन प्रतिबल आरेख **परवलयाकार** (Parabolic) होता है। उदासीन अक्ष (बल शून्य रेखा) पर कर्तन प्रतिबल की तीव्रता, औसत का 1·5 गुना ली जाती है। अत: अधिकतम कर्तन प्रतिबल = 1·5 × औसत कर्तन प्रतिबल,



चित्र 4.2—समांग धरन में अपरूपण प्रतिबलों का वितरण (Shear Stress Distribution)

अर्थात्— अधिकतम कर्तन प्रतिबल $\tau_{c\,max} = 1{\cdot}5 \times \frac{V}{b \times D}$

(4) क्षैतिज कर्तन बल (Horizontal Shear Force)—किसी भारित धरन पर समवितरित भार के कारण, अधिकतम बंकन आघूर्ण इसके मध्य भाग में होती है, जो आलम्बों की ओर जाते-जाते घटती जाती है। इस प्रकार बंकन आघूर्ण के परिवर्तन की दर के कारण, अर्थात् धरन की लम्बाई में विभिन्न बिन्दुओं पर बंकन आघूर्ण में भिन्नता के होने के कारण, धरन में **क्षैतिज कर्तन बल** उपजते हैं जो ऊर्ध्व कर्तन बल के ठीक लम्बरूप कार्य करते हैं। यह क्षैतिज कर्तन बल, ऊर्ध्व कर्तन बल के बराबर होते हैं। इसे पूरक क्षैतिज कर्तन (Complementary Horizontal Shear) भी कहते हैं। इस क्षैतिज कर्तन बल की प्रवृत्ति धरन के विभिन्न रेशों (परतों) को एक दूसरे से अलग करने की होती है, जैसा चित्र 4.3 में स्पष्ट किया गया है।

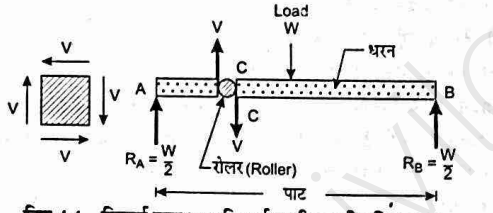


चित्र 4.3—क्षैतिज कर्तन (अपरूपण) (Horizontal Shear)

इस तथ्य को आप इस प्रकार समझ सकते है। ताश की गड्डी को दो समतल आलम्बों पर रखकर उसके मध्य ऊपर से कुछ बल लगायें। आप देखेंगें कि ताश के पत्ते एक दूसरे के ऊपर सरक गये है और गड्डी के किनारे (Edges) जो पहले ठीक ऊर्ध्व रेखा पर थे, अब बिखरी (Staggered) स्थिति में आ गये है।

एक भारित धरन के साथ भी ठीक इसी प्रकार का व्यवहार होता है। **ऊर्ध्व कर्तन बल के साथ-साथ धरन में पूरक क्षैतिज कर्तन बल उत्पन्न होता है,** जिसके कारण इसकी विभिन्न परतें एक दूसरी के ऊपर से सरकने की चेष्टा करती है, जैसा चित्र 4.3 में दर्शाया गया है।

(5) विकर्ण तनन तथा विकर्ण सम्पीडन (Diagonal Tension and Diagonal Compression)—एक भारित धरन में, उपरोक्त वर्णित ऊर्ध्व तथा क्षैतिज कर्तन बलों के परिणाम के कारण, **विकर्ण तनन** तथा **विकर्ण सम्पीडन** बल उपजते हैं, जिनका मान बराबर होता है।



चित्र 4.4—बिकर्ण तनन तथा विकर्ण सम्पीडन की परिकल्पना

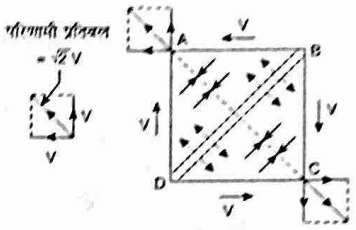
चित्र 4.4 में एक शुद्धालम्बित धरन AB दिखाया गया है, जिसके मध्य पर W भार लग रहा है। भार के कारण धरन की लम्बाई में कर्तन बल आ रहे हैं। माना काट C-C पर ऊर्ध्व कर्तन बल V लग रहा है जो धरन को दो भागों में काटता है। कल्पना करें दो काट-परिच्छेदों के मध्य एक रोलर (Roller) अटका दिया गया है। यह रोलर बलों के युग्म के कारण, घड़ी की सुईयों की भाँति (Clock-wise) घमूने की चेष्टा करेगा।

यदि कर्तन के कारण धरन विफल नहीं होने देना है तो यह रोलर घूमना नहीं चाहिये। धरन की सन्तुलित स्थिति में अवश्य कोई अन्य विपरीत प्रकृति के बल है, जो रोलर को घूमने से रोके रखते हैं। (एक बल-युग्म को सन्तुलित रखने के लिये उसी मान का विपरीत बल-युग्म लगता है)।

अब सरलता के लिये, रोलर के स्थान पर, एक मिमी० भुजा का घन (Cube) मान लें, जिस पर ऊर्ध्व कर्तन बल V कार्य कर रहा है। अब घन की प्रत्येक ऊर्ध्व फलक पर ऊर्ध्व बल V कार्य करेगा। घन को इन ऊर्ध्व बलों के कारण घूमने से रोकने के लिये, बलों के बराबर तथा क्षैतिज दिशा

में विपरीत प्रकृति के बल लगाने होंगे (चित्र 4.5)। इन्हीं क्षैतिज बलों को क्षैतिज कर्तन बल कहते है (एक सन्तुलित धरन में यह बल स्वत: उत्पन्न हो जाते है)।

अब क्षैतिज व ऊर्ध्व कर्तन बलों का परिणामी बल ज्ञात करें तो पता चलेगा कि A तथा C कोनों पर $\sqrt{2}\,V$ के बराबर तनन बल कार्य कर रहे हैं जो घन के विकर्ण समतल BD को खींचकर, इसे विफल करने (घन को फाड़ने) में लगे है।

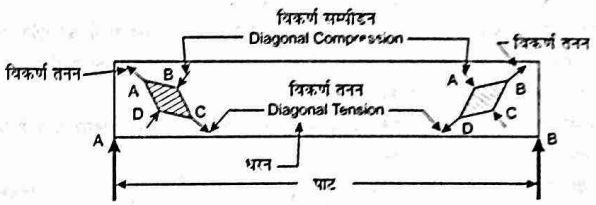


चित्र 4.5

विकर्ण समतल BD का क्षेत्रफल $= \left[\sqrt{(1^2+1^2}\right] \times 1 = \sqrt{2}$ mm^2

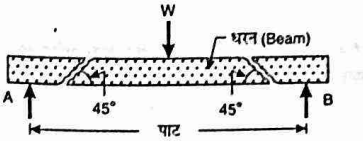
$$\therefore \quad \text{तनन प्रतिबल की तीव्रता} = \frac{\sqrt{2}\,V}{\sqrt{2}} = V \text{ N/mm}^2$$

इसी प्रकर यदि B और D पर क्षैतिज व ऊर्ध्व बलों का परिणामी लिया जाये तो B व D की दिशा में सम्पीडन बल कार्यरत होंगे जो विकर्ण समतल AC को दबाने (Compress) का कार्य करेंगे। इस बल की तीव्रता भी V N/mm^2 ही होगी।

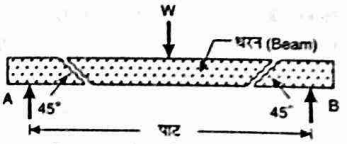


चित्र 4.6—धरन पर कार्यरत विकर्ण तनन तथा विकर्ण सम्पीडन (Diagonal Tension and Diagonal Compression)

विकर्ण प्रतिबलों के कारण धरन का विफल होना चित्र 4.7 व 4.8 में स्पष्ट किया गया है। यदि धरन विकर्ण तनन में कमजोर है जो चित्र 4.7 के अनुसार और यदि विकर्ण सम्पीडन में कमजोर है तो चित्र 4.8 के अनुसार विफल होगा। यह विफलता लगभग 45° पर होती है।



चित्र 4.7—विकर्ण तनन के कारण धरन का विफल होना



चित्र 4.8—विकर्ण सम्पीडन के कारण धरन का विफल होना

उपरोक्त चर्चा से हम इन तथ्यों पर पहुँचते हैं–

(i) एक भारित (Loaded) धरन में, भार के कारण ऊर्ध्व कर्तन बल उपजते हैं।

(ii) ऊर्ध्व कर्तन बल के साथ सदैव क्षैतिज कर्तन बल (पूरक के रूप में) उत्पन्न होते हैं।

(iii) ऊर्ध्व तथा क्षैतिज कर्तन बलों के परिणाम के रूप में, धरन में विकर्ण तनन तथा विकर्ण सम्पीडन उपजते हैं।

(iv) ऊर्ध्व कर्तन बल = क्षैतिज कर्तन बल = विकर्ण तनन बल या विकर्ण सम्पीडन बल।

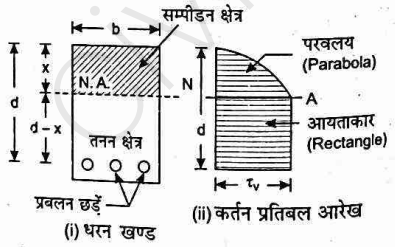
(v) **विकर्ण तनन (Diagonal Tension)**—कर्तन बल के कारण, धरन के तनन क्षेत्र में आलम्बों (Supports) पर अथवा इनके निकट जो तनन (Tension) उपजती है, उसे **विकर्ण तनन** कहते हैं। विकर्ण तनन के कारण खण्ड में 45° पर दरारें प्रकट होती हैं। क्योंकि कंक्रीट तनन में कमजोर होती है, अत: इन दरारों को उत्पन्न होने से रोकने के लिये धरन के तनन-क्षेत्र में कर्तन प्रबलन (Shear Reinforcement) देना आवश्यक है।

§ 4.2. प्रबलित कंक्रीट धरनों में सामान्य कर्तन (अपरूपण) बल तथा विकर्ण प्रतिबल (Simple Shear and Diagonal Stresses in R.C.C. Beams):

प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट एक संग्रथित (Composite) पदार्थ है। अत: प्रत्यास्थ सिद्धान्त के आधार पर, इसमें शुद्धतम कर्तन-वितरण ज्ञात करना काफी जटिल पड़ता है।

(1) कर्तन प्रतिबल (Shear Stress)—प्रबलित कंक्रीट धरन में भी, सामान्य धरनों की भाँति, लम्बाई की दिशा में बंकन आघूर्ण के **परिवर्तन** के कारण, कर्तन बल उपजते हैं। एक प्रबलित कंक्रीट धरन में कर्तन का विश्लेषण काफी जटिल पड़ता है।

सम्पीडन क्षेत्र में, कर्तन प्रतिबल आरेख, समांग धरन की भाँति **परवलयाकार** होता है परन्तु तनन क्षेत्र में, बल शून्य रेखा से नीचे, प्रबलन इस्पात के गुरुत्व केन्द्र तक कर्तन प्रतिबल आरेख **स्थिर** माना जाता है और इसका आकार आयताकार होता है, क्योंकि इस (तनन) क्षेत्र में कंक्रीट मूल संकल्पना के अनुसार कोई तनन प्रतिबल नहीं लेती है। प्रतिबल कंक्रीट धरन का कर्तन प्रतिबल आरेख चित्र 4.9 में दिखाया गया है।



चित्र 4.9—प्रबलित कंक्रीट धरन का कर्तन प्रतिबल वितरण आरेख (Shear Stress Distribution in RCC Beam)

अब यदि धरन खण्ड ने V कर्तन बल प्रतिरोधित करना है तो चित्र 4.9 के अनुसार–

V = प्रतिबल आरेख का क्षेत्रफल × धरन की चौड़ाई

यहाँ धरन की चौड़ाई b है तथा प्रतिबल आरेख का क्षेत्रफल निम्न प्रकार से ज्ञात किया जायेगा–

कुल क्षेत्रफल = [बल शून्य रेखा से ऊपर स्थित परवलयाकार का क्षेत्रफल]
+ [बल शून्य रेखा के नीचे स्थित आयत का क्षेत्रफल]

$$= \left[\tau_v \times \frac{2}{3} \text{ परवलय की ऊँचाई}\right] + \left[\tau_v (d - x)\right]$$

[संकेत : परवलय की ऊँचाई को $\frac{2}{3}$ से गुना करके समतुल्य आयत में परिवर्तित कर लिया जाता है।]

अत: कर्तन बल, $$V = \left[\left(\tau_v \times \frac{2}{3} \times x\right) + \tau_v (d - x)\right] \times b$$

$$V = \tau_v b \left(d - \frac{x}{3}\right), \quad \text{परन्तु } \left(d - \frac{x}{3}\right) \text{ उत्तोलक भुजा होती है।}$$

$$\therefore \quad V = \tau_v b z$$

अथवा $$\tau_v = \frac{V}{b \times z}$$

उत्तोलक भुजा z को jd के रूप में भी लिखा जाता है। j कंक्रीट के ग्रेड के लिये एक स्थिर अंक होता है, जिसे I.S. 456-2000 के अनुसार समाप्त कर दिया गया है। अत: नामन कर्तन प्रतिबल—

$$\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} \qquad \text{...(4.1)}$$

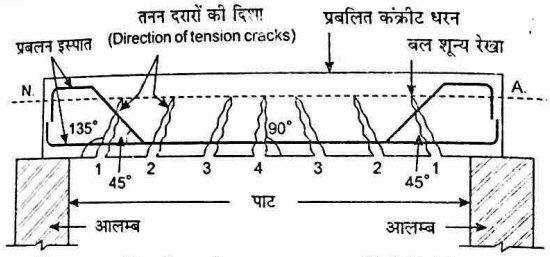
यहाँ τ_v = नामन कर्तन प्रतिबल (Nominal Shear Stress)
V_u = फैक्टर (Factored) कर्तन बल (अभिकल्प भारों के कारण)
b = धरन की चौड़ाई अथवा वैब की चौड़ाई
d = धरन की प्रभावी गहराई

(2) विकर्ण तनन (Diagonal Tension)—जैसा अनुच्छेद 4.1 (4) में स्पष्ट किया गया है, ऊर्ध्व कर्तन बल के साथ सदा पूरक के रूप में क्षैतिज कर्तन बल उपजता है और दोनों के परिणामी के रूप में धरन में **विकर्ण तनन बल** तथा **विकर्ण सम्पीडन बल** उत्पन्न हो जाते हैं। यह बल एक दूसरे के लम्बरूप कार्य करते हैं और प्रतिबलों का मान $\frac{V_u}{b \times d}$ के बराबर होता है।

यदि धरन का पदार्थ तनन में कमजोर है तो यह विकर्ण तनन के कारण अभिभन्जित होकर विफल हो जायेगा और इसके विपरीत यदि यह सम्पीडन में कमजोर है तो विकर्ण सम्पीडन के कारण फेल हो जायेगा।

जैसा हम जानते हैं, कंक्रीट सम्पीडन में बहुत मजबूत होती है परन्तु तनन में कमजोर होती है (तनन में इसकी सामर्थ्य, सम्पीडन की तुलना में $\frac{1}{10}$ से भी कम होती है)। **अत: प्रबलित कंक्रीट धरनों की विकर्ण तनन के कारण ही विफल होने की सम्भावना अधिक रहती है। अत: विकर्ण तनन के कारण उत्पन्न दरारों को रोकने के लिये, धरनों में कर्तन-प्रबलन दिया जाता है।**

प्रबलित कंक्रीट धरनों में विकर्ण तनन के कारण उत्पन्न दरारों की स्थिति चित्र 4.10 में दिखायी गयी है।



चित्र 4.10—विकर्ण तनन के कारण उत्पन्न दरारों की स्थिति
(Cracks–Pattern due to Diagonal Tension in Simply Supported Beam)

चित्र की व्याख्या इस प्रकार है—

(a) **धरन का मध्य भाग** (At the Mid Span)—चित्र में दिखाये गये धरन को शुद्धालम्बित मान लें, जिस पर समवितरित भार आ रहा है। भार के कारण, धरन के मध्य भाग में बंकन आघूर्ण का मान अधिकतम होगा और कर्तन बल न्यूनतम आयेगा। बंकन प्रतिबल अधिकतम तथा कर्तन प्रतिबल लगभग शून्य होंगे। अत: विकर्ण तनन क्षैतिज होगा और दरारों की स्थिति **ऊर्ध्वाधर** होगी (दरार सं० 4)।

(b) **आलम्बों के निकट** (Near Supports)—धरन के आलम्बों के निकट, बंकन आघूर्ण घटते-घटते न्यूनतम अथवा शून्य हो जाता है और कर्तन बल अधिकतम होता है। अत: बंकन प्रतिबल शून्य और कर्तन प्रतिबल अधिकतम होंगे। खण्ड में विकर्ण तनन 135° पर उत्पन्न होगा, जिसके फलस्वरूप कंक्रीट में दरारें, धरन की निचली क्षैतिज सतह से 45° पर ऊपर को उठती हुई प्रकट होंगी (दरार सं० 1)।

धरन के आलम्बों तथा मध्य पाट के बीच के भाग में विकर्ण तनन के कारण उत्पन्न दरारें 45° से ५०° पर नत होंगी।

धरन की निचली सतह (extreme fibre) पर कर्तन प्रतिबल शून्य होता है। अत: दरार सर्वप्रथम ऊर्ध्व प्रकट होगी, जो बल शून्य रेखा तक पहुँचते-पहुँचते 45° का कोण ग्रहण कर लेती है।

4.2-1. प्रबलित कंक्रीट धरन की कर्तन सामर्थ्य (Shear Strength)—कंक्रीट कर्तन में अच्छी सामर्थ्य रखती है। इसकी कर्तन सामर्थ्य इसके (*a*) ग्रेड पर तथा (*b*) तनन इस्पात की मात्रा पर निर्भर करती है। कंक्रीट जितनी उच्च ग्रेड की होगी, इसकी कर्तन सामर्थ्य उतनी ही अधिक होती हैं। कंक्रीट की कर्तन सामर्थ्य, इसमें डाले गये प्रबलन इस्पात की मात्रा पर भी निर्भर होती है। अधिक मात्रा में प्रबलन इस्पात इसकी कर्तन सामर्थ्य को बढ़ाता है। कंक्रीट के ग्रेड और प्रबलन इस्पात के प्रतिशत पर कंक्रीट धरनों की कर्तन में सामर्थ्य सारणी 4.1 में दी गयी है। कंक्रीट धरन की कर्तन सामर्थ्य जब इसकी स्वयम् की कर्तन सामर्थ्य से कम होती है, तभी इसमें अलग से कर्तन-प्रबलन दिया जाता है।

§ 4.3. कर्तन (अपरूपण) प्रबलन (Shear Reinforcement) :

धरनों में कर्तन प्रबलन का आधार ट्रस-तुल्य रूपता (Truss Anology) है, जिसमें विकर्ण अवयव (Web Members) एकान्तर पर सम्पीडन व तनन में होते हैं। विकर्ण तल पर उपजे तनन

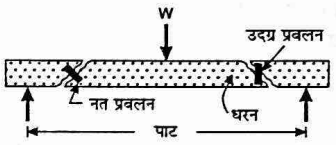
प्रतिबलों के कारण, एक कंक्रीट धरन कर्तन में विफल होता है। इसलिये प्रबलित **कंक्रीट धरनों को विकर्ण तनन के प्रति सुरक्षित बनाने के लिये, इसमें कर्तन प्रबलन दिया जाता है। इसे पेटा प्रबलन** (Web Reinforcement) भी कहते हैं।

4.3-1. **कर्तन प्रबलन की प्रकार** (Types of Shear Reinforcement)—कंक्रीट धरनों में कर्तन प्रबलन निम्न प्रकार से दिया जाता है—

(i) ऊर्ध्व छड़ों के रूप में, जिसे उदग्र छल्लों (Vertical Stirrups) के नाम से जाना जाता है। यह **उदग्र कर्तन प्रबलन** कहलाता है।

(ii) नत छड़ों (Inclined Bars or Bent-up Bars) के रूप में। इसे **नत कर्तन प्रबलन** कहते हैं।

(iii) उदग्र छल्लों तथा नत छड़ों के **संयुक्त रूप** में (by Both Stirrups and Inclined Bars)।



चित्र 4.11—कर्तन प्रबलन के प्रकार

सैद्धान्तिक रूप में कर्तन प्रबलन के ये रूप चित्र 4.11 में दर्शाये गये हैं।

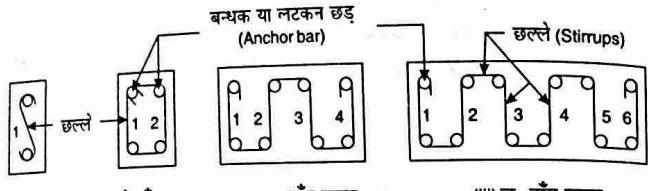
§ 4.4. कर्तन (अपरूपण) प्रबलन के लिये उदग्र छल्ले (स्टीरप्स) (Vertical Stirrups as Shear Reinforcement) :

कर्तन प्रबलन के लिये इस्पात के छल्लों का प्रावधान करते समय निम्न बातों को ध्यान में रखें—

(1) छल्लों का व्यास–इस्पात की 6 मिमी० से 12 मिमी० व्यास की छड़ों का चकोर छल्ला, खण्ड के तनन इस्पात के चारों ओर घुमाकर, सम्पीडन क्षेत्र तक लाया जाता है। धरन के सम्पीडन क्षेत्र में, छल्लों को खण्ड के ऊपरी दोनों कोनों में दी गयी एक-एक अतिरिक्त (एंकर) छड़ से बांध दिया जाता है ताकि यह छल्ले अपनी उचित स्थिति में मजबूती से अटके रहें और कंक्रीट डालते समय विचलित न हों। धरन के प्रत्येक ऊपरी कोने में डाली गयी इस अतिरिक्त क्षैतिज छड़ को **स्थिरण या लटकन छड़** (Anchor or Hanging Bar) कहते हैं।

ध्यान रहे कि लटकन छड़ें धरन की सामर्थ्य में किसी प्रकार का योगदान नहीं देती हैं, यह केवल कर्तन प्रबलन के उदग्र छल्लों को ऊपर से थामे तथा अपनी निर्धारित स्थिति में बनाये रखती है। लटकन छड़ का व्यास सामान्यत: 8 मिमी० से 12 मिमी० होता है। उदग्र छल्लों को सभी तनन व लटकन छड़ों से पतली-काली नरम बन्धक तार (Binding Wire 20-24 Gauge मोटाई 1 mm-0·63 mm) द्वारा बाँध दिया जाता है।

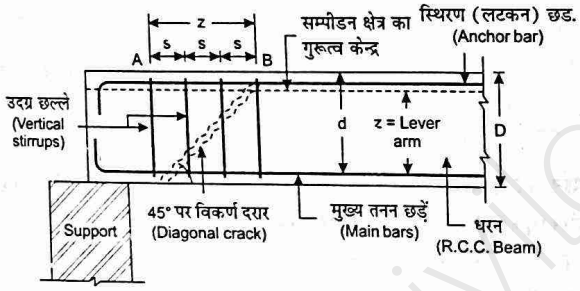
(2) आकार–प्रतिरोधित कर्तन के अनुसार उदग्र छल्ले एक-टाँग, दो-टाँग, चार-टाँग तथा छ: टाँग वाले हो सकते हैं। यह छल्ले चित्र 4.12 में दर्शाये गये हैं। छल्लों का स्वरूप तय करते समय यह देखना चाहिये कि सभी तनन छड़ें (सीधी व नत) और सम्पीडन छड़े (दोहरे प्रबलित धरनों में) छल्लों की पकड़ में आ जायें।



चित्र 4.12-उदग्र छल्लों के विभिन्न रूप (Shapes of Vertical Stirrups)

(3) छल्लों का अन्तराल (Pitch)—दो उदग्र छल्लों की आपसी दूरी, अन्तराल (Spacing or Pitch) कहलाती है। यह अन्तराल कर्तन बल तथा छल्ले के प्रतिरोधक बल पर निर्भर करता है, **परन्तु यह अन्तराल, किसी भी स्थिति में खण्ड की उत्तोलक भुजा से अधिक नहीं होना चाहिये।**

उदग्र छल्लों का अन्तराल निर्धारित करने के लिये चित्र 4.13 को समझ लेना आवश्यक है।



चित्र 4.13—छल्लों का अन्तराल (Spacing of Stirrups)

कल्पना करें कि एक शुद्धालम्बित प्रबलित कंक्रीट धरन, भार पड़ने पर, विकर्ण तनन में विफल हो रही है और उसमें चित्र में दिखाये अनुसार एक दरार उत्पन्न हो गयी है, जो धरन की निचली सतह से 45° पर ऊपर को उठती हुई, सम्पीडन कंक्रीट के गुरुत्व केन्द्र तक जाती है (इस विकर्ण दरार की क्षैतिज प्रक्षेप की दूरी उत्तोलक भुजा के बराबर होगी)। इस दरार को रोकने के लिये, इसकी लम्बाई में उदग्र छल्ले लगाये जाते हैं। दरार की लम्बाई में छल्लों की संख्या इतनी होनी चाहिये, जो कुल विकर्ण तनन बल को, जो कर्तन बल के बराबर है प्रतिरोधित कर सकें।

अत: कर्तन बल, $V = \left[\begin{array}{c}\text{एक छल्ले का}\\ \text{प्रतिरोधी कर्तन बल}\end{array}\right] \times \left[\begin{array}{c}\text{दरार को पाटने}\\ \text{वाले छल्लों की संख्या}\end{array}\right]$

I.S. 456-2000 के अनुसार दरार की क्षैतिज (प्रक्षेप) दूरी, धरन की प्रभावी गहराई के बराबर ली जाती है।

अत: $$V = (\sigma_{sv} \times A_{sv}) \times \left(\frac{d}{s}\right)$$

यहाँ V = खण्ड पर कुल कर्तन बल

σ_{sv} = छल्ले में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल

A_{sv} = एक छल्ले की सभी उदग्र टाँगों का क्षेत्रफल

d = खण्ड की प्रभावी गहराई

s = छल्लों का पिच या अन्तराल

उपरोक्त सूत्र को निम्न प्रकार से भी लिख सकते हैं—

छल्लों का अन्तराल, $$s = \frac{\sigma_{sv} \times A_{sv} \times d}{V} \quad ...(4.2)$$

यहाँ ध्यान रखने की बात है कि A_{sv}, एक छल्ले की कुल उदग्र टाँगों का क्षेत्रफल है। यदि छल्ला 2 अथवा 4 टाँगों वाला है तो इसके काट-क्षेत्रफल दो गुना अथवा चार गुना लिया जायेगा।

L.S.M. में इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य पर विचार करते हुये, इस सूत्र को आशोधित (Modify) कर दिया है।

अत: $$s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{V_{us}} \quad ...(4.3)$$

(4) अन्य बातें—

(i) शुद्धालम्बित या सतत धरन में, जिस पर समवितरित भार (U.D.L.) आ रहा है, कर्तन बल आलम्बों के निकट अधिकतम होता है, जो पाट के मध्य की ओर जाते हुये, निरन्तर घटता चला जाता है। अत: पाट के मध्य भाग की ओर, छल्लों का अन्तराल बढ़ाया जा सकता है। परन्तु नवीन कोड के अनुसार यह अन्तराल, धरन की लम्बाई के किसी भी भाग में **0·75 d अथवा 300 mm.** जो भी न्यूनतम हो, से अधिक नहीं होना चाहिये (I.S. कोड धारा—26.5.1.5)। यहाँ d धरन की प्रभावी गहराई है।

(ii) सैद्धान्तिक तौर पर, छल्लों का अन्तराल, कर्तन बल की गणना करते हुये, धरन के मध्य की ओर बढ़ाया जा सकता है, परन्तु प्रत्येक बिन्दु पर कर्तन प्रतिबल ज्ञात करना कठिन तथा समय-लेवा कार्य है।

(iii) धरन की उस लम्बाई में, जहाँ कर्तन प्रबलन की आवश्यकता नहीं है, मुख्य प्रबलन को स्थिति में बनाये रखने के लिये नाम-मात्र उदग्र छल्ले लगाना व्यावहारिक रहता है। इसके लिये न्यूनतम कर्तन प्रबलन, जिसकी नवीन कोड में संस्तुति की है, डालना चाहिये।

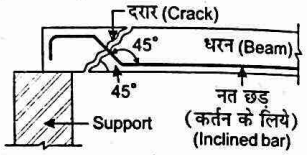
(iv) उदग्र छल्ले धरन के प्रबलन इस्पात को अपनी निर्धारित स्थिति में बनाये रखते हैं। कंक्रीट डालते समय, यह तनन छड़ों को इधर-उधर खिसकने नहीं देते हैं। (इसीलिये इनको मुख्य छड़ों से बन्धक-तार (Binding Wire) द्वारा कसकर बाँध देना चाहिये)।

§ 4.5. कर्तन (अपरूपण) प्रबलन के लिये नत छड़ें (Inclined Bars as Shear Reinforcement):

जैसा ऊपर वर्णन किया गया है, शुद्धालम्बित धरन में, पाट के मध्य में बंकन आघूर्ण अधिकतम होती है, जो आलम्बों की ओर आते-आते घटकर शून्य रह जाती है जबकि कर्तन बल, इसके विपरीत

आलम्बों पर अधिकतम होता है। धरन के मध्य भाग में तनन प्रबलन (मुख्य इस्पात) अधिकतम आघूर्ण के अनुरूप अभिकल्पित किया जाता है, जिसके समस्त क्षेत्रफल की, उपरोक्त स्पष्टीकरण के बाद, धरन के आलम्बों के निकट आवश्यकता नहीं रहती है। अत: तनन इस्पात की कुछ छड़ों को आलम्बों के निकट, धरन के कर्तन प्रबलन के रूप में प्रयोग किया जा सकता है।

सामान्यत: ये छड़ें उपयुक्त बिन्दु पर 45° पर ऊपर को मोड़ दी जाती है, क्योंकि विकर्ण तनन भी 45° के तल पर (विपरीत दिशा में) कार्यरत होता है। (ये छड़ें 30° से 60° तक, किसी भी कोण पर ऊपर को मोड़ी (Bent-up) जा सकती है, परन्तु 45° का कोण अधिक प्रभावी रहता है) शुद्धालम्बित धरन में, आलम्बों से पाट/7 की दूरी पर, बंकन आघूर्ण का मान घटकर लगभग आधा रह जाता है। अत: इस बिन्दु पर आधी मुख्य (तनन) छड़े (50% Tension Steel) कर्तन प्रबलन के लिये ऊपर को मोड़ी जा सकती हैं और शेष 50% को आलम्बों के भीतर तक ले जाकर भली-भाँति स्थिर (Anchored) कर देना चाहिये (देखें अनुच्छेद 4.13)। ऊपर को मोड़ी गयी छड़ों को, सम्पीडन क्षेत्र (धरन के) में काफी लम्बाई तक ले जाना चाहिये ताकि अभिलाग (Bond) द्वारा ये अपनी पूर्ण सामर्थ्य विकसित कर सकें।



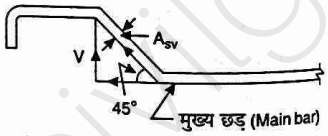
चित्र 4.14—नत छड़ों द्वारा कर्तन प्रबलन (Shear Reinforcement by Inclined Bars)

4.5-1. नत छड़ों द्वारा प्रतिरोधित कर्तन बल—यदि नत छड़ का क्षेत्रफल A_{sv} तथा इस्पात में अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल σ_{sv} हो तो—

नत छड़ में कुल बल = क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$$V = A_{sv} \times \sigma_{sv}$$

क्योंकि धरन के किसी भी खण्ड पर कर्तन बल ऊर्ध्व तल पर कार्यरत होता है, अत: नत छड़ में उत्पन्न बल का ऊर्ध्व घटक ही कर्तन का प्रतिरोध करने में प्रभावी होगा।



चित्र 4.15—नत छड़ की प्रभावी कर्तन सामर्थ्य

∴ 45° पर नत छड़ का कर्तन प्रतिरोध = $A_{sv} \times \sigma_{sv} \times \sin 45°$

$$V = A_{sv} \times \sigma_{sv} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$V = 0{\cdot}707\, A_{sv}\, \sigma_{sv} \qquad ...(4.4)$$

जब नत छड़ों की संख्या n है, तब, $V = 0{\cdot}707\, A_{sv}\, \sigma_{sv}\, n$ ...(4.5)

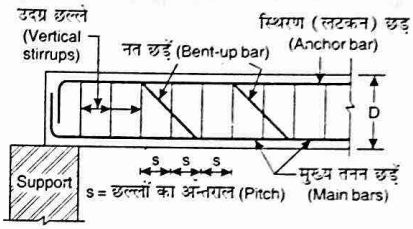
यदि छड़ किसी अन्य कोण, α पर नत है, तो उसकी सामर्थ्य निम्न सूत्र से ज्ञात की जा सकती है—

$$V = A_{sv}\, \sigma_{sv} \sin \alpha \qquad ...(4.6)$$

धरन खण्ड को सन्तुलित रखने के लिये, यदि सम्भव हो तो एक बिन्दु पर एक साथ दो-दो छड़ें (in Pair) ऊपर को मोड़नी चाहियें।

§ 4.6. कर्तन प्रबलन के लिये संयुक्त पद्धति (Combined System For Shear Reinforcement) :

कर्तन प्रतिबल के लिये, ऊपर वर्णित पद्धतियाँ—छल्ला तथा नत छड़ें, यदि अलग-अलग से कर्तन प्रबलन के लिये सक्षम न हो पाये, तो दोनों प्रकार को संयुक्त रूप में प्रयोग किया जाता है। अत्यधिक भारित धरनों में कर्तन प्रबलन के लिये प्राय: यह पद्धति अपनानी पड़ती है। कर्तन प्रबलन की संयुक्त पद्धति चित्र 4.16 में दर्शायी गयी है।



चित्र 4.16—कर्तन प्रबलन की संयुक्त पद्धति (Bent-up Bars alongwith Stirrups for Shear Reinforcement)

इस पद्धति में सर्वप्रथम मुख्य छड़ों को, जो आसानी से बंकन आघूर्ण के वहन से मुक्त हो सकती है, विकर्ण तनन के लिये 45° पर ऊपर को मोड़ा जाता है और उनकी कर्तन सामर्थ्य ज्ञात कर ली जाती है। अब शेष कर्तन बल के लिये, उदग्र छल्लों का अभिकल्पन किया जाता है। अत:

कुल कर्तन बल = [नत छड़ों द्वारा वहन कर्तन बल] + [छल्लों द्वारा वहन कर्तन बल]

$$V = V_b + V_s \qquad ...(4.7)$$

(II) भारतीय मानक कोड (I.S. 456-2000) के अनुसार कर्तन प्रबलन का प्रावधान (PROVISION OF SHEAR REINFORCEMENT)

कंक्रीट खण्डो की कर्तन प्रतिरोधकता व कर्तन में विफलता समझना काफी जटिल है। काफी शोध कार्य के बाद भी धरन की गहरायी में कर्तन प्रतिबलों का वितरण ठीक से परिभाषित करना कठिन पड़ रहा है। I.S. कोड 456-2000 (धारा 40) में कंक्रीट खण्डों के कर्तन अभिकल्पन की निम्न प्रक्रिया सुझाई है।

कंक्रीट अपरुपण (कर्तन) में काफी हद तक टिकाऊ होती है। इसका अपरुपण के प्रति सामर्थ्यवान होना, इसके ग्रेड (मिक्स) पर निर्भर करता है। कंक्रीट की श्रेणी (Grade) जितनी उच्च होगी, इसकी स्वयम् की अपरुपण सामर्थ्य (Shear Strength) भी उतनी ही अधिक होती है। कंक्रीट मे इस्पात का प्रबलन देने पर, इसकी अपरुपण सामार्थ्य (Shear Strength) मे बढोत्तरी होती है। जब धरन खण्ड अपनी अपरुपण क्षमता से अधिक अपरुपण-बल झेलता है, तब ही इसमें **अलग** से प्रबलन इस्पात (Shear Reinforcement) दिया जाता है। I.S. कोड ने **बगैर अपरुपण प्रबलन दिये**, प्रबलित कंक्रीट खण्डों की (जिनमें तनन प्रबलन डाला गया है) स्वयम् के लिये अनुज्ञेय अपरुपण प्रतिबल (Permissible Shear Stress) के मान सुझाये हैं। ये मान सारणी 4.1 मे दिये गये है। जब प्रबलित-खण्ड मे नामन कर्तन प्रतिबल, इन कर्तन प्रतिबलों से बढ़ते हैं, तभी खण्ड में **अलग** से अपरुपण प्रबलन (Shear Reinforcement) डालना होता है।

§ 4.7. अपरुपण सामर्थ्य (Shear Strength) :

4.7-1. नामन अपरुपण प्रतिबल, τ_v (Nominal Shear Stress)—समान गहराई वाले धरनों के लिये नामन अपरुपण प्रतिबल निम्न सूत्र से ज्ञात किये जायेंगें—

$$\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} \text{ N/mm}^2 \qquad ...(4.8)$$

यहाँ τ_v = नामन अपरुपण प्रतिबल N-m/n^2 में,

V_u = अभिकल्प (Factored) भारों के कारण अपरुपण बल, N में

b = धरन (अथवा वैब) खण्ड की चौड़ाई, mm में,

d = धरन खण्ड की प्रभावी गहराई, mm में

4.7-2. कंक्रीट धरनों की अभिकल्प अपरुपण सामर्थ्य, τ_c (Design Shear Strength of Concrete Beams)—प्रबलित कंक्रीट धरनों की अभिकल्प अपरुपण सामर्थ्य (बगैर अपरुपण प्रबलन—Without Shear Reinforcement—डाले) **कंक्रीट की श्रेणी एवं तनन इस्पात के प्रतिशत के आधार पर आँकी जाती हैं।** अभिकल्प अपरुपण प्रतिबल (τ_c) सारणी 4.1 में दिये में दिये गये हैं। नामन अपरुपण प्रतिबल (τ_v) जब सारणी 4.1 में उल्लिखित मान (τ_c) से बढ़ते हैं, **तभी धरनों में अपरुपण प्रबलन देना आवश्यक है।**

सारणी 4.1–कंक्रीट (धरनों) के लिये अभिकल्प अपरुपण प्रतिबल, τ_c N/mm^2 में (Design Shear Strength of Concrete) (Table–19 I.S. Code)

तनन इस्पात का प्रतिशत $p_t = \frac{100\,A_{st}}{b \times d}$	अभिकल्प अपरुपण प्रतिबल, τ_c N/mm^2					
	कंक्रीट के ग्रेड (Grades)					
	M–15	M–20	M–25	M–30	M–35	M–40 तथा उच्च
≤ 0·15	0·28	0·28	0·29	0·29	0·29	0·30
0·25	0·35	0·36	0·36	0·37	0·37	0·38
0·50	0·46	0·48	0·49	0·50	0·50	0·51
0·75	0·54	0·56	0·57	0·59	0·59	0·60
1·00	0·60	0·62	0·64	0·66	0·67	0·68
1·25	0·64	0·67	0·70	0·71	0·73	0·74
1·50	0·68	0·72	0·74	0·76	0·78	0·79
1·75	0·71	0·75	0·78	0·80	0·82	0·84
2·00	0·71	0·79	0·82	0·84	0.86	0·88
2·25	0·71	0·81	0·85	0·88	0·90	0·92
2·50	0·71	0·82	0·88	0·91	0·93	0·95
2·75	0·71	0·82	0·90	0·94	0·96	0·98
3·00 (तथा अधिक)	0·71	0·82	0·92	0·96	0·99	1·01

टिप्पणी—A_{st} अनुदैर्ध्य तनन प्रबलन का क्षेत्रफल है। यह इस्पात विचाराधीन काट (Section) से आगे एवं प्रभावी गहराई (d) तक अवश्य सतत रहना चाहिये, परन्तु आलम्बों पर तनन इस्पात का वास्तविक क्षेत्रफल लिया जाता है।

4.7-3. कंक्रीट ठोस स्लैब के लिये अभिकल्प अपरुपण प्रतिबल, $k\,\tau_c$ (Permissible Design Shear Stress for Concrete Solid Slabs)—प्रबलित कंक्रीट ठोस स्लैब के लिये अभिकल्प अपरुपण प्रतिबल सारणी 4.1 में दिये गये अपरुपण प्रतिबल (τ_c) को गुणक k से गुना करके प्राप्त किये जा सकते हैं, अर्थात् ठोस स्लैब की अभिकल्प अपरुपण सामर्थ्य $\tau_{c1} = k\,\tau_c$ N/mm^2। गुणक k के मान सारणी 4.2 में दिये गये हैं—

सारणी 4.2–k का मान (स्लैब के लिये) (For Concrete Solid Slabs)

स्लैब की कुल मोटाई	150 mm तक	175 mm	200 mm	225 mm	250 mm	275 mm	300 mm या अधिक
k का मान	1·30	1·25	1·20	1·15	1·10	1·05	1·0

टिप्पणी—उपरोक्त मान चपटी स्लैब (Flat Slabs) पर लागू नहीं होंगे।

4.7-4. अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल, $\tau_{c\,max}$ (Maximum Permissible Shear Stress in R.C Beams)— अपरुपण प्रबलन डालने के उपरान्त भी, प्रबलित कंक्रीट धरनों में अपरुपण प्रतिबल सारणी 4.3 में दिये गये **अधिकतम अनुज्ञेय मान से बढ़ने नहीं चाहिये।** यदि धरन खण्ड में अपरुपण के मान सारणी से अधिक ($\tau_v > \tau_{c\,max.}$) हैं, तब खण्ड-माप ($b \times d$) में **परिवर्तन** (Redesign) करना चाहि

सारणी 4.3–कंक्रीट धरनों के लिये अधिकतम अनुज्ञेय अपरुपण प्रतिबल, $\tau_{c\,max}$ (Max: allowable shear stress in Concrete Beams) (Table 20 of I.S. 456)

कंक्रीट का ग्रेड	M–15	M–20	M–25	M–30	M–35	M–40 तथा उच्च
$\tau_{c\,max}$ N/mm^2	2·5	2·8	3·1	3·5	3·7	4·0

टिप्पणी—ठोस स्लैब के लिये नामन अपरुपण प्रतिबल सारणी 4.3 के आधे से अधिक नहीं होंगे।

4.7-5. न्यूनतम अपरुपण प्रबलन (Minimum Shear Reinforcement)—यदि धरन खण्ड में नामन (Nominal) अपरुपण प्रतिबल τ_v का मान, कंक्रीट के अभिकल्प अपरुपण प्रतिबल τ_c से **कम** है अर्थात् $\tau_v < \tau_c$, तब अपरुपण प्रबलन देना आवश्यक नहीं है, फिर भी सावधानी बनाये रखने के लिए **धरन में न्यूनतम अपरुपण प्रबलन देना चाहिये।** यह प्रबलन उदग्र छल्लों (Vertical Stirrups) के रूप में डाला जा सकता है। छल्लों का अन्तराल (Spacings) निम्न सूत्र से ज्ञात किया जायेगा (धारा 26.5.1-6)

§ 4.7. अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength) :

4.7-1. नामन अपरूपण प्रतिबल, τ_v (Nominal Shear Stress)—समान गहराई वाले धरनों के लिये नामन अपरूपण प्रतिबल निम्न सूत्र से ज्ञात किये जायेंगे—

$$\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} \text{ N/mm}^2 \qquad ...(4.8)$$

यहाँ τ_v = नामन अपरूपण प्रतिबल N-m/m^2 में,

V_u = अभिकल्प (Factored) भारों के कारण अपरूपण बल, N में

b = धरन (अथवा वैब) खण्ड की चौड़ाई, mm में,

d = धरन खण्ड की प्रभावी गहराई, mm में

4.7-2. कंक्रीट धरनों की अभिकल्प अपरूपण सामर्थ्य, τ_c (Design Shear Strength of Concrete Beams)—प्रबलित कंक्रीट धरनों की अभिकल्प अपरूपण सामर्थ्य (बगैर अपरूपण प्रबलन—Without Shear Reinforcement—डाले) **कंक्रीट की श्रेणी एवं तनन इस्पात के प्रतिशत के आधार पर आँकी जाती हैं।** अभिकल्प अपरूपण प्रतिबल (τ_c) सारणी 4.1 में दिये में दिये गये हैं। नामन अपरूपण प्रतिबल (τ_v) जब सारणी 4.1 में उल्लिखित मान (τ_c) से बढ़ते हैं, **तभी धरनों में अपरूपण प्रबलन देना आवश्यक है।**

सारणी 4.1–कंक्रीट (धरनों) के लिये अभिकल्प अपरूपण प्रतिबल, τ_c N/mm^2 में
(Design Shear Strength of Concrete) (Table–19 I.S. Code)

तनन इस्पात का प्रतिशत $p_t = \frac{100 A_{st}}{b \times d}$	अभिकल्प अपरूपण प्रतिबल, τ_c N/mm^2					
	कंक्रीट के ग्रेड (Grades)					
	M–15	M–20	M–25	M–30	M–35	M–40 तथा उच्च
≤ 0·15	0·28	0·28	0·29	0·29	0·29	0·30
0·25	0·35	0·36	0·36	0·37	0·37	0·38
0·50	0·46	0·48	0·49	0·50	0·50	0·51
0·75	0·54	0·56	0·57	0·59	0·59	0·60
1·00	0·60	0·62	0·64	0·66	0·67	0·68
1·25	0·64	0·67	0·70	0·71	0·73	0·74
1·50	0·68	0·72	0·74	0·76	0·78	0·79
1·75	0·71	0·75	0·78	0·80	0·82	0·84
2·00	0·71	0·79	0·82	0·84	0.86	0·88
2·25	0·71	0·81	0·85	0·88	0·90	0·92
2·50	0·71	0·82	0·88	0·91	0·93	0·95
2·75	0·71	0·82	0·90	0·94	0·96	0·98
3·00 (तथा अधिक)	0·71	0·82	0·92	0·96	0·99	1·01

टिप्पणी—A_{st} अनुदैर्ध्य तनन प्रबलन का क्षेत्रफल है। यह इस्पात विचाराधीन काट (Section) से आगे एक प्रभावी गहराई (d) तक अवश्य सतत रहना चाहिये, परन्तु आलम्बों पर तनन इस्पात का वास्तविक क्षेत्रफल लिया जाता है।

4.7-3. कंक्रीट ठोस स्लैब के लिये अभिकल्प अपरूपण प्रतिबल, $k\,\tau_c$ (Permissible Design Shear Stress for Concrete Solid Slabs)—प्रबलित कंक्रीट ठोस स्लैब के लिये अभिकल्प अपरूपण प्रतिबल सारणी 4.1 में दिये गये अपरूपण प्रतिबल (τ_c) को गुणक k से गुना करके प्राप्त किये जा सकते हैं, अर्थात् ठोस स्लैब की अभिकल्प अपरूपण सामर्थ्य $\tau_{c1} = k\,\tau_c$ N/mm^2। गुणक k के मान सारणी 4.2 में दिये गये हैं—

सारणी 4.2–k का मान (स्लैब के लिये) (For Concrete Solid Slabs)

स्लैब की कुल मोटाई	150 mm तक	175 mm	200 mm	225 mm	250 mm	275 mm	300 mm या अधिक
k का मान	1·30	1·25	1·20	1·15	1·10	1·05	1·0

टिप्पणी—उपरोक्त मान चपटी स्लैब (Flat Slabs) पर लागू नहीं होंगे।

4.7-4. अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल, $\tau_{c\,max}$ (Maximum Permissible Shear Stress in R.C Beams)— अपरूपण प्रबलन डालने के उपरान्त भी, प्रबलित कंक्रीट धरनों में अपरूपण प्रतिबल सारणी 4.3 में दिये गये **अधिकतम अनुज्ञेय मान से बढ़ने नहीं चाहिये।** यदि धरन खण्ड में अपरूपण के मान सारणी से अधिक ($\tau_v > \tau_{c\,max.}$) हैं, तब खण्ड-माप ($b \times d$) में **परिवर्तन** (Redesign) करना चाहि

सारणी 4.3–कंक्रीट धरनों के लिये अधिकतम अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल, $\tau_{c\,max}$
(Max: allowable shear stress in Concrete Beams)
(Table 20 of I.S. 456)

कंक्रीट का ग्रेड	M–15	M–20	M–25	M–30	M–35	M–40 तथा उच्च
$\tau_{c\,max}$ N/mm^2	2·5	2·8	3·1	3·5	3·7	4·0

टिप्पणी—ठोस स्लैब के लिये नामन अपरूपण प्रतिबल सारणी 4.3 के आधे से अधिक नहीं होंगे।

4.7-5. न्यूनतम अपरूपण प्रबलन (Minimum Shear Reinforcement)—यदि धरन खण्ड में नामन (Nominal) अपरूपण प्रतिबल τ_v का मान, कंक्रीट के अभिकल्प अपरूपण प्रतिबल τ_c से **कम** है अर्थात् $\tau_v < \tau_c$, तब अपरूपण प्रबलन देना आवश्यक नहीं है, फिर भी सावधानी बनाये रखने के लिए **धरन में न्यूनतम अपरूपण प्रबलन देना चाहिये।** यह प्रबलन उदग्र छल्लों (Vertical Stirrups) के रूप में डाला जा सकता है। छल्लों का अन्तराल (Spacings) निम्न सूत्र से ज्ञात किया जायेगा (धारा 26.5.1-6)

$$\frac{A_{sv}}{b s_v} = \frac{0{\cdot}4}{0{\cdot}87 f_y}$$

अथवा $$s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y \times A_{sv}}{0{\cdot}4 b} \quad ...(4.9)$$

यहाँ— s_v = कर्तन छल्लों का धरन की लम्बाई की दिशा में अन्तराल, mm में,

A_{sv} = एक छल्ले की (समस्त) टांगों का प्रभावी क्षेत्रफल mm^2 में,

f_y = अपरुपण इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य
(यह 415 N/mm^2 से अधिक नहीं ली जायेगी)

b = धरन खण्ड की चौड़ाई, mm में,

टिप्पणी— कम महत्व के खण्डो मे, यदि $\tau_v < \frac{1}{2}\tau_c$ है, तब न्यूनतम अपरुपण प्रबलन छोड़ा जा सकता है। लिन्टल आदि मे भी कर्तन प्रबलन छोड़ा जा सकता है।

4.7-6. छल्लों का अधिकतम अन्तराल (Maximum Spacing)—I.S. कोड़ 456 (धारा 26.5.1.5) के अनुसार ऊर्ध्व छल्लो (Vertical Stirrups) की आपसी दूरी $0.75d$ या 300 mm (जो भी न्यूनतम हो) से अधिक नही होगी।

§ 4.8. अपरुपण प्रबलन का अभिकल्पन (Design of Shear Reinforcement):

(1) जब कंक्रीट खण्ड का नामन अपरुपण प्रतिबल τ_v, सारणी 4.1 से ज्ञात किये गये अभिकल्प अपरुपण प्रतिबल τ_c से अधिक है, परन्तु $\tau_{c\,max}$ (सारणी 4.3) से कम है, अर्थात् $\tau_v > \tau_c$ परन्तु $\tau_v < \tau_{c\,max}$, **तब खण्ड में अपरुपण प्रबलन देना होगा।**
ध नों में अपरुपण प्रबलन निम्न प्रकार से दिया जाता है–
(i, उदग्र छल्लो के रूप में (By Vertical Stirrups)
(ii) तनन छड़ो को ऊपर को नत करके (By Bent-up Tension Bars)
(iii) छल्लो तथा नत छड़ों, दोनों द्वारा (By Both, Stirrups and Bent-up Bars)

(2) जब नत छड़ों द्वारा कर्तन प्रबलन दिया जाता है, तो नत छड़ों का योगदान कुल (शुद्ध) अपरुपण बल का आधा (50%) से अधिक नहीं होगा (I.S. code 456–2000–40·4)। शेष 50% के लिये ऊर्ध्व छल्ले (Stirrups) अभिकल्पित किये जायेंगे। **धरन में अपरुपण प्रबलन डालने की यह मुख्य शर्त है।**

(3) शुद्ध अपरुपण बल (Net Shear), जिसके लिये अपरुपण प्रबलन देना है—

$$V_{us} = V_u - (\tau_c b d) \quad ...(4.10)$$

यहाँ V_{us} = अपरुपण प्रबलन के लिये शुद्ध (Net) अपरुपण बल,
V_u = अभिकल्प भार के कारण उत्पन्न अपरुपण बल,
τ_c = कंक्रीट-खण्ड की स्वयम् की अपरुपण प्रतिरोधकता (Shear Resistance),
b = खण्ड की चौड़ाई,
d = खण्ड की प्रभावी गहरायी

(i) उदग्र छल्लों के लिये अपरूपण बल, $V_{us} = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{s_v}$ ...(4.11)

(ii) नत छड़ों के लिये अपरूपण बल,
(क) जब एकल छड़ अथवा अनेक छड़ें **एक काट** (Section) पर नत की गयी हो—

$$V_{us} = 0{\cdot}87 f_y A_{sv} \sin\alpha \quad ...(4.12)$$

(ख) जब अनेक छड़ें, **विभिन्न काट** (Sections) पर नत की गयी हो—

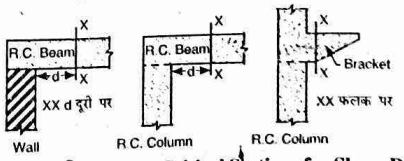
$$V_{us} = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{s_v}(\sin\alpha + \cos\alpha) \quad ...(4.13)$$

(iii) धरन के लिये अपरुपण प्रबलन देते समय, पहले नत-छड़ों (Bent up Bars) के योगदान पर विचार करके, शेष अपरुपण-बल के लिये ऊर्ध्व छल्लो (Vertical Stirrups) का प्रावधान करना होगा।

उपरोक्त में V_{us} = शुद्ध अपरुपण बल (Net Shear Force), जिसके लिये अपरुपण प्रबलन देना है।
τ_v = नामन कर्तन प्रतिबल
τ_c = कंक्रीट की अभिकल्प अपरुपण सामर्थ्य (प्रतिबल)
A_{sv} = छल्ले की (समस्त) टांगों अथवा नत छड़ों का क्षेत्रफल
s_v = छल्लों अथवा नत छड़ों का अन्तराल
b = धरन खण्ड की चौड़ाई
d = धरन खण्ड की प्रभावी गहराई
f_y = इस्पात की अभिक्षणिक सामर्थ्य। इसका मान **415 N/mm^2 से अधिक नहीं** लिया जायेगा।
α = नत छड़ों का नत-कोण। यह 45° से कम नही होगा। ये छड़ें धरन-अक्ष के 60° तक नत की जा सकती हैं।

(4) **ऊर्ध्व छल्लों का अधिकतम अन्तराल**—यह $0{\cdot}75\,d$ अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होगा। नत छल्लों के लिये अधिकतम अन्तराल 'd' अथवा 450 mm (जो भी न्यूनतम होगा) लिया जायेगा। यह 'd' खण्ड की प्रभावी गहरायी है।

(5) **आलम्बों के निकट अपरुपण प्रबलन**—सामान्य भारित धरनों में आलम्बो से d की दूरी पर, खण्ड की अपरुपण सामर्थ्य ज्ञात करके, यदि आवश्यक हो आलम्बों के निकट अतिरिक्त अपरुपण इस्पात का प्रावधान करें। अपरुपण अभिकल्प के लिये क्रान्तिक-काट (Critical Section) आलम्ब की भीतरी फलक से 'd' दूरी पर लिया जायेगा। क्रान्तिक-काट पर अपरुपण-बल अधिकतम माना जाता है (कोड धारा 22.6)। क्रान्तिक काट चित्र 4.17 में दर्शाये गये हैं।



चित्र 4.17—क्रान्तिक-काट (Critical Sections for Shear Design)

§ 4.9. अपरूपण प्रबलन के अभिकल्प-चरण (Steps for Design of Shear Reinforcement) :

आवश्यक चरण निम्नलिखित है—

(1) दिये गये भारों के आधार पर, धरन के क्रान्तिक-काट पर कुल अपरूपण बल (V_u) की गणना करें।

(2) खण्ड की नामन (Nominal) अपरूपण प्रतिबल (τ_v) की गणना करें— $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d}$

(3) कंक्रीट की श्रेणी और खण्ड में दिये गये प्रबलन इस्पात के प्रतिशत $\left(p_t = \dfrac{100\,A_{st}}{b \times d}\right)$ के आधार पर, कंक्रीट की स्वयम् की अपरूपण सामर्थ्य (τ_c) सारणी 4.1 से ज्ञात करें। τ_c का अधिकतम मान ($\tau_{c\,max}$) भी सारणी 4.3 से पढ़ें।

(4) τ_v तथा $\tau_{c\,max}$ की तुलना करें। यदि $\tau_v > \tau_{c\,max}$ है, खण्ड का पुन: डिजाइन करें।

(5) यदि $\tau_v < \tau_c$, तब ऊर्ध्व छल्लों के रूप में नामन अपरूपण प्रबलन (Nominal Shear Reinforcement) डालें।

छल्लों का अन्तराल (Spacing), $s_v = \dfrac{0{\cdot}87\,f_y \times A_{sv}}{0{\cdot}4\,b}$ ...(सूत्र)

(6) यदि $\tau_v > \tau_c$, परन्तु $\tau_{c\,max}$ से **अधिक नहीं** है, खण्ड में अपरूपण प्रबलन देना होगा। इसके लिये निम्न प्रक्रिया अपनायें—

(i) अपरूपण बल, जिसके लिये अपरूपण प्रबलन डाला जायेगा अर्थात् शुद्ध अपरूपण बल (Net Shear)— $V_{us} = V_u - \tau\, b\, d$

(ii) V_{us} के लिये ऊर्ध्व छल्ले या नत छड़ों अथवा **दोनों** डाली जायेंगी। जब अपरूपण के लिये छड़े नत की गयी है, तब नत छड़ें कुल शुद्ध अपरूपण बल (Net Shear) का आधा (50%) ही ले सकेंगी।

(iii) छल्लों का अन्तराल $s_v = \dfrac{0{\cdot}87\,f_y\,A_{sv}\,d}{V_{us}}$ ...(सूत्र)

(iv) यदि तनन छड़ें ऊपर को मोड़ी (Bent-up) हैं, नत छड़ की अपरूपण सामर्थ्य, $V'_{us} = 0{\cdot}87\,f_y\,A_{sv}\sin\alpha$ परन्तु $V'_{us} \geq \dfrac{V_{us}}{2}$ का पालन करना होगा।

V'_{us} निर्धारित करने के बाद, शेष अपरूपण बल ($V_{us} - V'_{us}$) के लिये उदग्र छल्ले डालें।

(7) सभी छल्लों का अन्तराल $0{\cdot}75\,d$ अथवा 300 mm, जो भी **न्यूनतम** है, से **अधिक नहीं** होगा।

(8) धरन की जिस लम्बाई में अपरूपण-छल्लों की आवश्यकता नहीं है, उस लम्बाई में नाम-मात्र के ऊर्ध्व छल्ले डालें, जिनका अन्तराल (Spacing) उपरोक्त (7) से नियन्त्रित होगा।

(9) धरन-खण्ड का परिच्छेद देकर, उसमें अपरूपण प्रबलन (ऊर्ध्व छल्ले/नत छड़ें) की स्थिति स्पष्ट करें।

(10) अपरूपण अभिकल्पन (Shear Design) डिजाइन-ऐड (Design Aid) द्वारा भी किया जा सकता है (देखें अध्याय 13)।

उदाहरण 4.1 : 200 mm × 400 mm (प्रभावी गहराई) वाले एक शुन्द्धालम्बित एकल प्रबलित कंक्रीट धरन पर 20 kN का अभिकल्प (Factored) कर्तन बल आ रहा है। धरन खण्ड में उत्पन्न नामन (Nominal) कर्तन प्रतिबल ज्ञात कीजिये।

हल : धरन खण्ड की चौड़ाई, $b = 200$ mm

प्रभावी गहराई, $d = 400$ mm

कर्तन बल, $V_u = 20\text{ kN} = 2 \times 10^4\text{ N}$

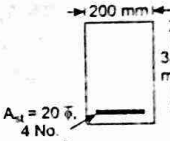
धरन में अधिकतम नामन कर्तन प्रतिबल—

$$\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{20000}{200 \times 400} = \mathbf{0{\cdot}25\ N/mm^2}$$ **उत्तर**

उदाहरण 4.2 : एक आर० सी० सी० कंक्रीट धरन में नामन कर्तन प्रतिबल तथा कंक्रीट की कर्तन सामर्थ्य ज्ञात करें, जबकि धरन की चौड़ाई 200 mm और तनन इस्पात के केन्द्रक तक गहराई 350 mm है। यह धरन 5 मी० के प्रभावी पाट पर रखी गयी है और इस पर 12·5 kN/m का समवितरित अभिकल्प (Factored) भार (धरन के भार सहित) लगा है। कंक्रीट का ग्रेड M-20 और इस्पात Fe 415 मान लें। धरन में 20 mm व्यास की 4 छड़ें तनन इस्पात के रूप में डाली गयी हैं। *[B.T.E.]*

हल : धरन का पाट = 5m

समवितरित फैक्टर भार = 12500 N/m



चित्र 4.18

$$\text{अधिकतम कर्तन बल} = \frac{wl}{2} = \frac{12500 \times 5}{2} = 31250\text{ N}$$

धरन में नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d}$ ...(सूत्र)

$$= \frac{31250}{200 \times 350}$$

$$\therefore \quad \tau_v = \mathbf{0{\cdot}45\ N/mm^2}$$ **उत्तर**

यह मान 2·8 N/mm² (M-20 ग्रेड की कंक्रीट के लिये अधिकतम अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल सारणी 4.3) से कम है, अत: धरन खण्ड बढ़ाने की आवश्यकता नहीं है।

कंक्रीट खण्ड की कर्तन सामर्थ्य, τ_c —

प्रबलन इस्पात, $A_{st} = \frac{\pi d^2}{4} \times 4 = \frac{\pi \times 20^2 \times 4}{4} = 1257 \text{ mm}^2$

इस्पात का प्रतिशत, $P_t = \frac{A_{st} \times 100}{b \times d} = \frac{1257 \times 100}{200 \times 350} = 1{\cdot}8\%$

सारणी 4.1 से M-20 ग्रेड की कंक्रीट और 1·8% इस्पात के लिये, खण्ड की कर्तन सामर्थ्य, $\tau_c = 0{\cdot}76 \text{ N/mm}^2$।

$\because \tau_v < \tau_c$, अर्थात् $0{\cdot}45 < 0{\cdot}76$, अत: कर्तन प्रबलन आवश्यक नहीं है, परन्तु धरन में न्यूनतम कर्तन प्रबलन देना होगा।

न्यूनतम (नाममात्र) कर्तन प्रबलन का अन्तराल—

$$s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv}}{0{\cdot}4 b}$$

यहाँ A_{sv}, 8 mm व्यास की दो टाँगों वाले छल्ले का क्षेत्रफल $= 2 \times 50 = 100 \text{ mm}^2$

अत: $s_v = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 100}{0{\cdot}4 \times 200} = 451 \text{ mm}$

छल्लों का अन्तराल (Spacings) निम्न का न्यूनतम लिया जाता है—

(i) $0{\cdot}75 d = 0{\cdot}75 \times 350 = 262 \text{ mm}$

(ii) 300 mm अथवा (iii) 451 mm

उपरोक्त में न्यूनतम मान 262 mm है। अत: 2-टाँग वाले, 8 mm व्यास के छल्ले (Stirrups) 260 mm (say) की दूरी पर डाले जायेंगे।

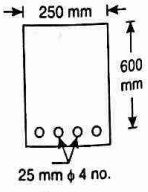
उदाहरण 4.3 : एक शुद्धालम्बित प्रबलित कंक्रीट धरन खण्ड का माप 250 mm × 600 mm (प्रभावी) है। इसमें 25 mm व्यास की 4 छड़ें तनन क्षेत्र में डाली गयी हैं, जिनमें 2 छड़ें आलम्ब से एक मी० की दूरी पर ऊपर को 45° पर मोड़ दी गयी हैं। कंक्रीट-खण्ड की कर्तन सामर्थ्य तथा अधिकतम अनुज्ञेय कर्तन सामर्थ्य ज्ञात कीजिये, यदि (i) M-15 ग्रेड की कंक्रीट (ii) M-20 ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग की गयी हो।

हल : (i) प्रश्नानुसार—

धरन की चौड़ाई, $b = 250 \text{ mm}$

धरन की प्रभावी गहराई, $d = 600 \text{ mm}$

आलम्बों के निकट तनन इस्पात का क्षेत्रफल, जबकि दो तनन छड़ों को ऊपर को नत कर दिया गया है $= 2 \times 491 = 982 \text{ mm}^2$



चित्र 4.19

(ii) खण्ड में तनन इस्पात का प्रतिशत—

$$p_t = \frac{100 \times A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 982}{250 \times 600} = 0{\cdot}66\%$$

(iii) M-15 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन सामर्थ्य (सारणी 4.1 से)—

$\tau_c = 0{\cdot}51 \text{ N/mm}^2$ **उत्तर**

(iv) M-20 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन सामर्थ्य (सारणी 3.1 से)

$\tau_c = 0{\cdot}53 \text{ N/mm}^2$ **उत्तर**

(v) कंक्रीट खण्ड की अधिकतम अनुज्ञेय कर्तन सामर्थ्य, M-15 तथा M-20 ग्रेड की कंक्रीट के लिये (सारणी 4.3)—

M–15, $\tau_{c\,max}$ 2·5 N/mm²

M–20, $\tau_{c\,max}$ 2·8 N/mm² **उत्तर**

उदाहरण 4.4 : एक प्रबलित कंक्रीट धरन में 20 mm ϕ की 4 छड़ें तनन इस्पात के रूप में प्रयोग की गयी हैं, जिसमें 2 छड़ों को विकर्ण तनन के लिये आलम्बों के निकट 45° पर ऊपर को नत किया गया है। नत छड़ों का कर्तन प्रतिरोध ज्ञात कीजिये। $f_y = 415 \text{ N/mm}^2$ मान लें।

हल : नत छड़ों की कर्तन सामर्थ्य— $V_{us} = 0{\cdot}87 f_y A_{sv} \sin \alpha$ ...(सूत्र)

$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 314 \times 0{\cdot}707$

$= 160305 \text{ N}$ **उत्तर**

उदाहरण 4.5 : एक प्रबलित कंक्रीट धरन की प्रभावी गहराई 500 mm है। धरन पर 10 टन का अभिकल्प (Factored) कर्तन बल आ रहा है और इसमें 10 मिमी० व्यास के दो-टाँगों वाले स्टीरप्स लगे हैं। स्टीरप्स में प्रतिबल ज्ञात करें यदि उनकी केन्द्रीय दूरी 100 mm है। [B.T.E.]

हल : (i) प्रश्नानुसार—

कर्तन बल, $V_{us} = 10 \times 1000 = 1000 \text{ kg} = 10 \times 10^4 \text{ N}$

धरन की प्रभावी गहराई, $d = 500 \text{ mm}$

दो-टाँगों वाले, 10 mm व्यास के छल्लों का कुल क्षेत्रफल—

$= 2 \times \frac{\pi}{4} (10)^2 = 158 \text{ mm}^2$

$\therefore$ छल्लों का अन्तराल, $s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} d}{V_{us}}$ ...(सूत्र)

$100 = \frac{0{\cdot}87 f_y \times 158 \times 500}{100000}$

$\therefore \quad f_y = \frac{100 \times 100000}{158 \times 500 \times 0{\cdot}87}$

$= 146 \text{ N/mm}^2$ **उत्तर**

उदाहरण 4.6 : मृदु इस्पात की 10 mm ϕ छड़ों से बने दो-टाँग वाले स्टीरप्स (छल्ले) की एक-दूसरे से दूरी ज्ञात कीजिये, यदि 200 mm × 500 mm (प्रभावी गहराई) वाली आर० सी० सी० धरन पर 70 kN का फैक्टर कर्तन बल आ रहा हो। प्रबलन इस्पात की कर्तन में सामर्थ्य 250 N/mm² मान लें। *[B.T.E.]*

हल : (i) प्रश्नानुसार—

धरन की चौड़ाई, $b = 200$ mm

धरन की प्रभावी गहराई, $d = 500$ mm

फैक्टर कर्तन बल = 70 kN = 70000 N.

(ii) 10 mm व्यास के, दो टाँगों वाले उदग्र छल्लों का कुल क्षेत्रफल

$$= 2 \times 79 = 158 \text{ mm}^2$$

(iii) स्टीरप्स का अन्तराल— $s_v = \dfrac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{V_{us}}$

$$= \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times 158 \times 50}{70000}$$

$$= 245 \text{ mm c/c}$$ **उत्तर**

जाँच— यह अन्तराल $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 500 = 375$ mm अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है), से अधिक नहीं है है, अत: सही है। अत: 10 mm व्यास के दो टांगों वाले छल्लों का अन्तराल 240 mm (say) होगा।

उदाहरण 4.7: चित्र 4.20 में दर्शाये गये एक प्रबलित कंक्रीट धरन की, M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी के इस्पात का प्रयोग करते हुये, L.S.M. द्वारा चरम अपरूपण सामर्थ्य (Ultimate Shear Strength) ज्ञात कीजिए। *[R.T.U.]*

हल: प्रश्नानुसार—

$b = 250$ mm. $d = 530 - 30 = 500$ mm

$A_{st} = 3 \times 314 = 942 \text{ mm}^2$

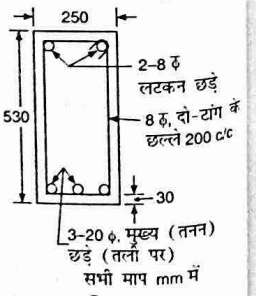
$f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 415 \text{ N/mm}^2$

(i) खण्ड में इस्पात का प्रतिशत,

$$p_t = \frac{A_{st} \times 100}{b \times d}$$

$$= \frac{942 \times 100}{250 \times 500} = 0{\cdot}75\%$$

M-20 ग्रेड की कंक्रीट, $p_t = 0{\cdot}75\%$ के लिये, अभिकल्प अपरूपण प्रतिबल, $\tau_c = 0{\cdot}56 \text{ N/mm}^2$ (सारणी 4.1 से)



चित्र 4.20

धरन-खण्ड की अपरूपण प्रतिरोधकता, $V_c = \tau_c b \times d$

$$= 0{\cdot}56 \times 250 \times 500 = 70000 \text{ N} \quad ...(i)$$

(ii) 8 mm व्यास के 2-टांग वाले छल्ले की अपरूपण प्रतिरोधकता,

$$V_{us} = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{s_v}$$

यहाँ $A_{sv} = 2 \times 50 = 100 \text{ mm}^2$ (दो टांग के छल्ले का कुल क्षेत्रफल)

s_v = छल्लों का अन्तराल = 200 mm (प्रश्न में दे रखा है)

$$\therefore \quad V_{us} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 100 \times 500}{200} = 90263 \text{ N} \quad ...(ii)$$

(iii) धरन की चरम अपरूपण सामर्थ्य (Limiting Shear Force)—

$$V_u = (i) + (ii) = 70000 + 90263$$

$$= 160263 \text{ N} = \mathbf{160 \text{ kN}}$$ **उत्तर**

उदाहरण 4.8 : एक कंक्रीट धरन का माप 200 mm × 400 mm (प्रभावी गहराई) है। इसमें 16 mm व्यास की 4 छड़ें तनन प्रबलन के रूप में डाली गई हैं। धरन के आलम्बों पर 40 kN का अभिकल्प (Factored) अपरुपण बल कार्यरत है। धरन की सीमांत अवस्था विधि से अपरुपण में जाँच कीजिये और आवश्यक हो तो अपरुपण प्रबलन का अभिकल्पन करें। धरन के लिये M–15 ग्रेड की कंक्रीट और मृदु इस्पात Fe 250 का प्रयोग किया गया है।

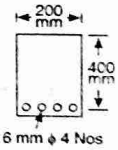
हल : (i) प्रश्नानुसार—

अभिकल्प (Factored) कर्तन बल $V_u = 40$ kN

प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल $= 4 \times 201 = 804 \text{ mm}^2$

धरन की चौड़ाई, $b = 200$ mm

धरन की प्रभावी गहराई, $d = 400$ mm



चित्र 4.21

(ii) नामन अपरूपण प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d} = \dfrac{40 \times 1000}{200 \times 400} = 0{\cdot}50 \text{ N/mm}^2$

(iii) खण्ड में इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \dfrac{A_{st} \times 100}{b \times d} = \dfrac{804 \times 100}{200 \times 400} = 1{\cdot}01\%$

(iv) M-15 कंक्रीट तथा 1·01% प्रबलन इस्पात वाली कंक्रीट-खण्ड को सारणी 4.1 से अभिकल्प अपरूपण सामर्थ्य, $\tau_c = 0{\cdot}60 \text{ N/mm}^2$ तथा सारणी 4.3 से अधिकतम अनुमत अपरूपण प्रतिबल, $\tau_{c\,max} = 2{\cdot}5 \text{ N/mm}^2$। चूंकि $\tau_v < \tau_{c\,max}$, अत: खण्ड-माप बढ़ाने की आवश्यकता नहीं है।

(v) चूँकि $\tau_c > \tau_v$, खण्ड अपरुपण में सुरक्षित है परन्तु नाम मात्र का अपरुपण प्रबलन देना उचित होगा। यह प्रबलन उदग्र छल्लो के रूप मे दिया जायेगा।

civilguru.net

(vi) 8 mm व्यास के दो टांगो वाले छल्ले का क्षेत्रफल, $A_{sv} = 2 \times 50 = 100 \text{ mm}^2$

$$\therefore \text{ नामन छल्लों का अन्तराल, } s_v = \frac{0{\cdot}87 \times A_{sv} \times f_y}{0{\cdot}4 \times b} = \frac{0{\cdot}87 \times 2 \times 50 \times 250}{0{\cdot}4 \times 200}$$

$$= 272 \text{ mm c/c say } 270 \text{ mm c/c}$$

(vii) छल्लो का अन्तराल $0{\cdot}75\,d$ अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है) से **अधिक** नहीं होगा, अर्थात् $0{\cdot}75 \times 400 = 300$ mm या 300 mm । अत: 8 mm व्यास के दो टांगों वाले छल्ले, 270 mm c/c की दूरी पर डाले जायेंगे। **उत्तर**

उदाहरण 4.9 : एक प्रबलित कंक्रीट धरन का परिच्छेद 200 mm × 450 mm (प्रभावी) गहराई है। इस पर 50 kN का अपरुपण बल लग रहा है। धरन में 16 mm ϕ की 4 छड़ें तनन प्रबलन के रूप में डाली गई हैं। धरन के लिये M–20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का इस्पात प्रयोग किया गया है। खण्ड की सीमांत अवस्था विधि (LSM) के अनुसार अपरुपण में जाँच कीजिये।

हल : (i) प्रश्नानुसार धरन पर कार्यरत अपरुपण बल = 50 kN

अभिकल्प (Factored) अपरुपण बल, आंशिक सुरक्षा गुणांक $\gamma_f = 1{\cdot}5$ अपनाते हुये,

$$V_u = 1{\cdot}5 \times 50 = 75 \text{ kN} = 75000 \text{ N}$$

धरन खण्ड की चौड़ाई = 200 mm

धरन खण्ड की गहराई = 450 mm (प्रभावी)

तनन इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{st} = 4 \times 201 = 804 \text{ mm}^2$

(ii) नामन अपरुपण प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d} = \dfrac{75 \times 1000}{200 \times 450} = 0{\cdot}84 \text{ N/mm}^2$

(iii) धरन खण्ड में तनन इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \dfrac{100\,A_{st}}{b \times d} = \dfrac{100 \times 804}{200 \times 450} = 0{\cdot}89\%$

सारणी 4.1 से M–20 ग्रेड की कंक्रीट और 0·89% इस्पात के लिये, $\tau_c = 0{\cdot}60 \text{ N/mm}^2$

कंक्रीट के लिये अनुमत अधिकतम कर्तन प्रतिबल, $\tau_{c\,max} = 2{\cdot}8 \text{ N/mm}^2$ (सारणी 4.3 से)

(iv) चूँकि $\tau_v < \tau_{c\,max}$, परन्तु $> \tau_c$ अर्थात् $0{\cdot}84 < 2{\cdot}8$, परन्तु 0·60 से अधिक है, अत: धरन-खण्ड बढ़ाने की आवश्यकता नहीं है, परन्तु इसमें अपरुपण प्रबलन देना आवश्यक है।

(v) **अपरुपण प्रबलन**—कंक्रीट खण्ड की (बगैर अपरुपण प्रबलन के) स्वयम् की अपरुपण सामर्थ्य

$$V_u = \tau_c \times b \times d$$

$$= 0{\cdot}60 \times 200 \times 450 = 54000 \text{ N}$$

शुद्ध अपरुपण बल, जिसके लिये अपरुपण प्रबलन डाला जायेगा—

$$V_{us} = V_u - \tau_c\, b\, d = 75000 - 54000 = 21000 \text{ N}$$

2 टांगों वाले, 8 mm व्यास वाले छल्लों का अन्तराल,

$$s_v = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{sv}\, d}{V_{us}} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 50 \times 450}{21000}$$

$$= 744 \text{ mm}$$

छल्लों का अन्तराल निम्न का **न्यूनतम** लिया जाता है—

(a) $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 450 = 337{\cdot}5$ mm

(b) 300 mm

(c) अपरुपण प्रबलन के आधार पर, अर्थात 774 mm

उपरोक्त में न्यूनतम 300 mm है। अत: 2 टांगों वाले छल्ले 300 mm c/c पर, धरन की पूर्ण लम्बाई में डाले जायेंगे। **उत्तर**

उदाहरण 4.10 : एक 250 mm चौड़ी व 400 mm प्रभावी गहरायी की धरन के आलम्बों पर फैक्टर (Factored) कर्तन बल 95 kN कार्यरत हैं। आलम्बों पर तनन प्रबलन 0·5% दिया गया है, जिसके लिये अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल 0·46 N/mm² है। कंक्रीट के लिये अधिकतम अनुमत कर्तन प्रतिबल 2·5 N/mm² है। धरन के लिये Fe 250 इस्पात के 12 mm ϕ के दो-टाँगों वाले छल्लों का अन्तराल आलम्बों पर तथा मध्य-स्थल पर ज्ञात करें। धरन में M-15 ग्रेड की कंक्रीट तथा Fe 250 ग्रेड का इस्पात डाला गया है। ***[B.T.E.]***

हल : (i) प्रश्नानुसार फैक्टर कर्तन बल, $V_u = 95 \text{ kN} = 95000 \text{ N}$

खण्ड में उत्पन्न कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d} = \dfrac{95 \times 1000}{250 \times 400} = 0{\cdot}95 \text{ N/mm}^2$

0·5% तनन प्रबलन के लिये, अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल, $\tau_c = 0{\cdot}46 \text{ N/mm}^2$

अधिकतम अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल, $\tau_{c\,max} = 2{\cdot}5 \text{ N/mm}^2$

(ii) क्योंकि $\tau_v > \tau_c$ परन्तु $< \tau_{c\,max}$, अर्थात् $0{\cdot}95 > 0{\cdot}46$ परन्तु $< 2{\cdot}5 \text{ N/mm}^2$ अत: धरन खण्ड बढ़ाने की आवश्यकता नहीं है, परन्तु धरन में कर्तन प्रबलन देना होगा।

(iii) कर्तन प्रबलन अतिरिक्त कर्तन बल (Net Shear), (खण्ड की स्वयं की कर्तन सामर्थ्य को घटाकर) के लिये डाला जाता है। अत: कर्तन बल जिसके लिये कर्तन प्रबलन की आवश्यकता है—

$$V_s = V_u - (\tau_c\, b\, d)$$

$$V_s = 95000 - (0{\cdot}46 \times 250 \times 400)$$

$$= 95000 - 46000 = 49000 \text{ N}$$

(iv) धरन में 12 mm ϕ के दो-टाँगों वाले इस्पातीय छल्ले डाले गये हैं। एक छल्ले का क्षेत्रफल, $A_{sv} = 2 \times 113 \times 226 \text{ mm}^2$

$$\text{छल्लों का अन्तराल, } s = \frac{0{\cdot}87\, f_y \times A_{sv} \times d}{V_s} = \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times 226 \times 400}{49000}$$

$$= 401 \text{ mm say } 400 \text{ mm c/c}$$

civilguru.net

यह अन्तराल $0{\cdot}75\,d$ अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होगा अर्थात् $0{\cdot}75 \times 400$ या 300 mm। ऊपर ज्ञात किया गया अन्तराल 400 mm है, अत: आलम्बों के निकट 12 mm ϕ के 2-टाँगो वाले छल्ले 300 mm c/c पर डाले जायेंगे।

(v) पाट के मध्य भाग मे क्योंकि कर्तन बल का मान बहुत कम हो जाता है, अत: इस क्षेत्रफल मे नाम मात्र के छल्ले देना उपयुक्त होगा।

न्यूनतम कर्तन बल के आधार पर छल्लो का अन्तराल—

$$s = \frac{A_{sv} \times 0{\cdot}87 \times f_y}{0{\cdot}4 \times b} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

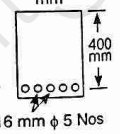
$$= \frac{226 \times 0{\cdot}87 \times 250}{0{\cdot}4 \times 250} = 492 \text{ mm c/c}$$

यह मान $0{\cdot}75\,d$ या 300 mm से अधिक है, अत: धरन के मध्य क्षेत्र में 12 mm ϕ के दो-टाँगों वाले छल्लो का अधिकतम अन्तराल 300 mm c/c लिया जायेगा। **उत्तर**

उदाहरण 4.11 : एक प्रबलित कंक्रीट धरन पर 120 kN का अभिकल्प (Factored) अपरुपण बल लग रहा है। इसका परिच्छेद 250 mm × 400 mm (प्रभावी गहराई) है। धरन में तनन प्रबलन के रूप में 16 mm व्यास की 5 छड़ें डाली गई हैं। अपरुपण प्रबलन के लिये 2 तनन छड़ें व 8 mm व्यास के (2 टाँग वाले) छल्ले उपलब्ध हैं। धरन के लिये अपरुपण प्रबलन का अभिकल्पन कीजिये। M–20 श्रेणी की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का इस्पात प्रयोग करना है।

हल : (i) नामन अपरुपण प्रतिबल,

$$\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{120 \times 1000}{250 \times 400} = 1{\cdot}2 \text{ N/mm}^2$$



चित्र 4.22

M-20 कंक्रीट के लिये, $\tau_{c\,max} = 2{\cdot}8 \text{ N/mm}^2$ (सारणी 4.3 से)

$\because \tau_v < \tau_{c\,max}$, अत: खण्ड-माप बढ़ाने की आवश्यकता नहीं है, यही धरन-खण्ड स्वीकार्य है।

(ii) धरन के आलम्बों के निकट तनन इस्पात का प्रतिशत, जब दो छड़ें अपरूपण प्रबलन के लिये ऊपर को नत कर दी गई हैं, $p_t = \dfrac{100\,A_{st}}{b \times d}$

यहाँ $A_{st} = 3 \times 201 = 603 \text{ mm}^2$, $b = 250$ mm, $d = 400$ mm है।

$\therefore$ इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \dfrac{100 \times 603}{250 \times 400} = 0{\cdot}60\%$

सारणी 4.1 से M–20 ग्रेड की कंक्रीट और 0·60% इस्पात के लिये, $\tau_c = 0{\cdot}51 \text{ N/mm}^2$

(iii) चूँकि $\tau_v > \tau_c$ अत: खण्ड में अपरुपण प्रबलन डालना होगा। कंक्रीट खण्ड की स्वयम् की अपरुपण में सामर्थ्य (बगैर अपरुपण प्रबलन के) $= \tau_c\, b\, d$

$= 0{\cdot}51 \times 250 \times 400 = 51000 \text{ N}$

शुद्ध अपरुपण बल (Net Shear Force) जिसके लिये अपरुपण प्रबलन डालना है—

$= 120000 - 51000 = 69000 \text{ N}$

(iv) नत की गयी 2 तनन छड़ों की अपरुपण सामर्थ्य, $V_u = 0{\cdot}87\, f_y\, A_{sv} \sin\alpha$

$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 201 \times \sin 45°$

$= 102630 \text{ N}$

परन्तु कोड के अनुसार नत छड़ें शुद्ध अपरुपण बल का केवल 50% तक ही ले सकती है (लेने के लिये मान्य है), अर्थात् $\dfrac{69000}{2} = 34500$ N अपरुपण बल लेंगी, 102630 N नहीं।

शेष अपरुपण बल, 34500 N के लिये 2 टांगों वाले छल्ले डाले जायेंगे।

(v) अत: 2 टांग वाले 8 mm व्यास के छल्लों का अन्तराल,

$$s = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{sv}\, d}{V_{us}} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 50 \times 400}{34500} = 418 \text{ mm c/c}$$

यह अन्तराल निम्न का न्यूनतम लिया जाता है—

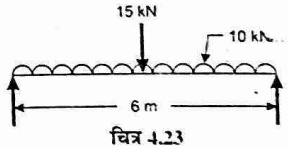
(a) $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 400 = 300$ mm

(b) 300 mm

(c) न्यूनतम अपरुपण प्रबलन के आधार पर = 418 mm

अत: 8 mm व्यास के 2 टांगों वाले छल्ले 300 mm c/c (say) पर पर्याप्त रहेंगे। यह छल्ले धरन की पूर्ण लम्बाई में डाले जायेंगे। **उत्तर**

उदाहरण 4.12 : 250 mm × 400 mm खण्ड माप का एक प्रबलित कंक्रीट धरन 6 मी० के पाट पर शुद्ध आलम्बित है। धरन में 20 mm व्यास की 3 छड़ें, 40 mm के प्रभावी आवरण पर डाली गयी हैं। धरन पर 10 kN/m का समवितरित भार तथा विस्तृति के मध्य 15 kN का केन्द्रित भार आ रहा है। धरन का कर्तन प्रतिबल में परीक्षण कीजिये और यदि आवश्यक हो तो उर्ध्वाधर स्टीरप्स के रूप में कर्तन प्रबलन की व्यवस्था करें। कंक्रीट का भार 25 kN/cu.m तथा ग्रेड M-15 लें। इस्पात Fe 415 ग्रेड का डाला गया है। भारों के लिये आंशिक सुरक्षा गुणक (Partial Safety Factor) = 1·5 मान लें।



चित्र 4.23

हल : (i) धरन की चौड़ाई = 250 mm

धरन की प्रभावी गहराई,

$d = 400 - 40 = 360$ mm

तनन इस्पात का क्षेत्रफल,

$A_{st} = 3 \times 314 = 942 \text{ mm}^2$

(ii) भार—प्रति मी० लम्बाई में समवितरित फैक्टर (अभिकल्प) भार, 1·5 का भार गुणक लेने पर

$= 10000 \times 1{\cdot}5 = 15000 \text{ N}$

प्रति मी० खण्ड का स्वयं का भार $= 1 \times 0{\cdot}25 \times 0{\cdot}40 \times 2500 = 2500 \text{ N}$

कुल समवितरित भार = 17500 N/m

धरन पर केन्द्रित भार, 1·5 का आंशिक सुरक्षा गुणक लेने पर $= 15000 \times 1{\cdot}5 = 22500$ N

(iii) आलम्ब पर अधिकतम कर्तन बल $= \frac{1}{2}[17500 \times 6 + 22500]$

$$V_u = 63750 \text{ N (आलम्ब के फलक पर)}$$

टिप्पणी : कोड के अनुसार अधिकतम कर्तन बल, क्रान्तिक काट पर (जो आलम्ब से d = प्रभावी गहराई पर स्थित है) लिया जाता है, परन्तु सरलता के लिये हम इसे आलम्ब के फलक का मान लेते हैं।

नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{63750}{250 \times 360} = 0{\cdot}71 \text{ N/mm}^2$

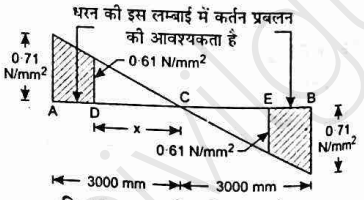
(iv) खण्ड में तनन इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \frac{100 \times A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 942}{250 \times 360} = 1{\cdot}05\%$

(v) M-15 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}61 \text{ N/mm}^2$

अधिकतम अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल (सारणी 4.3 से), $\tau_{c\,max} = 2{\cdot}8 \text{ N/mm}^2$

चूँकि $0{\cdot}71 \text{ N/mm}^2$, अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल $0{\cdot}61 \text{ N/mm}^2$ से अधिक है, अत: खण्ड में कर्तन प्रबलन की व्यवस्था करनी होगी।

(vi) कर्तन प्रबलन—चित्र 4.24 में धरन का कर्तन प्रतिबल आरेख दिया गया है। धरन की रेखाच्छादित लम्बाई में, दोनों ओर, जहाँ पर नामन कर्तन प्रतिबल, अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल $0{\cdot}61 \text{ N/mm}^2$ से अधिक है, कर्तन प्रबलन दिया जायेगा।



चित्र 4.24—कर्तन प्रतिबल आरेख

माना पाट के मध्य से D अथवा E बिन्दु की दूरी x है।

अत: $\frac{x}{0{\cdot}61} = \frac{3000}{0{\cdot}71}$

$\therefore \quad x = \frac{0{\cdot}61 \times 3000}{0{\cdot}71} = 2578 \text{ mm}$

धरन की लम्बाई, जिसमें कर्तन प्रबलन की आवश्यकता है—

$3000 - 2578 = 422$ mm, आलम्बों के दोनों ओर से।

धरन की शेष लम्बाई में नाममात्र का कर्तन प्रबलन देना होगा।

(vii) शुद्ध (Net) कर्तन बल, जिसके लिये कर्तन प्रबलन अभिकल्पित किया जाना है—

$$V_{us} = V_u - (\tau_c b d)$$
$$= 63750 - (0{\cdot}61 \times 250 \times 360) = 8850 \text{ N}$$

8 mm व्यास की दो टांगों वाले छल्ले का क्षेत्रफल $= 2 \times 50 = 100 \text{ mm}^2$

$\therefore$ छल्लों का अन्तराल, जब तनन छड़ें नत नहीं की गयी हैं—

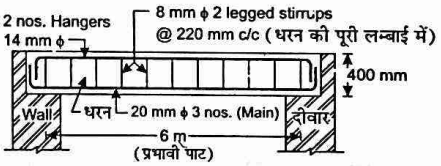
$$s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{V_{us}} = \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times 100 \times 360}{8850} = 885 \text{ mm}$$

परन्तु यह अन्तराल $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 360 = 270$ mm अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से अधिक नहीं होना चाहिये।

(viii) न्यूनतम कर्तन प्रबलन की दृष्टि से छल्लों (स्टीरप्स) का अन्तराल—

$$s_v = \frac{A_{sv} \times 0{\cdot}87 f_y}{0{\cdot}4 \times b} = \frac{100 \times 0{\cdot}87 \times 250}{0{\cdot}4 \times 250} = 218 \text{ mm say } 220 \text{ mm}$$

अत: धरन की पूर्ण लम्बाई में 8 mm व्यास के, दो टाँगों वाले छल्ले (Stirrups) 220 mm के अन्तराल पर डाले जायेंगे। कर्तन प्रबलन की स्थिति चित्र 4.25 में दर्शायी गयी हैं।



चित्र 4.25—कर्तन प्रबलन का विवरण

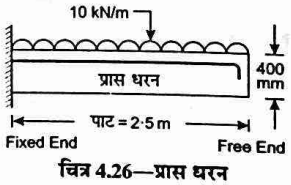
उदाहरण 4.13 : एक प्रबलित कंक्रीट प्रास-धरन पर 10 kN प्रति मी० (स्वयं के भार सहित) का भार आ रहा है। इसका सम्पूर्ण लम्बाई में खण्ड माप 250 mm × 400 mm है और यह आलम्ब से 2·5 मी० बाहर निकली हुयी है। खण्ड में तनन इस्पात के रूप में 20 mm व्यास की 3 छड़ें प्रयोग की गयी हैं। प्रास-धरन की कर्तन में जाँच कीजिये, यदि आवश्यक हो तो 2 टाँग वाले उदग्र छल्लों का कर्तन प्रबलन के रूप में अभिकल्पन करें। Fe = 250 N/mm² लें और कंक्रीट का ग्रेड M-15 मान लें।

हल : (i) प्रश्नानुसार—

प्रास-धरन की चौड़ाई = 250 mm

कुल गहराई = 400 mm

पाट = 2·5 m



चित्र 4.26—प्रास धरन

(ii) प्रास-धरन पर कार्यरत भार = 10 kN/m

अभिकल्प भार, भार-गुणक 1·5 लेने पर, $W_u = 1{\cdot}5 \times 10 = 15 \text{ kN/m}$

आबद्ध सिरे पर अधिकतम कर्तन बल, $V_u = W_u \times l$

$= 15000 \times 2{\cdot}5 = 37500 \text{ N}$

40 mm का प्रभावी आवरण रखते हुये, प्रभावी गहराई, $400 - 40 = 360$ mm

$\therefore$ नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d}$

(viii) न्यूनतम कर्तन प्रबलन के आधार पर उदग्र छल्लों का अन्तराल—

$$s_v = \frac{A_{sv} \times 0{\cdot}87 f_y}{0{\cdot}4 \times b}, \text{ यहाँ } f_y = 415 \text{ N/mm}^2 \text{ लिया जायेगा।}$$

$$= \frac{157 \times 0{\cdot}87 \times 415}{0{\cdot}4 \times 250} = 567 \text{ mm c/c}$$

अत: 10 mm के दो टाँगों वाले उदग्र छल्ले 300 mm c/c पर, आलम्बों से 600 mm दूरी तक लगाये जायेंगे।

(b) पाट के जिस क्षेत्र में नत छड़ें प्रभावी नहीं हैं, कर्तन प्रबलन का अभिकल्पन—

(ix) आलम्बों से 600 mm की दूरी के पश्चात्, नत छड़ें प्रभावी नहीं हैं, अत: इस क्षेत्र में उदग्र छल्लों द्वारा कर्तन प्रबलन दिया जायेगा।

जब तली पर कुल तनन छड़ें (5) उपलब्ध हैं, इस्पात का प्रतिशत—

$$p_t = \frac{100 \times 5 \times 491}{250 \times 600} = 1{\cdot}64\%$$

सारणी 4.1 से M-20 ग्रेड की कंक्रीट और 1·64% इस्पात के लिये अनुमत कर्तन प्रतिबल $\tau_c = 0{\cdot}74 \text{ N/mm}^2$

नामन कर्तन प्रतिबल $\tau_v = 0{\cdot}87 \text{ N/mm}^2$ (उपरोक्त (ii) के अनुसार)

चूँकि $\tau_v > \tau_c$ अर्थात् 0·87 > 0·74, खण्ड की इस लम्बाई में भी कर्तन प्रबलन देना होगा।

(x) कंक्रीट खण्ड द्वारा वहन कर्तन बल : $V_c = \tau_c b d = 0{\cdot}74 \times 250 \times 600 = 111000 \text{ N}$

(xi) आलम्ब से 600 mm की दूरी पर कर्तन बल :

$$V = \frac{130500}{3000} \times 2400 = 104400 \text{ N}$$

शेष (Net) कर्तन बल, जिसके लिये उदग्र छल्ले अभिकल्पित करने हैं :

$$V_{us} = V_u - V_c = 130500 - 104400 = 26100 \text{ N}$$

10 mm ϕ के 2-टाँगों वाले छल्ले (क्षेत्रफल 157 mm²) का अन्तराल :

$$s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{V_{us}} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 157 \times 600}{26100}$$

$$= 1303 \text{ mm}$$

(xii) न्यूनतम कर्तन प्रबलन के आधार पर छल्लों का अन्तराल :

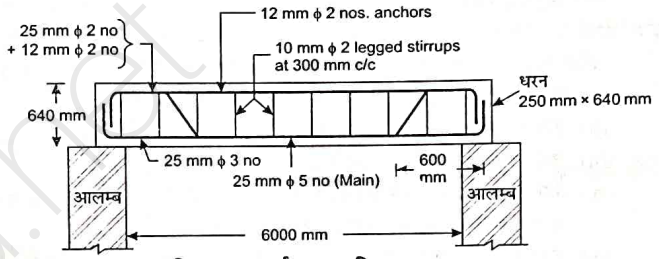
$$s_v = \frac{A_{sv} \times 0{\cdot}87 f_y}{0{\cdot}4 \times b}, \quad \text{यहाँ } f_y = 415 \text{ N/mm}^2$$

$$= \frac{157 \times 0{\cdot}87 \times 415}{0{\cdot}4 \times 250} = 567 \text{ mm}$$

परन्तु छल्लों का अन्तराल $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 600 = 450$ mm अथवा 300 mm (जो न्यूनतम है) से अधिक नहीं हो सकता है।

अत: 10 mm व्यास के दो-टाँगों वाले ऊदग्र छल्ले, 300 mm c/c पर धरन की समस्त लम्बाई में डाले जायेंगे। इसके साथ ही 2 तनन छड़े आलम्बों से 600 mm की दूरी पर 45° पर ऊपर को नत (Bent-up) की जायेगी।

(xiii) **चित्र:** धरन के लिये कर्तन प्रबलन की व्यवस्था चित्र 4.28 में दी गयी है।



चित्र 4.28—कर्तन प्रबलन विवरण

(III) प्रबलित कंक्रीट खण्डों की अभिलाग (जकड़) सामर्थ्य एवं विकास लम्बाई (BOND STRENGTH AND DEVELOPMENT LENGTH OF R.C. SECTIONS)

§ 4.10. प्रबलित कंक्रीट खण्डों में अभिलाग (Bond in R.C. Sections) :

इस्पात की छड़ों तथा इनके चारों ओर डाली गयी कंक्रीट के बीच उत्पन्न सतही पकड़ (Adhesion) या प्रतिरोध (Surface Resistance) को **अभिलाग** (बाण्ड) कहते हैं। अभिलाग (जकड़) के कारण, भार पड़ने पर छड़ें कंक्रीट-पिण्ड में सरकने (Slip) नहीं पाती हैं। प्रबलित कंक्रीट खण्डों के अभिकल्पन में जो मूल संकल्पनाएँ ली गयी हैं, उनमें एक यह भी है कि प्रत्यास्थ सीमा के भीतर कंक्रीट और इस्पात के बीच अभिलाग परिपूर्ण होना चाहिये अर्थात् **कंक्रीट में दबाया गया प्रबलन इस्पात, भार आने पर अपनी जगह से फिसले नहीं और कंक्रीट में उत्पन्न प्रतिबल प्रबलन इस्पात में अन्तरित हो जाये।** जब कंक्रीट सैट होकर कठोर व संकुचित हो जाती है तो वह प्रबलन इस्पात को मजबूती से जकड़ लेती है और इन पदार्थों में अभिलाग उत्पन्न होता है, जो छड़ों को बाहर खींचे जाने पर, इसका प्रतिरोध करता है। कंक्रीट के इस प्रतिरोध को ही **अभिलाग (Bond)** कहते हैं।

पदार्थों में रासायनिक आसंजक, कुटाई तथा छड़ों की परिधीय सतह की बनावट (जैसे टोर इस्पात) अभिलाग को बढ़ावा देती है। विचाराधीन काट पर किसी छड़ में परिगणित तनन अथवा सम्पीडन प्रतिबलों के विकास व अन्तरण के लिये यह आवश्यक है कि वह छड़ उस काट (section) से **आगे**, विकास लम्बाई (Development Length) तक अथवा सिरा जकड़न (End Anchorage) से अथवा दोनों द्वारा आगे तक बढ़ी रहे।

L_d को विकास लम्बाई (Development Length) या अभिलाग लम्बाई (Bond Length) कहते हैं। यह छड़ की वह न्यूनतम लम्बाई है, जो किसी काट (Section) के आगे, कंक्रीट-पिण्ड में

दबायी जानी आवश्यक है, ताकि इसमें उपजे प्रतिबल कंक्रीट द्वारा अन्य छड़ में अन्तरित हो जाये अथवा कंक्रीट-पिण्ड में समा जाये। अक्षीय तनन या अक्षीय सम्पीडन में इसे जकड़ लम्बाई (Anchorage Length) कहते हैं। विकास लम्बाई में छड़ों के सिरों पर दिये गये हुक (Hook) व बैंड (Bend) के स्थिरण मान (Anchorage Values) को भी सम्मिलित किया जाता है।

दोनों पदार्थों (कंक्रीट तथा इस्पात) के बीच इस अभिलाग के कारण ही प्रतिबल एक पदार्थ से दूसरे पदार्थ में अन्तरित होते हैं और तनन क्षेत्र में इस्पात कंक्रीट की दरारों को फैलने से रोकता है।

सीमेंट कंक्रीट तथा इस्पातीय-छड़ों के बीच **अभिलाग** निम्न उपायों से बढ़ाया जा सकता है—

(i) उच्च सामर्थ्य वाली कंक्रीट प्रयोग करके।

(ii) इस्पात की छड़ों पर कंक्रीट आवरण की मोटाई अधिक रख कर।

(iii) छड़ों के सिरों पर मानक हुक बनाकर।

(iv) कम व्यास की छड़ें इस्तेमाल करके, जिससे छड़ों की कंक्रीट से सम्पर्क परिधि (घेरा) बढ़ जाये (परन्तु इस्पात का क्षेत्रफल समान रखते हुये)।

(v) छड़ों को ऊपरी सतह को खुरदरा (Rough) बनाकर। खुरदरी सतह चिकनी अथवा पालिश की हुयी सतह से तुलना में अधिक घर्षण प्रतिरोध प्रदान करती है।

(vi) ऐंठी (विरुपित) अथवा उभार-सतह वाली इस्पात की छड़ों (Tor Bars) का प्रयोग करके।

(vii) कंक्रीट की उचित कुटाई तथा आवश्यक तराई करके।

4.10-1. अभिलाग प्रतिबल (Bond Stress (τ_{bd}))—इस्पात एवं कंक्रीट की सम्पर्क सतह के बीच, प्रति वर्ग मिमी० क्षेत्रफल पर उत्पन्न पकड़ प्रतिबल को **अभिलाग प्रतिबल** कहते हैं। इसकी इकाई N/mm^2 ली जाती है। अभिलाग प्रतिबल, प्रबलन छड़ में, इसके समान्तर लगने वाले कर्तन बल के कारण उपजते हैं। कंक्रीट में अनुमत अभिलाग प्रतिबल, कंक्रीट के ग्रेड और प्रबलन इस्पात की श्रेणी पर निर्भर करते हैं। ये अभिलाग प्रतिबल सारणी 4.4 में दिये गये हैं।

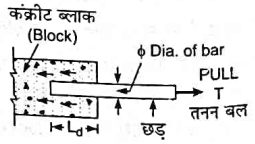
§ 4.11. अभिलाग (जकड़) के प्रकार (Types of Bond) :

प्रबलित कंक्रीट खण्डों में अभिलाग दो प्रकार का होता है :

(1) सामान्य या प्रत्यक्ष अभिलाग (Direct Bond or Anchorage Bond)

(2) स्थानीय अभिलाग (Local Bond or Flexural Bond)

4.11-1. सामान्य या प्रत्यक्ष अभिलाग (Direct Bond or Anchorage Bond)—इस्पात की छड़ काफी लम्बाई तक कंक्रीट में दबी रहनी चाहिये, ताकि छड़ पर पड़ने वाले बल (Pull/Push), कंक्रीट की पकड़ द्वारा प्रतिरोधित हो सके। इसे **सामान्य या प्रत्यक्ष अभिलाग** कहते हैं। छड़ की इस पकड़ लम्बाई को **जकड़ (अभिलाग) लम्बाई या विकास लम्बाई** (Development Length) के नाम से जाना जाता है (देखें अनुच्छेद 4.12)। माना ϕ व्यास की छड़, चित्र 4.29 के अनुसार, कंक्रीट में दबायी गयी है। छड़ पर T न्यूटन (N) का तनन भार (Pull) (Tension) लग रहा है, जो छड़ को बाहर खींचने में जुटा है। इस **खींच** को रोकने



चित्र 4.29—सामान्य (प्रत्यक्ष) अभिलाग

के लिये, मान लो कंक्रीट तथा छड़ की सतह (परिधि) के मध्य τ_{bd} N/mm^2 का औसत अभिलाग प्रतिबल (Bond Stress) उत्पन्न हो रहा है।

छड़ पर लग रहा तनन भार (बल),

T = छड़ का क्षेत्रफल × छड़ में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल

(छड़ का क्षेत्रफल $\frac{\pi\phi^2}{4}$ तथा अनुज्ञेय तनन प्रतिबल, $f_{yd} = \frac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y$)

$$T = \frac{\pi\phi^2}{4} \times f_{yd} = \frac{\pi\phi^2}{4} \times 0{\cdot}87\, f_y \qquad \text{...(i)}$$

कंक्रीट तथा छड़ सतह (परिधि) के बीच उत्पन्न प्रतिरोध बल—

= डिजाइन अभिलाग प्रतिबल × कंक्रीट के सम्पर्क में छड़ की कुल दबी परिधि,

$$= \tau_{bd} \times \pi\phi \times L_d \qquad \text{...(ii)}$$

समीकरण (i) व (ii) को तुल्य रखने पर

$$\tau_{bd} \times \pi\phi \times L_d = \frac{\pi\phi^2}{4} \times 0{\cdot}87\, f_y$$

$$\therefore \quad L_d = \frac{0{\cdot}87\, f_y \times \phi}{4\,\tau_{bd}} \qquad \text{...(4.14)}$$

यहाँ L_d = छड़ की कंक्रीट में दबायी गयी लम्बाई (इसे विकास लम्बाई भी कहते हैं)।

f_y = इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य

ϕ = छड़ का व्यास

τ_{bd} = अभिकल्प अभिलाग प्रतिबल (L.S.M. में)। τ_{bd} के मान सारणी 4.4 में दिये गये हैं

4.11-2. प्रत्यक्ष (सामान्य) अभिलाग प्रतिबल (Direct Bond Stresses)—

I.S. कोड के अनुसार, विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट के लिये अनुज्ञेय (अभिकल्प) अभिलाग प्रतिबल सारणी 4.4 में दिये गये हैं। अनुज्ञेय अभिलाग प्रतिबल (Bond Stress) कंक्रीट के ग्रेड और इस्पात की श्रेणी पर निर्भर करते हैं।

सारणी 4.4–तनन छड़ों वाली कंक्रीट के लिये अनुज्ञेय अभिलाग प्रतिबल, τ_{bd} N/mm^2
(Permissible Bond Stress for Concrete with Tension Bars)

प्रबलन इस्पात	प्रबलित कंक्रीट के ग्रेड (Grades)					
	M-15	M-20	M-25	M-30	M-35	M-40 व उच्च
(i) Fe 250-सादा छड़ों की कंक्रीट	1·0	1·2	1·4	1·5	1·7	1·9
(ii) Fe 415-टोर छड़ों की कंक्रीट	1·60	1·92	2·24	2·40	2·72	3·04

टिप्पणी— (i) विरुपित (टोर) छड़ों के मान, सादा (Plain) छड़ों के मान को 60% बढ़ा कर लिये गये हैं।

(ii) सम्पीडन छड़ों के लिये उपरोक्त मान 25% बढ़ा कर लें, क्योंकि किसी छड़ को कंक्रीट पिण्ड से बाहर खींचना सरल है, परन्तु इसमें धंसाना कठिन पड़ता है।

4.11-3. विकास लम्बाई (Development Length)—विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट के लिये प्रत्यक्ष (सामान्य) अभिलाग में तनन व सम्पीडन छड़ों की विकास लम्बाई सारणी 4.5 में दी गयी है।

सारणी 4.5—एकैल छड़ की विकास लम्बाई, L_d
(Develop Length for Single Bar)

इस्पातीय छड़ की प्रकार	विकास लम्बाई, तनन में (mm)				विकास लम्बाई, सम्पीडन में (mm)		
	M-15	M-20	M-25	M-30	M-15	M-20	M-25
Fe 250 सादा छड़ें	55 ϕ	46 ϕ	39 ϕ	37 ϕ	44 ϕ	37 ϕ	31 ϕ
Fe 415 टोर छड़ें	56 ϕ	47 ϕ	41 ϕ	38 ϕ	45 ϕ	38 ϕ	39 ϕ

टिप्पणी—विकास लम्बाई— (i) तनन छड़ों के लिये, $L_d = \dfrac{0{\cdot}87\, f_y \phi}{4\tau_{bd}}$

(ii) सम्पीडन छड़ों के लिये, $L_d = \dfrac{0{\cdot}87\, f_y \phi}{5\tau_{bd}}$

(iii) सम्पीडन छड़ के लिये विकास लम्बाई 24 ϕ से कम नहीं होगी।

उदाहरण 4.15 : M–15 ग्रेड की कंक्रीट में डाली गयी मृदु इस्पात (Fe 250) की एक तनन छड़ की जकड़ लम्बाई (Anchorage Length) ज्ञात करें।

हल : मृदु इस्पात के लिये, $f_y = 250\ \text{N/mm}^2$

सारणी 4.4 से M–15 ग्रेड की कंक्रीट के लिये τ_{bd} का मान $= 1{\cdot}0\ \text{N/mm}^2$

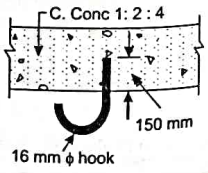
जकड़ लम्बाई = विकास लम्बाई

$$L_d = \frac{0{\cdot}87\, f_y \phi}{4\tau_{bd}} = \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times \phi}{4 \times 1{\cdot}0}$$

$$= 54{\cdot}4\ \phi \text{ say } 55\ \phi$$ **उत्तर**

उदाहरण 4.16 : 16 mm ϕ की इस्पातीय छड़ का एक हुक सीमेंट कंक्रीट 1 : 2 : 4 में 150 mm की गहराई तक दबाया गया है (चित्र 3.26)। हुक पर अधिकतम कितना भार लटकाया जा सकता है, यदि अनुज्ञेय अभिलाग प्रतिबल (Bond Stress) का मान 1·0 N/mm² हो। *[B.T.E.]*

हल : माना हुक पर T न्यूटन (N) का तनन भार लटक रहा है। यह भार कंक्रीट तथा छड़ सतह के बीच उत्पन्न घर्षण प्रतिरोध द्वारा ही वहन हो सकता है, जिसका मान—



चित्र 4.30

$$T = \tau_{bd} \times \pi\, \phi \times L_d$$

यहाँ $\tau_{bd} = 1{\cdot}0\ \text{N/mm}^2, \phi = 16\ \text{mm}, L_d = 150\ \text{mm}$

अत: $$T = 1{\cdot}0 \times \frac{22}{7} \times 16 \times 150$$

$$= 7543\ \text{N}$$ **उत्तर**

उदाहरण 4.17 : एक छड़ को कंक्रीट में कितनी दूरी तक दबाया जाये ताकि अभिलाग सामर्थ्य और तनन सामर्थ्य बराबर हो जाये। $\tau_{bd} = 1{\cdot}0\ \text{N/mm}^2$ तथा $f_y = 250\ \text{N/mm}^2$ मान लें।

हल : दोनों सामर्थ्य में सन्तुलन बनाये रखने के लिये छड़ को विकास लम्बाई तक कंक्रीट में दबाया जायेगा।

∴ विकास लम्बाई, $$L_d = \frac{0{\cdot}87\, f_y \times \phi}{4\tau_{bd}}$$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर, $$L_d = \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times \phi}{4 \times 1{\cdot}0}$$

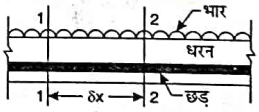
∴ $$L_d = 54{\cdot}4\ \phi \text{ say } 55\ \phi$$ **उत्तर**

4.11-4. स्थानीय अभिलाग (Local Bond or Flexural Bond)—एक शुद्धालम्ब धरन में, पाट के मध्य में बंकन आघूर्ण (U.D. L. के कारण) अधिकतम होती है, जो घटते-घटते आलम्बों पर लगभग शून्य रह जाती है। इस प्रकार बंकन आघूर्ण की दर में परिवर्तन के कारण, धरन के प्रत्येक काट पर प्रतिरोधी बल भी भिन्न होता है। यदि धरन की किसी काट का बंकन आघूर्ण M है तो प्रबलन इस्पात में तनन बल, $T = M/z$ होगा। यहाँ z = उत्तोलक भुजा है। क्योंकि एक समरूपी प्रबलित कंक्रीट धरन में उत्तोलक भुजा स्थिर रहती है, अत: धरन के किन्हीं दो काटों (Sections) पर तनन बल का मान अलग-अलग होगा।

तनन बलों के इस अन्तर के कारण, धरन के प्रत्येक काट पर एक असन्तुलित तनन बल उत्पन्न होता है जो छड़ों को कंक्रीट से अलग करने (सरकाने) की चेष्टा में लगा रहता है। यह असन्तुलित बल कंक्रीट और इस्पात के बीच उत्पन्न अभिलाग द्वारा ही सन्तुलित होता है। क्योंकि यह प्रक्रिया (बल परिवर्तन) धरन की लम्बाई में प्रत्येक बिन्दु पर होती है, अत: इसे **स्थानीय अभिलाग** (Local Bond or Flexural Bond) कहते हैं।

धरन के किसी काट पर, **अभिलाग प्रतिबल** निम्न प्रकार से ज्ञात किया जा सकता है :

चित्र 4.31 में दिखाये गये एक भारित प्रबलित कंक्रीट धरन पर विचार करें। माना इसके काट 1 : 1 पर बंकन आघूर्ण M तथा dx की दूरी पर, अन्य काट 2 : 2 पर $M + \delta M$ है। माना खण्ड की उत्तोलक भुजा z है।



चित्र 4.31

काट 1 : 1 पर इस्पात में तनन बल, $T_1 = \dfrac{M}{z}$

काट 2 : 2 पर इस्पात में तनन बल, $T_2 = \dfrac{M + \delta_M}{z}$

दोनों काट के बलों के अन्तर के फलस्वरूप प्रबलन छड़ फिसलने (सरकने) की चेष्टा करेगी।

यह बल— $$T_2 - T_1 = \frac{M + \delta_M}{z} - \frac{M}{z} = \frac{\delta_M}{z}$$ ...(i)

dx की लम्बाई में छड़ की परिधि, जिसमें अभिलाग उत्पन्न होगा $= \Sigma O \times dx$

यहाँ ΣO छड़ की प्रति इकाई परिधि है।

यदि τ_{bd} अनुज्ञेय अभिलाग प्रतिबल है, तो अभिलाग बल

$$\tau_{bd} \times \Sigma O \times dx \qquad \text{...(ii)}$$

समीकरण (i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$\frac{\delta_M}{z} = \tau_{bd} \times \Sigma O \times dx$$

$$\therefore \quad \tau_{bd} = \frac{\delta_M}{z} \times \frac{1}{\Sigma O \times dx}$$

परन्तु $\frac{\delta_M}{dx}$ = बंकन आघूर्ण में परिवर्तन की दर है, जो कर्तन बल V के बराबर होती है।

$$\therefore \quad \tau_{bd} = \frac{V}{\Sigma O \times z} \qquad \text{...(4.15)}$$

जब तनन इस्पात की छड़ों की संख्या n है और व्यास ϕ है,

$$\tau_{bd} = \frac{V}{n \pi \phi z} \qquad \text{...(4.16)}$$

I.S. Code 456-2000 में स्थानीय अभिलाग को विकास लम्बाई के रूप में लिया है। **यदि छड़ विकास लम्बाई बनाये रखती है, तो बंकन आघूर्ण में परिवर्तन की दर से उपजे कर्तन बल की सन्तुष्टि हो जाती है। तब कंक्रीट धरनों में तनन छड़ों की स्थानीय अभिलाग में जांच करने की आवश्यक नहीं है।**

§ 4.12. तनन छड़ों की विकास लम्बाई (Development Length of Bars in Tension) :

प्रबलित कंक्रीट खण्डों को विफलता से बचाने के लिये, कंक्रीट तथा प्रबलन छड़ों का अभिलाग परिपूर्ण होना चाहिये।

प्रबलित धरन के किसी भी काट पर प्रबलन छड़ें अभिलाग द्वारा अपने अंश के प्रतिबल ग्रहण कर सकें, **प्रयुक्त छड़ उस काट से आगे पर्याप्त दूरी तक कंक्रीट में दबी रहनी चाहिये।** छड़ की यह (न्यूनतम) अतिरिक्त लम्बाई, **विकास लम्बाई** कहलाती है। अक्षीय तनन या अक्षीय सम्पीडन में इसे स्थिरण लम्बाई (Anchorage Length) कहते हैं, जबकि आनमन तनन (Flexural Tension) या आनमन सम्पीडन (Flexural Compression) में इसे विकास लम्बाई कहा जाता है।

प्रबलित खण्ड में किसी भी छड़ को समाप्त करते समय यह देखना आवश्यक है कि छड़ के प्रतिबल, अभिलाग के कारण, परिस्थान कंक्रीट में भली-भाँति स्थानान्तरित हो जायें।

शुद्धालम्बित धरनों में, आलम्ब के फलक पर तथा जहाँ पर कर्तन प्रबलन के लिये छड़ों को ऊपर मोड़ा जाता है, क्रान्तिक काट लेकर, अभिलाग की जाँच की जाती है। सतत धरनों में प्रतिनमन बिन्दु (Point of Contraflexure) पर यह क्रान्तिक काट लिये जा सकते हैं। इन स्थानों पर किसी भी छड़ को समाप्त करने से पहले यह जाँच आवश्यक है कि छड़ अपने प्रतिबलों को अभिलाग द्वारा परिस्थान कंक्रीट में स्थानान्तरित करने में सक्षम है। इसके लिये छड़ की पर्याप्त लम्बाई, **इस काट से आगे कंक्रीट में ले जायी (दबायी) जाती है।**

छड़ की विकास लम्बाई सूत्र 4.14 से ज्ञात की जा सकती है। धरन के किसी काट पर विकास लम्बाई और प्रतिरोध आघूर्ण में निम्न सम्बन्ध बनता है। अत: पुन: विचार करने पर—

समीकरण 4.14 को इस प्रकार भी लिखा जा सकता है—

$$\tau_{bd} \pi \phi L_d = \frac{\pi \phi^2}{4} \times 0{\cdot}87 f_y, \quad 0{\cdot}87 f_y = \text{इस्पात में अभिकल्प प्रतिबल}$$

यहाँ पर $\pi \phi = \Sigma O$, कुल छड़ों की परिधि

$$\frac{\pi \phi^2}{4} = A_{st}, \text{ तनन छड़ों का क्षेत्रफल}$$

$$\therefore \quad \tau_{bd} \Sigma O L_d = A_{st} \times 0{\cdot}87 f_y$$

या $$\tau_{bd} = \frac{A_{st} \times 0{\cdot}87 f_y}{\Sigma O L_d} \qquad \text{...(i)}$$

परन्तु समीकरण 4.15 के अनुसार—

$$\tau_{bd} = \frac{V}{\Sigma O z} \qquad \text{...(ii)}$$

समीकरण (i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$\frac{A_{st} 0{\cdot}87 f_y}{\Sigma O L_d} = \frac{V}{\Sigma O z}$$

या $$L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} \Sigma O z}{V \Sigma O}$$

$$L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} z}{V} \quad \text{अथवा} \quad L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4 \tau_{bd}} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

परन्तु $0{\cdot}87 f_y A_{st} z = M_1$ प्रतिरोध आघूर्ण,

$$\therefore \quad L_d = \frac{M_1}{V} \qquad \text{...(4.17)}$$

यहाँ M_1 = किसी खण्ड पर तनन इस्पात का प्रतिरोध आघूर्ण

V = उपरोक्त खण्ड पर कर्तन बल

L_d = विकास लम्बाई

अभिकल्पित अभिलाग प्रतिबल अपनी अनुज्ञय सीमा से न बढ़ने पाये, इसके लिये $\frac{M_1}{V}$ का मान L_d के बराबर अथवा अधिक होना चाहिये। अर्थात् $L_d \le \frac{M_1}{V}$ होना चाहिये।

जब तनन छड़ के सिरे पर हुक देकर, जकड़ (anchorage) बढ़ायी जाये तो विकास लम्बाई का मान निम्न प्रकार होगा— $$L_d \le \left[\frac{M_1}{V} + L_o\right] \qquad \text{...(4.18)}$$

यहाँ L_o = हुक के कारण जकड़ लम्बाई। L_o एक अतिरिक्त लम्बाई है, जो सुरक्षा के लिये ली जाती है। L_o का अधिकतम मान खण्ड की प्रभावी गहराई d अथवा 12ϕ जो भी अधिक हो, तक सीमित है।

कोड के अनुसार, छड़ों पर दिये गये हुक (Hook) व मोड़ (Bends) के कारण जकड़ में बढ़ोत्तरी निम्न ली जाती है—

प्रत्येक 45° के मोड़ के लिये 4 ϕ लम्बाई ली जायेगी, परन्तु अधिकतम सीमा 16 ϕ है। यहाँ ϕ छड़ का व्यास है। इस आधार पर एक मानक U-प्रकार के हुक की जकड़ लम्बाई = 16 ϕ ली जाती है।

कोड के अनुसार, शुद्धालम्ब धरनों की अधिक सुरक्षा के लिये, उपरोक्त $\frac{M_1}{V}$ का मान 30% बढ़ा दिया गया है। अत: समीकरण 4.18 निम्न प्रकार लिखा जायेगा—

अत: विकास लम्बाई, $L_d \le 1{\cdot}3\left(\frac{M_1}{V}\right) + L_o$ ...(4.19)

ध्यान रहे तनन प्रबलन में हुकों के जकड़-मान विकास लम्बाई में सम्मिलित होते हैं।

4.12-1. आलम्ब पर विकास लम्बाई की जाँच (Development Length at Supports)—

भारतीय मानक कोड के अनुसार सरल प्रकार के आलम्ब पर तनन छड़ को निम्न शर्त पूर्ण करनी होगी, $L_d \le \frac{M_1}{V} + L_o$ ...(सूत्र)

जब प्रबलन छड़ों के सिरे सम्पीडन क्षेत्र में जकड़ (Anchored) दिये जायें तो $\frac{M_1}{V}$ को 30% बढ़ा दिया जाता है अर्थात् उपरोक्त सूत्र निम्न रूप में लिया जायेगा—

$$L_d \le \left(\frac{1{\cdot}30\, M_1}{V}\right) + L_o \quad \text{.....(सूत्र)}$$

यहाँ L_d = विकास लम्बाई = $\frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4\tau_{bd}}$

M_1 = आलम्ब पर खण्ड का वंकन प्रतिरोध

V = चरम भार के कारण अपरुपण बल

L_o = 12 ϕ अथवा d जो भी अधिक हो

M_1 को निम्न प्रकार ज्ञात किया जा सकता है—

$M_1 = 0{\cdot}87 f_y A_{st} z$

z = उत्तोलक भुजा, जिसका मान 0·9 d लिया जाता है।

उदाहरण 4.18 : एक कंक्रीट धरन का परिच्छेद 200 mm × 400 mm (प्रभावी) है। इसके आलम्ब के निकट 20 mm व्यास की 3 छड़ें उपलब्ध हैं। यदि आलम्ब पर फैक्टर अपरुपण बल 40 kN का लग रहा हो, तो धरन की विकास लम्बाई के जाँच कीजिये। M–20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का इस्पात प्रयोग किया गया है।

हल : तनन में छड़ की विकास लम्बाई, $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4\tau_{bd}}$ ...(सूत्र)

M–20 श्रेणी की कंक्रीट के लिये, τ_{bd} = 1·2 N/mm² (सारणी 4.4 से)

∴ विकास लम्बाई, $L_d = \frac{0{\cdot}87 \times 415\, \phi}{4 \times 1{\cdot}2} = 75{\cdot}20\, \phi$

पुन: $L_d \le \left(\frac{1{\cdot}3\, M_1}{V_u}\right) + L_o$ ...(सूत्र)

आलम्ब पर इस्पात, $A_{st} = 3 \times 314 = 942$ mm² (20 mm ϕ की 3 छड़ें)।

$M_1 = 0{\cdot}87 f_y A_{st} \times 0{\cdot}9\, d = 0{\cdot}87 \times 415 \times 942 \times 0{\cdot}9 \times 400$

= 122439276 N.mm

नोट—प्रतिरोध आघूर्ण, M का मान निम्न सूत्र से भी ज्ञात किया जा सकता है, परन्तु इसमें गणनायें अधिक करनी पड़ती है—

$$M_1 = 0{\cdot}87 f_y A_{st}\, d \left[1 - \frac{A_{st} f_y}{b \times d\, f_{ck}}\right]$$

L = 12 ϕ या d जो भी अधिक है।

= 12 × 20 = 240 mm या 400 mm। अत: यह 400 mm लिया जायेगा।

ज्ञात मान उपरोक्त समीकरण में रखने पर—

$$75{\cdot}2\, \phi \le \left[\frac{1{\cdot}3 \times 122439276}{40 \times 1000}\right] + 400$$

$$75{\cdot}2\, \phi \le 4379$$

$$\phi \le 58{\cdot}2 \text{ mm}$$

प्रयुक्त छड़ का व्यास 20 mm है, जो 58·2 mm से कम है। अत: धरन विकास लम्बाई में सुरक्षित है। **उत्तर**

उदाहरण 4.19 : एक बालकनी की प्रास स्लैब (छज्जा) जो आलम्ब-धरन से 1·50 मी० बाहर को बढ़ी हुई है, पर 3 kN/m² का अध्यारोपित फैक्टर भार आ रहा है। स्लैब की मोटाई 120 mm है। इसमें 10 mm ϕ की छड़ें 100 mm c/c पर डाली गयी हैं। छड़ों की आलम्ब-फलक से विकास लम्बाई ज्ञात करें। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात मान लें। आलम्ब धरन 225 mm × 500 mm है। कंक्रीट का भार 25 kN/m³ लें।

हल : बालकनी स्लैब लम्बाई के दिशा में एक मीटर लेते हुये—

अध्यारोपित भार = 3 kN

प्रास स्लैब का स्वयं का भार 0·12 × 1·0 × 25000 = 3 kN

कुल = 6 kN/m run (इसे फैक्टर भार मान लें)

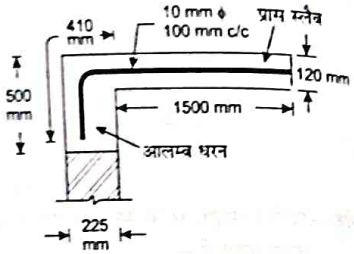
आलम्ब-फलक पर बंकन-आघूर्ण, $M = \frac{wl^2}{2} = \frac{6 \times 1{\cdot}5^2}{2} = 6{\cdot}75$ kN.m

तनन इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{st} = \dfrac{1000 \times 79}{100} = 790 \text{ mm}^2$

प्रभावी गहराई, $d = 120 - \dfrac{\phi}{2}$ – आवरण

$= 120 - \dfrac{10}{2} - 15$

$= 100 \text{ mm}$



चित्र 4.32

सन्तुलित खण्ड मानते हुये,

$M = 0{\cdot}87 f_y A_{st} z$

$f_y = \dfrac{M}{A_{st} \times z \times 0{\cdot}87}$

$z = 0{\cdot}9d$ रखने पर,

$f_y = \dfrac{6{\cdot}75 \times 10^6}{790 \times 0{\cdot}87 \times (100 \times 0{\cdot}9)} = 109 \text{ N/mm}^2$

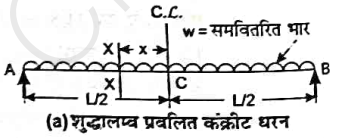
$\therefore$ विकास लम्बाई, $L_d = \dfrac{109 \times \phi}{4\tau_{bd}} = \dfrac{109 \times 10}{4 \times 1{\cdot}92}$

$= 142 \text{ mm say } 150 \text{ mm}$ **उत्तर**

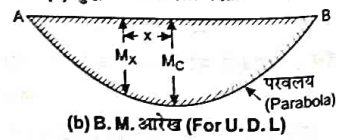
§ 4.13. तनन छड़ों को कम करना (Curtailment of Tension Bars) :

क्योंकि आलम्बों के निकट बंकन आघूर्ण का मान काफी कम हो जाता है, अत: मितव्ययी अभिकल्पन के लिये, प्रबलित कंक्रीट धरनों में, आलम्बों के पास **तनन छड़ों की संख्या में कमी की जा सकती है** अथवा कुछ तनन छड़ों को ऊपर को नत करके, कर्तन बल को रोधित करने में प्रयोग किया जा सकता है। ऐसा करने का कारण तथा धरन के पाट में किस बिन्दु से कितनी छड़ें कम की जा सकती हैं, निम्नलिखित है—

चित्र 4.33 में दिखाये अनुसार एक शुद्धालम्ब धरन जिसका पाट L है और जिस पर w का समवितरित भार आ रहा है, पर विचार करें। भार के कारण पाट के मध्य में बंकन आघूर्ण का मान अधिकतम होगा, जो आलम्बों की तरफ घटता चला जायेगा और आलम्ब पर शून्य रह जायेगा (B.M. आरेख देखें)।



(a) शुद्धालम्ब प्रबलित कंक्रीट धरन



(b) B. M. आरेख (For U. D. L)

चित्र 4.33

अत: धरन के मध्य में, अधिकतम बंकन आघूर्ण के अनुरूप तनन छड़ों की संख्या भी अधिकतम होगी। चूँकि आलम्बों की ओर, बंकन आघूर्ण घटती चली जाती है, अत: उतनी संख्या में तनन छड़ों की आवश्यकता नहीं है। इनकी संख्या में कमी की जा सकती है। यह न्यायसंगत तथा मितव्ययी है। अनावश्यक तनन छड़ों को ऊपर की तरफ मोड़ कर विकर्ण तनन को रोधित करने के काम लाया जाता है।

पाट के मध्य से कितनी दूरी पर, कितनी संख्या में यह तनन छड़ें कार्यमुक्त की जा सकती हैं, निम्न प्रकार से ज्ञात किया जाता है—

माना M_c = पाट के मध्य में अधिकतम बंकन आघूर्ण (समवितरित भार के लिये)

M_x = पाट के मध्य से x दूरी XX पर बंकन आघूर्ण

N_c = पाट के मध्य में छड़ों की संख्या

N_x = काट XX पर छड़ों की संख्या, जिन्हें बंकन आघूर्ण के घटने की दृष्टि से कम किया जा सकता है

x = पाट के मध्य से काट की दूरी

धरन की प्रति इकाई लम्बाई पर w भार के कारण अधिकतम बंकन आघूर्ण—

$$\text{Max. B.M. } M_c = \frac{wL^2}{8}$$

इसी प्रकार काट XX पर B.M., $M_x = \dfrac{wL^2}{8} - \dfrac{wx^2}{2}$

हम जानते हैं $M_c = \sigma_{st} A_{st} z$, यहाँ पर σ_{st} तथा z स्थिरांक हैं।

$\therefore$ बंकन आघूर्ण M_c, छड़ों के क्षेत्रफल के समानुपाती होती है,

i.e., $M_c \propto A_{st}$, परन्तु $A_{st} = N_c \times \dfrac{\pi\phi^2}{4}$ यहाँ पर ϕ छड़ का व्यास है।

$\therefore$ $M_c \propto \dfrac{N_c \pi \phi^2}{4}$ यहाँ $\dfrac{\pi\phi}{4}$ एक स्थिर अंक है।

अत: $M_c \propto N_c$ ...(i)

इसी प्रकार $M_x \propto (N_c - N_x)$ ...(ii)

समीकरण (i) व (ii) पर विचार करते हुये—

$$\frac{M_x}{M_c} = \frac{(N_c - N_x)}{N_c}$$

$$\frac{M_x}{M_c} = 1 - \frac{N_x}{N_c}$$

या $$\frac{N_x}{N_c} = 1 - \frac{M_x}{M_c}$$

अथवा $$\frac{N_x}{N_c} = \frac{M_c - M_x}{M_c}$$

इस समीकरण में M_c एवं M_x का मान रखने पर—

$$\frac{N_x}{N_c} = \frac{\dfrac{wL^2}{8} - \left[\dfrac{wL^2}{8} - \dfrac{wx^2}{2}\right]}{\dfrac{wL^2}{8}}$$

$$\frac{N_x}{N_c} = \frac{w x^2}{2} \times \frac{8}{w L^2}$$

वर्गमूल लेने पर, $$\sqrt{\frac{N_x}{N_c}} = \sqrt{\frac{4x^2}{L^2}}$$

व $$\sqrt{\frac{N_x}{N_c}} = \frac{2x}{L}$$

अथवा $$x = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{N_x}{N_c}} \quad \text{...(4.28)}$$

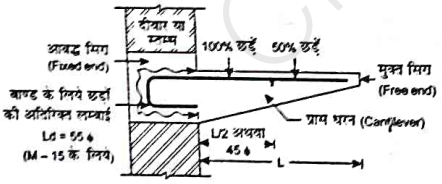
यहाँ x पाट के मध्य से वह दूरी है, जहाँ से अतिरिक्त तनन छड़ों को कम किया जा सकता है/ऊपर को मत किया जा सकता है।

उपरोक्त सूत्र से किसी भी बिन्दु पर छड़ों की संख्या में कटौती ज्ञात की जा सकती है, परन्तु अभिलाग (Bond) की दृष्टि से इस बिन्दु से **तनन छड़ को 12 ϕ अथवा धरन की प्रभावी गहराई (d), जो भी मान अधिक हो, तक ले जाकर, तब ही इसे छोड़ना चाहिये।** यहाँ ϕ छड़ का व्यास है।

कोड के अनुसार कुल तनन छड़ों की कम से कम **एक तिहाई छड़ें**, धरन की उसी फलक पर रहती हुई, आलम्बों की भीतर $\frac{L_d}{3}$ तक अवश्य जानी चाहियें। यहाँ L_d = छड़ की विकास लम्बाई है।

प्राम धरन में अधिकतम बंकन आघूर्ण आबद्ध सिरे अर्थात् आलम्ब पर होती है। यह बंकन आघूर्ण मुक्त सिरे (Free End) की ओर जाते-जाते घटती जाती है। अत: मुक्त सिरे के निकट उतनी संख्या में तनन छड़ों की आवश्यकता नहीं रहती, जितनी आबद्ध सिरे पर अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये प्रयोग की जाती है।

कोड के अनुसार प्राम धरन के आबद्ध सिरे से $\frac{\text{पाट}}{2}$ अथवा 45 ϕ (यहाँ ϕ छड़ का व्यास है), जो भी अधिक हो, के आगे 50% प्रबलन छड़ें कम की जा सकती हैं (चित्र 4.34)।



चित्र 4.34—प्राम धरन में छड़ों की कटौती तथा जकड़न (Anchorage)

प्राम धरन की पलटने की सम्भावना को रोकने के लिये, मुख्य छड़ों को आलम्ब के भीतर विकास लम्बाई, L_d तक ले जाना आवश्यक है। (M-15 व मृदु इस्पात Fe 250 के लिये L_d = 55 ϕ ली जाती है। यहाँ ϕ मुख्य छड़ का व्यास है)। छड़ के सिरे पर मानक हुक देना भी जरूरी है, परन्तु टोर छड़ों के लिये L-Bend पर्याप्त रहता है (चित्र 4.34)। तनन छड़ों के छिलीकरण (Curtailment) के लिये अनुच्छेद 5.14-6 देखें।

उदाहरण 4.20 : एक शुद्धालम्बित प्रबलित कंक्रीट धरन में, पाट के मध्य भाग में कुल 4 छड़ें तनन प्रबलन के रूप में डाली गयी हैं। ज्ञात करें कि आलम्बों से $\frac{L}{7}$ की दूरी पर कितनी छड़ें कम की जा सकती हैं। यहाँ L = धरन का पाट है।

हल : सूत्र के अनुसार—

$$x = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{N_x}{N_c}} \quad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ x = पाट के मध्य से दूरी

N_x = काट पर कम की जाने वाली छड़ों की संख्या

N_c = पाट के मध्य में छड़ों की कुल संख्या

$\frac{L}{7}$ आलम्बों की पाट के मध्य से दूरी, अर्थात् $x = \frac{L}{2} - \frac{L}{7}$

$$\therefore \quad \frac{L}{2} - \frac{L}{7} = \frac{L}{2}\sqrt{\left(\frac{N_x}{4}\right)}$$

$$\frac{5L}{14} = \frac{L}{4}\sqrt{N_x}$$

या $$\sqrt{N_x} = \frac{5L}{14} \times \frac{4}{L} = \frac{20}{14}$$

या $$N_x = \left(\frac{20}{14}\right)^2 = 1{\cdot}20 \text{ say } 2 \text{ छड़ें}$$

अत: आलम्ब से $\frac{L}{7}$ की दूरी पर आधी छड़ें कर्तन प्रतिरोध के लिये कार्य मुक्त की जा सकती हैं।

§ 4.14. प्रबलन छड़ों का स्थिरण (Anchorage for Reinforcement Bars) :

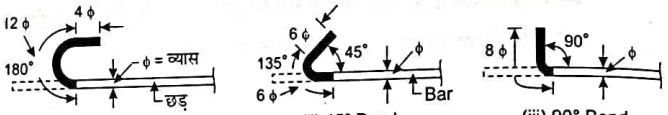
(1) आवश्यकता—प्रबलित कंक्रीट अवयवों में, जब किसी प्रबलन छड़ का किसी बिन्दु पर पहुँचने पर, प्रतिबलों के प्रति इसका दायित्व पूरा समझ लिया जाता है, तब उसे उस बिन्दु पर समाप्त किया जा सकता है, परन्तु छड़ के प्रतिबलों को अभिलाग द्वारा परिस्थान-कंक्रीट में अन्तरण करने के लिये, उस छड़ को उस बिन्दु से, इसकी **विकास लम्बाई तक आगे बढ़ाकर समाप्त करना होगा।** छड़ की विकास लम्बाई सारणी 4.5 से ली जाती है।

छड़ की विकास लम्बाई, छड़ को उस बिन्दु से आगे सीधी लम्बाई में बढ़ाकर अथवा अंशत: सीधी लम्बाई में व अंशत: स्थिरण (Anchorage) द्वारा प्राप्त की जा सकती है।

छड़ों का स्थिरण, छड़ के सिरे (End) पर मानक हुक (Standard Hook) बनाकर अथवा मानक मोड़ (Bend) देकर प्राप्त किया जा सकता है।

(2) तनन छड़ों का स्थिरण—जैसा ऊपर बताया गया है, जब किसी तनन छड़ को आवश्यक विकास लम्बाई उपलब्ध नहीं होती है, तो स्थिरण के लिये इनके सिरे पर हुक दिये जाते हैं अथवा उनको भीतर

की ओर मोड़ दिया जाता है। सभी हुक व मोड़ I.S. 2502 के अनुरूप होने चाहिये। हुक के विभिन्न आकार चित्र 4.35 में दर्शाये गये हैं।

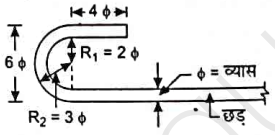


(i) Semi-circular bend. (ii) 45° Bend (iii) 90° Bend

चित्र 4.35—तनन छड़ों के स्थिरण के लिये हुक व मोड़

छड़ के प्रत्येक 45° मोड़ (Bend) का स्थिरण मान 4 ϕ लिया जाता है। अत: 180° के हुक के लिये 16 ϕ, 135° के मोड़ के लिये 12 ϕ तथा 90° मोड़ के लिये 8 ϕ मान लिये जाते हैं, परन्तु यह मान 16 ϕ से अधिक नहीं होगा। इस प्रकार एक *U*-हुक का स्थिरण (जकड़) मान 16 ϕ लिया जाता है। *U*-हुक को मानक हुक भी कहते हैं।

टिप्पणी— I.S. कोड धारा 26.2.2-1 के अनुसार, यदि विकास लम्बाई उपलब्ध है, तब विरुपित छड़ों (Tor Steel) के सिरों पर हुक **नहीं** दिये जाते हैं (क्योंकि तीखा मोड़ने पर, इनके फटने की सम्भावना रहती हैं)। हुक सामान्यत: मृदु इस्पात की सादा छड़ों (Plain Bars) पर, जो तनन में है, दिये जा सकते हैं। विरुपित छड़ों पर 90° का मोड़ (Bend) देना पर्याप्त है।



चित्र 4.36—मानक हुक (Standard Hook)

स्पष्टीकरण—कुछ दशक पूर्व तक प्रबलित कंक्रीट अवयवों में प्रबलन के रूप में मृदु इस्पात Fe 250 की सादा गोल छड़ें (Plain Round Bars) प्रयोग की जाती थीं। स्थिरण के लिये तब इनके सिरों पर ऊपर वर्णित मानक हुक दिये जाते थे। परन्तु अब प्रबलन के लिये बाजार में Fe 415 व Fe 500 की उच्च पराभव सामर्थ्य वाली विरुपित छड़ें (HYSD Bars), जिन्हें टोर इस्पात (Tor Steel) कहते हैं, उपलब्ध हैं। मृदु इस्पात की सादा गोलाकार छड़ों का प्रबलन अब **लगभग समाप्त** है। टोर छड़ों में 40% अधिक अभिलाग सामर्थ्य (Bond Strength) होती है। टोर छड़ों को मानक हुक देने के लिये 180° पर मोड़ने पर इनकी सतह के फटने का भय रहता है, अत: टोर छड़ों के सिरों पर 180° हुक नहीं दिये जाते हैं। इन छड़ों की समस्त विकास लम्बाई, सीधी लम्बाई द्वारा अथवा 90° का सरल मोड़ (L-Bend) देकर प्राप्त की जाती है।

(3) सम्पीडन छड़ों का स्थिरण—सम्पीडन छड़ों के सिरों पर हुक नहीं दिये जाते हैं, क्योंकि भार पड़ने पर छड़ का बाहर की ओर व्याकुंचन होता है और छड़ अक्षीय नहीं रह पाती है। फलस्वरूप अवयव में दरारें/फटान पड़ने की सम्भावना बन जाती है। अत: सम्पीडन छड़ों में विकास लम्बाई, अतिरिक्त सीधी लम्बाई के द्वारा ही प्राप्त की जाती है, जो स्थिरण की शर्त भी पूरी करती है।

(4) कर्तन छड़ों व छल्लों का स्थिरण—

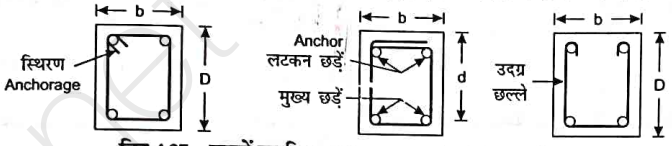
(a) नत छड़ें—कर्तन के लिये नत की गयी छड़ की विकास लम्बाई, तनन में ली गयी विकास लम्बाई के बराबर होती है। यह लम्बाई निम्न बिन्दुओं से ली जाती है (I.S. कोड धारा 26.2.2-4)—

(i) तनन क्षेत्र में—छड़ के नत बिन्दु से आगे

(ii) सम्पीडन क्षेत्र में—धरन की मध्य गहरायी से

(b) छल्लों (Stirups) **व टाई** (Ties) **का स्थिरण**—सन्तोषजनक स्थिरण के लिये, छल्ले के सिरों (ends) को **90° पर (न्यूनतम), मुख्य छड़ों के गिरद घुमाकर, 8 ϕ तक आगे बढ़ाकर समाप्त करना चाहिये।** जब ये छल्ले व टाई 135° पर मोड़ी जायें तो 6 ϕ तक, तथा 180° पर मोड़ी जानी हो, तब 4 ϕ तक मोड़ के बाद आगे तक बढ़ाना चाहिये।

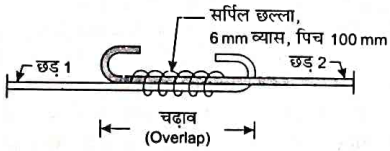
छल्लों के सिरों को मोड़ने की विभिन्न व्यवस्था चित्र 4.37 में दर्शायी गयी है।



चित्र 4.37—छल्लों का स्थिरण (Anchorage for Stirrups)

§ 4.15. छड़ों का चढ़ाव अथवा सिरासंधि (Laps in Reinforcing Bars or Splicing) :

उत्पादन में सुगमता तथा वहन में आसानी के लिये इस्पातीय-छड़ें मानक लम्बाई (13 मी०) में तैयार की जाती हैं। जब छड़ की वांछित लम्बाई उपलब्ध न हो, तब दो छड़ों को (लम्बाई में) जोड़ना पड़ता है। यह जोड़ दोनों छड़ों के सिरों को एक-दूसरे पर चढ़ाव देकर अथवा सिरों को वेल्ड करके प्राप्त किये जाते हैं। वेल्ड की अपेक्षा चढ़ाव देना सरल पड़ता है चढ़ाव की पर्याप्त लम्बाई (Lap Length) होनी चाहिये ताकि वांछित बाण्ड-लम्बाई प्राप्त हो सके औ एक छड़ के प्रतिबल दूसरी छड़ में अन्तरित हो सकें। चढ़ाव का स्थान इस प्रकार निर्धारित करना चाहिये कि वहाँ पर प्रतिरोध आघूर्ण, कुल मान का 50% से अधिक न हो। चढ़ाव छड़ों की संख्या में कुल छड़ों की संख्या के 50% तक ही सीमित रखनी चाहिये। जब अधिक छड़ों को चढ़ाव देना आवश्यक हो तो यह चढ़ाव एक बिन्दु पर न होकर, बिखरी (Staggered) स्थिति में लगाने चाहियें।



चित्र 4.38—छड़ों का लम्बाई में चढ़ाव (Over-Lapping)

चढ़ाव के लिये निम्न नियमों का पालन आवश्यक है—

(i) 36 mm से अधिक व्यास की छड़ पर चढ़ाव नहीं देना चाहिये। इसे वेल्ड करना ठीक है।

(ii) तनन छड़ों (धरन आदि में) की चढ़ाव लम्बाई, हुक/मोड़ के जकड़न मान सहित L_d या 30 ϕ से जो भी अधिक हो, लेनी चाहिये। इसमें चढ़ाव की सीधी लम्बाई 200 mm या 15 ϕ से कम नहीं होनी चाहिये। शेष लम्बाई हुक/मोड़ के द्वारा प्राप्त की जा सकती है। तनन छड़ों में चढ़ाव लम्बाई पर 6 mm ϕ के सर्पिल छल्ले अलग से लगाने चाहिये। इनका पिच 100 mm से अधिक नहीं होगा।

अत: $$L_d = \text{विकास लम्बाई} = \frac{\sigma_{st} \times \phi}{4 \tau_{bd}}$$

ϕ = छड़ का व्यास, τ_{bd} = अनुज्ञेय अभिलाग प्रतिबल, N/mm² में।

(iii) सम्पीडन छड़ों (स्तम्भ आदि में) की चढ़ाव लम्बाई L_d के बराबर रखी जा सकती है, परन्तु यह 24 ϕ से कम नहीं होनी चाहिये। यहाँ,

$$L_d = \text{विकास की लम्बाई} = \frac{\sigma_{st} \times \phi}{5\tau_{bd}}$$

विभिन्न व्यास की तनन व सम्पीडन छड़ों की विकास लम्बाई के मान सारणी 4.5 में दिये गये हैं।

(iv) जब दो असमान छड़ों (विभिन्न व्यास की) को चढ़ाव दिया जाता है तो चढ़ाव लम्बाई ज्ञात करने के लिये छोटे व्यास की छड़ ली जाती है।

(v) विरुपित (Tor) छड़ों के सिरों पर हुक नहीं दिये जाते हैं, बल्कि इनके सिरे 90° पर मोड़ दिये जाते हैं।

प्रश्नावली–4

1. अपरुपण (कर्तन) बल के बारे में आप क्या जानते हैं? यह कैसे उपजता है? एक भारित धरन पर इसका क्या प्रभाव होता है, संक्षेप में लिखें।
2. स्पष्ट करें कि आप एक भारित (Loaded) प्रबलित सीमेंट कंक्रीट धरन में विकर्ण तनन (Diagonal Tension) से क्या समझते हैं? यह तनन कैसे रोधित की जाती है? स्पष्ट उत्तर दें। *[B.T.E.]*
3. धरनों में अपरुपण (कर्तन) प्रबलन देना क्यों आवश्यक होता है, स्पष्ट लिखिये?
4. प्रबलित कक्रीट धरनों में कर्तन प्रबलन कितने प्रकार से दिया जाता है, चित्र की सहायता से स्पष्ट करें।
5. धरनों में कर्तन प्रबलन क्यों दिया जाता है? कर्तन प्रबलन देने की सामान्य विधियाँ क्या हैं? लिखिये। *[B.T.E.]*
6. धरनों में नामन (Nominal) कर्तन प्रतिबल कैसे ज्ञात किये जाते हैं? लिखिये।
7. प्रबलित कंक्रीट धरन में न्यूनतम कर्तन (अपरूपण) प्रतिबल कितना दिया जाता है, सूत्र लिखिये।
8. विकास लम्बाई क्या होती है? इसका प्रबलन खण्डों में क्या महत्त्व है, लिखिये।
9. प्रबलित कंक्रीट खण्ड में अभिलाग (Bond) के महत्त्व पर प्रकाश डालें।
10. (i) छड़ों के सिरों पर हुक क्यों दिये जाते हैं? एक U हुक की क्षमता लिखें।
    (ii) सम्पीडन छड़ों के सिरे पर हुक क्यों नहीं दिया जाता है? लिखिये।
11. प्रत्यक्ष (औसत) अभिलाग और स्थानीय अभिलाग में अन्तर स्पष्ट करें। *[B.T.E.]*
12. कर्तन के लिये नत की गयी तनन छड़ों की विकास लम्बाई कहाँ से आंकी जाती है, लिखिये।
13. निम्न मोड़ (bend) के स्थिरण मान लिखें—45°, 90° मानक हुक।
14. एक प्रबलित कंक्रीट धरन का माप 300 mm × 600 mm (प्रभावी) है और इसके तनन क्षेत्र में 25 mm व्यास की 5 छड़ें डाली गयी हैं। धरन पर 200 kN का अभिकल्प कर्तन बल (Design Shear Force) लग रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात मानकर, धरन का अपरुपण-विश्लेषण कीजिए।

    (उत्तर: $\tau_v < \tau_{c\,max}$ परन्तु $\tau_v < \tau_c$, अत: अपरुपण प्रबलन देना होगा)

15. एक एकल-प्रबलित कंक्रीट धरन की चौड़ाई 250 mm और प्रभावी गहराई 400 mm है। इसके तनन क्षेत्र में 16 mm व्यास की 4 छड़े डाली गयी हैं। कंक्रीट का ग्रेड M-20 और इस्पात की श्रेणी Fe 415 है। धरन पर 250 kN का अपरुपण-बल लग रहा है। धरन के लिये अपरुपण-प्रबलन ज्ञात कीजिए। *[RTU]*

    (उत्तर: $\tau_v > \tau_c$, 10 mm व्यास के दो-टाँग वाले छल्ले 110 mm c/c पर डालें)

16. 6 मी० पाट वाले एक शुद्धालम्बित प्रबलित कंक्रीट धरन की चौड़ाई 300 mm तथा गहर 500 mm है। इसमें 50 mm के प्रभावी आवरण पर 20 mm व्यास की 4 छड़ें डाली गयी हैं। धरन 15 kN/m (स्वयं के भार सहित) का समवितरित भार आ रहा है। धरन के अन्तस्थों पर अधिकत कर्तन प्रतिबल तथा खण्ड की कर्तन सामर्थ्य ज्ञात कीजिये (भार-गुणक 1.5 मान लें)।
17. एक शुद्धालम्बित प्रबलित कंक्रीट धरन खण्ड का माप 300 mm × 500 mm (प्रभावी) है। इस 20 mm व्यास की 5 छड़ें तनन प्रबलन के रूप में प्रयोग की गयी हैं, जिनमें 2 छड़, अन्तस्थ से 1 मी की दूरी पर ऊपर को नत की गयी हैं। यदि धरन के लिये M-20 ग्रेड की कक्रीट प्रयोग की गयी हो खण्ड की अधिकतम कर्तन सामर्थ्य ज्ञात कीजिये।
18. 'विकास लम्बाई' से आप क्या समझते हैं? इसकी जाँच का सूत्र दें।
19. एक कंक्रीट धरन का परिच्छेद 300 mm × 900 mm (प्रभावी) है और पाट 6 मी० है। धरन प 40 kN प्रति मीटर लम्बाई का भार लग रहा है। तनन क्षेत्र में 22 mm ϕ की 5 छड़े डाली गयी कंक्रीट की श्रेणी M–20 और मृदु इस्पात Fe 415 का प्रयोग किया गया है। खण्ड की अपरुपण जाँच कीजिये।
20. एक प्रबलित कंक्रीट धरन, जिसकी माप 250 mm × 500 mm (प्रभावी) है, अपने 5·0 मी० के शु पाट पर 30 kN/m का U.D.L. कुल भार वहन कर रही है। धरन के तनन क्षेत्र में 22 mm व्यास 4 छड़े प्रबलन इस्पात के रूप में डाली गयी हैं। M–20 श्रेणी की कंक्रीट और Fe 415 का इस्प प्रयोग करते हुये, धरन की अपरुपण सामर्थ्य का विश्लेषण करें। धरन के लिये भार-गुणक (Loa Factor) 1·5 मान लें।

    (उत्तर: अपरुपण छड़े 2-टाँग वाली, 8 mm व्यास की, 300 mm c/c
21. एक कंक्रीट धरन 230 mm × 450 mm (प्रभावी) है। इस पर 90 kN का अभिकल्प अपरुपण ब लग रहा है। कंक्रीट M–20 और प्रबलन इस्पात Fe 415 ग्रेड का है। 8 mm व्यास के अपरुपण छल्ल का अन्तराल ज्ञात कीजिये यदि धरन के तनन क्षेत्र में 16 mm व्यास की 5 छड़ें डाली गयी हों।
22. एक कंक्रीट धरन का परिच्छेद 200 mm × 400 mm (प्रभावी गहरायी) है। इसमें 18 mm व्यास व 5 छड़ें तनन क्षेत्र में डाली गयी हैं, जिनमें से दो छड़ें आलम्बों से पाट/10 की दूरी पर 45° पर ऊप को नत कर दी गयी हैं। धरन पर 50 kN का फैक्टर अपरुपण बल लग रहा है। धरन की विका लम्बाई में जाँच कीजिये।
23. एक प्रबलित कंक्रीट धरन की माप 300 mm × 600 mm (प्रभावी) है। इसमें 25 mm व्यास व 5 छड़ें, तनन क्षेत्र में डाली गयी हैं। धरन पर 200 kN का फैक्टर अपरुपण बल लग रहा है M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का प्रबलन इस्पात प्रयोग करने पर, सिद्ध करें कि धर का अपरुपण अभिकल्प आवश्यक है अथवा नहीं।
24. दो मीटर बाहर निकले हुये प्रास धरन के मुक्त सिरे पर 25 kN का केन्द्रित भार कार्य कर रहा है। यदि धरन खण्ड 200 mm × 250 mm है और इसमें 20 mm ϕ की तीन छड़े तनन क्षेत्र 40 mm के प्रभावी आवरण पर डाली गयी हैं, तो खण्ड का कर्तन में परीक्षण करें तथा आवश्यक हो पर कर्तन प्रबलन का अभिकल्पन करें। तनन इस्पात $f_y = 415$ N/mm^2 मान लें। धरन के लि M-20 ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग की जानी है।
25. निम्नलिखित प्रबलन का कर्तन बल का मान ज्ञात करें—
    (i) 8 mm ϕ के दो टाँगों वाले, 150 mm c/c के अन्तराल पर लगाये गये ऊर्ध्व छल्ले (स्टीरप्स), धरन की प्रभावी गहराई 300 mm मान लें। इस्पात Fe 415 का डाला गया है।

(ii) 20 mm ϕ की 45° पर ऊपर को नत (bent-up) दो छड़ें। इस्पात के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल 250 N/mm^2 मान लें।

26. एक आर०सी०सी० धरन का खण्ड माप 300 mm × 500 mm (प्रभावी) है और इसका शुद्ध पाट 6 मी० है। धरन पर 25 kN/m का भार (स्वयं के भार सहित) आ रहा है। खण्ड में 1% तनन इस्पात डाला गया है। धरन की कर्तन मे जाँच कीजिये और यदि आवश्यक हो तो 2-टाँग वाले ऊर्ध्व छल्लो का अभिकल्पन करे। कंक्रीट की श्रेणी M-15 और इस्पात Fe 250 मान लें।

27. एक प्रबलित कक्रीट प्रास धरन जो 2·5 मी० बाहर निकली हुयी है, का खण्ड माप 200 mm × 400 mm (प्रभावी) है। धरन पर 2×10^4 N प्रति मी० लम्बाई का भार लग रहा है। इसके तनन क्षेत्र मे 16 mm ϕ की 4 छड़े डाली गयी हैं। M-20 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग करते हुये खण्ड की कर्तन मे जाँच करे। यदि आवश्यक हो तो उदग्र छल्लों के रूप में कर्तन प्रबलन का अभिकल्पन करे। Fe 415 मान ले।

28. 6 मी० पाट पर डाली गयी आर० सी० सी० की एक धरन 200 mm चौड़ी तथा 500 mm गहरी (कुल) है और प्रभावी गहराई 450 mm है। धरन पर 20 kN/m का कुल समवितरित भार (स्वयं के भार सहित) आ रहा है। धरन में 20 mm व्यास की 4 छड़ें तनन प्रबलन के रूप में प्रयोग की गयी हैं। ज्ञात करें—
   (i) आलम्ब से कितनी दूरी पर कर्तन प्रबलन की आवश्यकता होगी।
   (ii) ऊर्ध्व स्टीरप्स की दूरी (अन्तराल) भी ज्ञात कीजिये।

29. (i) एक छत का पंखा, जिसका भार 300 N है, को 12 mm ϕ के हुक द्वारा छत स्लैब में लटकाया गया है। यदि कंक्रीट में अभिलाग प्रतिबल 1·0 N/mm^2 हो, तो बताइये हुक को कितनी गहरायी तक स्लैब मे गाड़ा जाये।
   (ii) 12 mm ϕ इस्पातीय छड़ से बना एक हुक छत स्लैब में 100 mm तक घँसाया गया है। हुक पर कितना भार लटकाया जा सकता है, बताइये। अभिलाग प्रतिबल 1·0 N/mm^2 मान लें।

[B.T.E.]

30. एक प्रबलित कंक्रीट धरन जिसका माप 250 mm × 400 mm (प्रभावी) है, में 20 mm ϕ की 4 छड़ें तनन प्रबलन के रूप मे डाली गयी है। धरन पर 10×10^4 N का फैक्टर कर्तन बल आ रहा है। छड़ों की अभिलाग (bond) में जाँच कीजिये।

31. एक प्रबलित कक्रीट धरन का माप 225 mm × 600 mm (प्रभावी गहराई) है और पाट 6 मी० है। इस पर 70 kN/m का समवितिरत भार आ रहा है। धरन में तनन इस्पात के लिये 20 mm ϕ की 6 छड़े डाली गयी है, जिनमे 2 छड़े 45° पर कर्तन के लिये ऊपर को गोड़ दी गयी हैं। धरन के लिये 8 mm ϕ की स्टीरप्स का अन्तराल ज्ञात करें। कंक्रीट की श्रेणी M-20 और इस्पात Fe 415 ले।

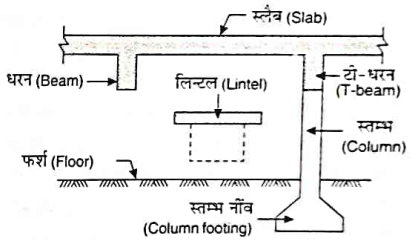
5 प्रबलित कंक्रीट धरन
(REINFORCED CONCRETE BEAMS)

(A) अभिकल्पन सम्बन्धी सामान्य विनिर्देश
(GENERAL SPECIFICATIONS FOR R.C.C. DESIGN)

§ 5.1. प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट खण्ड (R.C.C. Sections):

भवनों तथा अन्य भारवाही सिविल इन्जीनियरी संरचनाओं में प्रबलित कंक्रीट के निम्न मुख्य संघटक होते हैं—(a) धरन (Beams) तथा इसके अन्य रूप जैसे (i) प्रास धरन (Cantilever Beam), (ii) लिन्टल (Lintel), (iii) टी व एल धरन (Tee and Ell Beams), (b) स्लैब (Roof Slab), (c) स्तम्भ (Column), (d) स्तम्भ-नींव (Column Footing), ज़ीना (Staircase), प्रतिधारक दीवार (Retaining Wall), गुम्बद (Dome), महाधानक (Silo) इत्यादि।

भार वहन की दृष्टि से छत- स्लैब का भार धरनों (अथवा टी-धरनों) पर आता है, जहाँ से यह इनके सिरों पर दिये गये स्तम्भों पर अन्तरित हो जाता है। स्तम्भों से (संरचना का) भार इनकी नींव द्वारा नीचे स्थित अवमृदा पर अन्तरित हो जाता है। अत: उपरोक्त अवयवों का अभिकल्पन करते समय, यह देखना होता है कि प्रत्येक घटक अपने ऊपर पड़ने वाले भार को दक्षता से वहन करता हुआ, अपने से नीचे स्थित अवयव को अन्तरित कर दे और कुल मिलाकर पूरी संरचना सुरक्षित बनी रहे।



चित्र 5.1—प्रबलित कंक्रीट घटक

अगले अध्यायों में ऊपर दिये गये प्रबलित कंक्रीट अवयवों की अभिकल्पन विधि पर प्रकाश डाला गया है।

§ 5.2. अभिकल्पन का उद्देश्य (Aim of Design):

सरंचनाओं के अभिकल्पन में इस बात पर ध्यान दिया जाता है कि सरंचना अपने पूर्ण आयुकाल तक सेवा योग्य और सुरक्षित बनी रहे, अपने ऊपर पड़ने वाले भारो को दक्षतापूर्वक वहन कर सके और इसके साथ ही बाह्य और भीतरी प्रकोपों को झेलते हुये, अपनी सुरक्षा तथा आकर्षण बनाये रखे।

सरंचना के अभिकल्पन के अन्तर्गत निम्न चरण आते है—
(i) सरंचना के स्वरूप का निर्धारण।
(ii) सरंचना पर पड़ने वाले भारों की संकल्पना।

(iii) विभिन्न खण्डों पर पड़ने वाले भारों के लिये बंकन आघूर्ण (Bending Moment), अपरूपण (Shear), विक्षेप (Deflection), प्रणोद (Thrust) इत्यादि की गणना।

(iv) खण्ड का अभिकल्पन (परिमाप निर्धारित करना)।

(v) विस्तृत स्ट्रक्चरल ड्राईंग तथा प्रबलन इस्पात की अनुसूची (Bar-bending Schedule) इत्यादि।

§ 5.3. अभिकल्पन का आधार (Bases of Design) :

जैसा हम पहले बता चुके हैं, प्रबलित सीमेंट कंक्रीट के लिये कंक्रीट तथा इस्पात का प्रयोग होता है, जो रचनात्मक दृष्टि से बिल्कुल दो अलग-अलग पदार्थ हैं। फिर सीमेंट कंक्रीट में भी सीमेंट, बालू, गिट्टी—तीनों घटक एक-दूसरे से भिन्न प्रकार के होते हैं। घटकों में इतनी अधिक भिन्नता होते हुये भी, प्रबलित सीमेंट कंक्रीट को एक समांगी (Homogeneous) पदार्थ मानकर, एक सीमा तक प्रत्यास्थता सिद्धान्त के अन्तर्गत ले लिया गया है।

प्रबलित सीमेंट कंक्रीट की संरचनाओं के अभिकल्पन के लिये प्रत्येक देश के अपने-अपने कोड (रीति संहिता) हैं, जो यान्त्रिकी के सिद्धान्तों, खोज, प्रयोग तथा लम्बे व्यवहारिक ज्ञान के आधार पर तैयार किये गये हैं। इस देश में प्रबलित कंक्रीट निर्माण के लिये I.S. code 456 लागू है, जो सन् 1953 में सर्वप्रथम प्रकाशित किया गया था। काल अन्तर में आवश्यक होने पर इस कोड को 1957 व 1964 में संशोधित किया गया। कंक्रीट टेक्नोलोजी में लगातार विकास के फलस्वरूप कोड को पुनः 1978 व सन् 2000 में संशोधित किया गया है। नवीन कोड, पुराने कोड से कई धाराओं में भिन्न है। इस पुस्तक में प्रबलित कंक्रीट अवयवों के अभिकल्पन में नवीनतम कोड I.S. 456–2000 को ध्यान में रखा गया है।

B.I.S. का नवीन कोड (I.S. 456-2000) अभिकल्पन के लिये **सीमान्त अवस्था विधि** (Limit State Method—L.S.M.) को वरीयता देता है, परन्तु इसको अपनाने में इन्जीनियरी छात्रों व नये डिजाइनरों को विषय के मूल तत्वों व प्रक्रिया को समझे बगैर, सीमा अवस्था विधि को समझने में कुछ व्यवहारिक दिक्कत आती है। कोड में भी ऐसी स्थिति में प्रबलित कंक्रीट अवयवों के अभिकल्पन के लिये **कार्यकारी प्रतिबल विधि** (Working Stress Method) अपनाने की छूट दी है, परन्तु अब संरचना की स्थिरता, दक्षता, सेवाआयु, सुरक्षता तथा मितव्ययिता को देखते हुये, L.S.M. को ही वरीयता दी जाती है।

कोड में S.I. प्रणाली का सुझाव दिया गया है, अतः इस पुस्तक में इसी प्रणाली को अपनाया गया है। व्यावहारिक तौर पर 1 N/mm^2 = 10 Kg/cm^2 मान लिया गया है।

5.3-1. अभिकल्प भार (Design Load or Factor Load)—कार्यकारी प्रतिबल विधि (W.S.M.) में मैटीरियल व भारों के अभिलक्षणिक मानों पर सुरक्षा गुणक (Factor of Safety) लगाया है, जबकि सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M.) में आंशिक सुरक्षा गुणक (Partial Safety Factor) लगाया जाता है। दोनों गुणक में कुछ भिन्नता है। L.S.M. में कार्यरत भारों (Working Loads) पर 1·5 का भार-गुणक (Load Factor) लगाया जाता है। इसी प्रकार कंक्रीट की सामर्थ्य पर 1·5 और इस्पात की सामर्थ्य पर 1·15 का आंशिक सुरक्षागुणक लिया जाता है।

§ 5.4. निर्माण पदार्थों के भार (Weight of Construction Material) :

प्रबलित कंक्रीट खण्डों के अभिकल्पन में, विभिन्न निर्माण पदार्थों का अचल (Dead) भार सामान्यतः निम्नलिखित लिया जाता है—

(1) कंक्रीट–

(i) सादा सीमेन्ट कंक्रीट	= 2400 kg/m^3	(24 kN/m^3)
(ii) प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट	= 2500 kg/m^3	(25 kN/m^3)
(iii) चूना कंक्रीट	= 1920 kg/m^3	(19·2 kN/m^3)

(2) चिनाई–

(i) पत्थर की चिनाई	= 2080 से 2700 kg/m^3	(20·8 से 27 kN/m^3)
(ii) ईंट चिनाई	= 1920 kg/m^3	(19·2 kN/m^3)
(iii) प्रबलित ईंट चिनाई	= 2000 kg/m^3	(20 kN/m^3)

(3) फर्श–

(i) 25 mm मोटा सीमेन्ट/टैराजो फर्श	= 60 kg/m^2	(0·6 kN/m^2)
(ii) 25 mm मोटा टाईल फर्श	= 20 kg/m^2	(0·2 kN/m^2)

(4) छत आवरण–

(i) A.C. चादरें	= 50 kg/m^2	(0·5 kN/m^2)
(ii) G.I. चादरें	= 20 kg/m^2	(0·2 kN/m^2)
(iii) टाइलें	= 65 kg/m^2	(0·65 kN/m^2)

(5) पर्दा दीवार–

10 cm मोटी	= 200 kg/m^2	(2 kN/m^2)

(6) अन्य पदार्थ–

(i) ईंट	= 1600–1920 kg/m^3	(16–19·2 kN/m^3)
(ii) सीमेन्ट	= 1440 kg/m^3	(14·4 kN/m^3)
(iii) बालू	= 1600 kg/m^3	(16 kN/m^3)
(iv) पत्थर की गिट्टी	= 1440 से 1920 kg/m^3	(14·4 से 19·2 kN/m^3)
(v) इस्पात	= 7850 kg/m^3	(78·5 kN/m^3)
(vi) मृदा	= 1600 से 1760 kg/m^3	(16 से 17·6 kN/m^3)
(vii) पानी	= 1000 kg/m^3	(10 kN/m^3)
(viii) कांच	= 2700 kg/m^3	(27 kN/m^3)
(ix) लकड़ी	= 600–1000 kg/m^3	(6–10 kN/m^3)
(x) मार्बल	= 2700 kg/m^3	(27 kN/m^3)
(xi) प्लास्टर	= 20–25 kg/m^3	(0·2–0·25 kN/m^3)

§ 5.5. प्रतिबल (Stresses) :

(a) कंक्रीट के लिये सम्पीडन प्रतिबल, $f_{cd} = \frac{0{\cdot}67\, f_{ck}}{1{\cdot}5} = 0{\cdot}446\, f_{ck}$ N/mm²

(b) इस्पात के लिये तनन प्रतिबल, $f_{sd} = \frac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87\, f_y$

(i) Fe 250 के लिये $f_s = 0{\cdot}87 \times 250 = 217{\cdot}5$ N/mm²
(ii) Fe 415 के लिये $f_s = 0{\cdot}87 \times 415 = 361$ N/mm²
(iii) Fe 500 के लिये $f_s = 0{\cdot}87 \times 500 = 435$ N/mm²

§ 5.6. धरन की माप (Size of Beam) :

धरन की माप प्रायः वास्तुकला की दृष्टि से निर्धारित की जाती है। धरन की चौड़ाई दीवार अथवा प्रस्तम्भ की चौड़ाई के अनुरूप रखी जाती है तथा गहरायी कमरे की निर्बाध ऊँचाई को देखते हुये निर्धारित की जाती है। गहरायी व चौड़ाई धरन के पाट व अध्यारोपित भार के आधार पर ली जाती है, परन्तु एक कमरे के सभी धरन एक ही माप के रखने चाहियें, ताकि देखने में अटपटे न लगें और फरमाबन्दी पर भी कम खर्च आये।

(i) **धरन की चौड़ाई** (Width), *b*—मोटे तौर पर यह $\frac{\text{पाट}}{10}$ से $\frac{\text{पाट}}{20}$ मानी जा सकती है।

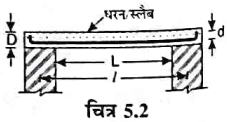
(ii) **धरन की प्रभावी गहराई** (Effective Depth)—धरन के ऊपरी सिरे (फलक) से, तनन प्रबलन के केन्द्रक तक की दूरी, धरन की प्रभावी गहराई, *d* कहलाती है।
सामान्य धरनों की (प्रभावी) गहराई मोटे तौर पर, इसकी चौड़ाई का 1·5 से 2 गुना रखी जाती है।

(iii) **अनुमत विक्षेप** (Deflection) **की दृष्टि से खण्ड माप**—कंक्रीट अवयवों में अनावश्यक विक्षेप (Deflection) को रोकना चाहियें। 10 मी० पाट तक, सामान्य भार के लिये, धरन के पाट/प्रभावी गहराई का अनुपात सारणी 5.6 के अनुसार लिया जा सकता है।

§ 5.7. प्रभावी पाट (Effective Span) :

अवयवों के अभिकल्पन में इनका प्रभावी पाट (विस्तृति) लिया जाता हैं। धरनों व स्लैब अभिकल्पन के लिये, जो आलम्बों पर पूर्णतः आबद्ध (जकड़े हुये) नहीं है, प्रभावी पाट निम्न प्रकार ज्ञात किया जाता है—

(i) **शुद्धालम्बित** (Simply Supported) **धरनों तथा स्लैब के लिये**—यह निम्न का **न्यूनतम** मान लिया जायेगा—
(a) शुद्ध पाट + खण्ड की प्रभावी गहराई,
अर्थात् $l = L + d$ (चित्र 5.2) अथवा
(b) आलम्बों के मध्य से मध्य दूरी (c/c), अर्थात् $l = L +$ आलम्बों की आधी-आधी चौड़ाई।



चित्र 5.2

(ii) **प्रास धरनों तथा प्रास स्लैब के लिये**–प्रभावी पाट, बाहर लटकी हुई (Over-hang) लम्बाई $+ \frac{d}{2}$ लिया जायेगा। यहाँ *d* = प्रभावी गहरायी है। जब प्रास भाग किसी सतत धरन से सतह-रूप में

आगे बढ़ा हुआ है, तब प्रभावी पाट प्रास के मुक्त सिरे से निकटतम आलम्ब (Support) के मध्य (upto Centre) तक की दूरी, तक लिया जायेगा।

(iii) **सतत धरनों तथा स्लैब के लिये—**

(a) जब आलम्बों की चौड़ाई, $\frac{\text{शुद्ध पाट}}{12}$ के बराबर अथवा इससे कम है, प्रभावी पाट उपरोक्त (i) के अनुसार लिया जायेगा।

(b) जब आलम्बों की चौड़ाई, $\frac{\text{शुद्ध पाट}}{12}$ से अधिक अथवा 600 mm (जो भी न्यूनतम है), तब प्रभावी पाट निम्न लिया जायेगा—

(क) सिरे वाले पाट (End Span) के लिये (जब एक सिरा आबद्ध तथा दूसरा सतत है) अथवा मध्यवर्ती पाट के लिये—प्रभावी पाट, शुद्ध पाट के बराबर होगा।

(ख) सिरे वाले पाट (End Span) के लिये (जब एक सिरा टिका हुआ (Freely Supported) है तथा दूसरा सतत है)—
प्रभावी पाट = शुद्ध पाट $+ \frac{d}{2}$ **अथवा** शुद्ध पाट $+ \frac{\text{अन्तिम आलम्ब की चौड़ाई}}{2}$,
जो भी न्यूनतम हो। यहाँ *d* धरन या स्लैब की प्रभावी गहरायी है।

(iv) **रोलर व रोकर बीयरिंग पर टिके पाटों के लिये**—प्रभावी पाट = बीयरिंगों के मध्य से मध्य दूरी

§ 5.8. भार (Loads) :

अभिकल्पन में धरनों व स्लैब पर निम्न भार लिये जाते हैं—
(i) चल भार (Live load)
(ii) अचल भार (Dead load)
(iii) धरन या स्लैब का स्वयं का भार (Self weight)

इन्जीनियरी संरचनाओं पर कुछ अन्य भार, जैसे पवन, हिम, भूकम्प-बल इत्यादि भी आते हैं (जिन की गणना के लिये B.I.S. कोड देखें)।

छतों तथा फर्शों के लिये चल भार सारणी 5.1 में दिये गये हैं—

सारणी 5.1—छतों पर चल भार (Live Loads on Roofs)
(I.S. 875 के अनुसार)

छत की प्रकार	प्लान क्षेत्रफल पर चल भार	न्यूनतम चल भार
(a) **समतल छतें** (Flat Roof)— (i) जब छत पर पहुँचने का प्राविधान (जीना) है।	150 kg/m²	**पूरे पाट के लिये समवितरित भार–** (i) स्लैब की प्रति मी० चौड़ाई के लिये = 375 kg (ii) धरन के लिये = 900 kg

(Contd...)

(ii) जब छत पर पहुँचने का प्रावधान नहीं है।	75 kg/m²	पूरे पाट के लिये समवितरित भार- (i) स्लैब की प्रति मी० चौड़ाई के लिये = 190 kg (ii) धरन के लिये = 450 kg
(b) ढालू छतें (Slopy Roofs)		
(i) 10° ढाल तक	75 kg/m²	न्यूनतम 40 kg/m² (प्लान पर)
(ii) 10° से 20° ढाल तक	प्रत्येक डिग्री पर 1 kg/m² की दर से कम होगा।	—
(iii) 20° से अधिक ढाल	प्रत्येक डिग्री पर 2 kg/m² की दर से कमी।	—

सारणी 5.2–फर्शों पर चल भार (Live Loads on Floors)
(I.S. 875 के अनुसार)

भार श्रेणी	फर्श की प्रकार	न्यूनतम चल भार (N/m²)	न्यूनतम कुल चल भार
200	आवासीय भवन, फ्लैट, अस्पताल के वार्ड, छात्रावासों के कमरे तथा डॉरमिट्री	2 kN	न्यूनतम कुल भार प्रति स्लैब पैनल $2\frac{1}{2}$ गुना से और धरन के लिये 6 गुना से कम नहीं लिया जायेगा।
250	कार्यालय (प्रवेश हाल को छोड़ कर), हल्के कार्य के लिये प्रयुक्त फर्श	2·5 से 4 kN	
300	बैंकों के हॉल कमरे, प्रवेश हाल, वाचनालय इत्यादि	3 kN	
400	कक्षा फर्श, लेक्चर हॉल, जलपान गृह इत्यादि	4 kN	
500	होटल के हाल कमरे, नाच घर, प्रतीक्षा हॉल, पूजा स्थल, वेयर हाउस, हल्की वर्कशाप, फैक्टरी के कमरे इत्यादि	5 kN	
750	मध्यम भार वाले वेयर हाउस, वर्कशाप, फैक्टरी इत्यादि	7·5 kN	—
1000	अति-भार वेयर हाउस, वर्कशाप, फैक्टरी इत्यादि।	10 kN	—
जीने	(i) श्रेणी 2 के भवनों के लिये; जहाँ भीड़ एकत्रित न हो।	3 kN	—
	(ii) अन्य श्रेणियों के लिये, जहाँ भीड़ की सम्भावना हो।	5 kN	—
बाल्कनी पैरापिट	बाल्कनी तथा छज्जे पैरापिट	3 से 5 kN 750 N/m	—

नोट– 1 kg = 10 N (न्यूटन)

5.8-1. फर्शों पर चल-भार में कमी (Reduction in Live Loads due to Upper Floors)—बहु-मंजिला भवनों में, ऊपर की मंजिलों पर भार अपेक्षाकृत कम होता है। ऊपरी मंजिलों में यह कमी सारणी 5.2-1 में दी गयी है।

सारणी 5.2-1 चल भार में कमी

मंजिलों की संख्या	समस्त फर्शों के कुल चल भार में कमी
1	0%
2	10%
3	20%
4	30%
5	40%

§ 5.9. वंकन आघूर्ण तथा अपरूपण (कर्तन) बल (B.M. and S.F.):

(1) प्राम धरन (Cantilever)—

(i) प्राम धरन, जिसके मुक्त सिरे पर केन्द्रित (बिन्दु) भार W आ रहा है, आबद्ध सिरे पर अधिकतम वंकन आघूर्ण, $M = Wl$

कर्तन बल, $S.F. = W$

यहाँ l प्राम धरन का प्रभावी पाट है। प्रभावी पाट के लिये अनुच्छेद 5.7 देखें।

(ii) प्राम धरन, जिसके पूरे पाट पर समवितरित भार w आ रहा है, आबद्ध सिरे पर—

$$\text{वंकन आघूर्ण}, M = \frac{wl^2}{2}$$

$$\text{कर्तन बल}, S.F. = wL$$

यहाँ L प्राम धरन का शुद्ध पाट और l प्रभावी पाट है।

(2) शुद्धालम्बित धरन तथा स्लैब (Simply Supported Beam and Slab)—एकल पाट पर शुद्धालम्बित धरनों तथा स्लैब के लिये अधिकतम वंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल कारक सारणी 5.3 में दिये गये हैं।

सारणी 5.3–एकल पाट के लिये वंकन आघूर्ण तथा कर्तन (अपरूपण) बल कारक
(B.M. and S.F. Factors)

धारित अवयव	पाट के मध्य में केन्द्रित (Point) भार = W	पूरे पाट पर समवितरित (UDL) भार = w प्रति (मी०) इकाई	पूरे पाट पर त्रिभुजाकार (Δ) भार (लिन्टल आदि में)
(1) वंकन आघूर्ण Max. B.M.	$\frac{Wl}{4}$ (at centre)	$\frac{wl^2}{8}$ (at centre)	$\frac{Wl}{6}$ (at centre)
(2) अपरूपण बल Max. S.F.	$\frac{W}{2}$ (at ends)	$\frac{wl}{2}$ (at ends)	$\frac{W}{2}$ (at ends)

यहाँ— W = कुल भार

w = समवितरित भार प्रति इकाई-लम्बाई

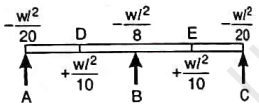
l = धरन की प्रभावी विस्तृति (पाट)

(3) आंशिक आबद्ध धरनें (Partially Fixed Beams)—ऐसी धरनें तथा स्लैब जिनके सिरों को चिनाई-दीवार में आंशिक रूप से आबद्ध कर दिया गया है, सिरा-आलम्बों पर ऋणात्मक वंकन आघूर्ण

$\left(-\frac{wl^2}{24}\right)$ लिया जायेगा। इस स्थिति में सिरा-आलम्ब (End-support) पर सारणी 5.5 में दर्शाये गये कर्तन-गुणक 0·05 बढ़ाकर लें।

(4) सतत धरनें (Continuous Beams)—जब धरन अनेक पाटों पर सतत डाला जाता है, इसे **सतत धरन** (Continuous Beam) कहते हैं। संरचना में सतत धरन को वरीयता दी जाती है क्योंकि इसकी भार वहन क्षमता अधिक होती है और विक्षेप (Deflection) कम होता है। धरन का खण्ड-माप (Section) भी न्यूनतम होता है। अत: कुल मिलाकर यह व्यवस्था मितव्ययी पड़ती है। एक सतत धरन अनिर्धारी रचना (Indeterminate Structure) होती है, जिसका कानी विधि (Kani's Method) से विश्लेषण किया जाता है। सरलता के लिये I.S. 456-2000 ने बंकन आघूर्ण तथा अपरुपण बल ज्ञात करने के गुणक सुझाये हैं। जब सतत पाट के मान (बड़े पाट का) 15% से अधिक का अन्तर नहीं रखते हैं, ये गुणक सारणी 5.4 व 5.5 में दिये गये हैं।

(i) दो समान (अथवा लगभग समान) पाट वाले सतत धरन के लिये—धरन या स्लैब की सततता के कारण पाट के मध्य में (धनात्मक) बंकन आघूर्ण का मान घटता है और आलम्बों पर (ऋणात्मक) बंकन आघूर्ण उत्पन्न होती है। यह मान नीचे दिये गये हैं।



चित्र 5.3

(a) पाट के मध्य में अधिकतम धनात्मक बंकन आघूर्ण, B.M. $= \frac{wl^2}{10}$

(b) धरन के सिरों वाले आलम्बों पर अधिकतम ऋणात्मक बंकन आघूर्ण, B.M. $= -\frac{wl^2}{20}$

(c) धरन के बीच वाले आलम्ब पर अधिकतम ऋणात्मक बंकन आघूर्ण, B.M. $= -\frac{wl^2}{8}$

(ii) दो से अधिक पाट वाले सतत धरन के लिये—I.S. 456–2000 के अनुसार बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल के कारक नीचे सारणियों में दिये जा रहे हैं—

सारणी 5.4–दो से अधिक पाटों के लिये बंकन आघूर्ण कारक
(Bending Moment Factors) (Table 12-IS 456)

भार की प्रकार	पाटों के मध्य-बिन्दु के निकट Span Moments		आलम्बों पर Support Moment	
	अन्तिम पाट	भीतरी पाट	सिरे से अगले आलम्ब पर	भीतर के आलम्ब पर
अध्यारोपित स्थिर व अचल भार (Fixed Load)—w_d के कारण बंकन आघूर्ण	$(+)\frac{w_d l^2}{12}$	$(+)\frac{w_d l^2}{16}$	$(-)\frac{w_d l^2}{10}$	$(-)\frac{w_d l^2}{12}$
अध्यारोपित (चल) (Imposed Load)—भार w_s के कारण बंकन आघूर्ण	$(+)\frac{w_s l^2}{10}$	$(+)\frac{w_s l^2}{12}$	$(-)\frac{w_s l^2}{9}$	$(-)\frac{w_s l^2}{9}$

सारणी 5.5—दो से अधिक पाटों के लिये कर्तन बल कारक
(Shear Force Factors) (Table 13-IS 456)

भार के प्रकार	सिरे के आलम्बों पर	सिरे के अगले आलम्ब पर		अन्य सभी भीतरी आलम्बों पर
		बाहरी फलक	भीतरी फलक	
अचल भार के कारण	0·40 $w_d l$	0·60 $w_d l$	0·55 $w_d l$	0·50 $w_d l$
अध्यारोपित भार के कारण	0·45 $w_s l$	0·60 $w_s l$	0·60 $w_s l$	0·60 $w_s l$

उपरोक्त सारणी 5.4 व 5.5 में—w_d = प्रति इकाई पाट पर अचल भार (Dead Load)

w_s = प्रति इकाई पाट पर चल भार (Live Load)

l = प्रभावी पाट (Effective Span)

नोट: जब धरन/स्लैब का सिरा (Edge) चिनाई-दीवार में आंशिक रूप से दबा दिया जाता है, तब आलम्ब की फलक (Face of Support) पर ऋणात्मक आघूर्ण (–) $\frac{wl}{24}$ लें और अपरुपण बल (S.F.) सारणी 5.5 में दिये गये मानों से गुणक 0·05 बढ़ा कर मान लें। यहाँ w = कुल अभिकल्प भार तथा l = प्रभावी पाट है।

(5) बंकन व अपरुपण (कर्तन) के लिये क्रान्तिक-काट (Critical Sections)—

(i) बंकन के लिये आलम्ब की फलक पर

(ii) अपरुपण के लिये क्रान्तिक-काट आलम्ब की फलक पर। यदि अपरुपण के कारण, अवयव के सिरा-क्षेत्र में सम्पीडन उत्पन्न होती है, यह काट फलक से 'd' दूरी पर लिया जायेगा (धारा 22.6-2-1)।

§ 5.10. धरनों का विक्षेप (Deflection of Beams) :

संरचना अथवा इसके किसी घटक में विक्षेप के कारण, इसकी सुन्दरता तथा दक्षता में कमी नहीं आनी चाहिये। अत्यधिक विक्षेप से भवन में रहने वालों में असुरक्षा का भाव उत्पन्न होता है। संरचना में, सभी भार के कारण विक्षेप की सीमा, पाट/250 (अथवा 20 mm) से अधिक नहीं होनी चाहिये। विक्षेप की सीमा के भीतर रखने के लिये, क्षैतिज अवयवों के पाट/प्रभावी गहराई का अनुपात सारणी 5.6 के अनुसार लिया जा सकता है।

सारणी 5.6–कंक्रीट खण्डों के लिये अनुमत विक्षेप (Permissible Deflection)
(10 मी० पाट तक)

खण्ड की प्रकार	पाट/प्रभावी गहराई का अधिकतम अनुपात
(a) **धरनें** (BEAMS)—	
(i) शुद्धालम्बित धरन (S.S. Beam)	20
(ii) सतत धरन (Continuous Beam)	26
(iii) प्रास धरन (Cantilever)	7

—शेष भाग आगे

(b) स्लैब (SLABS)—	
(i) एकल दिशा शुद्धालम्बित स्लैब (One Way)	30
(ii) द्वि-दिशा शुद्धालम्बित स्लैब (Two Way)	35
(iii) सतत स्लैब (Continuous Slab)	40
(iv) प्रास स्लैब (Cantilever Slab)	12

टिप्पणी– (i) टी-धरनो के लिये विक्षेप सीमा I.S. 456–2000 की धारा 23.2 के अनुसार लें।
(ii) स्लैब के लिये विक्षेप के उपरोक्त मान 3 kN/m^2 भार व 3·5 m पाट (छोटे) के लिये हैं।
(iii) Fe 415 ग्रेड के इस्पात के लिये उपरोक्त **मान 0·8 से गुना** करे (कोड, धारा 24.1)।

§ 5.11. धरनों की पार्श्विक स्थिरता (Lateral Stability of Beams) :

धरनो की पार्श्व स्थिरता बनाये रखने के लिये तनुता सीमा (Slenderness Limits) निम्न मान से नहीं बढ़नी चाहिये। (धरन की प्रभावी लम्बाई व न्यूनतम पार्श्व माप का अनुपात तनुता कहलाता है)

(i) धरनों के लिये– $L = 60\,b$ अथवा $\dfrac{250\,b^2}{d}$, जो भी न्यूनतम हो।

यहाँ— L = धरन के पार्श्व निरोधों (Restraints) के मध्य शुद्ध दूरी
b = धरन की चौड़ाई
d = धरन की प्रभावी गहरायी

(ii) प्रास धरनों के लिये– $L = 25b$ अथवा $\dfrac{100\,b^2}{d}$, जो भी न्यूनतम हो

यहाँ— L = मुक्त सिरे से पार्श्व निरोध (Lateral Restraint) की दूरी है
b व d उपरोक्त जैसे हैं।

§ 5.12. धरनों में प्रबलन इस्पात (Steel Reinforcement in Beams) :

(1) न्यूनतम तनन प्रबलन I.S. Code 456 – 2000 धारा 26.5 के अनुसार धरन में तनन इस्पात का न्यूनतम क्षेत्रफल निम्न सूत्र से ज्ञात मान से कम नहीं होना चाहिये—

$$A_{t_0} = \frac{0{\cdot}85bd}{f_y}$$

यहाँ, A_{t_0} = तनन इस्पात का न्यूनतम क्षेत्रफल, mm^2 में
b = धरन (अथवा वैब) की चौड़ाई, mm में
d = धरन की प्रभारी गहराई, mm मे,
f_y = प्रबलन इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य, N/mm^2 में, (f_y का मान मृदु इस्पात के लिये 250 N/mm^2 और Fe 415 टोर इस्पात के लिये 415 N/mm^2 लिया जायेगा)

(2) अधिकतम तनन प्रबलन–प्रबलित कंक्रीट धरनो में तनन इस्पात का क्षेत्रफल $0{\cdot}04\,b \times D$ (अथवा खण्ड का 4%) से अधिक नहीं होना चाहिये। यहाँ D = खण्ड की कुल गहराई और b = खण्ड की चौड़ाई है।

(3) अधिकतम सम्पीडन प्रबलन–इसका क्षेत्रफल $0{\cdot}04b \times D$ से अधिक नहीं होना चाहिये। यहाँ b व D के शब्द-मान उपर दिये गये है।

पार्श्व स्थिरता के लिये धरन में डाले गये सम्पीडन इस्पात को छल्लों (Stirrups) द्वारा उचित अन्तराल पर अच्छी प्रकार से बाँध देना चाहिये।

(4) फलक या पार्श्व प्रबलन (Side Face Reinforcement)—जब कंक्रीट धरन (Web) की गहराई 750 mm से अधिक है, तब इसकी दोनों **लम्बी खड़ी फलकों के साथ-साथ**, उचित उदग्र अन्तराल पर अतिरिक्त प्रबलन छड़ें डाली जाती हैं। इन छड़ों का कुल क्षेत्रफल धरन खण्ड या वैब (Web) के क्षेत्रफल का 0·1% से कम नहीं होना चाहिये।

फलक छड़ों का ऊर्ध्व अन्तराल 300 mm अथवा धरन की चौड़ाई, जो भी न्यूनतम हो, रखना चाहिये।

(5) कर्तन (अपरूपण) प्रबलन–यह ऊर्ध्वाधर छल्लों (Stirrups) या नत छड़ों (Bent-up Bars) अथवा दोनों के संयुक्त रूप में दिया जाता है। छल्लों को धरन की तनन व सम्पीडन छड़ों के बाहर से घुमा कर लगाना चाहियें।

ऊर्ध्वाधर छल्लों के रूप में, कर्तन प्रबलन की न्यूनतम मात्रा निम्न सूत्र के अनुसार होनी चाहिये—

$$A_{sv} = \frac{0{\cdot}4\,b\,s_v}{0{\cdot}87\,f_y} \qquad \text{(IS धारा 26.5-1-6)}$$

यहाँ, A_{sv} = छल्लो की **समस्त** टांगों का क्षेत्रफल, mm^2 में,
s_v = छल्लों का अन्तराल, mm में,
b = धरन अथवा वैब की चौड़ाई mm में,
f_y = कर्तन में इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य, N/mm^2 में, (मृदु इस्पात के लिये 250 N/mm^2 और Fe 415 व Fe 500 के लिये अधिकतम 415 N/mm^2)

नोट—जब अभिगणित कर्तन प्रतिबल, खण्ड के लिए अनुमत कर्तन प्रतिबल से आधे से कम (Less than 50%) हो, अथवा लघु अवयवों (लिन्टल आदि) में कर्तन प्रबलन छोड़ा जा सकता है।

कर्तन प्रबलन का अन्तराल (Spacing for Shear Reinforcement)—

(i) ऊर्ध्वाधर छल्लों के लिये = $0{\cdot}75 \times d$ अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम हो। यहाँ d, धरन की प्रभावी गहराई है। प्रथम छल्ला आलम्ब के फलक के निकट $\left(\dfrac{s_v}{2}\text{ से अधिक दूरी पर नहीं}\right)$ डालना चाहिये।

(ii) 45° पर नत छल्लो के लिये = d अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम हो।

(6) अभिलाग तथा विकास लम्बाई–कंक्रीट धरनों में तनन प्रबलन की स्थानीय अभिलाग (Local Bond) में जाँच करने की, नये कोड के अनुसार, अब आवश्यकता नहीं रही है, परन्तु विकास लम्बाई तथा जकड़ (Anchorage) की जाँच करनी जरूरी है।

§ 5.13. स्लैब में प्रबलन इस्पात (Steel Reinforcement in Slabs) :

(1) न्यूनतम प्रबलन—स्लैब की प्रत्येक दिशा मे न्यूनतम प्रबलन इस्पात की मात्रा = 0·15% × (स्लैब का खण्ड क्षेत्रफल) ली जायेगी।

जब उच्च पराभव सामर्थ्य वाली विकृत छड़ें (Tor Steel) प्रयोग की जायें, तब यह मान 0·12% लिया जा सकता है।

(2) छड़ का अधिकतम व्यास—प्रबलन छड़ का अधिकतम व्यास, स्लैब की कुल मोटाई 1/8 से अधिक नही होना चाहिये।

§ 5.14. प्रबलन छड़ों सम्बन्धी मुख्य बातें (Important Points) :

5.14-1. छड़ों का व्यास (Diameter of Bars)—प्रबलित कंक्रीट खण्डों में 6 mm से 50 mm व्यास तक की छड़े प्रयोग की जा सकती है। मुख्य प्रबलन इस्पात के लिये 12 mm या इससे अधिक व्यास की छड़ें प्रयोग की जाती हैं। वितरण इस्पात, छल्लों (Stirrups) तथा लटकन (Hanger) छड़ों के लिये 8 mm से 12 mm व्यास की छडें ठीक रहती हैं। 8 mm व्यास से कम व्यास की टोर छड़ों का उत्पादन अब नहीं होता है।

छड़ो को जाल के रूप में बाँधने के लिये, 20–24 गेज की महीन नरम काली बन्धक तार (Binding Wire) का प्रयोग किया जाता हे।

विभिन्न व्यास की छड़ों का क्षेत्रफल, परिधि, प्रति मी० लम्बाई में भार इत्यादि पुस्तक के अन्त मे दी गयी सारणी से ज्ञात किये जा सकते हैं। छड़ों का व्यास तैय करते समय बाजार में उपलब्ध छड़-माप को ध्यान में रखना चाहिये। इस्पातीय छड़ें सामान्यत: 13 मी० की लम्बाई में आती हैं।

5.14-2. छड़ों का अन्तराल (Spacing of Reinforcement)—प्रबलन छड़ों की आपसी दूरी इतनी आवश्य होनी चाहिये कि इसमें गीली कंक्रीट सरलता से डाली जा सके और कुटाई के लिये कम्पक अन्दर घुसाया जा सके।

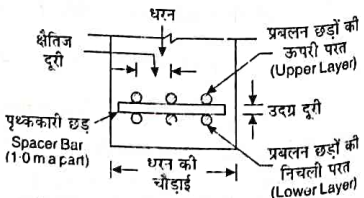
(1) धरनों के लिये छड़ों का अन्तराल—

(i) न्यूनतम क्षैतिज दूरी (Minimum : Horizontal Spacing)—दो समान्तर मुख्य छड़ों के मध्य शुद्ध क्षैतिज दूरी (Gap), निम्न में जो भी अधिक हो, से कम नहीं होगी।

(a) समान व्यास की छड़ों के लिये छड़ के व्यास के बराबर,

(b) असम व्यास की छड़ों के लिये, बड़े व्यास की छड़ के बराबर,

(c) मोटे मिलावे के नामन माप से 5 mm अधिक।



चित्र 5.4—दो उदग्र परतों में अन्तराल तथा पृथ्वकारी-छड़

(ii) उदग्र दूरी (Vertical Spacing)—जब मुख्य छड़ें दो या अधिक उदग्र परतो मे डाली गयी हों, तब दो परतों में शुद्ध उदग्र दूरी निम्न मे जो भी **अधिक** है, से कम नहीं होनी चाहिये—

(a) बड़ी छड़ का व्यास,

(b) 15 mm,

(c) $\frac{2}{3}\times$ मोटे मिलावे का नामन अधिकतम माप।

दो ऊपर-नीचे की परतों में वाँछित दूरी बनाये रखने के लिये इन परतों के मध्य, उचित व्यास की छड़ें रख दी जाती है, जिन्हें पृथ्वकारी छड़ें कहते हैं।

पृथ्वकारी छड़ों की धरन की लम्बाई की दिशा में अन्तराल एक मी० लिया जा सकता है।

(iii) अधिकतम क्षैतिज दूरी—तनन क्षेत्र मे डाली गयी Fe 250 की छड़ों के लिये 300 mm, Fe 450 टोर छड़ों के लिये 180 mm तथा Fe 500 टोर छड़ों के लिये 150 mm से अधिक क्षैतिज दूरी नहीं होगी (धारा 26.3.3)।

(2) स्लैब के लिये छड़ों का अन्तराल—

(i) न्यूनतम क्षैतिज दूरी उपरोक्त (1) (i) के अनुसार होगी।

(ii) मुख्य तनन छड़ों के लिये अधिकतम अन्तराल निम्न मान से जो भी कम है, से **अधिक** नहीं होगा (धारा 23.3.3)—

(a) 3 × स्लैब की प्रभावी गहराई अर्थात् 3 d

(b) 300 mm.

(iii) वितरण व ताप छड़ों के लिये अन्तराल निम्न मान से, जो भी कम है, से **अधिक** नहीं होना चाहिये—

(a) 5 × स्लैब की प्रभावी गहराई अर्थात् 5 d,

(b) 450 mm.

टिप्पणी— (i) गोलाकार छड़ों का व्यास इसका नामन (Nominal) व्यास लिया जाता है। विरुपित छड़ो (Tor Bars) के लिये व्यास, इसके समतुल्य प्रभावी क्षेत्रफल वाले वृत्त का व्यास माना जायेगा।

(ii) छड़ों को अवयव की फरमाबन्दी में निर्धारित स्थिति में टिकाने सम्बन्धी छूट (Tolerance) इस प्रकार है—

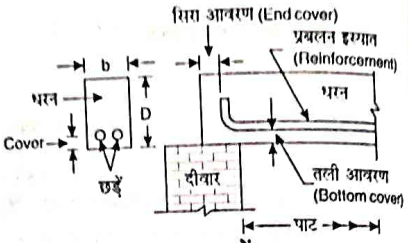
(a) 200 mm अथवा कम प्रभावी गहरायी तक = ± 10 mm

(b) 200 mm से अधिक प्रभावी गहरायी के लिये = ± 15 mm

5.14-3. छड़ों पर कंक्रीट आवरण (Concrete Cover)—इस्पातीय प्रबलन छड़ो पर, इनकी पूर्ण लम्बाई तथा परिधि पर कंक्रीट का पर्याप्त मोटा आवरण (Cover) दिया जाना चाहिये ताकि छड़े, कंक्रीट व इस्पात के अभिलाग द्वारा अपनी वांछित सामर्थ्य ग्रहण कर सके और जंग (संक्षारण), नमी व अग्नि के प्रकोप से बची रहें। कंक्रीट आवरण किसी भी दशा में छड़ के व्यास (ϕ) से अथवा 20 mm से कम नहीं होगा।

कंक्रीट डालते समय आवश्यक आवरण बनाये रखने के लिये, मुख्य छड़ों व शटरिंग-पट के बीच उचित अन्तराल (Spacing) पर गुटके टिका दिये जाते हैं, जिन्हे प्रबलन-आलम्ब

(Reinforcement Support) कहते हैं। ये गुटके सीमेन्ट मसाले (1 : 2) के 50 × 50 (mm) के तथा वांछित आवरण-मोटाई के बनाये (Pre-cast) जाते हैं।



चित्र 5.5—प्रबलन छड़ों पर आवरण (Concrete Cover)

कंक्रीट आवरण की मोटाई—

(i) **सिरा आवरण** (End Cover)—धरन के प्रत्येक सिरे पर शुद्ध आवरण 25 mm अथवा प्रयुक्त छड़ के व्यास का दो-गुना, जो भी **अधिक** हो, होना चाहिये।

(ii) **तली आवरण** (Bottom Cover)—धरन की तली पर, लम्ब प्रबलन छड़ों के लिये 25 mm अथवा छड़ का व्यास, जो भी **अधिक** हो, शुद्ध आवरण रखना चाहिये।

(iii) **स्लैब** की छड़ों के लिये शुद्ध तली आवरण 15 mm अथवा प्रयुक्त छड़ का व्यास, जो भी **अधिक** हो, रखना चाहिये।

(iv) **स्तम्भ** में लाम्बिका छड़ों के लिये शुद्ध आवरण 40 mm से कम नहीं होना चाहिये, परन्तु 20 cm तक माप के स्तम्भों के लिये, जिनमें 12 mm व्यास तक की छड़ें प्रयोग की गयी हैं, शुद्ध आवरण 25 mm लिया जा सकता है।

(v) **पाद नींव** (Footing) में न्यूनतम आवरण 50 mm होना चाहिये।

(vi) **प्रबलित कंक्रीट दीवार** के लिये छड़ों पर आवरण 20 mm लिया जा सकता है।

जहाँ कंक्रीट खण्ड जलग्रस्त मृदा, रसायन, अम्लीय, समुद्री जल इत्यादि के सम्पर्क में आते हों, वहाँ कंक्रीट आवरण उपरोक्त से 15 से 50 mm तक बढ़ाया जा सकता है, परन्तु कंक्रीट आवरण की मोटाई **75 mm से अधिक नहीं होनी चाहिये**। दरारों को नियन्त्रित रखने के लिये कंक्रीट-खण्ड पर इससे अधिक मोटा आवरण देना उचित नहीं है।

जब M-25 या इससे उच्च ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग की जानी हो, ये आवरण उपरोक्त का आधा रखे जा सकता है। अग्निसह निर्माण के लिये नामन आवरण I.S. 456-2000 की सारणी 16A से अपनाये जा सकते हैं।

5.14-4. प्रबलन छड़ों का स्थिरण (Anchorage)—(देखें अनुच्छेद 4.15)

5.14-5. छड़ों का चढ़ाव (Over-laps)—(देखें अनुच्छेद 4.16)

5.14-6. तनन छड़ों का छिन्निकरण (Curtailment of Tension Reinforcement)— शुद्धालम्बित धरनों में क्योंकि आलम्बों की ओर जाने पर बंकन आघूर्ण घटती चली जाती है, अत: कुछ मुख्य तनन छड़ों को उपयुक्त बिन्दु तक ले जाकर समाप्त किया जा सकता है अथवा इनको ऊपर को नत करके कर्तन प्रबलन के रूप में प्रयोग किया जा सकता है। ऐसा करते समय निम्न बातें विचारणीय हैं—

(i) बंकन आघूर्ण की सन्तुष्टि होने पर, जहाँ किसी तनन छड़ को समाप्त किया जाना है, इसे उस बिन्दु से 12ϕ अथवा खण्ड की प्रभावी गहराई (d), जो भी **अधिक** हो, तक आगे बढ़ाकर ही

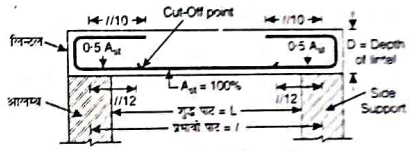
समाप्त करना चाहिये। यहाँ ϕ छड़ का व्यास है। छड़ को आगे इस लिये बढ़ाया जाता है ताकि तनन क्षेत्र में छड़-समाप्ति पर उस बिन्दु पर (उस काट पर) प्रतिबलों का संकेन्द्रण न हो।

(ii) तनन प्रबलन की 1/3 छड़ें आवश्यक रूप से, **उसी फलक पर** आगे तक बढ़ाकर, आलम्बों के भीतर $\frac{L_d}{3}$ की दूरी तक ले जानी चाहिये। यहाँ L_d = छड़ की विकास लम्बाई है। सतत अवयवों में आलम्ब के भीतर ले जायी गयी मुख्य छड़ों की संख्या 1/4 से कम नहीं होना चाहिये।

(iii) आलम्बों पर, धरन के ऊपरी क्षेत्र में ऋणात्मक आघूर्ण के लिये डाली गयी छड़ों की कम से कम 1/3 संख्या, नति परिवर्तन बिन्दु (Point of Inflexion) से 12ϕ या प्रभावी गहराई, जो भी **अधिक** हो, तक आगे बढ़ाकर समाप्त करनी चाहिये।

5.14-7 छिन्निकरण की सरलीकृत नियम (Simple Rules for Curtailment of Bars)—

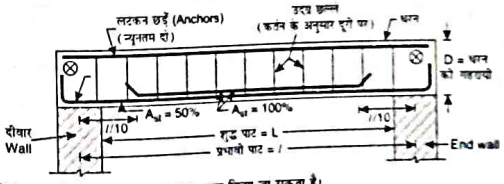
(i) **लिन्टल के लिये**—लिन्टल के लिये तनन छड़ों का छिन्नीकरण चित्र 5.6 में दर्शाया गया है। सिरों (Ends) पर आंशिक आबद्धता के कारण उत्पन्न -ve आघूर्ण को निरस्त करने के लिये, 50% तक मुख्य छड़ें सरल बैण्ड देकर, सम्पीडन क्षेत्र में $\frac{l}{10}$ की दूरी तक ले जानी चाहिये। यहाँ l खण्ड का प्रभावी पाट है (चित्र 5.6)।



(i) छिन्निकरण बिन्दु (Cut off points) आलम्बों के केन्द्र से l/12 पर लें।
(ii) आलम्बों से l/12 की दूरी तक तनन प्रबलन 0·5 A_{st} स्वयं मध्य पाट में यह A_{st} डाला जायगा।
(iii) आलम्बों पर आंशिक आबद्धता के लिये ⊏ बैंड डालें, जिसकी लम्बाई आलम्ब के केन्द्र से l/10 लें।

चित्र 5.6—लिन्टल में प्रबलन इस्पात के छिन्निकरण के सरलीकृत नियम (Curtailment of Tension Bars in Lintel)

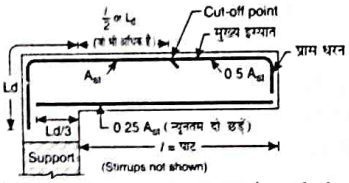
(ii) **शुद्धालम्बित धरन के लिये**–आलम्बों से $\frac{l}{10}$ की दूरी पर 50% छड़ें कम की जा सकती हैं। यहाँ l खण्ड का प्रभावी पाट है। (चित्र 5.7)



(i) आलम्बों से l/10 की दूरी पर 50% तनन प्रबलन कम किया जा सकता है।
(ii) शेष 50% तनन छड़ें Ld/3 तक आलम्बों के भीतर अवश्य ले जायँ।
(iii) आंशिक निरोध (Restraint) की दिशा में, ऋणात्मक आघूर्ण के लिये ऊपरी कोना ⊗ पर मुख्य इस्पात का 35% डालें।
(iv) टोर छड़ों के सिरों पर हुक (Hook) की जगह, यदि आवश्यक हो, बैंड (Bend) दें।
(v) कर्तन के लिये टोर छड़ें नत नहीं की जाती हैं, इसके लिये उदग्र छल्ले, अधिकल्पानुसार (अलग से डालें)।

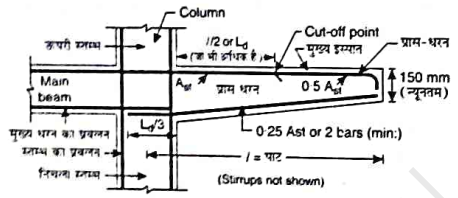
चित्र 5.7—शुद्ध आलम्बित धरनों में प्रबलन इस्पात के छिन्निकरण के सरलीकृत नियम (Curtailment of Tension Bars in Simply Supported Beam)

(iii) प्रास धरन के लिये–आलम्ब की फलक से $\frac{l}{2}$ अथवा L_d (जो भी अधिक है) की दूरी से आगे 50% तनन छड़ें कम की जा सकती हैं। यहाँ, l = प्रास धरन का प्रभावी पाट है। प्रास धरन (स्लैब) में प्रबलन व्यवस्था चित्र 5.8 से 5.9 में दर्शायी गयी है।



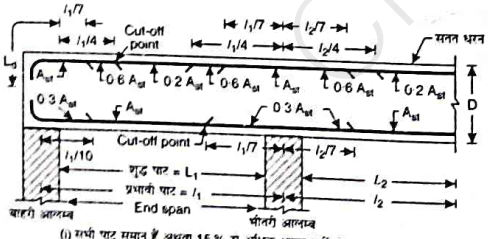
(i) आबद्ध सिरे पर दिये गये तनन प्रबलन इस्पात का 50% आवश्यक रूप से प्रास की पूरी लम्बाई तक ले जायें।
(ii) शेष 50% आबद्ध सिरे से पाट/2 अथवा विकास लम्बाई तक, जो भी अधिक है, तक ले जायें।

चित्र 5.8—प्रास धरन में प्रबलन इस्पात के छिन्नीकरण के सरलीकृत नियम
(Curtailment of Tension Bars in Cantilever)



चित्र 5.9—स्तम्भ-धरन से बढ़े हुये प्रास धरन में प्रबल इस्पात के छिन्नीकरण के सरलीकृत नियम
(Curtailment of Tension Bars in Extended Cantilever)

(iv) सतत धरनों के लिये–सतत धरनों में तनन इस्पात को चित्र 5.10 के अनुसार छिन्नीकरण किया जा सकता है—



(i) सभी पाट समान हैं अथवा 15% से अधिक अन्तर नहीं होगा।
(ii) 0·2 A_{st} अर्थात कुल तनन इस्पात का 20% पूरे पाट पर डाला जायगा।
(iii) कर्तन के लिये उदग्र छल्ले, अभिकल्पन के अनुसार लगायें।
(iv) ○ छड़ का Cut-off बिन्दु दर्शाता है।

चित्र 5.10—सतत धरनों में प्रबलन इस्पात के छिन्नीकरण के सरलीकृत नियम
(Curtailment of Reinforcement in Continuous Beam)

§ 5.15. सीमांत अवस्था विधि (L.S.M.) :

कंक्रीट वास्तव में प्रत्यास्थ पदार्थ नहीं है। कम प्रतिबलों पर ही इसका पराप्रत्यास्थ (प्लास्टिक) व्यवहार दीखने लगता है। चरम भार पर कंक्रीट की विफलता बिना पूर्व चेतावनी के, अकस्मात होती है, जबकि इस्पात (अपनी तन्यता के कारण) के विफल होने से पूर्व, इसके अवयव में काफी विकृति नजर आने लगती है और खण्ड की विफलता का पूर्व संकेत मिल जाता है। अत: सीमांत अवस्था विधि में **अल्प प्रबलित (Under Reinforced) अथवा सन्तुलित (Balanced) खण्ड ही अभिकल्पित किये जाते हैं। अति प्रबलित खण्ड L.S.M में स्वीकार्य नहीं है।**

पुन: विचार करने पर यह भी स्पष्ट होता है कि सीमांत अवस्था विधि पर आधारित सन्तुलित खण्ड तो छोटा होता है, परन्तु इसमें इस्पात का प्रतिशत काफी ज्यादा आता है। इस्पात क्योंकि कंक्रीट से काफी महँगा (60% से अधिक) है, अत: सन्तुलित खण्ड भी मितव्ययी नहीं कहा जा सकता है। अत: **सीमांत अवस्था विधि में अल्प प्रबलित (Under Reinforced) खण्डों को वरीयता दी जाती है।**

§ 5.16. विक्षेप नियन्त्रण (Deflection Control) :

सीमांत अवस्था के आधार पर अभिकल्पित अवयवों को मुख्यत: निपात सीमांत अवस्था (Limit State of Collapse) और सेवायोग्यता सीमांत अवस्था (Limit State of Serviceability) की शर्तें पूरी करनी होती हैं। सामान्यत: खण्डों को आनमन में निपात सीमा अवस्था पर अभिकल्पित करके, कर्तन व विक्षेप की सीमांत अवस्था में जाँच करनी होती है। सेवा योग्यता की सीमांत अवस्था में संरचना में अत्यधिक विक्षेप (Deflection) व दरारें (Cracks) पड़ने की स्थिति अधिक गम्भीर होती है। कार्यकारी प्रतिबल विधि की तुलना में सीमांत अवस्था विधि पर अभिकल्पित खण्ड काफी पतले होते हैं, परन्तु प्रबलन इस्पात की मात्रा अपेक्षाकृत अधिक होती है। अत: अवयवों का **विक्षेप अधिक होता** है। विक्षेप अल्पकालीन (Short Term Deflection) व दीर्घकालीन (Long Term Deflection), दो प्रकार का होता है। अल्पकालीन विक्षेप अवयव के पाट, आलम्बों की बनावट, भारणक्रम तथा कंक्रीट व इस्पात की श्रेणी (ग्रेड) पर निर्भर करता है, जबकि दीर्घकालीन विक्षेप कंक्रीट की सिकुड़न (Shrinkage) तथा दीर्घकाल विरूपण (Creep) के कारण होता है।

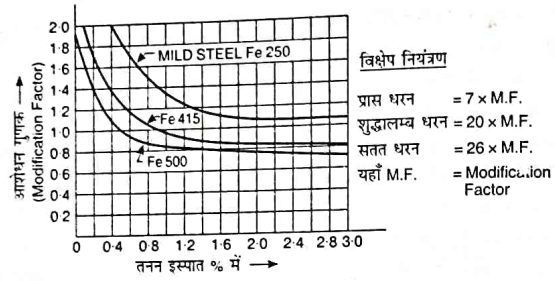
विक्षेप की जाँच के लिये काफी जटिल गणनायें करनी पड़ती हैं। यदि पाट व खण्ड की गहरायी का अनुपात निम्न के अनुसार रखा जाता है, तो सामान्य अवयवों की विक्षेप में जाँच आवश्यक नहीं है।

(i) प्रास धरन के लिये, पाट/गहरायी अनुपात = 7 (अथवा $\frac{5}{10}$ से $\frac{5}{12}$)

(ii) शुद्धालम्बित धरन के लिये, पाट/गहरायी अनुपात = 20

(iii) सतत धरन के लिये, पाट/गहरायी अनुपात = 26

I.S. कोड उपरोक्त मान को तनन प्रबलन के क्षेत्रफल के आधार पर आशोधित (Modify) करने की संस्तुति भी करता है। यह आशोधन गुणक (Modification Factors) चित्र 5.11 से पढ़े जा सकते हैं।



चित्र 5.11—विक्षेप जाँच के लिये आशोधन गुणक ग्राफ
(Modification Factor Chart for Deflection Check)

मोटे तौर पर आशोधन गुणक (M_f) निम्न लिये जा सकते हैं—

(i) कंक्रीट M–15 व इस्पात Fe 250, $M_f = 1{\cdot}6$

(ii) कंक्रीट M–15 व इस्पात Fe 415, $M_f = 1{\cdot}4$ (शाह व केले के सौजन्य से)

§ 5.17. अभिकल्प या फैक्टर भार (Design or Factored Load–F_d) :

खण्डों का सीमांत अवस्था विधि से अभिकल्पित करते समय खण्ड पर पड़ रहे वास्तव (कार्यकारी) भारों के स्थान पर, अभिकल्प (Factored) भार लिया जाता है। कार्यकारी या सेवा भार (Service Load-F) को आंशिक सुरक्षा गुणक (γ_f) से गुना करके, अभिकल्प भार (Factored Load) निर्धारित कर लिया जाता है, अर्थात् $F_d = F \times \gamma_f$

चल व अचल भारों के लिये γ_f का मान 1·5 लिया जाता है (सारणी 3.1)।

§ 5.18. तनन प्रबलन (Tension Reinforcement) :

(a) न्यूनतम तनन प्रबलन—प्रबलित खण्ड में तनन इस्पात का न्यूनतम क्षेत्रफल, निम्न समीकरण से ज्ञात मान से कम नहीं होगा— $A_{to} = \dfrac{0{\cdot}85\, b\, d}{f_y}$ (धारा 26.5-1-1-कोड)

यहाँ— A_{to} = तनन इस्पात का न्यूनतम क्षेत्रफल

b = धरन खण्ड की चौड़ाई अथवा टी-धरन की वैब चौड़ाई

d = प्रभावी गहरायी

f_y = प्रबलन इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य, N/mm² में

(b) अधिकतम तनन प्रबलन—प्रबलित खण्ड में (अधिकतम) तनन इस्पात $A_{st} = 0{\cdot}04\, b \times D$ से अधिक नहीं होगा। यहाँ D खण्ड की कुल गहरायी है।

टिप्पणी— धरनों में पार्श्व प्रबलन (Side-Face Reinforcement), मुख्य छड़ों का अन्तराल, उदग्र-पंक्ति, आवरण (Cover) इत्यादि के लिये अनुच्छेद 5.12 देखें।

§ 5.19. अभिकल्प स्थिरांक (Design Constants) :

सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M.) में सुरक्षित प्रबलित खण्ड अभिकल्पित करने के लिये बल शून्य अक्ष (N.A.) की गहरायी, प्रतिरोध आघूर्ण (Moment of Resistance) तथा प्रबलन इस्पात के अधिकतम मान निर्धारित कर दिये गये हैं।

खण्ड के ऊपरी सिरे से बलशून्य अक्ष की सीमान्त गहराई ($x_{u\,max}$), सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण ($M_{u\,Lim}$) तथा सीमान्त प्रबलन इस्पात ($p_{t\,Lim}$) के मान विभिन्न इस्पातों व कंक्रीट श्रेणी के लिये सारणी 5.7 में दिये गये हैं। इनको अपनाने से गणनायें काफी सरल हो जाती हैं। इन स्थिरांकों की उत्पत्ति के लिये अध्याय 3 देखा जा सकता है।

सारणी 5.7–सीमान्त अभिकल्प स्थिरांक (Limiting Design Constants)
(For L.S.M. Designs)

इस्पात का ग्रेड	सीमान्त बलशून्य अक्ष, $x_{u\,Lim}$	सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण, $M_{u\,Lim}$	सीमान्त प्रबलन इस्पात % में $p_{t\,Lim}$			
			M–15	M–20	M–25	M–30
(i) मृदु इस्पात Fe 250	0·53 d	$0{\cdot}149\, b\, d^2 f_{ck}$	1·32	1·76	2·20	2·64
(ii) HYSD Fe 415	0·48 d	$0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck}$	0·72	0·96	1·20	1·44
(iii) HYSD Fe 500	0·46 d	$0{\cdot}133\, b\, d^2 f_{ck}$	0·57	0·76	0·95	1·11

§ 5.20. अभिकल्प के चरण (Design Steps in L.S.M.)

अभिकल्प-कार्य के अन्तर्गत दिये गये पाट तथा भारों के लिये, प्रबलित कंक्रीट खण्ड को (i) चौड़ाई (b), (ii) गहरायी (D), तथा प्रबलन इस्पात की मात्रा (A_{st}) निर्धारित करनी होती है और इसको अपरूपण (Shear) व अभिलाग (Bond) में जांच करनी होती है। अभिकल्प सम्बन्धी चर्चा निम्न है—

(1) धरन (व स्लैब) मुख्यत: अनमन अवयव (Flexural Member) है, जो अपने ऊपर पड़ने वाले भारों (Loads) को बंकन द्वारा प्रतिरोधित करता है। एकल प्रबलित धरन (Singly Reinforced Beam) के तनन क्षेत्र में प्रबलन दिया जाता है, जबकि दोहरे प्रबलित धरन (Doubly Reinforced Beam) में, इसके तनन तथा सम्पीडन, दोनों क्षेत्रों मे प्रबलन दिया जाता है। धरन के ऊपरी क्षेत्र (N.A. से ऊपर) में दिया गया इस्पात, सम्पीडन इस्पात कहलाता है।

(2) **पाट तथा भार** (Span and Loads)—धरनों तथा स्लैब का प्रभावी पाट तथा भार निर्धारित करने की चर्चा अनुच्छेद 5.7 से 5.10 में की गयी है। धरन की गहरायी (D) का $\frac{1}{12}$ से $\frac{1}{15}$, कुछ भी मान लें और चौड़ाई गहरायी (D) का $\frac{1}{2}$ से $\frac{1}{3}$ लें। यह अनुपात विक्षेप (Deflection) के आधार पर भी लिया जाता है (देखें सारणी 5.6)।

(3) दिये गये भारण (Loading) पर आंशिक सुरक्षा गुणक (Partial Safety Factor) लगाते हुये, अभिकल्प बंकन आघूर्ण (Factored Bending Moment, M_d की गणना करें (भारों के लिये आंशिक सुरक्षा गुणक, γ_f सारणी 3.1 में दिये गये हैं)।

(4) बल शून्य अक्ष (N.A.) की वास्तविक गहरायी (यदि खण्ड-माप ज्ञात है), निम्न सूत्र से ज्ञात करें—

$$x_u = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}}{0{\cdot}36\, f_{ck}\, b} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

अथवा बल शून्य अक्ष का सीमांत मान (Limiting Value) (जब खण्ड-माप व प्रबलन इस्पात की मात्रा नहीं दी है), निम्न सूत्रा से ज्ञात करें—

$$x_{u\,\text{Lim}} = \frac{700\, d}{1100 + 0{\cdot}87\, f_y} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

$x_{u\,\text{Lim}}$ का मान सारणी 3.3 से भी पढ़ा जा सकता है।

(5) धरन-खण्ड की M_d, $M_{u\,\text{Lim}}$ से बढ़नी नहीं चाहिये, अर्थात—

$$M_d = M_{u\,\text{Lim}} \quad \text{—(अति-प्रबलित खण्ड रोकने के लिये)}$$

$$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}36 f_{ck} \frac{x_{u\max}}{d}\left[1 - \frac{0{\cdot}42\, x_{u\max}}{d}\right] \times b\, d^2 \qquad \text{...(सूत्र)}$$

दायं पक्ष (Right Hand) समीकरण $0{\cdot}36 f_{ck} \dfrac{x_{u\max}}{d}\left[1 - \dfrac{0{\cdot}42\, x_{u\max}}{d}\right]$ को 'R_u' के रूप में रखने पर—

$$M_{u\,\text{Lim}} = R_u\, b\, d^2 \quad \text{अथवा} \quad d = \sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ R_u सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (Limiting Moment of Resistance Factor) कहलाता है। दिये गये कंक्रीट के ग्रेड और इस्पात की श्रेणी के लिये R_u का मान **स्थिर** (Constant) रहता है। सन्तुलित अभिकल्पन के लिये R_u के मान सारणी 3.6 में दिये गये हैं (अथवा f_y, f_{ck} व $x_{u\,\text{Lim}}$ के लिये $M_{u\,\text{Lim}}$ का मान सारणी 5.7 से ज्ञात किया जा सकता है)।

(6) खण्ड की गहरायी (d) की जांच के लिये—

$M_d = M_{u\,\text{Lim}}$ रखे और 'd' की जाँच करें।

(i) अल्प प्रबलित खण्ड (Under Reinforced Section) के लिये—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}\left[d - \frac{f_y A_{st}}{f_{ck}\, b}\right] \qquad \text{...(सूत्र)}$$

(यह एक द्विघातीय समीकरण है। हल करने पर वर्गमूल का न्यूनतम मान लें)।

(ii) सन्तुलित खण्ड (Balanced Section) के लिये—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}(d - 0{\cdot}42\, x_{u\max}) \qquad \text{...(सूत्र)}$$

अथवा $$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}36 f_{ck}\, x_{u\max} \times b\,(d - 0{\cdot}42\, x_{u\max}) \qquad \text{...(सूत्र)}$$

(7) तनन इस्पात (Tension Reinforcement), A_{st}—

(i) तनन इस्पात का **न्यूनतम** क्षेत्रफल—

$$A_{to} = \frac{0{\cdot}85\, bd}{f_y} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

(ii) तनन इस्पात का **अधिकतम** क्षेत्रफल—

$$A_{too} = 0{\cdot}04\, b\, D \qquad \text{...(सूत्र)}$$

अथवा $$p_{t\,\text{Lim}} = \frac{0{\cdot}414\, f_{ck}\, x_{u\max}}{f_y \times d}$$

$p_{t\,\text{Lim}}$ का यह मान सारणी 5.7 से भी पढ़ा जा सकता है।

(a) **सन्तुलित (Balanced) खण्ड** के लिये तनन इस्पात, जब $M_u = M_{u\,\text{Lim}}$

$$= 0{\cdot}87 f_y A_{st}(d - 0{\cdot}42\, x_{u\max})$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{M_u}{0{\cdot}87\, f_y (d - 0{\cdot}42\, x_{u\max})}$$

अथवा $$A_{st} = \frac{0{\cdot}36\, f_{ck}\, b\, x_{u\max}}{0{\cdot}87\, f_y}$$

(b) **अल्प प्रबलित (Under Reinforced) खण्ड** के लिये तनन इस्पात, जब $M_u < M_{u\,\text{Lim}}$

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}\, d\left[1 - \frac{A_{st}\, f_y}{b \times d\, f_{ck}}\right]$$

यह एक द्विघातीय समीकरण है। हल करने पर न्यूनतम मान ही मान्य है।

(c) **अतिप्रबलित खण्ड (Over Reinforced Section)**—जब $M_u > M_{u\,\text{Lim}}$, —L.S.M. में अति प्रबलित खण्ड स्वीकार्य **नहीं** है। खण्ड का माप बढ़ायें अथवा दोहरा प्रबलित खण्ड अभिकल्पित करें।

(8) **छड़ों का छन्नीकरण** (Curtailment of Tension Bars)—धरन के आलम्ब (Support) सिरे की तरफ जाते-जाते बकंन आघूर्ण घटती चली जाती है। अत: आलम्बो के निकट तनन छड़ो की संख्या कम की जा सकती है, परन्तु छन्नी-करण बिन्दु पर विकास-लम्बाई 'L_d' की जांच करनी चाहिये। (L_d के लिये सूत्र 4.14 देखें)।

τ_{bd} के मान सारणी 4.4 से पढ़ें। टोर छड़ों के लिये ये मान 60% बढ़ाये गये हैं।

(9) **अपरुपण** (Shear) **में जाँच**--

(i) नामन (Nominal) अपरुपण प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d}$ ...(सूत्र)

(ii) खण्ड में तनन इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \dfrac{A_{st} \times 100}{b \times d}$ ...(सूत्र)

civilguru.net

(iii) अभिकल्प अपरुपण प्रतिबल, τ_c—
कंक्रीट के ग्रेड और तनन इस्पात के प्रतिशत (p_t) के लिये τ_c का मान सारणी 4.1 से पढ़ें। सारणी 4.3 से खण्ड के लिये अधिकतम अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल $\tau_{c\,max}$ का मान भी पढ़े।

(iv) अब— (a) यदि $\tau_v \geq \tau_{c\,max}$—खण्ड का पुन: डिजाइन करें।

(b) $\tau_v > \tau_c$ परन्तु $< \tau_{c\,max}$—खण्ड में अपरुपण प्रबलन देना होगा। यह नत छड़ों/उदग्र छल्लों अथवा दोनों के रूप में दिया जा सकता है।

(c) $\tau_v < \tau_c$—खण्ड मे अपरुपण प्रबलन देना आवश्यक नहीं है, फिर भी नामन (Nominal) अपरुपण प्रबलन (छल्लों के रूप में) डालें।

न्यूनतम प्रबलन के लिये छल्लों (Stirrups) का अन्तराल,

$$s_v = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{sv}}{0{\cdot}4\, b} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

यह अन्तराल (spacing) $0{\cdot}75\, d$ अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है), लिया जायेगा।
अपरुपण प्रबलन के डिजाइन के लिये अनुच्छेद 4.9 देखें।

(10) **अभिलाग एवं विकास लम्बाई** (Bond and Development Length) में जांच—

तनन छड़ों में विकास लम्बाई, $L_d = \dfrac{0{\cdot}87\, f_y\, \phi}{4\, \tau_{bd}}$ ...(सूत्र)

सम्पीड़न छड़ों में विकास लम्बाई, $L_d = \dfrac{0{\cdot}87\, f_y\, \phi}{5\, \tau_{bd}}$ ...(सूत्र)

τ_{bd} के मान सारणी 4.4 में पढ़ें।

(11) **आलम्बों** (Supports) **पर विकास लम्बाई की जांच**—आलम्बों पर प्रबलित छड़ों की विकास लम्बाई, जब छड़ के सिरे सम्पीड़न क्षेत्र में जकड़ (Anchored) दिये हैं—

विकास लम्बाई, $L_d \leq \dfrac{1{\cdot}3\, M_1}{V_u} + L_0$ ...(सूत्र)

यहाँ— $L_0 = 12\,\phi$ या d (जो भी अधिक है)

$M_1 = 0{\cdot}87\, f_y \times A_{st} \times 0{\cdot}9\, d$ $\quad (\because z = 0{\cdot}9\, d)$

V_u = अधिकतम अपरुपण बल

(12) **अतिरिक्त छड़ें**—उदग्र छल्लों का अपनी खड़ी स्थिति में बनाये रखने के लिये, खण्ड के ऊपरी कोनों मे एक-एक लटकन छड़ (Hanger Bar) डालें।

नोट—सीमांत अवस्था विधि (L.S.M.) के मूल सिद्धांत तथा अभिकल्प-प्रक्रिया समझने के बाद, इसके विभिन्न अवयवो के अभिकल्पन-सम्बन्धी डिजाइन-चार्ट व ग्राफ (Design Aids) तैयार किये गये हैं, जिनकी सहायता मे अभिकल्प कार्य शीघ्रता व सरलता से सम्पन्न किया जा सकता है (Design Aids के लिये अध्याय 13 देखे)।

(B) प्रबलित कंक्रीट धरनों का अभिकल्पन
(DESIGN OF R.C. BEAMS)

§ 5.21. प्रबलित कंक्रीट धरन (Reinforced Concrete Beams)

अभिकल्प की दृष्टि से, प्रबलित कंक्रीट धरनों को निम्न श्रेणियों में लिया जाता है—

(i) एकल प्रबलित कंक्रीट धरन (Singly Reinforced R.C. Beam)
(ii) लिन्टल (R.C. Lintel)
(iii) प्रास धरन (R.C. Cantilever Beam)
(iv) सतत धरन (R.C. Continuous Beam)
(v) दोहरे प्रबलित धरन (Doubly R.C. Beam)
(vi) टी व एल धरन (T and L — R.C. Beam or Flanged Beam)

उपरोक्त (i) से (v) प्रकार के धरनों की अभिकल्प-प्रक्रिया अगले पृष्ठों में दी जा रही है। फ्लैंज धरनों के लिये अध्याय 6 देखें।

(I) एकल प्रबलित कंक्रीट धरन का अभिकल्पन
(DESIGN OF SINGLY REINFORCED CONCRETE BEAMS)

उदाहरण 5.1 : निम्नलिखित आँकड़ों के लिये, सीमांत अवस्था विधि द्वारा एक प्रबलित कंक्रीट धरन का अभिकल्पन कीजिये–प्रभावी पाट = 6 मी०, अध्यारोपित भार = 30 kN/m, कंक्रीट की श्रेणी M–20 और इस्पात Fe 415 ग्रेड का लें।
अभिकल्पित खण्ड में प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र देकर स्पष्ट करें।

हल : (i) प्रश्नानुसार—प्रभावी पाट = 6 मी०, अध्यारोपित भार = 30 kN/m,
M–20 कंक्रीट के लिये, $f_{ck} = 20\ \text{N/mm}^2$
Fe 415 इस्पात के लिये, $f_y = 415\ \text{N/mm}^2$

(ii) **भार तथा बंकन आघूर्ण**—माना धरन खण्ड 300 mm × 600 mm है (धरन का स्वयं का भार लेने के लिये उपयुक्त धरन खण्ड मान लिया जाता है।) (सामान्यत: धरन के $\frac{\text{पाट}}{\text{गहरायी}}$ का अनुपात 10 लिया जाता है। विक्षेप (Deflection) की दृष्टि से यह अनुपात 20 से कम रखना चाहिये—देखें सारणी 5.6)।

भार—धरन पर अध्यारोपित भार, $= 30$ kN/m
धरन का स्वयं का भार (प्रति मी० लम्बाई)— $= 1 \times 0{\cdot}30 \times 0{\cdot}60 \times 25 = 4{\cdot}5$ kN/m
कुल भार = 34·5 kN/m

भार के लिये भार गुणक, $\gamma_f = 1{\cdot}5$ लेने पर,
अभिकल्प (Factored) भार, $F_d = 1{\cdot}5 \times 34{\cdot}5 = 51{\cdot}75$ kN/m

अभिकल्प (फैक्टर) बंकन आघूर्ण, $M_d = \dfrac{51{\cdot}75 \times 6^2}{8}$ ...(सूत्र $\dfrac{wl^2}{8}$)

$= 232{\cdot}875$ kN.m $= 232875$ N.m

$= 232875 \times 10^3$ N.mm

(iii) बल शून्य अक्ष का सीमान्त मान, $x_{u\,max} = \dfrac{700d}{1100 + 0{\cdot}87 f_y}$ ...(सूत्र)

$= \dfrac{700 \times d}{1100 + (0{\cdot}87 \times 415)} = 0{\cdot}48\, d$

(यह मान सारणी 5.7 से भी सीधा पढ़ा जा सकता है)।

(iv) $M_{u\,Lim} = 0{\cdot}36 \dfrac{x_{u\,Lim}}{d}\left(1 - 0{\cdot}42 \dfrac{x_{u\,Lim}}{d}\right) b\, d^2 f_{ck}$ ...(सूत्र)

$b = 300$ mm रखते हुए—

$M_{u\,Lim} = \dfrac{0{\cdot}36 \times 0{\cdot}48\, d}{d}\left(1 - \dfrac{0{\cdot}42 \times 0{\cdot}48\, d}{d}\right) 300 \times d^2 \times 20$

$= 0{\cdot}1728\,(1 - 0{\cdot}202)\, 6000\, d^2$

$M_{u\,Lim} = 827{\cdot}367\, d^2$

(यह मान सारणी 5.7 से भी लिया जा सकता है, $M_{u\,Lim} = 138\, bd^2 f_{ck}$)

$M_d = M_{u\,Lim}$ रखने पर—$827{\cdot}367\, d^2 = 232875 \times 1000$

$\therefore$ $d = 530$ mm; 30 mm का आवरण रखने पर, कुल गहरायी $= 530 + 30 = 560$ mm

अथवा—धरन की गहरायी 'd' निम्न प्रकार भी ज्ञात की जा सकती है—

$M_{u\,Lim} = R_u\, bd^2$ ...(सूत्र)

(M-20 कंक्रीट और 415 इस्पात के लिये, सारणी 3.6 से, $R_u = 2{\cdot}766$)

$\therefore$ $M_{u\,Lim} = 2{\cdot}766 \times 300 \times d^2$

$d = \sqrt{\dfrac{232875 \times 1000}{2{\cdot}766 \times 300}} = 530$ mm

अत: d का वही मान है जो ऊपर ज्ञात किया गया है।

(v) **प्रबलन इस्पात, A_{st}**—

$p_{t\,Lim} = \dfrac{0{\cdot}414\, f_{ck}\, x_{u\,max}}{f_y\, d}$ (अथवा सारणी 5.7 से $= 0{\cdot}96\%$)

ज्ञात मान रखने पर $= \dfrac{0{\cdot}414 \times 20 \times 0{\cdot}48\, d}{415 \times d} = 0{\cdot}0096$ अथवा $0{\cdot}96\%$

$\therefore$ $A_{st} = p_{t\,Lim} \times b \times d$

$= \dfrac{0{\cdot}96 \times 300 \times 530}{100} = 1527$ mm^2

20 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या $= \dfrac{1527}{314} = 4{\cdot}86$ say 5 छड़ें

अथवा— $A_{st} = \dfrac{M_u}{0{\cdot}87 f_y (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max})}$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर— $A_{st} = \dfrac{232875 \times 1000}{0{\cdot}87 \times 415\,(530 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}48 \times 530)}$

यहाँ $x_{u\,max} = 0{\cdot}48d$

$\therefore$ $A_{st} = \dfrac{232875 \times 1000}{0{\cdot}87 \times 415 \times 423{\cdot}15} = 1525$ mm^2

अथवा— $A_{st} = \dfrac{0{\cdot}36\, f_{ck}\, b\, x_{u\,max}}{0{\cdot}87 f_y}$ ...(सूत्र)

$= \dfrac{0{\cdot}36 \times 20 \times 300 \times 0{\cdot}48 \times 530}{0{\cdot}87 \times 415}$

$= 1522$ mm^2

अत: सन्तुलित खण्ड के लिये तनन इस्पात, f_y अथवा f_{ck} किसी भी प्रतिबलों के आधार पर, उपरोक्त किसी भी सूत्र से ज्ञात किया जा सकता है। A_{st} = इस्पात की मात्रा लगभग समान आती है।

(vi) **अपरुपण में जाँच**—

अपरुपण बल, $V_u = \dfrac{51{\cdot}75 \times 6}{2} = 155{\cdot}25$ kN

नामन अपरुपण प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d} = \dfrac{155{\cdot}25 \times 1000}{300 \times 530} = 0{\cdot}98$ N/mm^2

धरन-खण्ड में इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \dfrac{A_{st} \times 100}{b \times d} = \dfrac{314 \times 5 \times 100}{300 \times 530} = 0{\cdot}99\%$

M–20 व $p_t = 0{\cdot}99\%$ के लिये सारणी 4.1 से, $\tau_c = 0{\cdot}62$ N/mm^2

चूँकि $\tau_v > \tau_c$, धरन में अपरुपण प्रबलन देना होगा।

(vii) **अपरुपण प्रबलन**—कंक्रीट खण्ड की (बगैर अपरुपण प्रबलन के), अपरुपण सामर्थ्य—

$\tau_c\, b\, d = 0{\cdot}62 \times 300 \times 530 = 98580$ N

शुद्ध अपरुपण बल, जिसके लिये अपरुपण प्रबलन डाला जायेगा,

$V_{us} = V_u - \tau\, b\, d = 155250 - 98580 = 56670$ N

माना दो तनन छड़ों को $L/10$ की दूरी (आलम्बों से) पर ऊपर को 45° पर नत (Bent-up) करते हैं, ताकि ये भी अपरुपण-नियन्त्रण में अपना योगदान दे सकें।

अत: नत की गयी दो तनन छड़ों की अपरुपण क्षमता—

$$V_u = 0{\cdot}87 f_y A_{sv} \sin\alpha \qquad \text{...(सूत्र)}$$
$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 314 \times 0{\cdot}707$$
$$= 160305 \text{ N}$$

यह मान शुद्ध अपरुपण बल (Net Shear Force) से अधिक है। परन्तु कोड के अनुसार नत छड़ें), शुद्ध अपरुपण बल का 50% तक ही लेने में सक्षम मानी जाती हैं (लेने के लिये मान्य हैं), अर्थात् $\frac{56670}{2} = 28335$ N अपरुपण बल ही लेंगी, 160305 N नहीं। शेष अपरुपण बल, 28335 N के लिये 2-टांग वाले छल्लों की व्यवस्था करनी होगी।

2-टांगों वाले 6 mm व्यास के छल्लों का अन्तराल,

$$s = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{V_{us}} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 28 \times 530}{28335} = 378 \text{ mm}$$

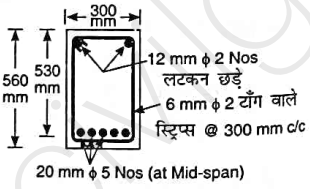
छल्लों का अन्तराल निम्न का न्यूनतम लिया जायेगा—

(a) $0{\cdot}75 d = 0{\cdot}75 \times 530 = 397{\cdot}5$ mm

(b) 300 mm

(c) अपरुपण प्रबलन के आधार पर, अर्थात् 378 mm

उपरोक्त में न्यूनतम 300 mm है। अत: 2-टांग वाले 6 mm व्यास के छल्ले 300 mm (say) c/c पर डाले जायेंगे।



चित्र 5.12

(vii) चित्रण—धरन में प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 5.12 में दर्शायी गयी है।

उदाहरण 5.2 : एक धरन का प्रभावी पाट 6 मी० है। इस पर 5 kN/m का अध्यारोपित भार आ रहा है। धरन खण्ड के लिये M–20 श्रेणी की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का इस्पात प्रयोग किया जाना है। यदि धरन खण्ड 230 mm × 400 mm सीमित कर दिया जाये, तो धरन का सीमांत स्थिति विधि से अभिकल्पन कीजिये।

हल : (i) M–20 कंक्रीट और Fe 415 इस्पात के लिये मुख्य स्थिरांक निम्न लिये जाते हैं। (सारणी 5.7)

अधिकतम वल शून्य अक्ष, $x_{u\,max} = 0{\cdot}48 d$

सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण, $M_{u\,Lim} = 0{\cdot}138 b d^2 f_{ck}$

प्रबलन इस्पात का प्रतिशत् $p_{t\,Lim} = 0{\cdot}96\,\%$

(ii) भार व अभिकल्प आघूर्ण (Factored Moments)—

धरन पर अध्यारोपित भार = 5·00 kN/m

धरन का स्वयं का भार = $0{\cdot}23 \times 0{\cdot}40 \times 1 \times 25$ = 2·30 kN/m

कुल भार = 7·30 kN/m

अभिकल्प (Factored) भार, भार गुणक, $\gamma_f = 1{\cdot}5$ लेते हुये,

$$F_d = 1{\cdot}5 \times 7{\cdot}30 = 10{\cdot}95 \text{ kN/m}$$

अभिकल्प (Factored) आघूर्ण, $M_d = \frac{10{\cdot}95 \times 6^2}{8} = \mathbf{49{\cdot}275\ kN.m}$

(iii) प्रश्न में धरन खण्ड का माप दिया गया है, अत: खण्ड का सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण,

$$M_{u\,Lim} = 0{\cdot}138 b d^2 f_{ck}$$

धरन की प्रभावी गहरायी, 30 mm का आवरण लेते हुये, 400 – 30 = 370 mm

$$\therefore \quad M_{u\,Lim} = 0{\cdot}138 \times 230 \times (370)^2 \times 20$$
$$= 86904120 \text{ N.mm} = 86{\cdot}91 \text{ kN-m}$$

चूँकि $M_{u\,Lim} > M_d$, अत: यह **एकल प्रबलित खण्ड ही सक्षम** होगा।

(iv) प्रबलन इस्पात—

बल शून्य अक्ष, $x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}}{0{\cdot}36 \times 20 \times 230} = 0{\cdot}22 A_{st}$

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u) \qquad \text{...(सूत्र 3.15)}$$

$M_d = M_u$ रखने पर,

$$49{\cdot}275 \times 10^6 = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u)$$

ज्ञात मान रखने पर,

$$49{\cdot}275 \times 10^6 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} [370 - (0{\cdot}42 \times 0{\cdot}22) A_{st}]$$
$$49{\cdot}275 \times 10^6 = 133589 A_{st} - 33{\cdot}36 A_{st}^2$$
$$33{\cdot}36 A_{st}^2 - 133589 A_{st} + 49275000 = 0$$
$$A_{st}^2 - 4004 A_{st} + 1477068 = 0 \qquad \text{यह एक द्विघातीय समीकरण है।}$$

हल करने पर— $A_{st} = \frac{-(-4004) \pm \sqrt{(-4004)^2 - (4 \times 1477068)}}{2}$

$$A_{st} = \frac{4004 \pm 3182}{2} = 411 \text{ mm}^2$$

12 mm ϕ की 4 छड़ें प्रयोग करने पर, कुल क्षेत्रफल $4 \times 113 = 452$ mm², जो 411 mm² से थोड़ा अधिक है। अत: 12 mm ϕ की 4 छड़ें डाली जायेंगी।

(v) अपरुपण में जाँच—

कर्तन बल, $V_u = \frac{10{\cdot}95 \times 6}{2} = 32{\cdot}85 \text{ kN}$

नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{32{\cdot}85 \times 1000}{230 \times 370} = 0{\cdot}39 \text{ N/mm}^2$

इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \frac{A_{st} \times 100}{b \times d} = \frac{452 \times 100}{230 \times 370} = 0{\cdot}53\%$

कंक्रीट M–20 व $p_t = 0{\cdot}53\%$ के लिये सारणी 4.1 से, $\tau_c = 0{\cdot}49 \text{ N/mm}^2$

चूँकि $\tau_c > \tau_v$, अत: किसी कर्तन प्रबलन की आवश्यकता नहीं है, फिर भी नाममात्र के 2-टांगों वाले छल्ले डाले जायेंगे।

6 mm व्यास के 2-टांग वाले स्ट्रीप्स का अन्तराल—

$$s = \frac{0{\cdot}87 \times A_{sv} \times f_y}{0{\cdot}4 \times b} = \frac{0{\cdot}87 \times 2 \times 28 \times 415}{0{\cdot}4 \times 230} = 220 \text{ mm c/c}$$

परन्तु इन छल्लों का अन्तराल निम्न का **न्यूनतम** लिया जायेगा—

(a) $0{\cdot}75\,d = 0{\cdot}75 \times 370 = 277{\cdot}5$ mm
(b) 300 mm
(c) कर्तन छल्लों का अन्तराल = 220 mm

अत: 6 mm व्यास के 2-टांग वाले छल्ले 220 mm c/c पर डाले जायेंगे।



चित्र 5.13

(vi) चित्रण—अभिकल्पित प्रबलन इस्पात चित्र 5.13 में दिखाया गया है।

उदाहरण 5.3 : 5 मी० के शुद्ध पाट के लिये एक आयताकार एकल प्रबलित कंक्रीट धरन का अभिकल्पन कीजिये, यदि धरन पर 15 kN प्रति मी० का समवितरित भार आ रहा है। आलम्बों की चौड़ाई 300 mm मान लें और M–15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 250 का इस्पात प्रयोग करें। प्रबलित कंक्रीट का भार 25 kN/m³ लें।

हल : (1) प्रश्नानुसार M–15 ग्रेड की कंक्रीट और इस्पात Fe 250 के लिये—

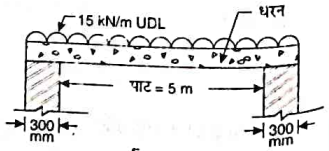
$x_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}53d$

$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}149\,b\,d^2 f_{ck}$

$p_{t\,\text{Lim}} = 1{\cdot}32\%$

(2) प्रभावी पाट–

इसके लिये आलम्बों की मध्य से मध्य दूरी लेते हुये, 5000 + 150 + 150 + 5300 mm.



चित्र 5.14

(3) धरन-खण्ड का माप–

धरन-खण्ड की गहराई $\frac{\text{पाट}}{15}$ तथा चौड़ाई, गहराई का $\frac{1}{2}$ से $\frac{1}{3}$ लेते हुये (ट्राइल परिच्छेद के लिये)— गहराई $= \frac{5300}{12} = 442$ mm say 450 mm

और धरन की चौड़ाई $= \frac{442}{2} = 221$ mm, say 230 mm.

(4) प्रति मी० लम्बाई में धरन पर भार–

(i) अध्यारोपित भार = 15000 N/m

(ii) खण्ड का स्वयं का भार $= 1 \times \frac{230}{1000} \times \frac{450}{1000} \times 25000 =$ 2588 N/m

कुल भार = 17588 say 17590 N/m

भार गुणक 1·5 लेते हुये, अभिकल्पित (Factored) भार, $F_d = 17590 \times 1{\cdot}5$
$= 26385$ N/m

(5) अभिकल्प बंकन आघूर्ण, $M_d = \frac{wl^2}{8} = \frac{26385 \times (5{\cdot}30)^2}{8}$
$= 92644$ N.m.
$= 92644 \times 1000$ N.mm

(6) धरन-खण्ड की गहरायी, d के लिये—

$M_d = M_{u\,\text{Lim}}$ (यहाँ $M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}149\,b\,d^2 f_{ck}$)

$92644000 = 0{\cdot}149\,bd^2 f_{ck}$

$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{92644000}{0{\cdot}149 \times 230 \times 15}} = 425$ mm

15 mm का आवरण रखने पर, $D = 425 + 15 = 440$ mm

चूँकि यह गहरायी ऊपर मानी गयी गहरायी के लगभग बराबर है, अत: खण्ड-माप अशोधित करने की आवश्यकता नहीं है। अत: धरन-खण्ड का माप 230 mm × 440 mm

(7) तनन इस्पात, A_{st}—

$$p_{t\,\text{Lim}} = \frac{0{\cdot}414\,f_{ck}\,x_{u\,\max}}{f_y\,d}$$ अथवा सारणी 5.7 से

$$= \frac{0{\cdot}414 \times 15 \times 0{\cdot}53d}{250 \times d} = 1{\cdot}32\%$$

$\therefore \quad A_{st} = p_{t\,\text{Lim}} \times b \times d$

$$= \frac{1{\cdot}32 \times 230 \times 425}{100} = 1290 \text{ mm}^2$$

20 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या = $\frac{1290}{314} = 4{\cdot}10$ Say 5 छड़ें,

20 mmϕ तनन इस्पात का क्षेत्रफल = $5 \times 314 = 1570\ mm^2$

(8) प्रबलन इस्पात की जांच—

(i) धरन-खण्ड में न्यूनतम तनन प्रबलन, $A_{to} = \frac{0{\cdot}85\,bd}{f_y} = \frac{0{\cdot}85 \times 230 \times 425}{250}$

$= 332\ mm^2$

धरन में $1570\ mm^2$ तनन इस्पात डाला गया है, अत: सही है।

(ii) धरन-खण्ड में अधिकतम तनन प्रबलन, $A_{too} = 0{\cdot}04 \times b \times D$

$= 0{\cdot}04 \times 230 \times 440$

$= 4048\ mm^2$

तनन इस्पात की मात्रा न्यूनतम तथा अधिकतम, दोनों सीमाओं की शर्तों की पूर्ति करती है। अत: ऊपर ज्ञात तनन प्रबलन स्वीकार्य है।

धरन-खण्ड में तनन इस्पात का क्षेत्रफल, $p_t = \frac{100 \times A_{st}}{b \times d}$

$= \frac{100 \times 1570}{230 \times 425} = 1{\cdot}60\%$

(9) कर्तन में जाँच–

आलम्बों के निकट कर्तन बल अधिकतम होगा। कोड के अनुसार कर्तन बल के लिये क्रान्तिक काट आलम्बों से प्रभावी गहरायी = d दूरी पर लिया जाता है, परन्तु सरलता के लिये इसे आलम्ब की भीतरी फलक पर लेते हैं।

(i) कर्तन बल, $V_u = \frac{wL}{2} = \frac{26385 \times 5}{2} = 65963\ N$

(ii) नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{65963}{230 \times 425} = 0{\cdot}68\ N/mm^2$

यह मान $\tau_{c\ max} = 2{\cdot}5\ N/mm^2$ से कम है। अत: खण्ड-माप के परिवर्तन की आवश्यकता नहीं है।

माना कुल 5 तनन छड़ों में से 2 तनन छड़ें, आलम्बों से, $\frac{\text{पाट}}{10} = \frac{5300}{10} = 530\ mm$ की दूरी पर समाप्त कर दी जाती है। अत: आलम्बों के निकट कर्तन प्रतिरोध के लिये 3 छड़ें शेष रह जाती हैं, अर्थात् $3 \times 314 = 942\ mm^2$ इस्पात उपलब्ध है।

(iii) तनन इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \frac{A_{st} \times 100}{b \times d} = \frac{942 \times 100}{230 \times 425}$

$\therefore \quad p_t = 0{\cdot}96\%$

(iv) M–15 ग्रेड की कंक्रीट की 0·96% प्रबलन पर, कर्तन सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}59\ N/mm^2$

चूँकि $\tau_v > \tau_c$, अत: धरन में कर्तन प्रबलन की आवश्यकता है। यह प्रबलन उदग्र छल्लों के रूप में दिया जायेगा।

(v) शुद्ध (Net) कर्तन बल, जिसके लिये कर्तन प्रबलन की आवश्यकता है—

$V_s = V_u - (\tau_c\, b\, d)$

$= 65963 - (0{\cdot}59 \times 230 \times 425)$

$= 65963 - 57672 = 8291\ N$

8 mm व्यास के दो टांगों वाले उदग्र छल्लों का अन्तराल (Spacing)—

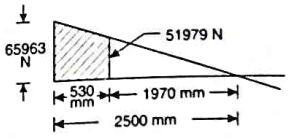
$s_v = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{sv}\, d}{V_s}$

$= \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times 2 \times 50 \times 425}{8291} = 1115\ mm$

परन्तु यह दूरी $0{\cdot}75\, d = 0{\cdot}75 \times 425 = 319$ mm अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होनी चाहिये।

अत: 8 mmϕ के दो टाँगों वाले छल्ले 300 mm के अन्तराल पर, $\frac{\text{पाट}}{10} = \frac{5300}{10} = 530\ mm$ की दूरी में (आलम्बों से) लगाये जायेंगे। प्रथम छल्ला आलम्ब की भीतरी फलक पर लगेगा।

आलम्बों से 530 mm के आगे, जहाँ पूरी (पांचों) छड़ें उपलब्ध हैं, कर्तन बल कंक्रीट की कर्तन में सामर्थ्य के द्वारा अथवा आवश्यक हुआ तो उदग्र छल्लों द्वारा प्रतिरोधित किया जायेगा।



चित्र 5.15—कर्तन बल आरेख

धरन की इस लम्बाई में खण्ड में तनन इस्पात का प्रतिशत, $p = \frac{100\, A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 1570}{230 \times 425} = 1{\cdot}60\%$

कंक्रीट की स्वयम् की कर्तन सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}69\ N/mm^2$

कंक्रीट खण्ड द्वारा वहन कर्तन बल $= \tau_v \times b \times d$

$= 0{\cdot}69 \times 230 \times 425 = 67448\ N$

जिस बिन्दु पर छड़े कम की गयी है, वहाँ पर कर्तन बल $= \frac{65963}{2500} \times 1970$

$= 51979$ N.

यह बल कंक्रीट खण्ड की स्वयम् की कर्तन क्षमता से कम है, अत: इस लम्बाई में खण्ड द्वारा ही कर्तन बल प्रतिरोधित किया जायेगा। **फिर भी नाममात्र के उदग्र छल्लों का प्रयोग करते हैं।**

(10) न्यूनतम कर्तन इस्पात–

8 mm व्यास की 2-टाँगों वाले छल्लों का अन्तराल,

$$s = \frac{0{\cdot}87 f_y \times A_{sv}}{0{\cdot}4 b} = \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times 2 \times 50}{0{\cdot}4 \times 230}$$

$= 236$ mm c/c say 230 mm c/c.

परन्तु अधिकतम अन्तराल $0{\cdot}75 \times d = 319$ mm या 300 mm (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होना चाहिये। अत: यह अन्तराल 230 mm c/c लिया जायेगा। अत: 8 mm व्यास की 2 टाँगों वाले स्ट्रीप्स (छल्ले) घरन की पूरी लम्बाई में 230 mm c/c. डाले जायेंगे।

(11) आलम्बों पर विकास लम्बाई की जाँच–

M–15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 250 प्रबलन इस्पात के लिये, अनुमत अभिलाग प्रतिबल τ_{bd} (सारणी 4.4 से) $= 1{\cdot}0$ N/mm^2

विकास लम्बाई, $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4\tau_{bd}} = \frac{0{\cdot}87 \times 250\,\phi}{4 \times 1{\cdot}0} = 54{\cdot}4\,\phi$

स्थिरण लम्बाई $L_0 = 12\phi$ या d जो भी अधिक हो।

$= 12 \times 20$ या 425 mm

$= 240$ mm या 425 mm। यह 425 mm ली जायेगी।

विकास की लम्बाई के लिये निम्न सूत्र का प्रयोग करते हुये—

$$L_d \le \frac{1{\cdot}3 M_1}{V} + L_0$$

आलम्ब के निकट 3 तनन छड़े रह जाने के कारण, प्रतिरोध आघूर्ण,

$M_1 = 0{\cdot}87 f_y A_{st} z_u$, यहाँ z_u = उत्तोलक भुजा $= 0{\cdot}9 \times d$

$= 0{\cdot}87 \times 250 \times (3 \times 314) \times (0{\cdot}9 \times 425)$

$= 78368513$ N.mm

अत: $L_d \le \frac{1{\cdot}3 M_1}{V} + L_0$ में ज्ञात मान रखने पर—

$$54{\cdot}4\,\phi \le \left[\frac{1{\cdot}3 \times 78368513}{65963}\right] + 425$$

$$54{\cdot}4\,\phi \le [1545 + 425]$$

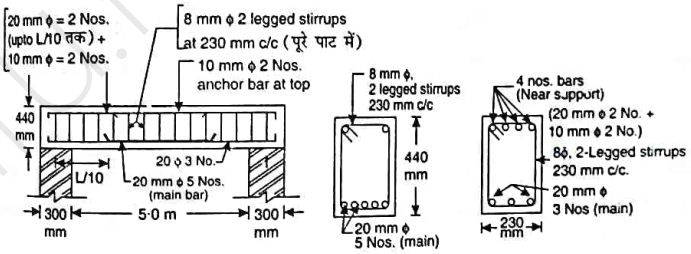
$$\phi \le \frac{1970}{54{\cdot}4} \quad \text{अथवा} \quad \phi \le 36{\cdot}2 \text{ mm}$$

परन्तु प्रयुक्त छड़ का व्यास 20 mm है, जो 36·2 mm से कम है, अत: स्थिरण में छड़े सुरक्षित हैं।

(12) अतिरिक्त इस्पात–उदग्र छल्लों को अपनी स्थिति में बनाये रखने के लिये, खण्ड के ऊपरी भाग में, प्रत्येक कोने में 10 mm ϕ की एक-एक लटकन (बन्धक) छड़ (Anchor Bar) अलग से डाली जायेगी।

(13) चित्रण–

प्रबलन इस्पात का विवरण चित्र 5.16 में दिया गया है।



चित्र 5.16—प्रबलन इस्पात विवरण (R.C.C. Beam)

(II) लिन्टल का अभिकल्पन
(DESIGN OF R.C.C. LINTEL)

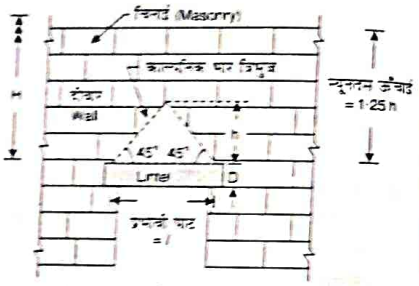
§ 5.22. लिन्टल (Lintel) :

बरामदे के प्रवेश-द्वारों, दरवाजों-खिड़कियों तथा रोशनदानों को पाटने तथा दीवार-चिनाई को ऊपर उठाने के लिये, इन पर जो विशेष क्षैतिज पटिया (धरनी) डाली जाती है, उसे लिन्टल अथवा सरदल कहते हैं। लिन्टल काष्ठ, इस्पात, पत्थर अथवा कंक्रीट के डाले जाते हैं, परन्तु सामर्थ्य, आयु तथा मितव्ययता की दृष्टि से प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट के लिन्टल उत्तम रहते हैं।

5.22-1. डाट क्रिया (Arch Action)—लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई (छत तक) कुछ भी हो सकती है। चिनाई में अपनायी गयी चाल (बांड) के कारण, लिन्टल के ऊपर एक काल्पनिक निवारक डाट (Relieving Arch) बन जाती है, जो दीवार के तथा अन्य भार को सीधे लिन्टल पर न डालकर, प्रवेश के पार्श्व (Sides) में स्थानान्तरित कर देती है। इसे डाट क्रिया (Arch Action) कहते हैं। डाट क्रिया के कारण लिन्टल पर सीधा आने वाला भार काफी कम हो जाता है। डाट क्रिया के लिये जरूरी है कि लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई पर्याप्त हो अन्यथा डाट क्रिया विकसित नहीं होती है और तब

दीवार का सम्पूर्ण भार लिन्टल पर आता माना जाता है।

5.22-2. भार (Load)—डाट क्रिया के फलस्वरूप, लिन्टल पर सीधा पड़ने वाला दीवार का भार त्रिभुजाकार मान लिया जाता है, जिसका आधार (base) पाट की प्रभावी चौड़ाई ली जाती है। त्रिभुज का आधार-कोण उत्तम श्रेणी की चिनाई के लिये 45° तथा घटिया चिनाई के लिये 60° लिया जाता है। डाट क्रिया उत्पन्न होने के लिये यह आवश्यक है कि **लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई कार्त्यनिक त्रिभुज की ऊँचाई का $1\frac{1}{4}$ गुना अथवा इससे अधिक हो।** (चित्र 5.17)



चित्र 5.17—लिन्टल पर भार-व्यवस्था

जब लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई, त्रिभुज की ऊँचाई का $1\frac{1}{4}$ गुना या अधिक होती है, तो केवल कार्त्यनिक त्रिभुज की परिधि में आने वाले ब्रिक्स का पूर्ण भार लिन्टल पर आता हुआ माना जाता है। जब यह ऊँचाई $1\frac{1}{4}$ गुना से कम होती है, तब लिन्टल पर दीवार की पूरी ऊँचाई का आयताकार भार आता हुआ माना जाता है। यदि इस ऊँचाई में छत-स्लैब भी स्थित है, तो छत-स्लैब पर आने वाला चल/अचल भार भी गणना में लिया जाता है।

§ 5.23. अभिकल्पन (Design) :

लिन्टल का अभिकल्पन एक साधारण प्रबलित कंक्रीट धरन की भाँति किया जाता है।

लिन्टल पर पड़ने वाले भार की गणना, निम्न प्रकार की जाती है। उत्तम श्रेणी की ईंट चिनाई का भार 19200 N/m^3 लिया जाता है। प्रबलित कंक्रीट का भार 25000 N/m^3 लें।

(i) त्रिभुज चिनाई का भार—

W_1 = त्रिभुज का क्षेत्रफल × दीवार की मोटाई × चिनाई का भार प्रति घन मी०

इस त्रिभुजाकार भार के कारण, बंकन आघूर्ण = $\frac{W_1 \times l}{6}$ N.m

(ii) लिन्टल पर स्वयं का भार—लिन्टल पर स्वयं का भार ज्ञात करने के लिये, 2 मी० पाट तक इसकी मोटाई 100 mm से 150 mm और 3 मी० पाट तक के लिये 150 mm से 180 mm मान लें।

W_2 = लिन्टल की चौड़ाई × मोटाई × लम्बाई × कंक्रीट का भार/m^3

इस भार के कारण, बंकन आघूर्ण = $\frac{W_2 l}{8}$ = N.m अथवा $\frac{wl^2}{8}$,

यहाँ w लिन्टल का प्रति इकाई-लम्बाई का भार है। प्रभावी पाट मी० में तथा भार W, न्यूटन (N) में लिया गया है।

(iii) कुल बंकन आघूर्ण– B.M. = $\frac{W_1 l}{6} + \frac{W_2 l}{8}$ अथवा $\frac{W_1 l}{6} + \frac{wl^2}{8}$

(iv) कुल कर्तन बल, S.F. = $\frac{W_1 + W_2}{2}$ अथवा $\frac{W_1 + wl}{2}$

लिन्टल पर पड़ने वाले भारों को भार-गुणक (Load factor) 1·5 भी लगाये नवीन कोड के अनुसार लिन्टल आदि में कर्तन प्रबलन छोड़ा जा सकता है।

दरवाजे पर लिन्टल (LINTEL OVER DOOR)

उदाहरण 5.4 : एक प्रवेश द्वार जिसका पाट 2 मी० है, के लिये प्रबलित कंक्रीट लिन्टल का अभिकल्पन कीजिये। लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई 1·5 मी० से अधिक है। दीवार की मोटाई 300 mm मान लें। लिन्टल के लिये M–20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 टोर इस्पात का प्रयोग करें। प्रबलित कंक्रीट का भार 25000 N/m^3 तथा चिनाई का भार 19200 N/m^3 मान लें। अभिकल्पित इस्पात की स्थिति स्वच्छ चित्र खींच कर दर्शायें।

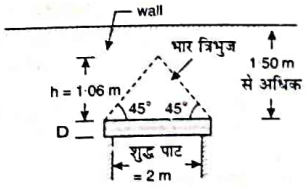
हल : (1) माना लिन्टल की कुल गहराई (मोटाई) 150 mm तथा प्रभावी गहराई 130 mm है।

शुद्ध पाट = 2 m, प्रभावी पाट = 2·0 + 0·13 = 2·13 m

माना दीवार की चिनाई उत्तम श्रेणी की है ओर भार-त्रिभुज का आधार-कोण 45° है।

∴ समबाहु त्रिभुज की ऊँचाई, $h = \frac{2 \cdot 13}{2} \times \tan 45° = 1 \cdot 06$ m

लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई 1·5 m से अधिक है। यह ऊँचाई समबाहु त्रिभुज के $1\frac{1}{4} \times h$ अर्थात् $1 \cdot 25 \times 1 \cdot 06 = 1 \cdot 33$ m से अधिक है। अत: इस स्थिति में डाट क्रिया सम्भव है अत: लिन्टल पर केवल त्रिभुज-चिनाई का ही भार आता हुआ माना जायेगा। (चित्र 5.18)



चित्र 5.18

(2) भार तथा बंकन आघूर्ण–

(a) त्रिभुजाकार चिनाई का भार जो लिन्टल पर आ रहा है—

$$W_1 = \frac{2 \cdot 13 \times 1 \cdot 06}{2} \times 0 \cdot 30 \times 19200$$

$$= 6503 \text{ N}$$

इस चिनाई भार के कारण बंकन आघूर्ण—

$$\frac{W_1 l}{6} = \frac{6503 \times 2{\cdot}13}{6} = 2309 \text{ N-m}$$

$$= 2309 \times 10^3 \text{ N-mm} \quad ...(i)$$

(b) प्रति मीटर लम्बाई में लिन्टल का स्वयं का भार—

$$W_2' = 1 \times 0{\cdot}30 \times 0{\cdot}15 \times 25000$$

$$= 1125 \text{ N/m run.}$$

इस भार के कारण बंकन आघूर्ण $= \frac{W_2' l^2}{8} = \frac{1125 \times (2{\cdot}13)^2}{8} = 638 \text{ N-m}$

$$= 638 \times 10^3 \text{ N-mm} \quad ...(ii)$$

अत: कुल बंकन आघूर्ण (i) + (ii) = 2309000 + 638000 = 2947000 N-mm

भार के लिये भार गुणक 1·5 रखने पर,

अधिकल्प (Factored) बंकन आघूर्ण, $M_d = 1{\cdot}5 \times 2947000$ N.mm

(3) **लिन्टल की गहरायी** (Depth)—

M-20 कंक्रीट तथा Fe 415 के इस्पात के लिये—

$$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck} \quad ...(\text{सारणी } 5.7 \text{ से})$$

$M_d = M_{u\,\text{Lim}}$ रखने पर, जबकि $b = 300$ mm है।

$$1{\cdot}5 \times 2947000 = 0{\cdot}138 \times 300 \times 20\, d^2$$

$$\therefore \quad d^2 = \frac{1{\cdot}5 \times 2947000}{0{\cdot}138 \times 300 \times 20}$$

$d = 73$ mm, परन्तु यह मोटाई 130 mm ली गयी है, जो काफी सुरक्षित है।

(4) **प्रबलन इस्पात**—

M-25 कंक्रीट तथा Fe 415 इस्पात के लिये, सीमांत प्रबल इस्पात—

$$P_{\text{Lim}} = 0{\cdot}96\% \quad ...(\text{सारणी } 5.7 \text{ से})$$

$$\therefore \quad A_{st} = p_{t\,\text{Lim}} \times b \times d$$

$$= \frac{0{\cdot}96 \times 300 \times 73}{100} = 210 \text{ mm}^2$$

100 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या $= \frac{210}{79} = 2{\cdot}7$ say 3 छड़ें

तनन छड़ों का क्षेत्रफल $= 3 \times 79 = 237 \text{ mm}^2$

(5) **जाँच (Checks)**—

(a) **न्यूनतम तनन प्रबलन की जाँच**—

$$A_{to} = \frac{0{\cdot}85\, bd}{f_y} \quad ...(\text{सूत्र})$$

$$= \frac{0{\cdot}85 \times 300 \times 73}{415}$$

$$= 45 \text{ mm}^2$$

लिन्टल में डाले गये प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल 237 mm² है, अत: सही है।

(b) **अपरुपण (Shear) में जाँच**—

(i) लिन्टल पर कार्यरत अधिकतम बल $= W_1 + W_2$

$$= 6503 + 2250 = 8753 \text{ N}$$

$$\therefore \quad \text{अपरुपण बल, } V_u = \frac{8753}{2} = 4376{\cdot}5 \text{ say } 4377 \text{ N}$$

$$\text{अपरुपण प्रतिबल, } \tau_V = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{4377}{300 \times 73}$$

$$= 0{\cdot}20 \text{ N/mm}^2$$

(ii) खण्ड में तनन इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \frac{A_{st} \times 100}{b \times d}$

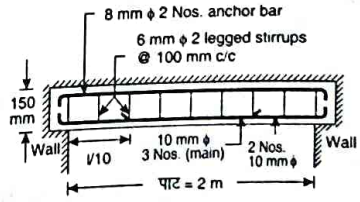
$$= \frac{237 \times 100}{300 \times 73} = 1{\cdot}10\%$$

सारणी 4.1 से 1·1% इस्पात वाली कंक्रीट की अपरुपण में अनुज्ञेय सामर्थ्य, $\tau_c = 0{\cdot}62$ N/mm²

चूँकि $\tau_c > \tau_V$ अर्थात् 0·62 > 0·20, लिन्टल में अपरुपण प्रबलन (Shear Reinforcement) देने की आवश्यकता नहीं है। कोड के अनुसार भी लिन्टल में अपरुपण प्रबलन देने की आवश्यकता नहीं है, फिर भी सामान्य सुरक्षा की दृष्टि से 6 mm व्यास के 2 टाँगों वाले ऊर्ध्वाधर छल्ले (Stirrups), $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 130 = 98$ mm say 100 mm की दूरी पर डालते हैं। इससे कम अन्तराल (Spacing) पर कंक्रीट की भराई व कुटाई में दिक्कत आती है।

(6) **अतिरिक्त इस्पात–**

उदग्र छल्लों को अपनी स्थिति में रखने के लिये खण्ड के ऊपरी प्रत्येक कोने पर एक-एक 8 mm व्यास की लटकन छड़ (Anchor Bar) डाली जायेगी।



चित्र 5.19—लिन्टल-प्रबलन इस्पात का विवरण

civilguru.net

बरामदा-प्रवेश पर लिन्टल
(LINTEL OVER VERANDAH OPENINGS)

उदाहरण 5.5 : एक बरामदे के प्रवेश-द्वार पर, जिसकी चौड़ाई 2·5 मी० है, प्रबलित कंक्रीट का लिन्टल डाला जाना है। लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई एक मीटर तथा मोटाई 200 mm है। दीवार के भार के अतिरिक्त, लिन्टल पर 5000 N/m की दर से छत तथा मुँडेर का भार भी आ रहा है। लिन्टल का अभिकलपन करें। Fe 415 इस्पात और M-20 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग करें। प्रबलित कंक्रीट का भार 25000 N/m³ और चिनाई का भार 19200 N/m³ अपनायें।

हल : (1) लिन्टल की चौड़ाई दीवार की मोटाई के बराबर अर्थात् 200 mm होगी।

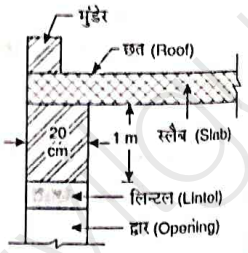
लिन्टल की गहराई = $\frac{\text{पाट}}{10} = \frac{250}{10} = 25$ cm = 250 mm अथवा $d = 235$ mm और 15 mm का प्रभावी आवरण रखते हुये, कुल गहराई $D = 250$ mm.

लिन्टल का प्रभावी पाट–निम्न मान में से जो न्यूनतम है, लिया जायेगा।

(i) शुद्ध पाट + प्रभावी गहराई
= 2·5 + 0·24 = 2·74 m

(ii) आलम्बों की मध्य से मध्य दूरी (चढ़ाव 20 cm लेते हुये) = 2·5 + 0·10 + 0·10
= 270 m

∴ अत: प्रभावी पाट = 2·70 m रखते है।



चित्र 5.20

माना भार-त्रिभुज का आधार कोण 45° है।

समबाहु त्रिभुज की ऊँचाई, $h = \frac{2·70}{2} \tan 45° = 1·35$ m

लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई = 1 m (प्रश्न में दे रखी है)।

यह ऊँचाई समबाहु त्रिभुज के $1\frac{1}{4}h = 1·25 \times 1·35 = 1·69$ m से कम है, अत: इस स्थिति में **डाट क्रिया सम्भव नहीं** है। अत: चिनाई का पूर्ण भार लिन्टल पर कार्य करता हुआ माना जायेगा।

(2) भार तथा बंकन आघूर्ण—

प्रति मी० लम्बाई पर भार—

(i) छत तथा मुँडेर का भार = 5000 N
(ii) दीवार का भार = 1 × 0·20 × 1 × 19200 = 3840 N
(iii) लिन्टल का स्वयं का भार = 1 × 0·2 × 0·25 × 25000 = 1250 N
कुल भार = 10090 N

भार के लिये भार गुणक 1·5 रखने पर, लिन्टल पर समवितरित चरम भार
= 1·5 × 10090 = 15135 N

अधिकतम बंकन आघूर्ण, $B.M = \frac{wl^2}{8}$

∴ $M_d = \frac{15135 \times (2·70)^2}{8}$
= 13792 N.m = 13792000 N.mm

(3) लिन्टल की गहरायी (या मोटाई)—

M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 इस्पात के लिये सीमांत बंकन आघूर्ण,

$M_{u\,Lim} = 0·138\, b\, d^2 f_{ck}$ ...(सारणी 5.7 से)

अत: $M_d = M_{u\,Lim}$ रखने पर—

$13792000 = 0·138 \times 200 \times 20\, d^2$

∴ $d = 158$ mm

ऊपर मानी गयी गहरायी, $d = 235$ mm है जो व्यवहारिक रूप से ठीक है।

(4) प्रबलन इस्पात (Reinforcement)—

तनन इस्पात का सीमांत प्रतिशत = 0·96% ...(सारणी 5.7 से)

∴ तनन इस्पात, $A_{st} = p_t \times b \times d$

$= \frac{0·96 \times 200 \times 235}{100} = 451$ mm²

14 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या,

$N = \frac{A_{st}}{a_t} = \frac{451}{154} = 2·93$ say 3 छड़ें।

कुल तनन इस्पात, $A_{st} = 154 \times 3 = 462$ mm²

(5) जाँच (Checks)—

(a) न्यूनतम तनन इस्पात की जाँच—

$A_{t_0} = \frac{0·85 \times b \times d}{f_y} = \frac{0·85 \times 200 \times 235}{415} = 96.3$ mm²

लिन्टल में डाला गया तनन इस्पात का क्षेत्रफल = 462 mm², अत: सही है।

(b) अधिकतम तनन इस्पात की जाँच—

अधिकतम तनन प्रबलन का क्षेत्रफल,

$A_{t_{00}} = 0·04\, b \times D$
$= 0·04 \times 200 \times 250$, यहाँ $D = 250$ mm (कुल गहरायी) है।

∴ $A_{t_{00}} = 2000$ mm²

लिन्टल में डाले गये तनन प्रबलन इस्पात की मात्रा 462 mm² है। अत: अभिकल्पित तनन इस्पात उपरोक्त शर्तों की पूर्ति करता है।

(c) **कर्तन में जाँच** (Shear Check)–

(i) खण्ड में तनन इस्पात का प्रतिशत— $p_t = \frac{100\,A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 462}{200 \times 235} = 0{\cdot}98\%$

(ii) M–20 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन सामर्थ्य (सारणी 4.1 से)— $\tau_c = 0{\cdot}62$ N/mm²

(iii) अधिकतम कर्तन बल, $V_u = \frac{15135 \times 2{\cdot}5}{2} = 18919$ N

(iv) नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{18919}{200 \times 235} = 0{\cdot}40$ N/mm²

चूँकि $\tau_c > \tau_v$, अत: धरन कर्तन में सुरक्षित है, फिर भी उदग्र छल्लों के रूप में न्यूनतम कर्षी प्रबलन डालते हैं। अत: 6 mm व्यास के दो टाँगों वाले छल्लों का अन्तराल—

$$s = \frac{0{\cdot}87\,f_y \times A_{sv}}{0{\cdot}4 \times b} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 28}{0{\cdot}4 \times 200} = 253 \text{ mm},$$

परन्तु छल्लों का अधिकतम अन्तराल $0{\cdot}75\,d$ अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम हो) से अधिक नहीं होना चाहिये। $0{\cdot}75 \times 235 = 176$ mm. अत: छल्लों का अन्तराल 175 mm c/c रखते हैं।

(d) **आलम्बों पर विकास लम्बाई की जाँच** (Check for Development Length)—

विकास लम्बाई, $L_d = \frac{0{\cdot}87\,f_y\,\phi}{4\,\tau_{bd}}$

M–20 कंक्रीट व Fe 415 इस्पात के लिये τ_{bd} का मान 1·92 N/mm² लिया जाता है (टोर छड़ों के लिये 60% बढ़ाकर लेने पर) (सारणी 4.4 से)

$$\therefore \quad L_d = \frac{0{\cdot}87 \times 415\,\phi}{4 \times 1{\cdot}92} = 47\,\phi$$

स्थिरण लम्बाई, $L_0 = 12\,\phi$ या d (जो भी अधिक हो)

$= 12 \times 14$ या 235 (जो भी अधिक हो)। यह 235 mm ली जायेगी

$M_1 = 0{\cdot}87\,f_y\,A_{st} \times 0{\cdot}9\,d$ ...(सू

$= 0{\cdot}87 \times 415 \times (3 \times 154) \times (0{\cdot}9 \times 235) = 35279279$ N.mm

$$\therefore \quad L_d \le \frac{1{\cdot}3\,M_1}{V} + L_0$$

$$47\,\phi \le \left[\frac{1{\cdot}3 \times 35279279}{18919}\right] + 235$$

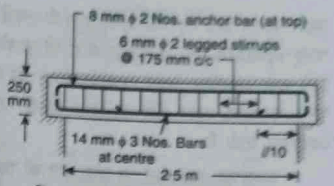
$$47\,\phi \le (2424 + 235)$$

$$\phi \le \frac{2659}{47} \quad \text{या} \quad \phi \le 20\,\text{mm}$$

परन्तु प्रयुक्त छड़ का व्यास 14 mm है, अत: स्थिरण में छड़ें सुरक्षित हैं।

(6) **अतिरिक्त इस्पात**—

उदग्र छल्लों को अपनी स्थिति में बनाये रखने के लिये, खण्ड के ऊपरी कोनों में एक-एक 8 mm व्यास की लटकन (एंकर) छड़ डाली जायेगी। इसके अतिरिक्त एक मुख्य (तनन) छड़ आलम्बों से $\frac{\text{पाट}}{10}$ अर्थात $\frac{2{\cdot}70}{10} = 0{\cdot}27$ m की दूरी पर समाप्त कर दी जायेगी। लिन्टल में प्रबलन-इस्पात चित्र 5.21 में दर्शाया गया है।



चित्र 5.21—लिन्टल में प्रबलन इस्पात

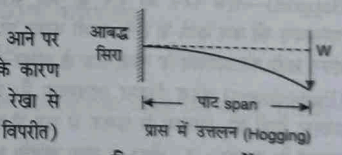
(III) प्रास धरन का अभिकल्पन
(DESIGN OF CANTILEVER BEAM)

§ 5.24. प्रास धरन (Cantilever) :

प्रास धरन का एक सिरा पूर्णत: मुक्त (Free) होता है अर्थात् बाहर निकला (हवा में लटका) रहता है, जब कि दूसरा सिरा दीवार अथवा स्तम्भ पर पूर्णरूप से आबद्ध (Fixed) होता है। छज्जों, सनशेड, झरोंकों, बालकनी, बरसाती (Porch), प्रवेश द्वार इत्यादि के लिये प्रास धरन तथा स्लैब का निर्माण किया जाता है। प्रास धरन आलम्ब-दीवार में भली-भाँति आबद्ध रहना चाहिये ताकि यह पलट न जाये। प्रास-धरन के निर्माण में पर्याप्त सावधानी रखनी पड़ती है क्योंकि इसके आबद्ध सिरे पर ऐंठन (Torsion) उत्पन्न होती हैं। अत: इसको सीमित लम्बाई तक ही बाहर बढ़ाया जा सकता है। शुद्धालम्बित धरन की तुलना में प्रास-धरन में 4 गुना अधिक बंकन आघूर्ण उत्पन्न होती है।

प्रास धरनों तथा प्रास स्लैब का अभिकल्पन सामान्य धरनों की भाँति किया जाता है, परन्तु कुछ बातें विशेष ध्यान-योग्य हैं—

(1) उत्तलन आघूर्ण (Hogging Moment)—भार आने पर प्रास-धरन का मुक्त सिरा नीचे को झुकता है। इसके कारण इसकी ऊपरी परतों में तनन प्रतिबल तथा बलशून्य रेखा से निचली परतों में सम्पीडन प्रतिबल (सामान्य धरन के विपरीत) उत्पन्न होते हैं। इसमें बंकन आघूर्ण की प्रकार उत्तलन (Hogging) या ऋणात्मक (–ve B.M.) होती है। इसी कारण, **प्रास धरन के ऊपरी भाग में तनन प्रबलन इस्पात दिया जाता है** (जबकि सामान्य धरन में तनन प्रबलन इसके निचले भाग में दिया जाता है)। तनन छड़ों को प्रास की ऊपरी सतह के पास, कंक्रीट का उपयुक्त आवरण देकर डाला जाता है। प्रास धरनों में मुक्त सिरे पर बंकन आघूर्ण शून्य और आबद्ध सिरे पर अधिकतम होती है।



चित्र 5.22—प्रास में उत्तलन (–ve B.M.)

(2) मुक्त सिरा (Free End)—समवितरित भार के कारण, प्रास धरन का बंकन आघूर्ण आरेख परवलयाकार होता है, जिसका मान मुक्त सिरे पर शून्य तथा आबद्ध सिरे पर अधिकतम होता है। इसलिये

(c) **कर्तन में जाँच** (Shear Check)—

(i) खण्ड मे तनन इस्पात का प्रतिशत— $P_t = \frac{100 A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 462}{200 \times 235} = 0{\cdot}98\%$

(ii) M-20 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन सामर्थ्य (सारणी 4.1 से)— $\tau_c = 0{\cdot}62$ N/mm²

(iii) अधिकतम कर्तन बल, $V_u = \frac{15135 \times 2{\cdot}5}{2} = 18919$ N

(iv) नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{18919}{200 \times 235} = 0{\cdot}40$ N/mm²

चूँकि $\tau_c > \tau_v$, अत: धरन कर्तन में सुरक्षित है, फिर भी उदग्र छल्लों के रूप में न्यूनतम कर्तन प्रबलन डालते हैं। अत: 6 mm व्यास के दो टाँगों वाले छल्लों का अन्तराल—

$$s = \frac{0{\cdot}87 f_y \times A_{sv}}{0{\cdot}4 \times b} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 28}{0{\cdot}4 \times 200} = 253 \text{ mm},$$

परन्तु छल्लों का अधिकतम अन्तराल $0{\cdot}75\,d$ अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम हो), से अधिक नहीं होना चाहिये। $0{\cdot}75 \times 235 = 176$ mm. अत: छल्लों का अन्तराल 175 mm c/c रखते हैं।

(d) **आलम्बों पर विकास लम्बाई की जाँच** (Check for Development Length)—

विकास लम्बाई, $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4 \tau_{bd}}$

M-20 कंक्रीट व Fe 415 इस्पात के लिये τ_{bd} का मान 1·92 N/mm² लिया जाता है (टोर छड़ों के लिये 60% बढ़ाकर लेने पर) (सारणी 4.4 से)

$$\therefore \quad L_d = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \phi}{4 \times 1{\cdot}92} = 47\,\phi$$

स्थिरण लम्बाई, $L_0 = 12\,\phi$ या d (जो भी अधिक हो)

$= 12 \times 14$ या 235 (जो भी अधिक हो)। यह 235 mm ली जायेगी

$M_1 = 0{\cdot}87 f_y A_{st} \times 0{\cdot}9\,d$ ...(सूत्र)

$= 0{\cdot}87 \times 415 \times (3 \times 154) \times (0{\cdot}9 \times 235) = 35279279$ N.mm

$$\therefore \quad L_d \le \frac{1{\cdot}3 M_1}{V} + L_0$$

$$47\phi \le \left[\frac{1{\cdot}3 \times 35279279}{18919}\right] + 235$$

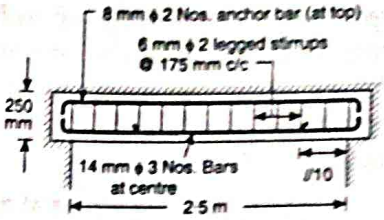
$$47\,\phi \le (2424 + 235)$$

$$\phi \le \frac{2659}{47} \quad \text{या} \quad \phi \le 20 \text{ mm}$$

परन्तु प्रयुक्त छड़ का व्यास 14 mm है, अत: स्थिरण में छड़ें सुरक्षित हैं।

(6) **अतिरिक्त इस्पात**—

उदग्र छल्लों को अपनी स्थिति में बनाये रखने के लिये, खण्ड के ऊपरी कोनों में एक-एक 8 mm व्यास की लटकन (एंकर) छड़ डाली जायेगी। इसके अतिरिक्त एक मुख्य (तनन) छड़ आलम्बों से $\frac{\text{पाट}}{10}$ अर्थात $\frac{2{\cdot}70}{10} = 0{\cdot}27$ m की दूरी पर समाप्त कर दी जायेगी। लिन्टल में प्रबलन-इस्पात चित्र 5.21 में दर्शाया गया है।



चित्र 5.21—लिन्टल में प्रबलन इस्पात

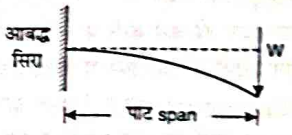
(III) प्रास धरन का अभिकल्पन
(DESIGN OF CANTILEVER BEAM)

§ 5.24. प्रास धरन (Cantilever) :

प्रास धरन का एक सिरा पूर्णत: मुक्त (Free) होता है अर्थात् बाहर निकला (हवा में लटका) रहता है, जब कि दूसरा सिरा दीवार अथवा स्तम्भ पर पूर्णरूप से आबद्ध (Fixed) होता है। छज्जों, सनशेड, झरोंकों, बालकनी, बरसाती (Porch), प्रवेश द्वार इत्यादि के लिये प्रास धरन तथा स्लैब का निर्माण किया जाता है। प्रास धरन आलम्ब-दीवार में भली-भाँति आबद्ध रहना चाहिये ताकि यह पलट न जाये। प्रास-धरन के निर्माण में पर्याप्त सावधानी रखनी पड़ती है क्योंकि इसके आबद्ध सिरे पर ऐंठन (Torsion) उत्पन्न होती हैं। अत: इसको सीमित लम्बाई तक ही बाहर बढ़ाया जा सकता है। शुद्धालम्बित धरन की तुलना में प्रास-धरन में 4 गुना अधिक बंकन आघूर्ण उत्पन्न होता है।

प्रास धरनों तथा प्रास स्लैब का अभिकल्पन सामान्य धरनों की भाँति किया जाता है, परन्तु कुछ बातें विशेष ध्यान-योग्य हैं—

(1) **उत्तलन आघूर्ण** (Hogging Moment)—भार आने पर प्रास-धरन का मुक्त सिरा नीचे को झुकता है। इसके कारण इसकी ऊपरी परतों में तनन प्रतिबल तथा बलशून्य रेखा से निचली परतों में सम्पीडन प्रतिबल (सामान्य धरन के विपरीत) उत्पन्न होते हैं। इसमें बंकन आघूर्ण की प्रकार उत्तलन (Hogging) या ऋणात्मक (–ve B.M.) होती है। इसी कारण, **प्रास धरन के ऊपरी भाग में तनन प्रबलन इस्पात दिया जाता है** (जबकि सामान्य धरन में तनन प्रबलन इसके निचले भाग में दिया जाता है)। तनन छड़ों को प्रास को ऊपरी सतह के पास, कंक्रीट का उपयुक्त आवरण देकर डाला जाता है। प्रास धरनों में मुक्त सिरे पर बंकन आघूर्ण शून्य और आबद्ध सिरे पर अधिकतम होती है।

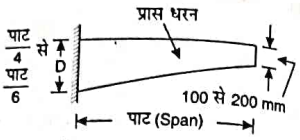


चित्र 5.22—प्रास में उत्तलन (–ve B.M.)

(2) **मुक्त सिरा** (Free End)—समवितरित भार के कारण, प्रास धरन का बंकन आघूर्ण आरेख परवलयाकार होता है, जिसका मान मुक्त सिरे पर शून्य तथा आबद्ध सिरे पर अधिकतम होता है। इसलिये

civilguru.net

मुक्त सिरे पर प्रास धरन की गहराई शून्य हो सकती है, परन्तु व्यावहारिक रूप मे, प्रबलन छड़ों को डालने के लिये तथा अत्यधिक विक्षेप (Deflection) को कम करने के लिये, मुक्त सिरे पर कुछ मोटाई रखनी आवश्यक होती है।



चित्र 5.23—प्रास धरन

सामान्यत: मुक्त सिरे पर प्रास धरन की गहराई 100 mm से 200 mm रखी जाती है।

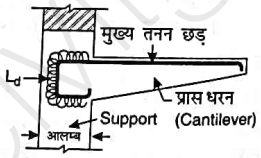
आलम्ब पर प्रास धरन की गहराई $D = \frac{\text{पाट}}{4}$ से $\frac{\text{पाट}}{6}$ ली जा सकती है।

(3) तनन छड़ों को कम करना (Curtailment of Tension Bars)—चूँकि प्रास के मुक्त सिरे की तरफ बंकन आघूर्ण घटती हुअी बहुत ही कम रह जाती है, अत: आलम्ब पर अभिकल्पित कुछ तनन छड़ों को, इस क्षेत्र में समाप्त किया जा सकता है। जब किसी छड़ को जिस बिन्दु पर आवश्यकता न रहने पर समाप्त करना हो, उसे उस बिन्दु से 12 ϕ अथवा d, **जो भी अधिक हो,** आगे तक बढ़ाकर ही कम करना चाहिये। यहाँ d उस बिन्दु पर प्रास-खण्ड की प्रभावी गहराई है। प्रास में सामान्यत: 50% तनन इस्पात उसी फलक पर रखते हुये, मुक्त सिरे तक ले जाना आवश्यक है। (चित्र 5 24)।



चित्र 5.24—प्रास-धरन—ऊपरी प्लान (Top Plan)

(4) छड़ों का आलम्ब में स्थिरण (Anchorage at Support)—प्रास धरनों की नीचे की ओर पलट जाने की सम्भावना को कम करने के लिये, ऊपरी फलक पर डाली गयी तनन छड़ों को आलम्ब के भीतर तक ले जाकर अन्त:स्थापन (Embedment) करना नितान्त आवश्यक है। इसके लिये प्रबलन छड़ों को, आलम्ब के फलक से कम से कम विकास लम्बाई के बराबर = L_d भीतर ले जाना चाहिये। M–15 ग्रेड की कंक्रीट के लिये यह लम्बाई 55 ϕ ली जाती है। यहाँ ϕ छड़ का व्यास है। (देखें चित्र 5.25)।



चित्र 5.25—छड़ों का स्थिरण (Anchorage at Support)

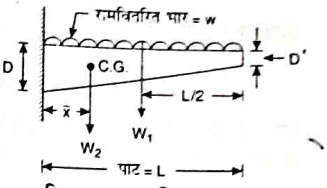
(5) उदग्र छल्ले (Stirrups)—कर्तन प्रतिबलों में सुरक्षित होने पर भी, प्रास-धरन के आबद्ध सिरे के क्षेत्र में 6 mm ϕ के नाममात्र के उदग्र छल्ले डालने चाहियें। छल्लों को स्थिर करने के लिये, प्रास के निचले भाग में, प्रत्येक कोने पर एक-एक लटकन छड़ (एंकर) डालनी चाहिये। यह छड़ 8 mm या 10 mm व्यास की ली जा सकती है।

§ 5.25. अभिकल्पन विधि (Design Procedure) :

एक भारित (Loaded) प्रास धरन के अभिकल्पन के चरण निम्न हैं—

(1) प्रास धरन खण्ड (Section)—

(a) आबद्ध सिरे पर खण्ड की गहराई, $D = \frac{\text{पाट}}{4}$ से $\frac{\text{पाट}}{6}$ मान लें।



चित्र 5.26—भारित प्रास धरन

(b) प्रास धरन की चौड़ाई = $\frac{D}{2}$ से $\frac{D}{3}$ लें। यह चौड़ाई पूरे पाट में समान रखी जाती है।

(c) मुक्त सिरे पर गहराई = 100 से 200 मिमी०।

(d) **प्रभावी पाट–** (i) स्वतन्त्र लटका (बढ़ा) हुआ प्रास, $l = L + \frac{d}{2}$

(ii) सतत धरन के आगे बढ़ा हुआ प्रास, $l = L + \left(\frac{\text{आलम्ब चौड़ाई}}{2}\right)$

यहाँ L = बाहर बढ़ा (लटका) हुआ भाग (Clear Overhang)
d = आबद्ध सिरे (Fixed End) पर प्रभावी गहरायी
l = प्रभावी पाट

(2) भार तथा बंकन आघूर्ण—

(a) समवितरित अध्यारोपित भार w प्रास धरन के पाट के मध्य में कार्यरत माना जाता है। इस भार के कारण बंकन आघूर्ण, $M_1 = \frac{wL^2}{2}$ तथा कुल भार $W_1 = wL$ होगा। यहाँ L = प्रास धरन का शुद्ध पाट है।

(b) प्रास धरन का स्वयम् का भार, जब इसका अनुदैर्ध्य खण्ड समलम्बाकार लिया गया है (चित्र 5.26), इसके गुरुत्व केन्द्र (C.G.) पर कार्यरत होगा।

धरन का स्वयम् का भार, $W_2 = \left(\frac{D + D'}{2}\right) \times L \times$ धरन की चौड़ाई $\times$ 25000 N

(यहाँ सभी माप मी० में हैं)। यह भार प्रास धरन के आबद्ध सिरे से $\bar{x}$ दूरी पर कार्यरत है।

$$\therefore \quad \bar{x} = \left(\frac{D + 2D'}{D + D'}\right) \times \frac{L}{3} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

स्वयम् के भार के कारण बंकन आघूर्ण, $M_2 = W_2 \times \bar{x}$

भारों (Loads) के लिये भार गुणक, $\gamma_f = 1{\cdot}5$ अपनाते हुये, अभिकल्प (Factored) बंकन आघूर्ण तथा अपरुपण बल (Shear Force) निर्धारित करें। प्रास-धरनों की अभिकल्पन की आगे की प्रक्रिया तथा जांच सामान्य धरनों की भाँति ही की जाती है।

(c) कुल बंकन आघूर्ण, $M_d = (M_1 + M_2) \times 1{\cdot}5$

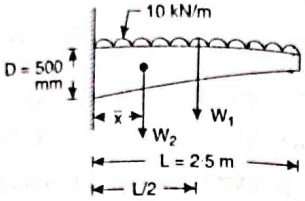
(d) अधिकतम कर्तन बल, $V_u = (W_1 + W_2) \times 1{\cdot}5$

उदाहरण 5.6 : एक प्रास धरन का अभिकल्पन करें, जो मुख्य दीवार से 2·5 मी० बाहर निकली हुयी है। धरन पर अपने भार के अतिरिक्त 10000 N/m का समवितरित भार ढो रहा है। M-15 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग करें। इस्पात Fe 250 श्रेणी का मान लें।

हल : (1) खण्ड व प्रभावी पाट—प्रास धरन-खण्ड की आबद्ध सिरे पर गहराई,

$$D = \frac{\text{पाट}}{5} = \frac{2{\cdot}50}{5} = 0{\cdot}50 \text{ मी०}$$

say 500 mm है (मान लें)।



चित्र 5.27

प्रास खण्ड की चौड़ाई $= \frac{D}{2{\cdot}5} = \frac{500}{2{\cdot}5}$

= 200 mm (मान लें)।

अत: आबद्ध सिरे पर खण्ड माप = 200 mm × 500 mm

मुक्त सिरे पर प्रास खण्ड की गहराई = 200 mm रखते हुये, खण्ड माप = 200 mm × 200 mm लेते हैं।

प्रभावी पाट— $l = L + \frac{d}{2}$, (d = 480 mm मानते हुये, 200 mm का आवरण रखने पर)

$$= 2{\cdot}50 + \frac{0{\cdot}48}{2} = 2{\cdot}74 \text{ m say } 2{\cdot}75 \text{ m}$$

(2) भार तथा बंकन आघूर्ण–भारों पर भार-गुणक 1·5 लेते हुये,

(i) प्रास धरन पर अध्यारोपित समवितरित चरम भार = 10000 × 1·5 = 15000 N/m

इस भार के कारण चरम बंकन आघूर्ण, $M_1 = \frac{wl^2}{2} = \frac{15000 \times (2{\cdot}75)^2}{2}$

$= 56719 \text{ N/m} = 56719 \times 10^3 \text{ N.mm}$

(ii) प्रास-धरन का स्वयं का भार $= \left(\frac{0{\cdot}2 + 0{\cdot}5}{2}\right) \times 0{\cdot}20 \times 2{\cdot}5 \times 25000 = 4375 \text{ N}$

भार-गुणक (आंशिक सुरक्षा गुणक) 1·5 अपनाने पर चरम भार= 4375 × 1·5

= 6562·5 N

Say 6563 N

यह भार प्रास धरन के गुरुत्व केन्द्र पर कार्य करेगा। आलम्ब से गुरुत्व केन्द्र की दूरी,

$$\bar{x} = \left(\frac{D + 2D'}{D + D'}\right) \times \frac{L}{3} \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$\bar{x} = \left[\frac{0{\cdot}50 + 2 \times 0{\cdot}20}{0{\cdot}50 + 0{\cdot}20}\right] \times \frac{2{\cdot}5}{3} = 1{\cdot}07 \text{ m}$$

चरम बंकन आघूर्ण, $M_2 = 6563 \times 1{\cdot}07 = 7723 \text{ N-m} = 7723000 \text{ N.mm}$

(iii) कुल चरम बंकन आघूर्ण, $M_d = M_1 + M_2 = 56179000 + 7723000 \text{ N.mm}$

$= 63902000 \text{ N.mm}$

(iv) अधिकतम कर्तन बल $= W_1 + W_2$

$= (15000 \times 2{\cdot}5) + 6563 = 44063 \text{ N}$

(3) प्रास धरन की आबद्ध (Fixed) सिरे पर गहरायी—

M-15 ग्रेड की कंक्रीट व Fe 250 की श्रेणी का इस्पात लेते हुये—

$$M_{u\,Lim} = 0{\cdot}149\, b\, d^2 f_{ck} \quad \text{...(सारणी 5.7 से)}$$

$$M_d = M_{u\,Lim}$$

$$63902000 = 0{\cdot}149 \times 200 \times 15\, d^2$$

$$\therefore \quad d = 378 \text{ mm}$$

यह गहरायी 480 mm मानी गयी है और 20 mm का आवरण देने पर, कुल गहरायी D = 480 + 20 = 500 mm

(4) प्रबलन इस्पात (Reinforcement)—

तनन इस्पात का प्रतिशत्— $p_{t\,Lim} = 1{\cdot}32\%$ ...(सारणी 5.7 से)

$\therefore$ तनन इस्पात, $A_{st} = p_{t\,Lim} \times b \times d$

$$= \frac{1{\cdot}32 \times 200 \times 480}{100} = 1267 \text{ mm}^2$$

20 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या $= \frac{1267}{314} = 4$ छड़ें

कुल तनन इस्पात की मात्रा = 4 × 314 = 1256 mm²

(5) जाँच (Checks)—

(a) न्यूनतम तनन इस्पात की जाँच—

$$A_{t_0} = \frac{0{\cdot}85 \times b \times d}{f_y} = \frac{0{\cdot}85 \times 300 \times 480}{250} = 327 \text{ mm}^2$$

प्रास धरन में डाले गये इस्पात की मात्रा = 1256 mm², अत: सही है।

(b) अधिकतम तनन इस्पात की जाँच—

$$A_{t_{00}} = 0{\cdot}04 \times b \times D$$

$$= 0{\cdot}04 \times 200 \times 500 = 4000 \text{ mm}^2$$

प्रास धरन में तनन इस्पात का क्षेत्रफल 1256 mm² है। अत: प्रबलन इस्पात उपरोक्त दोनों शर्तों की पूर्ति करता है।

(6) कर्तन में जाँच (Shear Check)—

(i) खण्ड में तनन इस्पात का क्षेत्रफल—

$$p = \frac{100 \times A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 1256}{250 \times 480} = 1{\cdot}31\%$$

civilguruji.net

(ii) M-15 ग्रेड की कंक्रीट की 1·31% इस्पात पर, कर्तन सामर्थ्य, $\tau_c = 0.65$ N/mm² (सारणी 4.1 से)

(iii) अधिकतम कर्तन बल, $V_u = 37500 + 6563 = 44063$ N

नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d} = \dfrac{44063}{200 \times 480} = 0.46$ N/mm²

चूँकि $\tau_c > \tau_v$ अर्थात् 0·65 > 0·46, अत: धरन कर्तन में सुरक्षित है। फिर भी अतिरिक्त सुरक्षा के लिये, उदग्र छल्लों के रूप में न्यूनतम कर्तन प्रबलन डालते हैं। अत: 8 mm व्यास के दो टाँग वाले छल्लों का अन्तराल—

$$s_v = \frac{0.87 f_y \times A_{sv}}{0.4 \times b} = \frac{0.87 \times 250 \times 2 \times 50}{0.4 \times 200} = 272 \text{ mm c/c say } 270 \text{ mm c/c}$$

यह दूरी $0.75d = 0.75 \times 480 = 360$ mm अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है), से अधिक नहीं होनी चाहिये। अत: 8 mm व्यास के दो-टाँगों वाले छल्ले 270 mm के अन्तराल (Spacing) पर डाले जायेंगे।

(7) आलम्बों पर विकास लम्बाई की जाँच—

विकास लम्बाई, $L_d = \dfrac{0.87 f_y \times \phi}{4 \tau_{bd}}$

M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 250 ग्रेड के इस्पात के लिये, $\tau_{bd} = 1.0$ N/mm²

$$\therefore \quad L_d = \frac{0.87 \times 250 \times \phi}{4 \times 1.0} = 54\,\phi$$

स्थिरण लम्बाई, $L_0 = 12\,\phi$ or d (जो भी अधिक हो)

$= 12 \times 20$ or 480 mm, अत: यह 480 mm ली जायेगी।

विकास लम्बाई की जाँच के लिये, $L_d \le \dfrac{1.3 M_1}{V} + L_0$ ...(सूत्र)

$$54\,\phi \le \left[\frac{1.3 \times 63902000}{44063}\right] + 480$$

यहाँ, $M_d = M_{u\,\text{Lim}}$, 4 छड़ें आलम्ब के भीतर तक जायेंगी ओर आलम्ब सिरे पर छड़ में कोई कटौती नहीं है।

$$54\,\phi \le (1885 + 480)$$

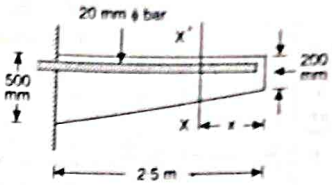
$$\phi \le \frac{2365}{54} = 44 \text{ mm}$$

परन्तु प्रयुक्त छड़ का व्यास 20 mm है, अत: स्थिरण में छड़ें सुरक्षित है।

(8) मुख्य (तनन) छड़ों को कम करना (Curtailment of Tension Bars)—

चूँकि मुक्त सिरे की ओर बंकन आघूर्ण घटते-घटते शून्य रह जाती है, अत: इस क्षेत्र में तनन छड़ों की संख्या कम की जा सकती है।

माना मुक्त सिरे से x मिमी० की दूरी पर 2 छड़ें समाप्त करते हैं। इस काट पर प्रास-धरन की प्रभावी गहराई (आवरण 20 mm) माना d_x है।



चित्र 5.28

$$\therefore \quad d_x = 180 + \left(\frac{300}{2500} \times x\right)$$

$$= 180 + 0.12\,x$$

इस काट पर बंकन आघूर्ण का मान (लगभग)—

$$M_x = \frac{x^2}{L^2} \times M_d$$

$$M_x = \frac{x^2}{(2500)^2} \times 63902000 = 10.2\,x^2 \text{ N-mm}$$

20 mm व्यास की शेष 2 छड़ों का क्षेत्रफल,

$$A_{st} = 2 \times 314 = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{M_x}{f_y \times z}, \quad z = 0.91\,d_x$$

$$628 = \frac{M_x}{f_y \times z} = \frac{10.2 x^2}{250 \times 0.91 d_x}$$

$$628\,d_x = 0.045\,x^2$$

$$0.045\,x^2 - 628\,d_x = 0$$

$$0.045\,x^2 - 628(180 + 0.12\,x) = 0$$

$$x^2 - 377\,x - 251514000 = 0$$

हल करने पर— $x = 950$ mm

अत: 2 छड़ें आलम्ब से $2500 - 950 + 12\,\phi$ या L_d की दूरी पर समाप्त की जा सकती है। अत: $2500 - 950 + 240 = 1790$ mm.

यह दूरी $L_d = 54\,\phi$ अर्थात् $54 \times 20 = 1080$ mm से अधिक होनी चाहिये ताकि छड़ अपनी पूर्ण तनन सामर्थ्य ग्रहण कर सके। उपरोक्त दूरी 1790 mm है, जो सही है।

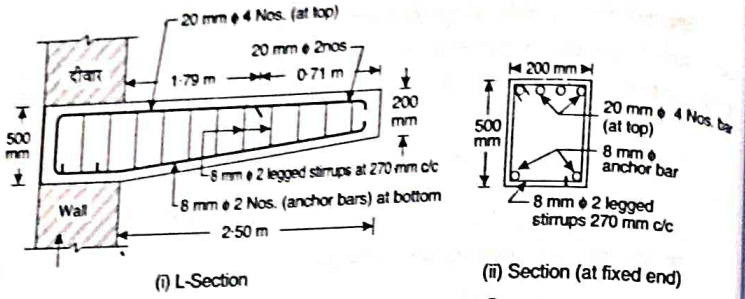
(9) अतिरिक्त इस्पात—

उदग्र छल्लों को अपनी स्थिति में बनाये रखने के लिये प्रास-धरन की **तली** की तरफ 8 mm व्यास की दो एंकर छड़ें डाली जायेंगी।

(10) चित्रण—

प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 5.29 में दर्शायी गयी है।

civilguru.net



(i) L-Section (ii) Section (at fixed end)

चित्र 5.29—प्रास धरन-प्रबलन इस्पात का विवरण

उदाहरण 5.7 : एक प्रास-धरन जो आलम्ब (Support) से 3·0 मी० आगे तक बढ़ी (Overhang) हुयी है, पर 10 kN/m का भार (अपने भार सहित) पड़ रहा है। M–20 ग्रेड की कंक्रीट व Fe 415 का इस्पात प्रयोग करते हुये, प्रास-धरन का अभिकल्प करें। प्रास-धरन की चौड़ाई पूरी लटकन में 230 mm मान लें।

हल :

(i) **प्रश्नानुसार**—पाट, $l = 3$ m, चौड़ाई $= 230$ mm, अध्यारोपित भार, $w = 10$ kN/m, M–20 कंक्रीट के लिये, $f_{ck} = 20$ N/mm^2, Fe 415 इस्पात के लिये, $f_y = 415$ N/mm^2

(ii) **भारण तथा बंकन आघूर्ण**—भारण के लिये आंशिक सुरक्षागुणक, $y_f = 1{\cdot}5$ लेते हुये (सारणी 3.1),

फैक्टर भार, $F_d = 10 \times 1{\cdot}5 = 15$ kN/m

अभिकल्प (Factored) बंकन आघूर्ण,

$$M_d = \frac{wl^2}{2} = \frac{15 \times 3^2}{2} = 67{\cdot}5 \text{ kN.m अथवा } 67{\cdot}5 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

(iii) **माना प्रास धरन की आबद्ध सिरे पर गहरायी**, अनुमत विक्षेप के आधार पर $= \frac{L}{7} \times 0{\cdot}8$ (I.S. धारा 23.2, 24.1 तथा अनुच्छेद 5.10 के अनुसार) रखने पर—

$\frac{3000}{7} \times 0{\cdot}8 = 343$ mm अथवा $D = 350$ mm और 20 mm का आवरण (Concrete Cover) मानते हुये, $d = 330$ mm है। प्रास चौड़ाई प्रश्न के अनुसार 230 mm है।

(iv) **सीमान्त बल-शून्य अक्ष**, $x_{u\,\text{Lim}} = \frac{700d}{1100 + 0{\cdot}87 f_y}$ ...(सूत्र)

$$\therefore \quad x_{u\,\text{Lim}} = \frac{700 \times d}{1100 + (0{\cdot}87 \times 415)} = \mathbf{0{\cdot}48\,d}$$

(यह मान सारणी 5.7 से भी सीधा पढ़ा जा सकता है)

$$\therefore \quad x_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}48\,d$$

(v) **सीमान्त बंकन आघूर्ण**, $M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}36 \frac{x_{u\,\text{Lim}}}{d}\left[1 - 0{\cdot}42\left(\frac{x_{u\,\text{Lim}}}{d}\right)\right] b\,d^2 f_{ck}$ ...(सूत्र)

$b = 230$ mm, $f_{ck} = 20$ N/mm^2 अपनाते हुये—

$$M_{u\,\text{Lim}} = \frac{0{\cdot}36 \times 0{\cdot}48d}{d}\left[1 - \frac{0{\cdot}42 \times 0{\cdot}48d}{d}\right] 230\,d^2 \times 20$$

$$= 0{\cdot}1728\,(1 - 0{\cdot}202)\,4600\,d^2$$

$$= 634{\cdot}31\,d^2$$ ($M_{u\,\text{Lim}}$ का गुणक सारणी 5.7 से भी पढ़ा जा सकता है)।

$M_d = M_{u\,\text{Lim}}$ रखने पर—$67{\cdot}5 \times 10^6 = 634{\cdot}31\,d^2$ $\therefore$ $d = 326{\cdot}21$ mm

यह गहरायी ऊपर मानी गयी गहरायी के लगभग बराबर है।

नोट— प्रास-धरन की गहरायी निम्न सूत्र से भी ज्ञात की जा सकती है— $M_u = R_u\,bd^2$

यहाँ R_u सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (Limiting Moment of Resistance Factor) कहलाता है। कंक्रीट व इस्पात के ग्रेडों के लिये, इसके मान सारणी अनुच्छेद 3.6 में दिये गये हैं।

अत: $$d = \sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}}$$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{67{\cdot}5 \times 10^6}{2{\cdot}76 \times 230}} = 326{\cdot}08 \text{ mm}$$

यह मान लगभग वही है जो (v) में ज्ञात किया गया है। (यहाँ $R_u = 2{\cdot}76$, M-20 कंक्रीट और $f_y = 415$ के लिये है)।

अत: आबद्ध सिरे पर प्रास-धरन की माप 230 mm × 350 mm और मुक्त (Free) सिरे पर माप 230 mm × 200 mm रखते हैं।

(vi) **प्रबलन इस्पात**, A_{st}—

$$p_{t\,\text{Lim}} = \frac{0{\cdot}414\,f_{ck}\,x_{u\,\text{Lim}}}{f_y\,d} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर, $$p_{t\,\text{Lim}} = \frac{0{\cdot}414 \times 20 \times 0{\cdot}48d}{415 \times d} = 0.0096 \text{ अथवा } 0{\cdot}96\%$$

(यह मान सारणी 5.7 से भी सीधा पढ़ा जा सकता है)

$$\therefore \quad A_{st} = p_{t\,\text{Lim}} \times b \times d$$

$$= \frac{0{\cdot}96 \times 230 \times 330}{100} = 729 \text{ mm}^2$$

civilguru.net

(a) तनन इस्पात का न्यूनतम क्षेत्रफल (I.S. धारा 26.5–1–1 अनुसार),

$$A_{st_0} = \frac{0{\cdot}85\, b \times d}{f_y} \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= \frac{0{\cdot}85 \times 230 \times 330}{415} = 156 \text{ mm}^2$$

$156 \text{ mm}^2 < 729 \text{ mm}^2$ अत: प्रास खण्ड में 729 mm^2 प्रबलन इस्पात डाला जायेगा।

16 mm ϕ की छड़े प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या $= \frac{729}{201} = 3{\cdot}7$ अथवा 4 छड़ें

अत: 16 mm ϕ की 4 छड़े डाली जायेंगी। प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल,

$$A_{st} = 4 \times 201 = 804 \text{ mm}^2$$

(b) अधिकतम तनन इस्पात $= 0{\cdot}04\, b\, D$ ...(सूत्र)

$$= 0{\cdot}04 \times 230 \times 350 = 3220 \text{ mm}^2$$ I

क्योंकि डाला गया प्रबलन इस्पात इससे कम है, अत: ऊपर परिकलित प्रबलन इस्पात की मात्रा सही है और कोड की शर्तों की पूर्ति करती है।

(vii) छड़ों का छन्नीकरण (Curtailment of Tension Bars)—चूँकि प्रास-धरन के मुक्त सिरे की तरफ जाते-जाते बंकन आघूर्ण घटती चली जाती है (मुक्त सिरे पर इसका मान शून्य होता है), अत: उपरोक्त 4 छड़ों में, 2 छड़ें आबद्ध सिरे से $\frac{l}{2} = \frac{3{\cdot}0}{2} = 1{\cdot}5$ m say 1·70 m की दूरी पर कम कर दी जायेंगी (परन्तु विकास लम्बाई L_d उपलब्ध रहनी चाहिये)।

$$\text{विकास लम्बाई, } L_d = \frac{\phi \times 0{\cdot}87\, f_y}{4\, \tau_{bd}} \quad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ पर τ_{bd} का मान सारणी 4.4 से, विरूपित छड़ों के लिये 60% बढ़ा कर लेने पर—

$$L_d = \frac{16 \times 0{\cdot}87 \times 415}{4 \times 1{\cdot}2 \times 1{\cdot}6} = 752 \text{ mm}$$ यह मान 1700 mm से कम है।

अत: 2 छड़ें आबद्ध सिरे (Face) से 1700 mm की दूरी पर छन्नीकृत (Curtial) की जा सकती हैं।

(viii) अपरूपण (Shear) में जाँच—

अधिकतम अपरूपण बल, $V_u = w \times l = 15 \times 3 \text{ kN} = 45000 \text{ N}$

नामन अपरूपण प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{45000}{230 \times 330}$

$$\therefore \quad \tau_v = 0{\cdot}59 \text{ N/mm}^2$$

प्रास-धरन में प्रबलन इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \frac{A_{st} \times 100}{b \times d} = \frac{201 \times 4 \times 100}{230 \times 330} = 1{\cdot}06\%$

M-20 व $p_t = 1{\cdot}06\%$ के लिये सारणी 4.1 से— $\tau_c = 0{\cdot}63 \text{ N/mm}^2$

और $\tau_{c\,max} = 2{\cdot}8 \text{ N/mm}^2$ (सारणी 4.3 से M-20 के लिये)

चूँकि $\tau_c > \tau_v$ (परन्तु $\tau_{c\,max}$ से कम है), प्रास खण्ड में अपरूपण प्रबलन की आवश्यकता नहीं है, फिर भी नाम-मात्र के 2-टाँगों वाले छल्ले (Stirrups) डाले जायेंगे।

8 mm ϕ के 2-टाँग वाले नाम-छल्लों का अन्तराल— $s = \frac{0{\cdot}87\, A_{sv}\, f_y}{0{\cdot}4\, b}$ ...(सूत्र)

$$= \frac{0{\cdot}87 \times (2 \times 50) \times 415}{0{\cdot}4 \times 230} = 392 \text{ mm c/c}$$

इन छल्लों का अन्तराल (Spacing) निम्न का **न्यूनतम** मान लिया जाता है—

(a) $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 330 = 248$ mm

(b) 300 mm

(c) न्यूनतम अपरूपण प्रबलन की दूरी = 392 mm

उपरोक्त में न्यूनतम मान 248 mm है। अत: 8 mm ϕ के 2-टाँगों वाले छल्ले 248 mm c/c पर, प्रास-धरन की पूरी लम्बाई में डाले जायेंगे।

(ix) अतिरिक्त इस्पात—लटकन छड़ें (Anchor Bars)—चूँकि तनन छड़ों (के जाल) को सहारा देने के लिये, 10 mm ϕ की 2-लटकन छड़ें (प्रत्येक कोने पर एक) डाली जायेंगी। यह लटकन छड़ें प्रास-खण्ड की तली पर डाली जाती हैं (जबकि शुद्धलम्बिक धरन में लटकन छड़ें शीर्ष-Top पर दी जाती हैं)।

(x) अभिकल्प सारांश तथा चित्रण—

(i) प्रास-धरन माप— चौड़ाई = 230 mm

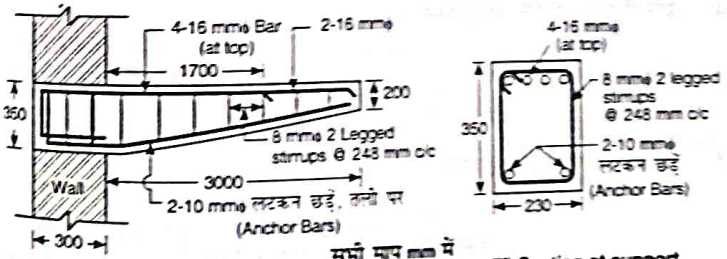
गहराई—आबद्ध सिरे पर = 350 mm मुक्त सिरे पर = 200 mm

(ii) प्रबलन— मुख्य (तनन) छड़ें = 16 mm ϕ 4 Nos (At Top)

लटकन छड़ें = 10 mm ϕ 2 Nos (At Bottom)

2-टाँग वाले छल्ले (Stirrups) = 8 mm ϕ 248 mm c/c (Throughout)

प्रास-धरन में प्रबलन की स्थिति चित्र 5.30 में दर्शायी गयी है।



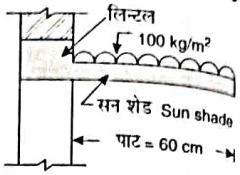
(i) L-Section of Cantilever beam (Span 3.0 m)

सभी माप mm में

(ii) Section at support (Fixed End)

चित्र 5.30—प्रास-धरन (Cantilever-Beam)

उदाहरण 5.8 : एक लिन्टल से 60 cm बाहर निकाले गये छज्जे (सन शेड) का 1000 N/m² चल भार के लिये अभिकल्पन करें और रेखा-चित्र द्वारा प्रबलन की स्थिति स्पष्ट करें। M-20 ग्रेड की कंक्रीट व Fe 415 श्रेणी का प्रबलन इस्पात लें। प्रबलित कंक्रीट का भार 25000 N/cu m मान लें।



चित्र 5.31

हल : (1) सन शेड, बाहरी दरवाजे, खिड़कियों से सीधी धूप तथा वर्षा को भीतर कक्ष में आने से रोकता है। धूप-रोधक प्राय: लिन्टल के साथ एकरूपी डाले जाते है और दीवार से बाहर बढ़े रहते हैं। सन शेड का अभिकल्पन प्रास-धरन की भाँति किया जाता है परन्तु चौड़ाई की दिशा में (स्लैब की भाँति) 1·0 मी० चौड़ी पट्टी ली जाती है।

(i) माना सनशेड स्लैब की कुल मोटाई $= \frac{\text{पाट}}{12} = \frac{60}{12} = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$

10 mm का आवरण लेने पर, $d = 50 - 10 = 40 \text{ mm}$

(ii) प्रभावी पाट, $l = L + \frac{d}{2} = 0{\cdot}60 + \frac{0{\cdot}04}{2} = 0{\cdot}62 \text{ m}$

(2) भार—

(i) चल भार $= 1000 \text{ N/m}^2$

(ii) छज्जे का स्वयं का भार $= 1 \times 1 \times \frac{5}{100} \times 25000 = 1250 \text{ N/m}^2$

कुल भार $= 2250 \text{ N/m}^2$

भार-गुणक 1·5 अपनाते हुये, छज्जे पर अभिकल्पित (Factored) भार,

$F_d = 2250 \times 1{\cdot}5 = 3375 \text{ N/m}$ लम्बाई में।

(3) अभिकल्प बंकन आघूर्ण—

प्रास में अधिकतम बंकन आघूर्ण इसके आबद्ध सिरे पर होती है तथा इसका मान $\frac{wl^2}{2}$ लिया जाता है। $M_d = \frac{wl^2}{2} = \frac{3375 \times (0{\cdot}62)^2}{2} = 649 \text{ N.m} = 649000 \text{ N.mm}$

(4) प्रश्न में दिये गये प्रतिबलों के लिये—

$$x_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}48\, d$$

$$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck}$$

$$p_{t\,\text{Lim}} = 0{\cdot}96\% \qquad \text{(सारणी 5.7 से)}$$

(5) छज्जे की आबद्ध (Fixed) सिरे पर गहरायी, D के लिये—

$$M_d = M_{u\,\text{Lim}}$$

$$649000 = 0{\cdot}138 \times 1000 \times 20 \times d^2$$

हल करने पर, $d = 15 \text{ mm}$

यह मान बहुत कम है। उपलब्ध छड़ का व्यास तथा न्यूनतम कंक्रीट-आवरण (Cover) को दृष्टि में रखते हुये, आबद्ध सिरे पर छज्जे की कुल गहरायी 50 mm तथा मुक्त (Free) सिरे पर 40 mm रखते हैं। इस गहरायी में 10 mm का कंक्रीट आवरण भी सम्मिलित है।

(6) प्रबलन इस्पात (Reinforcement)—

तनन इस्पात का प्रतिशत, $p_{t\,\text{Lim}} = 0{\cdot}96\,\%$

$\therefore$ तनन इस्पात, $A_{st} = p_{t\,\text{Lim}} \times b \times d$

$$= \frac{0{\cdot}96 \times 1000 \times 40}{100}$$

$$= 384 \text{ mm}^2$$

8 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

$$s = \frac{a_t \times 1000}{A_{st}} = \frac{50 \times 1000}{384} = 130 \text{ mm}$$

परन्तु यह अन्तराल $3d$ से अधिक नहीं होना चाहिये। अत: अन्तराल $3 \times 40 = 120$ mm अत: मुख्य छड़ें 8 mm व्यास की, 120 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(7) वितरण इस्पात–

सादा (Plain) छड़ों के लिये यह खण्ड का 0·15% लिया जाता है।

उच्च पराभव सामर्थ्य वाली टोर छड़ों के लिये यह खण्ड का 0·12% लिया जाता है। अत: 8 mm ϕ की टोर छड़ों (Fe 415) के लिये वितरण इस्पात—

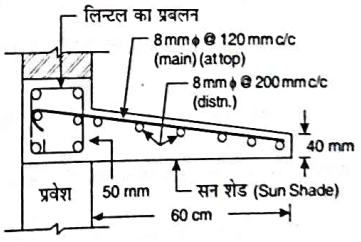
$$A_{td} = \frac{0{\cdot}12}{100} \times 50 \times 1000 = 60 \text{ mm}^2$$

8 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल, $s = \frac{50 \times 1000}{60} = 833 \text{ mm}$

परन्तु वितरण छड़ों का अधिकतम अन्तराल $5\,d$ है, $5 \times 40 = 200$ mm

अत: 8 mm व्यास की छड़ें, 200 mm के अन्तराल पर डाली जायेंगी।

सामान्य स्लैब कर्तन में सुरक्षित होती है। अत: कर्तन प्रतिबलों में जाँच की आवश्यकता नहीं है, परन्तु विकास लम्बाई के लिये मुख्य छड़ें 47 ϕ तक लिन्टल के भीतर तक जायेंगी। (सारणी 4.5 देखें)



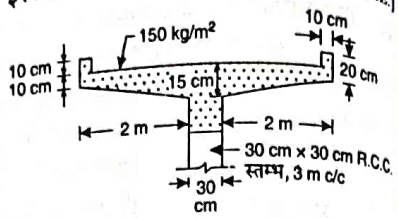
चित्र 5.32

(8) इस्पात का विवरण–

प्रबलन इस्पात की स्थिति तथा विवरण चित्र 5.32 में दर्शाया गया है।

civilguru.net

उदाहरण 5.9 : सन्मुख चित्र 5.33 में दिखाये गये एक साइकल स्टैण्ड की छत-स्लैब का अभिकल्पन करें, जिस पर 150 kg/m² का चल भार आ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग करें। इस्पात में प्रतिबल 415 N/mm² मान लें। [B.T.E.]



चित्र 5.33—साइकल-स्टैण्ड

हल : (i) चूँकि स्लैब अपने आलम्ब (स्तम्भ) से दोनों तरफ बराबर बढ़ी हुई है, अत: एक भाग का अभिकल्पन किया जायेगा, जो दोनों तरफ की स्लैबों पर लागू होगा।

अभिकल्पन के लिये स्लैब की लम्बाई की दिशा में 1000 mm चौड़ी पट्टी ली जायेगी।

(ii) प्रास-स्लैब की लम्बाई (लटकन), $L = 2$ m

प्रास की मुक्त सिरे पर मोटाई = 20 – 10 = 10 cm = 100 mm

प्रास-स्लैब का प्रभावी पाट, $l = L +$ स्तम्भ की आधी मोटाई

$$= 2{\cdot}0 + \frac{0{\cdot}30}{2} = 2{\cdot}15 \text{ m}$$

माना प्रास स्लैब की आबद्ध सिरे पर मोटाई 150 mm है और कंक्रीट आवरण 20 mm है। अत: प्रभावी गहरायी, $d = 130$ mm

(iii) भार तथा बंकन आघूर्ण—

(a) स्लैब पर चल भार = 150 kg/m² = 1500 N/m²

इस भार के कारण बंकन आघूर्ण, $M_1 = \frac{wl^2}{2} = \frac{1500 \times (2{\cdot}15)^2}{2}$

$= 3467$ N-m $= 3467000$ N-mm

(b) प्रास स्लैब का स्वयं का भार—

समलम्बाकार भार $= 1 \times \left(\frac{0{\cdot}10 + 0{\cdot}15}{2}\right) \times 2 \times 25000 = 6250$ N

10 cm ऊँची मुंडेर $= 1 \times (0{\cdot}10 \times 0{\cdot}10) \times 25000 = 250$ N

कुल भार = 6500 N

यह भार प्रास स्लैब के गुरुत्व केन्द्र पर कार्य करेगा।

आलम्ब (स्तम्भ) से गुरुत्व केन्द्र की दूरी, $\bar{x} = \left(\frac{D + 2D'}{D + D'}\right) \times \frac{L}{3}$ ...(सूत्र)

$$\bar{x} = \left[\frac{0{\cdot}15 + 2 \times 0{\cdot}10}{0{\cdot}15 + 0{\cdot}10}\right] \times \frac{2{\cdot}0}{3}$$

$= 0{\cdot}93$ m

स्वयम् के भार के कारण बंकन आघूर्ण, $M_2 = 6500 \times 0{\cdot}93 = 6045$ N-m

$= 6045000$ N-mm

कुल बंकन आघूर्ण $= M_1 + M_2 = 3467000 + 6045000$

$= 9512000$ N-mm

अभिकल्प (Factored) आघूर्ण, भार गुणक 1·5 लेते हुये

$M_u = 1{\cdot}5 \times 9512000$ N.mm

$= 14268000$ N.mm

(iv) प्रतिरोध आघूर्ण— $M_u = R_u\, bd^2$, यहाँ R_u सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक है। विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट तथा इस्पात के लिये R_u के मान सारणी 3.6 में दिये गये हैं। M-20 कंक्रीट और Fe 415 के लिये, $R_u = 2{\cdot}76$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{M}{R_u \times b}} = \sqrt{\frac{14268000}{2{\cdot}76 \times 1000}} = 72 \text{ mm}$$

आबद्ध (Fixed) सिरे पर यह मोटाई 150 mm मानी गयी है। अत: प्रास की यह गहरायी व्यवहारिक है।

(v) तनन इस्पात का क्षेत्रफल—

$$A_{st} = \frac{M_u}{0{\cdot}87\, f_y\, (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max})}$$

$$= \frac{14268000}{0{\cdot}87 \times 415\,(130 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}48 \times 130)}$$

$$= \frac{14268000}{0{\cdot}87 \times 415 \times 130{\cdot}79} = 302 \text{ mm}^2$$

12 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

$$s = \frac{113 \times 1000}{302} = 374 \text{ mm}$$

यह अन्तराल $3 \times d$ अर्थात् $3 \times 130 = 390$ mm अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से अधिक नहीं होना चाहिये।

अत: 12 mm व्यास की छड़ें 300 mm c/c पर प्रयोग की जायेंगी।

(vi) वितरण इस्पात–

सादा (Plain) छड़ों के लिये यह मान स्लैब-खण्ड का 0·15% और टोर छड़ों के लिये 0·12% लेते हैं। अत: टोर छड़ो का उपयोग करने पर—

$$A_s = \frac{0{\cdot}12}{100} \times \left(\frac{150 + 100}{2}\right) \times 1000 = 150 \text{ mm}^2$$

8 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

civilguru.net

$$s = \frac{50 \times 1000}{150} = 334 \text{ mm}$$

यह अन्तराल $5 \times d$ अर्थात् $5 \times 130 = 650$ mm अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है), से अधिक नहीं होना चाहिये।

अत: 8 mm व्यास की छड़ें, 300 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(vii) कर्तन में जाँच–

अधिकतम कर्तन बल, $V = 1500 \times 2 + 6500 = 9500$ N

फैक्टर (Factored) कर्तन बल, $V_u = 9500 \times 1{\cdot}5 = 14250$ N

कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b\,d} = \dfrac{14250}{1000 \times 130} = 0{\cdot}11 \text{ N/mm}^2$

खण्ड मे तनन इस्पात का प्रतिशत—

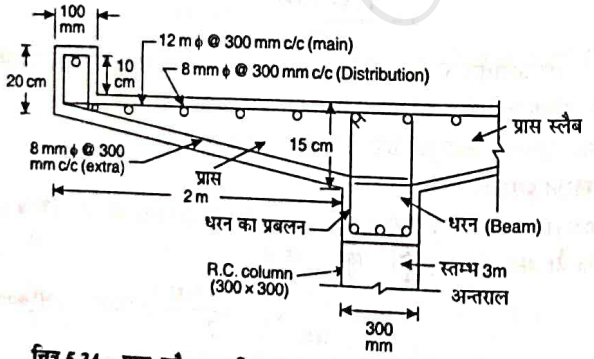
$$p_t = \frac{100\,A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times (113 \times 1000)}{300} \times \left(\frac{1}{1000 \times 130}\right) = 0{\cdot}29\%$$

M-20 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}38$ N/mm^2

चूँकि $\tau_c > \tau_v$ अत: खण्ड कर्तन में सुरक्षित है।

(viii) छड़ों को कम करना–

प्रास स्लैब के मुक्त सिरे पर चूँकि बंकन आघूर्ण लगभग शून्य रह जाती है, अत: प्रत्येक तीसरी तनन छड़ को $\dfrac{\text{पाट}}{2}$ या L_d (विकास लम्बाई) तक आगे ले जाकर समाप्त किया जा सकता है (परन्तु मुख्य छड़ों का अन्तराल 300 mm से अधिक नहीं होना चाहिये)।



चित्र 5.34—प्रास-स्लैब-साइकिल-स्टैण्ड में प्रबलन इस्पात का विवरण

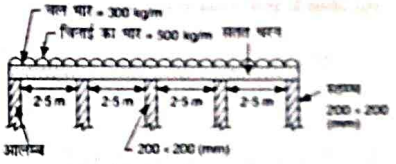
(IV) सतत धरन का अभिकल्पन
(DESIGN OF CONTINUOUS BEAM)

सतत धरन में इन के पाट दिये होते है। पाटों में अन्तर 15% से अधिक नहीं होना चाहिये। धरन की गहराई पाट का $\dfrac{l}{10}$ से $\dfrac{l}{20}$ मान लें। (यहाँ l = प्रभावी पाट है)। सारणी 5.4 व 5.5 में दिये गये बंकन आघूर्ण व कर्तन के गुणकों से बंकन आघूर्ण (B.M.) तथा कर्तन बल (S.F.) के पाट के मध्य-बिन्दु तथा आलम्बों की फलक (Critical Section) पर मान ज्ञात करें। अधिकतम B.M. के लिये धरन की गहराई ज्ञात करें ($M_d = M_{u\,Lim}$)। धरनों के लिये गहराई का अधिकतम मान अपनायें। प्रबलन इस्पात की मात्रा ज्ञात करें तथा कर्तन की जाँच करें (एकल पाटी धरन की भाँति)। चित्र खींच कर प्रबलन छड़ों की स्थिति दर्शायें।

उदाहरण 5.10 : एक बरामदे की बाहरी लम्बी दीवार में 2·5 मी० चौड़े 4 प्रवेश (Openings) है, जो 200 mm × 200 mm के स्तम्भों द्वारा बनाये गये हैं। प्रवेशों के ऊपर एक सतत लिन्टल (धरन) डाला गया है, जिस पर अपने भार के अतिरिक्त 500 kg प्रति मी० चिनाई एवं छत का तथा 300 kg प्रति मी० लम्बाई की दर से चल भार आ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी के इस्पात का प्रयोग करते हुये, सतत लिन्टल (धरन) का अभिकल्पन करें। विभिन्न पाटों के लिये बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल गुणांक I.S. कोड के अनुसार लें। भारों (Loads) पर भार-गुणक 1·5 मान लें।

हल : (1) प्रवेश का शुद्ध पाट = 2·5 मी०

सतत लिन्टल की चौड़ाई = 200 mm (यह स्तम्भ की पार्श्व मोटाई के बराबर रखी जाती है।)



चित्र 5.35—सतत धरन

माना लिन्टल (धरन) की गहराई, $\dfrac{\text{पाट}}{10}$ अर्थात् $\dfrac{2500}{10} = 250$ mm लेते हैं और प्रभावी गहराई, $d = 250 - 20 = 230$ mm.

अत: प्रस्तावित खण्ड माप = 200 mm × 250 mm

(2) प्रभावी पाट—सरलता के लिये निम्न मान लें। शुद्धता से निर्धारण के लिये कोड की धारा 22.2 देखें।

(i) अन्तिम पाट के लिये $= 2{\cdot}5 + \dfrac{d}{2} = 2{\cdot}5 + \dfrac{0{\cdot}23}{2}$

$= 2{\cdot}625$ m say 2·6 m

(ii) भीतरी पाट के लिये—शुद्ध पाट अर्थात् 2·5 m

(3) **भार**—

(i) **अचल भार**—

(a) चिनाई एवं छत का भार प्रति मी० = 500 kg/m

(b) सतत लिन्टल का भार = $1 \times 0{\cdot}20 \times 0{\cdot}25 \times 2500$ = 125 kg/m

कुल अचल भार = 625 kg/m

अभिकल्प (Factored) भार = $1{\cdot}5 \times 625 = 937.5$ kg/m say 940 kg/m (W_d)

(ii) **चल भार,** छत का चल भार = 300 kg/m

अभिकल्प (Factored) भार = $1{\cdot}5 \times 300 = 450$ kg/m (W_s)

(4) **अधिकतम बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल**—

(गुणांक, के लिये सारणी 5.4 व 5.5 देखें)

अन्तिम पाट के लिये	भीतरी पाट के लिये
(a) पाट के मध्य क्षेत्र मे बकन आघूर्ण— $M = \frac{w_d l^2}{12} + \frac{w_s l^2}{10}$ $= \left(\frac{940}{12} + \frac{450}{10}\right) \times 2{\cdot}60^2$ $= 123{\cdot}33 \times 6{\cdot}76 = 834$ kg.m	(a) पाट के मध्य क्षेत्र में बंकन आघूर्ण $M = \frac{w_d l^2}{16} + \frac{w_s{}^2}{12}$ $= \left(\frac{940}{16} + \frac{450}{12}\right) \times 2{\cdot}5^2$ $= 96{\cdot}25 \times 6{\cdot}25 = 602$ kg.m
(b) अन्तिम से अगले आलम्ब पर बंकन आघूर्ण— $M = -\left(\frac{w_d l^2}{10} + \frac{w_s l^2}{9}\right)$ $= -\left(\frac{940}{10} + \frac{450}{9}\right) \times 2{\cdot}60^2$ $= -(144 \times 6{\cdot}76) = -974$ kg.m	(b) भीतरी आलम्बों पर बंकन आघूर्ण— $M = -\left(\frac{w_d l^2}{12} + \frac{w_s l^2}{9}\right)$ $= -\left(\frac{940}{12} + \frac{450}{9}\right) \times 2{\cdot}5^2$ $= -(128{\cdot}33 \times 6{\cdot}25) = -802$ kg.m
(c) अन्तिम आलम्ब पर कर्तन बल— $V = 0{\cdot}4\, w_d l + 0{\cdot}45\, w_s l$ $= (0{\cdot}4 \times 940 + 0{\cdot}45 \times 450) \times 2{\cdot}6$ $= 1504$ kg	(c) अन्तिम से अगले आलम्ब के भीतरी फलक पर कर्तन बल— $V = 0{\cdot}55\, w_d l + 0{\cdot}6\, w_s l$ $= (0{\cdot}55 \times 940 + 0{\cdot}6 \times 450) \times 2{\cdot}5$ $= 1968$ kg
(d) अन्तिम से अगले आलम्ब के बाहरी फलक पर कर्तन बल— $V = 0{\cdot}6\, w_d l + 0{\cdot}6\, w_s l$ $= (0{\cdot}6 \times 940 + 0{\cdot}6 \times 450) \times 2{\cdot}6$ $= 2169$ kg	(d) भीतरी आलम्बों पर कर्तन बल— $V = 0{\cdot}5\, w_d l + 0{\cdot}6\, w_s l$ $= (0{\cdot}5 \times 940 + 0{\cdot}6 \times 450) \times 2{\cdot}5$ $= 1850$ kg

(5) **धरन की गहरायी**—

धरन खण्ड को **अधिकतम बंकन आघूर्ण** (+ve अथवा –ve) के लिये डिजाइन किया जाता है। उपरोक्त बंकन आघूर्ण की गणना के अनुसार यह मान अन्तिम से अगले आलम्ब (PEN Ultimate) पर आता है। यह मान $M_d = (-974)$ kg.m है।

M-20 कंक्रीट और Fe 415 इस्पात के लिये,

$$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck} \quad \text{...(सारणी 5.7 से)}$$

अत: $M_d = M_{u\,\text{Lim}}$

$$9740000 = 0{\cdot}138 \times 200 \times 20 \times d^2$$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{9740000}{0{\cdot}138 \times 200 \times 20}} = 133 \text{ mm}$$

अथवा $$d = \sqrt{\frac{M_d}{R_u b}} \quad \text{...(सारणी 3.6 से)}$$

$$= \frac{9740000}{2{\cdot}76 \times 200} = 132.84 \text{ mm say } 133 \text{ mm}$$

(यहाँ R_u सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक है। M-20 व Fe 415 के लिये इसका मान 2·76 है)

परन्तु व्यवहारिक निर्माण की दृष्टि से धरन-खण्ड 200 mm × 200 mm रखते है और 15 mm का आवरण लेने पर, $d = 200 - 15 = 185$ mm

(6) **प्रबलन इस्पात**—

तनन इस्पात, $$A_{st} = \frac{M_u}{0{\cdot}87\, f_y\, (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,\max})}$$

$$= \frac{9740000}{0{\cdot}87 \times 415\,(185 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}48 \times 185)}$$

यहाँ $x_{u\,\max} = 0{\cdot}48\, d$ (Fe 415 के लिये)

$$= \frac{9740000}{361{\cdot}05 \times 147{\cdot}7} = 183 \text{ mm}^2$$

10 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ो की संख्या, $N = \frac{A_{st}}{a_t} = \frac{183}{79}$

$= 2{\cdot}3$ say 3 छड़े 10 mmϕ की

कुल तनन इस्पात $= 3 \times 79 = 237 \text{ mm}^2$

(7) **जाँच** (Checks)—

(a) तनन प्रबलन की जाँच—

(i) तनन प्रबलन का न्यूनतम क्षेत्रफल, $A_{to} = \frac{0{\cdot}85\, bd}{f_y}$

$$= \frac{0{\cdot}85 \times 200 \times 185}{415} = 76 \text{ mm}^2$$

civiguru.net

(ii) तनन प्रबलन का अधिकतम क्षेत्रफल,

$$A_{st_{max}} = 0{\cdot}04 \times b \times D, \quad \text{यहाँ } D = 200 \text{ mm}$$
$$= 0{\cdot}04 \times 200 \times 200 = 1600 \text{ mm}^2$$

धरन मे डाले गये तनन इस्पात की मात्रा 237 mm^2 है, जो उपरोक्त दोनों शर्तों की पूर्ति करती है।

(b) कर्तन में जाँच—

(i) धरन-खण्ड मे इस्पात का प्रतिशत—

$$p_t = \frac{100 A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 237}{200 \times 185} = 0{\cdot}64\%$$

(ii) M-20 ग्रेड की कंक्रीट की 0·64% तनन इस्पात के लिये,

अपरुपण प्रतिबल, $\tau_c = 0{\cdot}53 \text{ N/mm}^2$ ...(सारणी 4.1 से)

(iii) नामन (Nominal) अपरुपण प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d}$

$$= \frac{21690}{200 \times 185} = 0{\cdot}59 \text{ N/mm}^2$$

चूँकि $\tau_v > \tau_c$, अत: धरन में अपरुपण प्रबलन देना होगा।

(iv) **कर्तन प्रबलन**—शुद्ध कर्तन बल (Shear Force), जिसके लिये कर्तन प्रबलन दिया जाना है—

$$V_{us} = V_u - (\tau_c \, b \, d)$$
$$= 21690 - [0{\cdot}53 \times 200 \times 185]$$
$$= 21690 - 19610 = 2080 \text{ N}$$

रोधित किये जाने वाला कर्तन बल बहुत कम है, फिर भी अतिरिक्त सुरक्षा के लिये 6 mm व्यास के दो-टांग वाले छल्ले लगाते हैं।

छल्लों का अन्तराल, 250 श्रेणी का इस्पात लेते हुये—

$$s_v = \frac{0{\cdot}87 \times f_y \times A_{sv}}{0{\cdot}4 \, b}$$

$$= \frac{0{\cdot}87 \times 250 \times (2 \times 28)}{0{\cdot}4 \times 200} = 152 \text{ mm}$$

छल्लों का अन्तराल = $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 185 = 138$ mm से अधिक नहीं होगा।

अत: 6 mm व्यास के 2 mm टाँग वाले छल्ले, 138 mm c/c (say) पर धरन की पूरी लम्बाई में डाले जायेंगे।

(c) विकास लम्बाई में जाँच–

M–15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड के इस्पात के लिये अनुमत अभिलाग प्रतिबल

$$\tau_{bd} = 1{\cdot}92 \text{ N/mm}^2 \quad \text{(सारणी 4.4 से)}$$

विकास लम्बाई, $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \times \phi}{4 \tau_{bd}} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times \phi}{4 \times 1{\cdot}92} = 47\phi$

स्थिरण लम्बाई, $L_0 = 12\phi$ अथवा d (जो भी अधिक हो)

$= 12 \times 10$ अथवा 185 mm। यह 185 mm ली जायेगी।

अब $L_d \leq \frac{1{\cdot}3 M_1}{V} + L_0$

$$47\phi \leq \frac{1{\cdot}3 \times 9740000}{21690} + 185$$

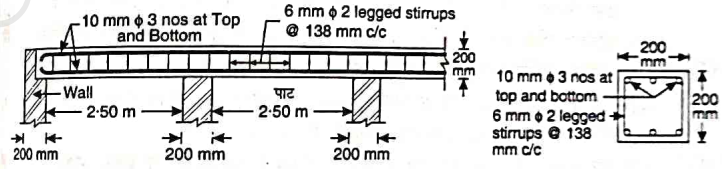
$$\phi \leq \left[\frac{1{\cdot}3 \times 9740000}{21690} + 185\right] \times \frac{1}{47}$$

अथवा $\phi \leq \frac{769}{47}$

$\phi \leq 16$ mm

यह 10 mm व्यास की छड़ से अधिक है, अत: प्रयुक्त छड़ें विकास लम्बाई में सुरक्षित हैं।

(8) **इस्पात का विवरण**—प्रबलन इस्पात का विवरण तथा स्थिति चित्र 5.36 में दर्शायी गयी है।



(i) L-Section (ii) X-Section

चित्र 5.36—सतत धरन-प्रबलन इस्पात का विवरण

(V) दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन
(DOUBLY REINFORCED CONCRETE BEAM)

§ 5.26. परिचय (Introduction) :

जब किसी कंक्रीट-धरन के तनन और सम्पीडन, दोनों क्षेत्रों में प्रबलन-इस्पात डाला जाता है, तो इसे **दोहरे प्रबलित** या **द्विप्रबलित कंक्रीट** धरन कहते हैं।

एकल प्रबलित कंक्रीट धरनों में, जिनका वर्णन ऊपर किया गया है, खण्ड के केवल तनन क्षेत्र में ही प्रबलन-छड़ें डाली जाती हैं (ऊपरी कोनों में, जो दो लटकन छड़ें (Anchor Bars) अलग से डाली जाती हैं, वह कर्तन प्रतिबलों को रोधित करने के लिये डाले गये उदग्र छल्लों (Stirrups) को अपनी निर्धारित स्थिति में बनाये रखने के लिये लगायी जाती हैं। धरन की सामर्थ्य की दृष्टि से इनको (लटकन छड़ों) किसी भी गणना में नहीं लिया जाता है)। अत: बल शून्य अक्ष के ऊपर स्थित कंक्रीट सम्पूर्ण सम्पीडन प्रतिबल तथा अक्ष के नीचे डाला गया इस्पात सम्पूर्ण तनन प्रतिबल वहन करते हैं। इस प्रकार एक निश्चित बंकन आघूर्ण के लिये धरन का खण्ड-माप तथा तनन इस्पात की मात्रा भी निश्चित होती है।

civilguru.net

धरन-खण्ड पर अधिक बंकन आघूर्ण आने पर, तनन इस्पात का क्षेत्रफल तो, अधिक संख्या में छड़ें प्रयोग करके आसानी से बढ़ाया जा सकता है, परन्तु सम्पीडन कंक्रीट का क्षेत्रफल, खण्ड का माप (चौड़ाई × गहराई) बढ़ाये बगैर बढ़ाना असम्भव है। यदि सम्पीडन कंक्रीट का क्षेत्रफल उतना ही रहने दिया जाये और तनन इस्पात का क्षेत्रफल बढ़ा दिया जाये तो कंक्रीट में सम्पीडन प्रतिबल अनुमत से बढ़ जायेंगे और धरन विफल हो जायेगी।

वास्तुकला की दृष्टि से, कुछ स्थितियों में, धरन-खण्ड परिमाप बढ़ाना उचित नहीं रहता है। अत: धरन खण्ड को सीमित रखते हुये, अब अत्यधिक बंकन आघूर्ण वहन करने का एक ही उपाय रह जाता है कि सम्पीडन क्षेत्र मे भी प्रबलन इस्पात डाल दिया जाये। यह प्रबलन इस्पात, सम्पीडन कंक्रीट के साथ मिलकर अतिरिक्त सम्पीडन बलों को वहन कर लेगा।

§ 5.27. दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरनों की आवश्यकता (Necessity of Adopting Doubly R.C.C. Beams) :

निम्नलिखित स्थितियों में दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरनों की आवश्यकता पड़ सकती है—

(i) जब वास्तुकला की दृष्टि से धरन-खण्ड परिमाप **सीमित** कर दिया गया है (अर्थात इसकी चौड़ाई या गहरायी अथवा दोनों को बढ़ाना कठिन पड़ रहा है) और एकल प्रबलित सन्तुलित धरन का प्रतिरोध आघूर्ण, बाहरी भार के कारण उत्पन्न बंकन आघूर्ण से कम पड़ रहा है।

(ii) सतत धरन, जो कई पाटों पर डाला जाता है, के आलम्बों पर, खण्ड के ऊपरी भाग में तनन उत्पन्न होता है। अत: धरन के इस भाग में दोहरा प्रबलन दिया जाता है।

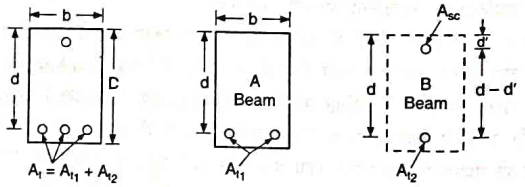
(iii) तहखानों तथा जीनों में आवश्यक शीर्षांतर (Head Room) प्राप्त करने के लिये, दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन प्रयोग किये जाते हैं।

(iv) जब किसी कंक्रीट अवयव पर प्रघात (Shocks), उत्केन्द्रक भार (Eccentric Loading), पार्श्व प्रणोद (Lateral Thrust) इत्यादि आ रहे हों।

(v) जब भार-व्यवस्था के परिवर्तन के कारण, प्रतिबलों की प्रवृत्ति एवं बंकन आघूर्ण के पलट जाने की (+ve से –ve) की सम्भावना हो, जैसे कंक्रीट की पाइले, भण्डारण टैंकों का रिंग-धरन तथा बन्धक (Braces) इत्यादि। ऐसे खण्डों के लिये दोहरा प्रबलन देना आवश्यक हो जाता है।

§ 5.28. मुख्य बातें (Main Points in Doubly R.C. Beams) :

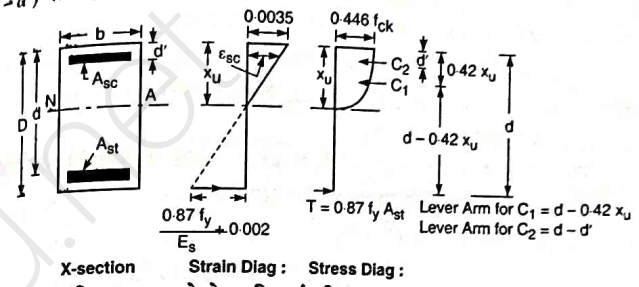
एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन को समझने के लिये इसे समान-माप के दो धरन A तथा B मान लें (चित्र 5.37)।



(i) दोहरा प्रबलित धरन (ii) एकल प्रबलित धरन (iii) काल्पनिक धरन

चित्र 5.37—दोहरा प्रबलित धरन (विश्लेषण)

चित्र में धरन A, एकल प्रबलित धरन है, जिसकी तली पर तनन प्रबलन A_{t_1} डाला गया है, जो धरन-खण्ड में उत्पन्न सम्पीडन बल C_1 को सन्तुलित रखता है। धरन B (जो एक काल्पनिक धरन है) की तली में तनन प्रबलन A_{t_2} डाला गया है, जो खण्ड में डाले गये सम्पीडन प्रबलन A_{sc} (इसे दोहरा-प्रबलित बनाने के लिये) के कारण कार्यरत सम्पीडन बल C_2 को सन्तुलित करता है। धरन की उन्नामक भुजा (Lever Arm) सम्पीडन बल C_1 के लिये $= (d - 0{\cdot}42\, x_u)$ और सम्पीडन बल C_2 के लिये $= (d - d')$ ली जाती है (चित्र 5.38)।



चित्र 5.38—दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन (Doubly R.C. Beam)

b = धरन की चौड़ाई
D = धरन की कुल गहरायी
d = धरन की प्रभावी गहरायी
d' = सम्पीडन इस्पात पर प्रभावी आवरण (Cover)
A_{st} = तनन इस्पात का क्षेत्रफल
A_{sc} = सम्पीडन इस्पात का क्षेत्रफल
f_{sc} = सम्पीडन इस्पात में प्रतिबल
f_{cc} = सम्पीडन इस्पात के परिक्षेत्र में कंक्रीट में प्रतिबल
x_u = उदासीन अक्ष (N.A.) की गहरायी (ऊपरी सिरे से)

जब धरन-खण्ड की अभिकल्पित बंकन आघूर्ण (Factored B.M.), M_d, खण्ड की सीमान्त बंकन आघूर्ण, M_{Lim} से अधिक होती है, तब इस अतिरिक्त बंकन आघूर्ण $(M_d - M_{\text{Lim}})$ के रोधन के लिये दोहरा प्रबलित धरन अभिकल्पित करना होता है। इसके लिये धरन-खण्ड के सम्पीडन क्षेत्र (N.A. से ऊपरी क्षेत्र) में भी प्रबलन डालना पड़ता है। यह प्रबलन सम्पीडन प्रबलन (Compression Reinforcement) कहलाता है।

अतिरिक्त बंकन आघूर्ण एक भीतरी युगम (Couple) द्वारा, जो सम्पीडन इस्पात के सम्पीडन बल C_2 और तनन क्षेत्र में डाले गये अतिरिक्त तनन इस्पात के तनन बल A_{t_2} के मध्य बनता है, द्वारा रोधित होता है.

दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन के लिये खण्ड का माप तथा तनन व सम्पीडन प्रबलन इस्पातों का क्षेत्रफल निर्धारित करना होता है।

सम्पीडन इस्पात की मात्रा शून्य से कुछ भी हो सकती है (शून्य होने पर यह खण्ड एकल प्रबलित धरन की श्रेणी में आ जाता है), परन्तु धरन के दोनों प्रकार के इस्पात (तनन एवं सम्पीडन) की कुल मात्रा, धरन खण्ड के सकल क्षेत्रफल (Gross Cross-sectional Area) का 4% से अधिक नहीं होगी।

(1) उदासीन अक्ष की गहरायी, x_u (Depth of N.A.)—

खण्ड की कुल सम्पीडन और कुल तनन को समतुल्य रख कर, उदासीन अक्ष (बल-शून्य अक्ष) की गहरायी (ऊपरी फलक से) ज्ञात की जाती है।

अर्थात कुल सम्पीडन बल = कुल तनन बल

$$C = T$$

कुल सम्पीडन (Total Compression) $C = C_1 + C_2$ (देखें प्रतिबल आरेख चित्र 5.38)

यहाँ—C_1 = सम्पीडन कंक्रीट ब्लॉक द्वारा वहन किया गया बल

C_2 = सम्पीडन कंक्रीट मे उपस्थित सम्पीडन इस्पात, A_{sc} द्वारा वहन किया बल

यहाँ—$C_1 = 0{\cdot}36 f_{ck} \times x_u \times b$, यहाँ $0{\cdot}36 f_{ck} x_u$ कंक्रीट के सम्पीडन ब्लॉक (Stress Block) का क्षेत्रफल (सूत्र 3.6)

$C_2 = f_{sc} \times A_{sc} - (f_{cc} \times A_{sc})$ यहाँ $f_{cc} \times A_{sc}$, कंक्रीट के परिस्थान पर डाला गया सम्पीडन इस्पात में उत्पन्न बल का समायोजन

∴ कुल सम्पीडन, $C = C_1 + C_2$

$$= 0{\cdot}36 f_{ck} b x_u + [f_{sc} A_{sc} - (f_{cc} A_{sc})]$$

$$C = 0{\cdot}36 f_{ck} b x_u + A_{sc} (f_{sc} - f_{cc}) \quad ...(i)$$

कुल तनन, $T = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$ ...(ii)

(i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$0{\cdot}36 f_{ck} b x_u + A_{sc} (f_{sc} - f_{cc}) = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$$

$$\therefore \quad x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - A_{sc} (f_{sc} - f_{cc})}{0{\cdot}36 f_{ck} b}$$

क्योंकि f_{sc} की तुलना में f_{cc} का मान बहुत कम होता है, अत: इसे छोड़ दिया जाता है।

$$\therefore \quad x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - f_{sc} A_{sc}}{0{\cdot}36 f_{ck} b} \quad ...(5.1)$$

(2) प्रतिरोध आघूर्ण— M_r **(Moment of Resistance)—**

दोहरे प्रबलित धरन की प्रतिरोध आघूर्ण प्रतिबल आरेख (Stress Diagram) (चित्र 5.38) के संदर्भ से ज्ञात की जाती है। यहाँ (a) कंक्रीट-बल का तनन इस्पात के प्रति आघूर्ण तथा (b) सम्पीडन इस्पात के बल का तनन इस्पात के प्रति आघूर्ण, दोनों का योगफल, अर्थात् $(a + b)$ होता है।

अत: $M_{u1} = C_1 \times$ उत्तोलक भुजा

$$= 0{\cdot}36 f_{ck} x_u b (d - 0{\cdot}42 x_u) \quad ...(i)$$

यहाँ $(d - 0{\cdot}42 x_u$ उत्तोलक भुजा (Lever Arm) 1 है)

तथा $M_{u2} = C_2 \times$ उत्तोलक भुजा

$$= (f_{sc} A_{sc} - f_{cc} A_{sc}) \times (d - d')$$

$f_{cc} A_{sc}$ कंक्रीट-क्षेत्रफल के कारण कमी तथा $(d - d')$ Lever arm 2 है।

अत: $M_{u2} = A_{sc} (f_{sc} - f_{cc}) \times (d - d')$ ...(ii)

अत: कुल $M_{u\,Lim} = M_{u1} + M_{u2}$ (i) + (ii)

$$= 0{\cdot}36 f_{ck} x_u b (d - 0{\cdot}42 x_u) + A_{sc} (f_{sc} - f_{cc}) (d - d')$$

यदि परिस्थान कंक्रीट क्षेत्र पर विचार छोड़ देते हैं, तब—

$$M_{u\,Lim} = 0{\cdot}36 f_{ck} x_u \times b (d - 0{\cdot}42 x_u) + f_{sc} A_{sc} (d - d') \quad ...(5.2)$$

(3) सम्पीडन इस्पात में विकसित प्रतिबल (Stresses Developed in Compression Steel (f_{sc})**, N/mm²)—**

ये प्रतिबल सारणी 5.8 से लिये जा सकते हैं—

सारणी 5.8—f_{sc} **(N/mm²)**

इस्पात का ग्रेड f_y (N/mm²)	d'/d अपुपात				टिप्पणी
	0·05	0·10	0·15	0·20	
250	217	217	217	217	$\frac{d'}{d}$ के मध्य के मान के लिये, अगला उच्च मान (Next Higher Value) लें। यहाँ d' = सम्पीडन इस्पात पर प्रभावी आवरण है और d खण्ड की प्रभावी गहरायी ली गयी है।
415	355	353	342	329	
500	424	412	395	370	

(4) तनन इस्पात का क्षेत्रफल—A_{st}

दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन-खण्ड का माप (चौड़ाई, गहरायी) सामान्यत: पूर्व निर्धारित होती है और प्रतिबल तथा भार-व्यवस्था (अथवा अधिकतम आघूर्ण) दिये होते हैं। अब तनन तथा सम्पीडन इस्पात की मात्रा ज्ञात करनी होती है।

खण्ड का कुल प्रतिरोध आघूर्ण = सम्पीडन कंक्रीट ब्लॉक का प्रतिरोध आघूर्ण + सम्पीडन इस्पात का प्रतिरोध आघूर्ण

i.e. $M_u = M_{u\,Lim} + M_{u2}$

अथवा $M_{u2} = M_u - M_{u\,Lim}$

(a) $M_{u\,Lim} = 0{\cdot}87 f_y A_{st1} (d - 0{\cdot}42 x_{u\,Lim})$ ...(सूत्र 3.15)

$$\therefore \quad A_{st1} = \frac{M_{u\,Lim}}{0{\cdot}87 f_y (d - 0{\cdot}42 x_{u\,Lim})} \quad ...(5.3)$$

(एकल प्रबलित खण्ड मानते हुये)

(b) $M_{u2} = 0{\cdot}87 f_y A_{st2} (d - d')$

$$\therefore \quad A_{st2} = \frac{M_{u2}}{0{\cdot}87 f_y (d - d')} \quad ...(5.4)$$

(तनन इस्पात पर विचार करते हुये)

(c) $A_{st} = A_{st1} + A_{st2}$

(5) सम्पीडन इस्पात का क्षेत्रफल—A_{sc}

$$M_{u2} = (f_{sc} \times A_{sc} - f_{cc} \times A_{sc})(d - d')$$

कंक्रीट हानि पर विचार छोड़ते हुये, क्योंकि यह हानि बहुत कम है,

$$M_{u2} = f_{sc} \times A_{sc} (d - d')$$

$$\therefore \quad A_{sc} = \frac{M_{u2}}{f_{sc}(d - d')} \quad ...(5.5)$$

§ 5.29. अभिकल्पन के चरण: (Steps for Design of Doubly R.C. Beam) :

(i) आँकड़े जो उपलब्ध हैं—

(a) खण्ड माप (जो पूर्व निर्धारित है), $b \times D$ अथवा $b \times d$ तथा पाट

(b) कंक्रीट का ग्रेड तथा इस्पात की प्रकार (श्रेणी)

(c) अध्यारोपित भार

(ii) कंक्रीट धरन का स्वयम् का भार तथा समवितरित अध्यारोपित भार से, पाट पर पड़ रहे कुल प्रति मी० लम्बाई पर भार ज्ञात करें और इसे 1·5 से गुना (आंशिक सुरक्षागणक) करके, अभिकल्प (Design or Factored) भार निर्धारित करें।

(iii) अभिकल्प बंकन आघूर्ण (Design Bending Movement), $M_u = \frac{w_u \times l^2}{8}$ तथा अभिकल्प अपरुपण बल (Design Shear) = V_u ज्ञात करें।

(iv) $\frac{d'}{d}$ अनुपात से f_{sc} का मान ज्ञात करे (सारणी 5.8)

(v) सीमान्त बल शून्य अक्ष की गहरायी ज्ञात करे—$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}36 f_{ck} x_{u\,\text{Lim}} b (d - 0{\cdot}42 x_{u\,\text{Lim}})$ ...(सूत्र 5.2)

(vi) A_{st1} ज्ञात करें— $A_{st1} = \frac{M_{u\,\text{Lim}}}{0{\cdot}87 f_y (d - 0{\cdot}42 x_{u\,\text{Lim}})}$ ...(सूत्र 5.3)

(vii) M_{u2} व A_{st2} ज्ञात करें— $M_{u2} = M_u - M_{u\,\text{Lim}}$

$$A_{st2} = \frac{M_{u2}}{0{\cdot}87 f_y (d - d')} \quad ...(\text{सूत्र } 5.4)$$

(viii) $A_{st} = A_{st1} + A_{st2}$

छड़ का व्यास चुनकर, छड़ों की संख्या निर्धारित करें। ये छड़ें धरन के तनन क्षेत्र में डाली जायेगी।

(ix) सम्पीडन इस्पात A_{sc} ज्ञात करें— $A_{sc} = \frac{M_{u2}}{f_{sc}(d - d')}$ ...(सूत्र 5.5)

छड़ का व्यास चुनकर, छड़ों की संख्या निर्धारित करें। ये छड़ें धरन के सम्पीडन क्षेत्र में डाली जायेगी।

(x) अपरुपण प्रबलन (Shear Reinforcement)—

(a) $\tau_v = \frac{v_u}{b \times d}$ कंक्रीट के ग्रेड और खण्ड में इस्पात % के आधार पर सारणी 4.1 से कंक्रीट की कर्तन सामर्थ्य, τ_c ज्ञात करें।

(b) $\tau_{c\,max}$ का मान सारणी 4.3 से देखें। $\tau_v > \tau_{c\,max}$, खण्ड का पुन: डिजाइन करें

जब $\tau_v > \tau_c$, खण्ड में अपरुपण प्रबलन डिजाइन करना होगा।

जब $\tau_v < \tau_c$, खण्ड में नाममात्र का अपरुपण प्रबलन दें।

अपरुपण बल, जिसके लिये अपरुपण प्रबलन (छल्ले) देने होंगे $V_{us} = V_u - \tau_c b \times d$

(i) कर्तन छल्लों का अन्तराल, $s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y \times A_{sv} \times d}{V_{us}}$ ...(सूत्र 4.11)

(ii) नाम मात्र छल्लों का नामन अन्तराल $s_{v1} = \frac{0{\cdot}87 f_y \times A_{sv}}{0{\cdot}4 \times b}$ ...(सूत्र 4.9)

(xi) विकास लम्बाई की जांच— $\frac{M_1}{V_u} + l_0 > L_d$, $L_d = \frac{\phi \sigma_{st}}{4 \tau_{bd}}$

(xii) चित्र खींचकर उसमें प्रबलन इस्पात की स्थिति दर्शायें।

उदाहरण 5.11: एक शुद्धालम्बित धरन, जिसका प्रभावी पाट 4·5 मी० है, का परिच्छेद 300 mm × 500 mm सीमित है। इस पर 40 kN/m का अध्यारोपित भार लग रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयोग करते हुये, धरन-खण्ड के लिये तनन तथा सम्पीडन प्रबलन (यदि आवश्यक हो) की गणना कीजिए। [U.P.T.U.]

हल: (i) प्रश्नानुसार, धरन की चौड़ाई, $b = 300$ mm, धरन की गहरायी, $D = 500$ mm, प्रभावी गहरायी, $d = 500 - 40 = 460$ mm (40 mm का आवरण रखने पर)। धरन पर अध्यारोपित भार = 40 kN/m, $f_{ck} = 20$ N/mm^2, $f_y = 415$ N/mm^2

(ii) **फैक्टर भार तथा बंकन आघूर्ण—**

अध्यारोपित भार = 40 kN/m

धरन का स्वयं का भार = $0{\cdot}30 \times 0{\cdot}50 \times 1 \times 25$ = **3·75 kN/m**

कुल भार = 43·75 kN/m

फैक्टर (Factored) भार, भार-गुणक 1·5 लेते हुये = $1{\cdot}5 \times 43{\cdot}75$

$\therefore$ $W_u = 65{\cdot}7$ kN/m

धरन के मध्य मे अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M_u = \dfrac{W_u \times l^2}{8}$

$\therefore \quad M_u = \dfrac{65{\cdot}7 \times (4{\cdot}5)^2}{8} = 166{\cdot}5 \text{ kN.m}$

(iii) **धरन-खण्ड की चरम प्रतिरोध आघूर्ण—**

$x_{u\,max} = 0{\cdot}48\,d$ (Fe 415 इस्पात के लिये)

$= 0{\cdot}48 \times 460 = 221$ mm

$M_{u\,Lim} = 0{\cdot}36 f_{ck}\, b\, x_{u\,max} (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max})$ ...(सूत्र)

$= 0{\cdot}36 \times 20 \times 300 \times 221\,(460 - 0{\cdot}42 \times 221)$

$= 175277045$ N.mm $= 175{\cdot}28$ kN.m

चूँकि $M_{u\,Lim} > M_u$, यह धरन-खण्ड तनन-प्रबलन से पोषित, एकल प्रबलित धरन के रूप मे कार्य करेगा। अत: इसमें सम्पीडन इस्पात डालने की आवश्यकता नहीं है।

(iv) **तनन इस्पात का क्षेत्रफल—**

$$A_{st} = \frac{M_u}{0{\cdot}87\, f_y\, (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max})}$$

$$= \frac{166{\cdot}5 \times 10^6}{0{\cdot}87 \times 415\,(460 - 0{\cdot}42 \times 221)} = 1256 \text{ mm}^2$$

20 mm व्यास की छड़े डालने पर, छड़ों की संख्या—

$$N = \frac{1256}{314} = 3{\cdot}99 \text{ say } \mathbf{4 \text{ छड़ें, } 20 \text{ mm व्यास}} \quad \text{उत्तर}$$

उदाहरण 5.12: एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन की माप 240 mm × 480 mm (सकल माप) है। इसके सम्पीडन क्षेत्र में 10 mm व्यास की 2 छड़ें और तनन क्षेत्र में 20 mm व्यास की 4 छड़ें, 40 mm के प्रभावी आवरण (Cover) पर डाली गयी है। धरन में M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात डाला गया है। धरन-खण्ड का प्रतिरोध बंकन आघूर्ण ज्ञात कीजिए।

हल: (i) प्रश्नानुसार—

$b = 240$ mm, $d = 440$ mm, $D = 480$ mm

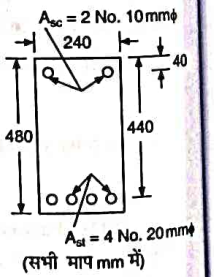
सम्पीडन इस्पात, $A_{sc} = 10$ mmϕ 2 No, $79 \times 2 = 158$ mm^2

तनन इस्पात, $A_{st} = 20$ mmϕ 4 Nos. $314 \times 4 = 1256$ mm^2

$f_{ck} = 20$ N/mm^2 $\quad f_y = 415$ N/mm^2

$d' = 40$ mm $\quad \dfrac{d'}{d} = \dfrac{40}{440} = 0{\cdot}09$ say $0{\cdot}10$

सारणी 5.8 से, $f_{sc} = 353$ N/mm^2



(सभी माप mm में)

चित्र 5.39

(ii) बल शून्य अक्ष, $\quad x_u = \dfrac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{st} - f_{sc}\, A_{sc}}{0{\cdot}36\, f_{ck} \times b}$ ...(सूत्र 5.1)

$$= \frac{(0{\cdot}87 \times 415 \times 1256) - (353 \times 158)}{0{\cdot}36 \times 20 \times 240}$$

$$= \frac{453479 - 55774}{1728} = 230 \text{ mm}$$

बल शून्य अक्ष का सीमांत मान, $x_{u\,max} = 0{\cdot}48d$

$= 0{\cdot}48 \times 440 = 211$ mm

चूँकि $x_u > x_{u\,max}$, यह खण्ड अतिप्रबलित (Over Reinforced) है। L.S.M. में अतिप्रबलित खण्ड स्वीकार्य नहीं है। अत: $x_{u\,max}$ खण्ड को नियन्त्रित करेगी।

(iii) प्रतिरोध आघूर्ण, $M_r = M_1 + M_2$

यहाँ M_1 = कंक्रीट-बल का तनन इस्पात के प्रति आघूर्ण = C_1 × उत्तोलक भुजा

$= 0{\cdot}36 f_{ck}\, x_{u\,max}\, b\,[d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max}]$

(यहाँ $d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max}$ उत्तोलक भुजा है)।

M_2 = सम्पीडन इस्पात के बल का तनन इस्पात के प्रति आघूर्ण = C_2 × उत्तोलक भुजा

अत: $\quad M_1 = 0{\cdot}36 \times 20 \times 211 \times 240\,(440 - 0{\cdot}42 \times 211)$

$= 364608 \times 351{\cdot}4 = 128115959$ N-mm

तथा $\quad M_2 = C_2 \times$ उत्तोलक भुजा

$= A_{sc}\,(f_{sc} - f_{cc}) \times (d - d')$

$= 158(353 - 20) \times (440 - 40)$

$= 52614 \times 400 = 21045600$ N-mm

फैक्टर (Factored) प्रतिरोध आघूर्ण—

$M_u = 128115959 + 21045600$

$= 149161559$ N-mm

$= 149{\cdot}16$ kN-m

धरन का प्रतिरोध बंकन आघूर्ण, भार गुणक 1·5 लेते हुये $= \dfrac{149{\cdot}16}{1{\cdot}5} = \mathbf{99{\cdot}44 \text{ kN.mm}}$ उत्तर

उदाहरण 5.13 : एक दोहरी प्रबलित कंक्रीट धरन का खण्ड-माप 240 mm × 500 mm और प्रभावी पाट 5·0 मी० है। धरन पर 40 kN/m का समवितरित अध्यारोपित भार (U.D.L.) आ रहा है। M–20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 इस्पात प्रयोग करते हुये, धरन का सीमांत अवस्था विधि (L.S.M.) से अभिकल्पन करें। तनन छड़ों पर कंक्रीट आवरण 30 mm मान लें।

हल : (i) प्रश्नानुसार—

धरन की चौड़ाई, $b = 240$ mm, धरन की गहरायी = 500 mm

धरन की प्रभावी गहरायी, $d = 500 - 30 = 470$ mm

प्रभावी पाट, $l = 5$ m

समवितरित अध्यारोपित भार = 40 kN/m

प्रतिबल $f_{ck} = 20$ N/mm^2 (M-20 कंक्रीट के लिये)

$f_y = 415$ N/mm^2 (Fe 415 इस्पात के लिये)

(ii) भार तथा बंकन आघूर्ण (Loads and B.M.)—

धरन पर अध्यारोपित भार = 40 kN/m

धरन का प्रति मी० लम्बाई मे स्वयम् का भार

= 0·24 × 0·50 × 1 × 25 = 3·0 kN/m (1 cum R.C. concrete = 25000 N)

कुल भार = 43 kN/m

(a) अभिकल्प (Factored) भार, $W_u = 43 \times 1{\cdot}5 = 64{\cdot}5$ kN/m (आंशिक सुरक्षागुणक = 1·5)

(b) अभिकल्प बंकन आघूर्ण (Design Moment), $M_u = \dfrac{w_u \times l^2}{8} = \dfrac{64{\cdot}5 \times 5^2}{8}$

$M_u = 201{\cdot}6$ say 202 kN.m

(c) कर्तन बल, $V_u = \dfrac{w_u \times l}{2} = \dfrac{64{\cdot}5 \times 5}{2} = 161{\cdot}25$ kN अथवा 161250 N

(iii) सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण (Limiting M_r) – $M_{u\,Lim}$

खण्ड को एकल प्रबलित मानते हुये, सीमान्त आघूर्ण,

$$M_{u\,Lim} = 0{\cdot}36 f_{ck}\, b\, x_{u\,Lim} (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,Lim}) \quad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ $x_{u\,Lim} = 0{\cdot}48\, d$ लेते हुये (सारणी 5.7 से)

$= 0{\cdot}48 \times 470 = 226$ mm

$\therefore$ $M_{u\,Lim} = 0{\cdot}36 \times 20 \times 240 \times 226\,(470 - 0{\cdot}42 \times 226)$

$= 0{\cdot}36 \times 1084800 \times 375{\cdot}08$

$= 146479242$ N.mm

$= 146{\cdot}48$ kN.m

$M_{u\,Lim}$ का मान सारणी 5.7 से सीधा भी ले सकते हैं—

$M_{u\,Lim} = 0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck}$

$= 0{\cdot}138 \times 240 \times 470 \times 470 \times 20$

$= 146324160$ N.mm दोनों मान लगभग समान हैं।

चूँकि $M_u > M_{u\,Lim}$, अत: **खण्ड दोहरा प्रबलित** (Doubly Reinforced) अभिकल्पित करना होगा।

M_{u2}, जिसके लिये खण्ड में अतिरिक्त प्रबलन (तनन तथा सम्पीडन) देना होगा, ताकि यह दोहरा प्रबलित धरन बन जाये।

$$M_{u2} = M_u - M_{u\,Lim} = 202000000 - 146479242$$

$= 55520758$ N.mm

इस M_{u2} के लिये धरन के सम्पीडन क्षेत्र में प्रबलन देना होगा।

(iv) **सम्पीडन इस्पात** (Compression Steel—A_{sc})—सम्पीडन प्रबलन धरन खण्ड के ऊपरी सिरे से d' की गहरायी (प्रभावी आवरण) पर डाला जाता है।

माना यह आवरण (Cover), $d' = 30$ mm है। इस क्षेत्र में इस्पात में सम्पीडन प्रतिबल निम्न प्रकार से निर्धारित किये जाते हैं— $\dfrac{d'}{d} = \dfrac{30}{470} = 0{\cdot}06$

सारणी 5.8 से इस मान के लिये, $f_{sc} = 353$ N/mm^2

सम्पीडन इस्पात का क्षेत्रफल—$A_{sc} = \dfrac{M_{u2}}{f_{sc}\,(d - d')} = \dfrac{55520758}{353\,(470 - 30)} = 358$ mm^2

सम्पीडन क्षेत्र के लिये 16 mm ϕ की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या = $\dfrac{358}{201}$

$= 1{\cdot}78$ say 2 छड़ें

अत: **सम्पीडन क्षेत्र में 16 mm ϕ की 2 छड़ें पर्याप्त रहेगी।**

(v) **तनन इस्पात** (Tension Reinforcement)—A_{st}—

कुल तनन इस्पात, $A_{st} = A_{st1} + A_{st2}$

(a) $A_{st1} = \dfrac{M_{u\,Lim}}{0{\cdot}87\, f_y\, (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,Lim})}$ ...(सूत्र 5.3)

$$= \frac{146479242}{0{\cdot}87 \times 415 \times (470 - 0{\cdot}42 \times 226)}$$

यहाँ $f_y = 415$ N/mm^2 और $x_{u\,Lim} = 226$ mm, ऊपर ज्ञात है)

$\therefore$ $A_{st1} = \dfrac{146479242}{0{\cdot}87 \times 415 \times 375{\cdot}1} = 1082$ mm^2

(b) $A_{st2} = \dfrac{M_{u2}}{0{\cdot}87\, f_y\, (d - d')} = \dfrac{55520758}{0{\cdot}87 \times 415\,(470 - 30)}$ ...(सूत्र 5.4)

$= 350$ mm^2

$\therefore$ तनन इस्पात का कुल क्षेत्रफल, $A_{st} = A_{st1} + A_{st2}$

$= 1082 + 350 = 1432$ mm^2

तनन क्षेत्र के लिये 20 mm ϕ की छड़ें अपनाते हुये—

civilguru.net

छड़ो की संख्या = $\frac{1432}{314} = 4{\cdot}56$ say 5 छड़ें

अत: तनन क्षेत्र में 20 mm ϕ की 5 छड़े डाली जायेंगी।

$\therefore \quad A_{st} = 5 \times 314 = 1570 \text{ mm}^2$

इन 5 छड़ो मे, 2 छड़े आलम्ब से $\frac{l}{7} = \frac{5000}{7} = 714$ mm पर कट (Curtailed) कर दी जायेगी।

(vi) अपरुपण (Shear) में जाँच—

अधिकतम अपरुपण बल, $V_u = 64{\cdot}5 \times 5 \times \frac{1}{2} = 161{\cdot}25 \text{ kN} = 161250 \text{ N}$

नामन अपरुपण प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{161250}{240 \times 470} = 1{\cdot}43 \text{ N/mm}^2$

$\tau_{c\,max} = 2{\cdot}8 \text{ N/mm}^2$ (सारणी 4.3 से)

चूँकि $\tau_{c\,max} > \tau_v$, अत: खण्ड-माप ठीक है। इसे बदलने (बढ़ाने) की आवश्यकता नहीं है। आलम्बों के निकट 2 तनन छड़ें कम कर दी गयी है, अत: आलम्बों के निकट कुल 3 तनन छड़े शेष रह जाती हैं। अत: शेष 3 छड़ों का क्षेत्रफल = $3 \times 314 = 942 \text{ mm}^2$

$\therefore$ इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \frac{A_{st} \times 100}{b \times d} = \frac{942 \times 100}{240 \times 470} = 0{\cdot}84$

M-20 कंक्रीट और $p_t = 0{\cdot}84$ के लिये, $\tau_c = 0{\cdot}58 \text{ N/mm}^2$ (सारणी 4.1 से)

$\because \quad \tau_v > \tau_c$, अत: धरन-खण्ड में अपरुपण प्रबलन देना होगा। शुद्ध अपरुपण बल, जिसके लिये छड़ें व छल्ले नामित किये जायेंगे—

$$V_{us} = V_u - \tau_c b d$$
$$= 161250 - (0{\cdot}58 \times 240 \times 470)$$
$$= 161250 - 65424 = 95826 \text{ N}$$

नत की गयी 2 तनन छड़ों की अपरुपण सामर्थ्य—

$$V_u = 0{\cdot}87 f_y A_{sv} \sin \alpha \quad \text{(सूत्र)}$$
$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 314 \times \sin 45°$$
$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 628 \times 0{\cdot}707 = 160305 \text{ N}$$

परन्तु कोड के अनुसार नत छड़ें, शुद्ध अपरुपण बल (Net Shear) का 50% तक ही ले सकती हैं (लेने के लिये मान्य हैं), अर्थात $\frac{95826}{2} = 47913$ N अपरुपण बल लेंगी, 160305 N नहीं। अत: शेष अपरुपण बल 47913 N के लिये 2 टांगों वाले छल्ले डाले जायेंगे। 8 mm ϕ के 2-टांगों वाले छल्ले (Stirrups) प्रयोग करने पर, एक छल्ले का क्षेत्रफल,

$$A_{sv} = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 8^2 = 100{\cdot}6 \text{ mm}^2$$

$\therefore$ छल्लों का अन्तराल, $s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{V_{us}}$

$$= \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 100{\cdot}6 \times 470}{47913} = 356 \text{ mm}$$

I.S. कोड़ के अनुसार छल्लों का अन्तराल निम्न के **न्यूनतम** से अधिक नहीं होगा—

(i) $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 470 = 352$ mm

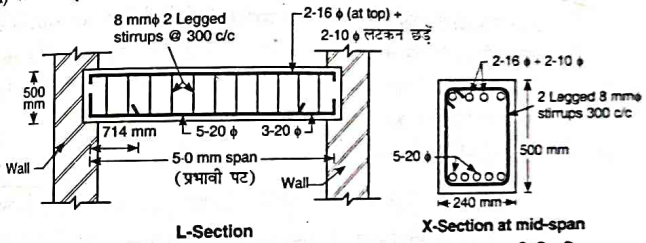
(ii) 300 mm

(iii) अपरुपण प्रबलन के आधार पर = 356 mm

अत: 8 mm ϕ के 2 टांग वाले छल्ले (Stirrups) 300 mm c/c पर डाले जायेंगे।

(vii) लटकन छड़ें (Anchor Bars)—10 mm ϕ की दो लटकन छड़ें धरन-खण्ड के शीर्ष क्षेत्र में डाली जायेंगी।

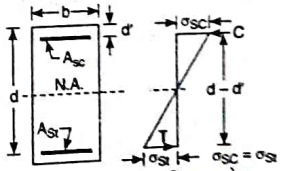
(viii) प्रबलन इस्पात का चित्रण—



चित्र 5.40—दोहरी प्रबलित कंक्रीट धरन में प्रबलन इस्पात की स्थिति

§ 5.30. इस्पात धरन सिद्धान्त (Steel Beam Theory) :

जब दोहरे प्रबलित कंक्रीट खण्ड में, सम्पीडन इस्पात का क्षेत्रफल, तनन इस्पात के क्षेत्रफल के **बराबर** अथवा लगभग बराबर हो जाता है, तो अभिकल्पन मितव्ययी नहीं रहता है, क्योंकि सम्पीडन क्षेत्र की कंक्रीट, सम्पीडन प्रतिबल लेने में थोड़ा भी सहयोग नहीं देती है। इस दशा में कंक्रीट केवल सम्पीडन तथा तनन इस्पात को अपनी-अपनी निर्धारित स्थिति में बनाये रखने का कार्य करती है। ऐसे धरनों को इस्पात-धरन सिद्धान्त के अन्तर्गत मानकर, अभिकल्पन करना अधिक उचित रहता है। इस प्रकार के धरन की कल्पना बेलित इस्पात के I-खण्ड के धरन से की जा सकती है, जिसके फ्लैंज सम्पीडन एवं तनन प्रबलन की तरह हैं और वेब (Web) कंक्रीट की भाँति कार्य करते हैं।



चित्र 5.41—इस्पात-धरन सिद्धान्त (Steel Beam Theory)

इस्पात-धरन सिद्धान्त के अनुसार—

(i) खण्ड की कंक्रीट को गणना मे नहीं लिया जाता है।

(ii) सम्पीडन एवं तनन इस्पात में समान प्रतिबल उत्पन्न होते हैं अर्थात् $f_{sc} = f_{st}$

(iii) सम्पीडन एवं तनन इस्पात के क्षेत्रफल बराबर मान लिये जाते हैं अर्थात् $A_{sc} = A_{st}$

(iv) सम्पीडन एवं तनन इस्पात मे अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल एक साथ उपजते हैं।

(v) ऐसे धरन की उत्तोलक भुजा, सम्पीडन और तनन, दोनों इस्पातों के गुरुत्व-केन्द्रों की दूरी होती है।

प्रतिरोध आघूर्ण, *Mr*—

प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करने के लिये, किसी एक प्रकार के (सम्पीडन) इस्पात के क्षेत्रफल का दूसरे प्रकार के (तनन) इस्पात के गुरुत्व-केन्द्र के प्रति आघूर्ण लिया जाता है—

$$Mr = A_{st}\, 0{\cdot}87 f_y (d - d') = A_{sc}\, 0{\cdot}87 f_y (d - d')$$

तथा $$A_{st} = \frac{Mr}{0{\cdot}87 f_y (d - d')} \quad \text{और} \quad A_{sc} = A_{st}$$

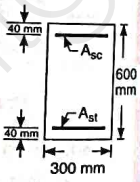
उदाहरण 5.14 : एक आयताकार प्रबलित कंक्रीट धरन का अनुप्रस्थ परिच्छेद 300 mm × 600 mm है। धरन के तनन तथा सम्पीडन, दोनों क्षेत्रों में 40 mm के प्रभावी आवरण पर प्रबलन इस्पात प्रयोग करना है। यदि धरन ने 64×10^6 N-mm का फैक्टर प्रतिरोध आघूर्ण वहन करना है, तो इस्पात धरन सिद्धान्त पर प्रबलन इस्पात की मात्रा निर्धारित करें। इस्पात में प्रतिबल 250 N/mm² मान लें।

हल : धरन का अभिकल्प प्रतिरोध आघूर्ण, $Mr = 64000000$ N-mm

तनन इस्पात = सम्पीडन इस्पात

प्रभावी गहराई, $d = 600 - 40 = 560$ mm

धरन की उत्तोलक भुजा = $560 - 40 = 520$ mm



चित्र 5.42

इस्पात का क्षेत्रफल—

$$A_{st} = A_{sc} = \frac{Mr}{0{\cdot}87 f_y \times z} = \frac{64000000}{0.87 \times 250 \times 520} = 566 \text{ mm}^2$$

16 mm ϕ की छड़ (क्षेत्रफल 201 mm²) प्रयोग करते हुये,

$$\text{छड़ों की संख्या} = \frac{566}{201} = 2{\cdot}82 \text{ say } 3 \text{ छड़ें}$$

अत: धरन के ऊपर तथा नीचे दोनों क्षेत्रों में 16 mm ϕ की 3–3 छड़ें प्रयोग की जायेंगी। **उत्तर**

प्रश्नावली-5

(A) एकल प्रबलित धरन-खण्ड—

1. एक शुद्धालम्बित धरन की प्रभावी गहराई कैसे निर्धारित की जाती है, लिखिये।
2. संक्षिप्त टिप्पणी लिखें—
   (i) प्रभावी पाट, (ii) आवरण (Cover),
   (iii) छड़ों का क्षैतिज तथा उदग्र अन्तराल, (iv) दो-टाँगों वाले उदग्र छल्ले (स्टीरप्स)
3. कंक्रीट धरनों में न्यूनतम प्रबलन इस्पात ज्ञात करने के लिये सूत्र लिखिये।
4. फलक प्रबलन (Side Face Reinforcement) पर प्रकाश डालें। यह कहाँ दिया जाता है?
5. एक शुद्धालम्बित धरन का चित्र खींचकर उसमे तनन छड़ों को कम करने वाले बिन्दुओं की स्थिति तथा संख्या के मान लिखें।
6. लटकन छड़ों (Anchor Bars) का प्रयोग किस लिये तथा कहाँ किया जाता है? चित्र की सहायता से स्पष्ट करें।
7. छत के लिये एक 5 मी० प्रभावी पाट के धरन का अभिकल्पन कीजिये। धरन पर 9 kN/m का अध्यारोपित भार आ रहा है। M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 250 का इस्पात तथा प्रबलित कंक्रीट का भार 25000 N/cu m. मान लें।
8. एक गैराज का प्रवेश द्वारा 2·8 मी० चौड़ा है, जिसके ऊपर प्रबलित कंक्रीट का लिन्टल डाला जाना है। दीवार की मोटाई 300 mm है और लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई 3 मी० है। लिन्टल का अभिकल्पन कीजिये। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी के इस्पात का प्रयोग करें। प्रबलित कंक्रीट का भार = 2500 kg/cu.m. तथा ईंट चिनाई का भार 2000 kg/cu.m. मान ले।
   (उत्तर : $D = 200$ mm, 12 mm ϕ 3 Nos)
9. 2 मी० चौड़े प्रवेश (Opening) के लिये एक प्रबलित कंक्रीट लिन्टल का अभिकल्पन करें। दीवारो की मोटाई 200 mm है तथा लिन्टल के ऊपर ईंटों की चिनाई की ऊँचाई 3 मी० है। **[B.T.E.]**
10. एक बरामदे के प्रवेशों का माप 2·5 मी० × 2·5 मी० है और उनके मध्य स्तम्भों की चौड़ाई 30 सेमी० है। बरामदे की अन्तश्छद (Ceiling) फर्श से 3·5 मी० ऊँची है। प्रवेशो के ऊपर प्रबलित कंक्रीट का सतत लिन्टल डाला जाना है। लिन्टल के ऊपर 20 सेमी० मोटी ठोस दीवार बनायी गयी है, जो छत तक जाती है। लिन्टल के साथ 60 सेमी० बाहर निकला हुआ एक छज्जा (Sun-Shade) भी बनाया गया है जो लिन्टल के साथ एकाश्मी (Monolithic) डाला गया है तथा नीचे से लिन्टल के साथ फ्लश है। लिन्टल पर छत तथा मुँडेर का चल व अचल भार, 500 kg/m की दर से आ रहा है। लिन्टल तथा छज्जे का अभिकल्पन कीजिये। M-15 ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग करे। इस्पात Fe 415 का मान लें प्रबलित कंक्रीट का भार 25000 N/m³ और चिनाई का भार 19200 N/m³ मान लें। छज्जे पर चल भार 750 N/m² अपनायें।
11. निम्नलिखित आँकड़ों के लिये, निपात की सीमांत अवस्था विधि (L.S.M) से एक कंक्रीट धरन का अभिकल्पन कीजिये। प्रभावी पाट = 4 मी०, अध्यारोपित भार = 25 kN/m, कंक्रीट M-20, इस्पात Fe 415। अन्य आवश्यक डेटा स्वयं मान लें। अभिकल्पित इस्पात की स्थिति चित्र द्वारा स्पष्ट करें।

civilengineering.net

12. एक कंक्रीट धरन का प्रभावी पाट 5 मीटर है। इसकी गहराई 500 mm सीमित है। कंक्रीट की श्रेणी M-15 और प्रबलन इस्पात Fe 415 ग्रेड का है। यदि धरन पर 10 kN प्रति मीटर का चल भार आ रहा हो, तो सीधा अवस्था विधि से धरन का अभिकल्पन करें।

13. एक शुद्धार्धन्वित कंक्रीट धरन का माप 230 mm × 500 mm (प्रभावी) है। इस पर 80 kNm का वंकन आघूर्ण लग रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात प्रयोग करने पर, धरन के लिये तनन इस्पात की मात्रा ज्ञात करें। अभिकल्प (Factored) गुणांक, $\gamma_f = 1{\cdot}5$ मान लें।

(**उत्तर** : 773 mm²)

14. एक प्रबलित कंक्रीट धरन जिसका प्रभावी पाट 8 m है, पर अपने भार सहित 25 kN/m का भार लद रहा है। M-30 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात प्रयोग करते हुये धरन का खण्ड तथा तनन इस्पात की मात्रा ज्ञात कीजिये। [*B.T.E. DELHI*]

(**उत्तर** : माप = 250 mm × 580 mm, A_{st} = 1928 mm²)

15. 5·0 मी० शुद्ध पाट वाले एक प्रबलित कंक्रीट धरन की चौड़ाई 300 mm है। इस पर 10 kN/m का भार आ रहा है। M-20 और Fe 415 का प्रयोग करते हुये खण्ड की गहराई व तनन इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात करें।

16. एक प्रबलित कंक्रीट धरन का माप 300 mm × 600 mm (प्रभावी) है। इस पर 220 kNm की चरम (Ultimate) आघूर्ण लग रही है। M-20 और Fe 500 लेते हुये धरन में प्रबलन इस्पात की मात्रा ज्ञात करें। [*B.T.E. Pb.*]

(**उत्तर** : A_{st} = 1170 mm²)

17. एक एकल प्रबलित कंक्रीट धरन का अभिकल्पन कीजिए। धरन पर 150 kN-m का वंकन आघूर्ण लग रहा है। धरन की चौड़ाई 300 mm सीमित है। M-20 और Fe 415 सामग्री का प्रयोग करते हुये, धरन का अभिकल्पन कीजिए। भार गुणक 1.5 लें। [*B.T.E. Pb.*]

(**उत्तर** : A_{st} = 1480 mm²)

(B) दोहरे प्रबलित धरन-खण्ड—

18. (i) दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन से आप क्या समझते हैं? ऐसे एक धरन का अनुप्रस्थ परिच्छेद खींचकर उसमें इस्पातों की स्थिति दर्शाये।

(ii) किन परिस्थितियों में दोहरे प्रबलन धरन अपनाने की आवश्यकता पड़ती है? लिखिये [*B.T.E.*]

(iii) इस्पात-धरन सिद्धान्त (Steel Beam Theory) पर प्रकाश डालें। [*B.T.E.*]

(iv) कंक्रीट धरन में दोहरा प्रबलन कब और क्यों देना पड़ता है? [*B.T.E.*]

19. बालकनी के लिये डाली गयी एक कंक्रीट धरन 200 mm चौड़ी तथा 300 mm गहरी है। इसके सम्पीडन तथा तनन क्षेत्रों में 25 mm के प्रभावी आवरण पर क्रमशः 16 mm व्यास की 4 छड़ें तथा 20 mm व्यास की 6 छड़ें डाली गयी हैं। यदि M-20 और Fe 415 के मैटीरियल लें। खण्ड की बल शून्य रेखा ज्ञात करें।

20. एक दोहरे प्रबलित धरन जिसका खण्ड 250 mm × 500 mm (प्रभावी) है, ने 65×10^6 N-mm का वंकन आघूर्ण वहन करना है। शिखर तथा तली में डाले गये इस्पात की छड़ों का प्रभावी आवरण 40 mm है। शिखर तथा तली पर इस्पात की मात्रा ज्ञात कीजिये। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान लें। [*B.T.E.*]

21. एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन, जिसका अनुप्रस्थ काट 250 mm × 500 mm (सम्पूर्ण गहराई) है, के ऊपर और नीचे की ओर प्रबलन रखना है। दोनों इस्पात का प्रभावी आवरण 40 mm है। नीचे की ओर 20 mm ϕ की 4 छड़ें और ऊपर की ओर 16 mm ϕ की 3 छड़ें लगी हैं।

(i) बल शून्य रेखा की स्थिति ज्ञात करें।

(ii) काट खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करें।

(iii) 5 मीटर के प्रभावी पाट पर धरन रखने पर, इस पर कितना सुरक्षित अपरावर्तित सर्वव्यापी भार रखा जा सकता है। M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 250 श्रेणी का मान लें। [*B.T.E.*]

22. 6 मीटर के प्रभावी पाट के लिये एक शुद्धार्धन्वित दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन का अभिकल्पन कीजिये, जिसका खण्ड-माप 300 mm × 700 mm सीमित है। धरन पर 80 kN/m का अपरावर्तित भार आ रहा है। तनन तथा सम्पीडन छड़ों पर 70 mm का प्रभावी आवरण मान लें। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe-415 ग्रेड का इस्पात प्रयोग करें। भार गुणक 1·5 मान लें।

(**उत्तर** : A_{sc} = 1270 mm², A_{st} = 3078 mm²
छल्ले 10 mm ϕ, 2-टांग वाले @ 250 mm c/c)

23. एक दोहरी प्रबलित कंक्रीट धरन 300 mm चौड़ी और तनन इस्पात के केन्द्र तक गहराई 450 mm है। इसमें 16 mm ϕ के 10 सरिये लगे हैं, जिनमें से 6 तनन की ओर और 4 सम्पीडन की ओर है। सम्पीडन इस्पात का केन्द्र ऊपरी सिरे से 50 mm नीचे है। धरन के सम्पीडन तथा तनन इस्पात की मात्रा ज्ञात करें, यदि धरन पर 60×10^6 N-mm का फैक्टर वंकन आघूर्ण लगाया जाता है। [*B.T.E.*]

24. एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन का परिच्छेद 300 mm × 500 mm (प्रभावी गहराई) है। इसके सम्पीडन इस्पात के हेतु 20 mm ϕ की 4 प्रबलन छड़े, 40 mm प्रभावी आवरण पर और तनन इस्पात के लिये 28 mm ϕ की 4 छड़ें प्रयोग में लायी गयी हैं। बल शून्य रेखा ज्ञात कीजिये तथा परिच्छेद का फैक्टर प्रतिरोध आघूर्ण भी निकालें। [*B.T.E.*]

25. एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन का माप 300 mm × 450 mm (प्रभावी) है। इसके सम्पीडन क्षेत्र में, 50 mm के आवरण पर 20 mm ϕ की 2 छड़े तथा तनन क्षेत्र में 25 mm ϕ की 4 छड़े डाली गयी हैं। धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिये। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयोग करें। [*B.T.E. DELHI*]

(**उत्तर** : 254 kN.m)

26. एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन में, जिसका माप 250 mm × 500 mm है, 40 mm के प्रभावी आवरण पर 226 mm² तथा 1256 mm² इस्पात क्रमशः सम्पीडन तथा तनन क्षेत्रों में प्रयोग किया गया है। यदि कंक्रीट M-15 और इस्पात Fe 250 का हो, तो खण्ड की सुरक्षित प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिये। भार गुणक 1·5 मान लें। (**उत्तर** : 71.8 kN.m)

27. एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन का माप 250 mm × 500 mm प्रभावी सीमित कर दिया गया है। यदि इसने 275·6 kN.m चरम प्रतिरोध आघूर्ण वहन करना है तो सम्पीडन तथा तनन इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये। M-20 की कंक्रीट और Fe 250 का प्रबलन इस्पात प्रयोग करें।

(**उत्तर** : A_{sc} = 982 mm², A_{st} = 3079 mm²)

civilmint.com

8. एक दोहरी प्रबलित कंक्रीट धरन का माप 230 mm × 460 mm (प्रभावी) है। इसके सम्पीडन क्षेत्र मे 16 mm व्यास की 2 छड़ें और तनन क्षेत्र मे 20 mm व्यास की 4 छड़ें डाली गयी हैं। सम्पीडन छड़ो पर कंक्रीट-आवरण 40 mm है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी के इस्पात का प्रयोग करते हुये, धरन की फैक्टर प्रतिरोध आघूर्ण की गणना कीजिए।

(**उत्तर :** $M_u = 178{\cdot}31$ kN-m)

9. एक प्रबलित कंक्रीट धरन का परिच्छेद 230 mm × 500 mm (प्रभावी) है। इसमें 200 kN-m की फैक्टर बंकन आघूर्ण उपज रही है। सम्पीडन छड़ों पर कंक्रीट-आवरण, $d' = 40$ mm मान लें। कंक्रीट M-20 ग्रेड की और इस्पात Fe 415 श्रेणी का डाला जाना है। धरन के लिये दोनों क्षेत्रों मे डाले जाने वाले प्रबलन इस्पात की गणना कीजिए। (**उत्तर :** $A_{sc} = 260$ mm^2, $A_{st} = 1355$ mm^2)

0. एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन में, जिसका अनुप्रस्थ काट 300 mm × 450 mm (प्रभावी गहराई) है, सम्पीडन तथा तनन क्षेत्रों में प्रबलन दिया गया है। दोनों इस्पात का प्रभावी आवरण 30 mm है। तली में 20 mm व्यास की 3 छड़ें तथा शीर्ष में, 14 mm व्यास की 2 छड़ें डाली गयी हैं। निम्न का मान ज्ञात कीजिये—

(i) नल शून्य रेखा की स्थिति, (ii) खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण,

(iii) 5 मीटर के प्रभावी पाट पर धरन रखने पर सुरक्षित अध्यारोपित समवितरित भार।

M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान लें।

. एक आयताकार कंक्रीट धरन दोनों क्षेत्रों (सम्पीडन व तनन) में प्रबलित है। इसकी चौड़ाई 300 mm, गहराई 550 mm तथा दोनों ओर के इस्पात के केन्द्र अपनी ओर के बाहरी किनारों से 50 mm की दूरी पर हैं। 80×10^6 N-mm के फैक्टर प्रतिरोध बंकन आघूर्ण के लिये आवश्यक इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये। Fe 415 और M-20 का मैटीरियल मान लें। [*B.T.E.*]

एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन का माप 250 mm × 500 mm सीमित है। इसका प्रभावी पाट 5 m है। धरन पर (स्वत: भार सहित) 40 kN/m का भार आ रहा है। Fe 415 और M-20 का मैटीरियल मानते हुये, धरन का अभिकल्पन कीजिए। छड़ों पर 50 mm का आवरण और भार-गुणक 1·5 लें। [*B.T.E. U.K.*]

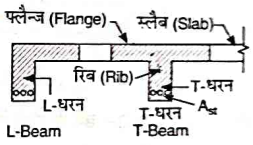
(**उत्तर :** $A_{sc} = 348$ mm^2, $A_{st} = 1410$ mm^2, 8 mm ϕ 2-टाँग छल्ले 190 mm c/c)

6 T-धरन (फ्लैंजदार धरन) (T-BEAM OR FLANGED BEAM)

§6.1. फ्लैंजदार या पंखधर धरन (Flanged Beam) :

कक्षें तथा खुली जगहों को ऊपर से पाटने (ढाँपने) के लिये इन पर स्लैब डाली जाती है। जब स्लैब का पाट बड़ा होता है, तब इसकी (स्लैब की) मोटाई काफी अधिक आती है, जो निर्माण की दृष्टि से मितव्ययी नहीं होती है। अत: स्लैब की मोटाई घटाने और इसके पाट को कम करने के लिये, स्लैब के नीचे, उपयुक्त अन्तराल पर धरन दिये जाते हैं।

जब स्लैब तथा इसके नीचे डाले गये धरनों को **एकाश्मी** (Monolithic) ढ़ाला जाता है अर्थात् इन दोनों में प्रबलन इस्पात तथा कंक्रीट एक साथ डाली जाती है, तब इस निर्माण को फ्लैंजदार धरन (Flanged Beam) या पंखधर धरन कहते हैं। अध्यारोपित भार पड़ने पर, जब धरन नीचे झुकता है, एकाश्मी निर्माण के कारण, इस पर ढ़ली (Casted) स्लैब की कुछ चौड़ाई (भाग) को भी अपने साथ झुकाता है। इस चौड़ाई को प्रभावी फ्लैंज कहते हैं। (स्लैब की कितनी चौड़ाई धरन के साथ, भार के कारण झुकती है, इसकी चर्चा अनुच्छेद 6.4 में की गयी है)। मध्य के धरनों को **T-धरन** (Tee-Beam) तथा सिरे के धरन को **L-धरन** (Ell-Beam) कहा जाता है, क्योंकि स्लैब से कुछ नीचे बढ़ा हुआ (लटका हुआ) धरनों का भाग देखने में इंग्ल भाषा के T तथा L अक्षरों जैसा लगता है (चित्र 6.1)।



चित्र 6.1—T तथा L-धरन

फ्लैंज धरन को अधिक सम्पीडन कंक्रीट (क्षेत्र) प्रदान करता है। इस कारण धरन (T-धरन) की प्रतिरोध आघूर्ण क्षमता बढ़ जाती है।

जब पाटन स्लैब के सिरे सीधे दीवारों पर टिकाये जाते हैं तो सिरे पर L-धरन डालने की विशेष आवश्यकता नहीं होती है, परन्तु मध्य भाग में उचित अन्तराल पर T-धरन डाले जाते हैं। T-धरन के ऊपरी स्लैब-युक्त भाग को फ्लैंज (Flange) तथा फ्लैंज से नीचे लटके हुये पेटे को **रिब** (Rib), **वैब** (Web) या **स्टम** (Stem) कहते हैं (चित्र 6.1)।

जब किसी छत-स्लैब का पाट 4 मी० से अधिक हो, तब T-धरनों की व्यवस्था मितव्ययी रहती है। T-धरन अभिकल्पन में पाटन स्लैब जो धरन पर टिकी रहती है, का अभिकल्पन पहले कर लिया जाता है। टी-धरन में, सामान्य प्रबलित धरन की भाँति, इसके तनन क्षेत्र में प्रबलन दिया जाता है।

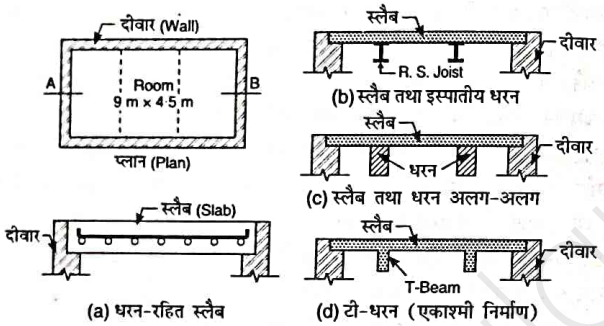
अत्यधिक भार तथा कुछ विशेष स्थितियों में टी-धरन के तनन क्षेत्र के साथ-साथ, इसके सम्पीडन क्षेत्र में भी प्रबलन दिया जाता है। तब इसे **दोहरा प्रबलित टी-धरन** (Doubly Reinforced T-Beam) कहा जाता है (देखें अनुच्छेद 6.10)।

(I) एकल प्रबलित T-धरन (SINGLY REINFORCED T-BEAM)

§ 6.2. टी-धरनों का संरचनात्मक व्यवहार (Structural Behaviour of T-Beam) :

टी-धरनो के निर्माण मे स्लैब और धरन दोनों को **एकाश्मी** डाला जाता है, जिसके कारण स्लैब का कुछ भाग धरन के सम्पीडन क्षेत्र की संरचनात्मक सहायता करता है और **प्रतिरोध आघूर्ण के वहन में सहयोगी होता है।** फलत: यह निर्माण मितव्ययी होता है। इस तथ्य को निम्न उदाहरण से स्पष्ट किया जाता है।

मान लो एक हाल कमरे (माप 9·0 मी० × 4·5 मी०) पर छत डालनी है। इसकी चित्र 6.2 के अनुसार सामान्यत: 4 व्यवस्थायें हो सकती हैं—



चित्र 6.2—छत के लिये विभिन्न व्यवस्थाएँ (Various Roofing Arrangements)

(a) पूरे छत क्षेत्र पर प्रबलित कंक्रीट स्लैब डाली जायें। इसमें स्लैब की मोटाई बहुत अधिक आती है, जो किसी भी दृष्टि से उचित नहीं है।

(b) छोटे पाट पर उचित दूरी पर, बेल्लित इस्पात के गर्डर (R. S. Joist) डालकर, उन पर प्रबलित कंक्रीट स्लैत्र का निर्माण किया जा सकता है। इसमें दोनों अवयव स्वतन्त्र कार्य करत हैं। यह एक महंगा निर्माण है।

(c) प्रबलित कंक्रीट के धरनों तथा स्लैब को अलग-अलग डालकर, ताकि उनमें कोई संरचनात्मक सम्बन्ध न हो।

उपरोक्त (b) अथवा (c) विधि अपनाने से स्लैब की मोटाई तो अवश्य कम हो जाती है, परन्तु यह निर्माण महँगा पड़ता है, क्योंकि स्लैब धरन की सामर्थ्य बढ़ाने में कोई योगदान नहीं करती है।

(d) प्रबलित कंक्रीट धरन तथा स्लैब का एकाश्मी निर्माण (Cast) करके, ताकि दोनों में एकाश्मी क्रिया पनप सके।

ऊपर वर्णित (d) व्यवस्था के अनुसार टी-धरन के ऊपरी भाग में डाली गयी स्लैब का कुछ भाग, जिसे फ्लैज (Flange) कहते हैं, सम्पीडन प्रतिबलों को वहन करने में धरन की सहायता करता है। **यह एकाश्मी निर्माण के कारण ही सम्भव हो पाता है।** इससे धरन खण्ड की चौड़ाई व गहराई (परिमाप), स्वतन्त्र डाले गये धरन से काफी कम आती है। अत: यह निर्माण मितव्ययी होता है। प्रतिरोध आघूर्ण वहन करने के लिये स्लैब का कितना भाग धरन के **साथ जुटकर** कार्य करता है, यह अनुच्छेद 6.4 में स्पष्ट किया गया है।

तनन प्रतिरोध के लिये रिब में एक सामान्य (प्रबलित) धरन की भान्ति आवश्यक मात्रा में तनन इस्पात (Tension Steel) डाला जाता है।

§ 6.3. T-धरन निर्माण के लाभ (Advantages of T-Beam Construction):

टी-धरन निर्माण के लाभ निम्नलिखित हैं—

(i) स्लैब का कुछ भाग (फ्लैंज), धरन के साथ एक-जुट होकर सम्पीडन प्रतिबलों को वहन करता है। फलस्वरूप, बल शून्य रेखा के ऊपर स्थित धरन का सम्पीडन क्षेत्रफल बढ़ जाता है और टी-धरन, सामान्य धरन की तुलना में काफी अधिक अध्यारोपित भार ले सकता है।

(ii) एकाश्मी निर्माण के कारण, सभी पाटों की स्लैब सतत रूप में (Continuous) ढाली जाती है। इससे स्लैब के बंकन आघूर्ण में कमी आती है। अत: स्लैब की मोटाई कम रखी जा सकती है।

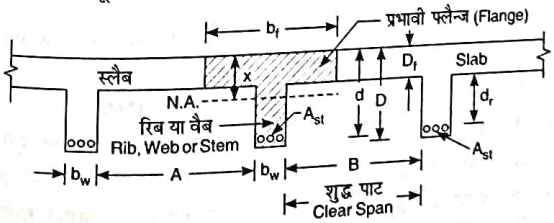
(iii) धरन खण्ड, सम्पीडन में अधिक सामर्थ्यवान हो जाता है। आयताकार धरनों में, टी-धरन सबसे मितव्ययी खण्ड है। टी-धरन व्यवस्था अपनाने से, छत के लिये लगभग 40% कंक्रीट तथा 50% इस्पात की बचत होती है।

(iv) स्लैब तथा धरन का एकाश्मी निर्माण तथा सम्बन्धन होने के कारण, धरन को संरचनात्मक दृढ़ता मिलती है। तब धरन के अकेले विफल होने की सम्भावना नहीं रहती है।

§ 6.4. टी-धरन की मापें तथा अभिकल्प नियम (Dimensions of T-Beam and Design Rules) :

टी-धरन में, एकाश्मी डाली गयी स्लैब का कुछ भाग धरन के साथ मिलकर सम्पीडन प्रतिबलों को बाँट लेता है। स्लैब का कितना भाग धरन के साथ कार्यरत होता है, यह धरन के पाट, धरनों का अन्तराल, रिब की चौड़ाई तथा स्लैब की मोटाई पर निर्भर करता है। टी-धरनों के अभिकल्पन में, धरन के ऊपर डाली गयी प्रबलित कंक्रीट स्लैब का अभिकल्पन पहले कर लिया जाता है। दो धरनों के मध्य डाली गयी स्लैब, इसके चारों किनारों (Edges) की स्थिति व लम्बाई/चौड़ाई के अनुपात के अनुसार एकल-दैशिक अथवा द्वि-दैशिक मानते हुये, अभिकल्पित की जाती है।

टी-धरन के महत्वपूर्ण माप चित्र 6.3 में दिखाये गये हैं।



चित्र 6.3—T-धरन की माप

चित्रानुसार—

b_f = फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई
d = धरन की प्रभावी गहराई
D_f = फ्लैंज की मोटाई या स्लैब की मोटाई
D = धरन की कुल गहराई (फ्लैंज सहित)
b_w = रिब (वैब) की चौड़ाई
A_{st} = तनन इस्पात का क्षेत्रफल
d_r = रिब की गहराई

(1) फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, b_f—भार पड़ने पर जब धरन नीचे झुकता है, तो यह एकाश्मी डाली गयी स्लैब के कुछ भाग को भी अपने साथ नीचे को खींच लेता है, अत: स्लैब की वह चौड़ाई, जो धरन के साथ एकाश्मी होकर सम्पीडन प्रतिबलों का वहन करती है, फ्लैंज की **प्रभावी चौड़ाई** कहलाती है (देखें चित्र 6.3)। इसे b_f से प्रदर्शित किया जाता है।

टी-धरन के फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, I.S. 456–2000 कोड (धारा 23.1.2) के अनुसार, निम्न का **न्यूनतम** ली जाती है (एल-धरन सम्बन्धी आँकड़ों के लिये अनुच्छेद 6.10 देखें)।

(i) $$b_f = \frac{l_o}{6} + b_w + 6D_f \quad ...(6.1)$$

(ii) $$b_f = b_w + \frac{l}{2}$$ (अगल-बगल के धरनों अथवा स्लैब-पाटों के मध्य शुद्ध दूरी)

अर्थात् $$b_f = b_w + \frac{A}{2} + \frac{B}{2}$$ (A व B के लिये चित्र 6.3 देखें) ...(6.2)

अलग-अलग स्थित टी-धरन के लिये फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, निम्न का **न्यूनतम** ली जा सकती है—

(i) $$b_f = \left[\frac{l_o}{\left(\frac{l_o}{b}\right)+4}\right] + b_w \quad ...(6.3)$$

(ii) $$b_f = b \quad ...(6.4)$$

यहाँ—

b_f = फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई
l_o = यह धरन के शून्य बंकन आघूर्णों वाले बिन्दुओं के मध्य दूरी (Distance between the Points of Zero Moments) है। सतत धरनों (Continuous Beams) में यह मान 0·7 × प्रभावी पाट लिया जाता है।
b_w = रिब की चौड़ाई, D_f = फ्लैंज की गहराई (मोटाई)
b = फ्लैंज की वास्तविक चौड़ाई (अगल-बगल के पाटों के मध्य तक दूरी)

ध्यान रहे कि टी-धरन का प्रतिरोध आघूर्ण (M_r) ज्ञात करने के लिये, फ्लैंज की वास्तविक चौड़ाई के स्थान पर, इसकी **प्रभावी चौड़ाई** ली जाती है। फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, **अगल-बगल के धरनों के केन्द्र से केन्द्र दूरी से अधिक नहीं हो सकती है।**

(2) फ्लैंज की मोटाई, D_f—फ्लैंज की मोटाई, स्लैब की कुल मोटाई के बराबर ली जाती है। इसे D_f से प्रदर्शित किया जाता है। स्लैब की मोटाई, इसके प्रभावी पाट तथा अध्यारोपित भार के आधार पर, टी-धरन के अभिकल्पन से पहले ज्ञात कर ली जाती है।

(3) रिब की चौड़ाई, b_w—स्लैब से नीचे लटके (बढ़े हुये) धरन खण्ड को रिब (Rib) कहते हैं। इसे वैब (Web) या स्टम (Stem) भी कहा जाता है। यह b_w से प्रदर्शित की जाती है। रिब की चौड़ाई पर्याप्त होनी चाहिये ताकि इसमें तनन छड़ें सुगमता से डाली जा सकें।

रिब की चौड़ाई, धरन की कुल गहराई का $\frac{1}{3}$ से $\frac{2}{3}$ ली जा सकती है। जहाँ पर टी-धरन स्तम्भों पर टिका है, वहाँ रिब की चौड़ाई, स्तम्भ की चौड़ाई से कम नहीं रखनी चाहिये।

(4) रिब की गहराई, d_r—रिब की गहराई, फ्लैंज के निचले सिरे से रिब के तनन इस्पात के गुरुत्व केन्द्र तक ली जाती है। T-धरन की प्रभावी गहराई से स्लैब की मोटाई घटाने पर, यह मान प्राप्त होता है, अर्थात्— $$d_r = d - D_f$$

(5) धरन की कुल गहराई, D—टी-धरन में धरन खण्ड की गहराई (फ्लैंज सहित), मोटे तौर पर, पाट/10 से पाट/20 ली जाती है।

(i) अल्प भार (Light Load) के लिये $= \frac{\text{पाट}}{15}$ से $\frac{\text{पाट}}{20}$
(ii) मध्यम भार (Medium Load) के लिये $= \frac{\text{पाट}}{12}$ से $\frac{\text{पाट}}{15}$
(iii) अति भार (Heavy Load) के लिये $= \frac{\text{पाट}}{10}$ से $\frac{\text{पाट}}{12}$

(6) T-धरनों पर भार—T-धरन पर अगल-बगल के दोनों पाटों के आधे-आधे भाग का अध्यारोपित तथा अचल भार आता है। यह भार स्लैब द्वारा स्थानान्तरित होता हुआ माना जाता है।

(7) T-धरन में प्रबलन इस्पात—कोड के अनुसार यह निम्नलिखित होना चाहिये—

(a) न्यूनतम तनन इस्पात— $A_{so} = \frac{0{\cdot}85 b_w \times d}{f_y}$ (धारा 26.5.1.1) ...(6.5)

(b) अधिकतम तनन या सम्पीडन इस्पात—यह खण्ड क्षेत्रफल का 4% तक लिया जाता है, अर्थात्— $$A_{sm} = 0{\cdot}04\, b_w \times D \quad ...(6.6)$$

उपरोक्त सूत्रों में—

A_{so} = न्यूनतम तनन इस्पात, mm^2 में
A_{sm} = अधिकतम तनन या सम्पीडन इस्पात, mm^2 में
b_w = रिब की चौड़ाई, mm में
d = धरन की प्रभावी गहराई, mm में
D = धरन की कुल गहराई, mm में
f_y = इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य, N/mm^2 में

civilguru

(i) $\frac{x_u}{d} < \frac{x_{u\,max.}}{d}$ — खण्ड अल्प प्रबलित (Under Reinforced) है—

खण्ड का प्रतिरोध-आघूर्ण, $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42\, x_u)$ ...(सूत्र)

(ii) $\frac{x_u}{d} = \frac{x_{u\,max.}}{d}$ — खण्ड सन्तुलित (Balanced) है—

खण्ड का प्रतिरोध-आघूर्ण, $M_{u\,Lim.} = 0{\cdot}36 f_{ck} b_f x_{u\,max.} (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max.})$ ...(सूत्र)

अथवा

$$M_{u\,Lim.} = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max.}) \quad \text{...(सूत्र)}$$

(iii) $\frac{x_u}{d} > \frac{x_{u\,max.}}{d}$ —खण्ड अतिप्रबलित (Over Reinforced) है। अतिप्रबलित खण्ड LSM में मान्य **नहीं** है। खण्ड का पुन: डिजाइन करें (Such Sections Not allowed in Limit State Method as per I.S. 456-2000)।

$\frac{x_{u\,max.}}{d}$ के मान सारणी 6.1 में दिये गये हैं।

सारणी 6.1

इस्पात में चरम प्रतिबल	$\frac{x_{u\,max.}}{d}$
Fe 250 N/mm^2	0·53
Fe 415 N/mm^2	0·48
Fe 500 N/mm^2	0·46

Case 2. $x_u > D_f$—(N.A. रिब (Web) में पड़ता है और प्रतिबल ब्लाक वैब में चला जाता है)।

चूंकि $x_{u\,max.}$ का मान इस्पात की श्रेणी पर आधारित है, अत: इस स्थिति में, इस्पात की श्रेणी पर कई केस (Cases) बनते हैं। I.S. 456-2000 ने इन केसों के विश्लेषण के सरल सूत्र सुझाये हैं।

(i) $x_u = x_{u\,max.}$—खण्ड सन्तुलित है (Balanced Section)

(ii) $x_u < x_{u\,max.}$ **तथा** $D_f \le 0{\cdot}42\, x_u$—खण्ड अल्प प्रबलित है।

$$M_u = 0{\cdot}36 f_{ck} b_w x_u (d - 0{\cdot}42\, x_u) + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) D_f \left(d - \frac{D_f}{2}\right) \quad \text{...(6.7)}$$

(iii) **जब** $D_f > 0{\cdot}42\, x_u$—

(a) $x_u = x_{u\,max.}$ तथा $\frac{D_f}{d} \le 0{\cdot}20$—

$$M_u = 0{\cdot}36 \frac{x_{u\,max.}}{d}\left[1 - \frac{0{\cdot}42\, x_{u\,max.}}{d}\right] f_{ck} b_w d^2 + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) D_f \left(d - \frac{D_f}{2}\right) \quad \text{...(6.8)}$$

(b) $x_u = x_{u\,max.}$ तथा $\frac{D_f}{d} > 0{\cdot}20$—

$$M_u = 0{\cdot}36 \frac{x_{u\,max.}}{d}\left[1 - \frac{0{\cdot}42\, x_{u\,max.}}{d}\right] f_{ck} b_w d^2 + \left[0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) Y_f \left(d - \frac{Y_f}{2}\right)\right] \quad \text{...(6.9)}$$

यहाँ $Y_f = 0{\cdot}15\, x_u + 0{\cdot}65\, D_f$, **परन्तु** D_f से अधिक नहीं।

उदाहरण 6.1 : एक कमरे का भीतरी माप 9 मी० × 6 मी० प्रभावी है। इसकी छत में दो टी-धरन 400 mm × 600 mm माप के डाले गये हैं। यदि स्लैब की मोटाई 120 mm हो तो फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई (I.S. कोड 456–2000 के अनुसार) निर्धारित कीजिये।

हल : T-धरन में, फ्लैंज b_f की प्रभावी चौड़ाई निम्न की **न्यूनतम** ली जाती है—

(i) $b_f = \frac{l_0}{6} + b_w + 6\, D_f$

(ii) $b_f = b_w +$ (अगल-बगल के पाटों/धरनों के मध्य शुद्ध दूरी) $\times \frac{1}{2}$

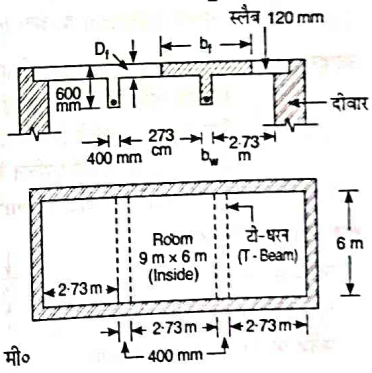
यहाँ— b_f = फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई

l_0 = धरन के शून्य आघूर्ण वाले बिन्दुओं के मध्य दूरी। शुद्धालम्ब-धरन के लिये $l_0 = l$ अर्थात् प्रभावी पाट। प्रश्न के अनुसार यह 6 मी० ली जायेगी।

b_w = रिब की चौड़ाई, 400 mm

D_f = फ्लैंज की मोटाई, 120 mm

b = फ्लैंज की वास्तविक चौड़ाई, 3 मी०



चित्र 6.7

$\therefore \quad b_f = \frac{6000}{6} + 400 + (6 \times 120)$

$= 2120 \text{ mm} = 2{\cdot}12 \text{ m}$

अथवा $b_f = 400 + \frac{1}{2}(2730 + 2730) = 3130 \text{ mm} = 3{\cdot}13 \text{ m}$

अत: फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई 2·12 मी० (न्यूनतम) ली जायेगी। **उत्तर**

उदाहरण 6.2 : एक अलग-थलग (Isolated) स्थित टी-धरन का पाट 6 मी० तथा प्रभावी गहराई 500 mm है। फ्लैंज की चौड़ाई 1500 mm तथा मोटाई 90 mm है। रिब जिसकी चौड़ाई, 250 mm है, में 25 mm ϕ की 4 छड़ें डाली गयी हैं। टी-धरन की फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई (b_f) निर्धारित कीजिए।

हल : (1) प्रश्न के अनुसार टी-धरन अलग-थलग डाला गया है। अत: इसके फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई निम्न सूत्र से ज्ञात की जायेगी—

$$b_f = \frac{l_o}{\left(\frac{l_o}{b} + 4\right)} + b_w \quad \text{अथवा} \quad b_f = b, \text{ (जो भी न्यूनतम है)}$$

(I.S. Code 456)

जहाँ l_o = धरन के शून्य आघूर्ण वाले बिन्दुओं के मध्य दूरी, 6 मी० = 6000 mm

b = फ्लैंज की वास्तविक चौड़ाई, 1500 mm

b_w = रिब की चौड़ाई, 250 mm

$$\therefore \quad b_f = \left[\frac{6 \times 1000}{\left(\frac{6000}{1500} + 4\right)}\right] + 250 = 1000 \text{ mm}$$

अथवा $b_f = b = 1500$ mm

उपरोक्त में न्यूनतम 1000 mm है, अत: b_f = **1000 mm ली जायेगी।** उत्तर

उदाहरण 6.3 : एक T-धरन की कुल गहराई 600 mm है। इसकी बल शून्य रेखा की स्थिति ज्ञात कीजिये, यदि फ्लैंज की गहराई 100 mm और प्रभावी चौड़ाई 1200 mm हों। रिब 300 mm चौड़ी है और उसकी तली से 50 mm के प्रभावी आवरण पर 25 mm ϕ की 6 छड़ें प्रबलित हैं। कंक्रीट तथा इस्पात में चरम प्रतिबल क्रमश: 20 N/mm² तथा 415 N/mm² मान लें।

हल : (1) प्रश्नानुसार—

फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई,

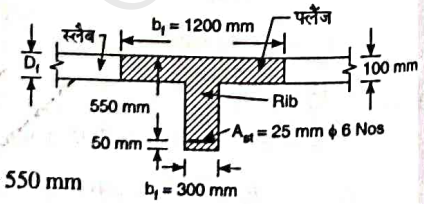
b_f = 1200 mm

फ्लैंज की गहराई, D_f = 100 mm

धरन की प्रभावी गहराई, $d = 600 - 50 = 550$ mm

तनन इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{st} = 6 \times 491$

$= 2946$ mm²



चित्र 6.8

चूँकि टी-खण्ड के सभी माप तथा प्रतिबल दे रखे हैं, अत: इसकी दोनों बल शून्य रेखायें—वास्तविक तथा अभिकल्प (सीमांत) ज्ञात की जायेगी—

वास्तविक N.A., $x_u = \frac{0.87 f_y A_{st}}{0.36 f_{ck} b_f} = \frac{0.87 \times 415 \times 2946}{0.36 \times 20 \times 1200} = 123$ mm

सीमांत N.A., $x_{u\,\text{Lim.}} = 0.48 \times d = 0.48 \times 550 = 264$ mm ...(सारणी 3.3 से)

$\because x_u < x_{u\,\text{Lim}}$ अर्थात् 123 mm < 264 mm, यह एक अल्प प्रबलित (Under Reinforced) खण्ड है।

उत्तर

टिप्पणी— (i) T-धरनों में वास्तविक बल शून्य रेखा की स्थिति ज्ञात करने के लिये, मोटे तौर पर यह मान लें कि बल शून्य रेखा या तो (i) फ्लैंज के **भीतर** स्थित है अथवा (ii) फ्लैंज से **बाहर** है। चूँकि अधिकतर केसों में, बल शून्य रेखा फ्लैंज के बाहर स्थित होती है, अत: सर्वप्रथम इसे फ्लैंज से बाहर (अर्थात् रिब के अन्दर) मानना उचित रहता है।

(ii) जिन T-खण्डों की बल शून्य रेखा रिब से गुजरती है, वह टी-धरन आदर्श कहे जाते हैं। यह मितव्ययी भी होते हैं।

(iii) गणनाओं को सरल बनाने के लिये रिब की कंक्रीट (बल शून्य रेखा से ऊपर) का योगदान (जो बहुत ही कम होता है), छोड़ दिया जाता है। यदि प्रश्न में इसे लेने के निर्देश हैं, तभी इस पर विचार करें।

उदाहरण 6.4 : एक T-धरन के फ्लैंज की चौड़ाई 750 mm, मोटाई 100 mm और प्रभावी गहरायी 400 mm है। रिब (Web) की चौड़ाई 240 mm है। धरन के तनन क्षेत्र में 16 mm व्यास की 4 छड़ें डाली गयी है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मानकर, टी-धरन का चरम प्रतिरोध आघूर्ण (M_u) ज्ञात कीजिये।

हल : (i) प्रश्नानुसार—

फ्लैंज चौड़ाई, b_f = 750 mm

फ्लैंज की मोटाई, D_f = 100 mm

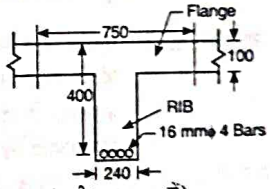
रिब की मोटाई, b_w = 240 mm

धरन की प्रभावी गहरायी, d = 400 mm

तनन इस्पात = 16 mm ϕ की 4 छड़ें

अथवा $4 \times 201 = 804$ mm²

$f_{ck} = 20$ N/mm², $f_y = 415$ N/mm²



चित्र 6.9—टी-धरन

(ii) यह मान कर कि N.A. फ्लैंज के भीतर स्थित है—

बल शून्य अक्ष, $x_u = \frac{0.87 f_y A_{st}}{0.36 f_{ck} b_f}$, ज्ञात मान रखने पर—

$$= \frac{0.87 \times 415 \times 804}{0.36 \times 20 \times 750} = 53.8 \text{ say } 54 \text{ mm}$$

चूँकि x_u, D_f = 100 mm से कम है। अत: N.A. फ्लैंज में ही पड़ता है।

$$x_{u\,\max} = \frac{700\,d}{1100 + 0.87 f_y} = 191.65 \text{ say } 192 \text{ mm}$$

(यह मान सारणी 5.7 से भी सीधे पढ़ा जा सकता है, जो 0·48 d अथवा 0·48 × 400 = 192 mm)

क्योंकि $x_u < x_{u\,max}$, अत: यह खण्ड न्यून प्रबलित है।

(iii) **प्रतिरोध आघूर्ण** (Moment of Resistance), M_u—

यदि $\frac{x_u}{d} < \frac{x_{u\,max}}{d}$ अथवा $\frac{54}{400} < \frac{192}{400}$

अथवा $0{\cdot}135 < 0{\cdot}48$, तब M_u के लिये निम्न सूत्र लगायें।

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u)$$
$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 804 (400 - 0{\cdot}42 \times 54)$$
$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 804 \times 377{\cdot}32 = 109530035$$

∴ $M_u = 109{\cdot}53$ kN.m उत्तर

उपरोक्त सूत्र निम्न रूप में भी लिखा जाता है।

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{A_{st} \times f_y}{b_f \times d \times f_{ck}}\right]$$

ज्ञात मान रखने पर—

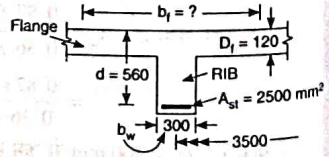
$$M_u = 0{\cdot}87 \times 415 \times 804 \times 400 \left[1 - \frac{804 \times 415}{750 \times 400 \times 20}\right]$$
$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 804 \times 400 \times 0{\cdot}944$$
$$= 109611314 \text{ Nmm}$$

∴ $M_u = 109{\cdot}61$ kN.m दोनों उत्तर लगभग समान हैं। उत्तर

उदाहरण 6.5 : एक T-धरन फर्श के लिये 120 mm मोटी प्रबलित कंक्रीट स्लैब डाली गयी है, जो 3·50 m के c/c अन्तराल पर डाले गये धरनों पर टिकी है। धरन 4·0 mm के शुद्धालम्बित पाट रखे गये हैं। वैब (Web) की चौड़ाई 300 mm और प्रभावी गहरायी 560 mm है। इसमें 2500 mm² तनन प्रबलन डाला गया है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयोग करते हुये, टी-धरन की प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए। सरलता के लिये बल शून्य अक्ष (N.A.) को फ्लैंज में स्थित मान लें। (UPTU)

हल : (i) प्रश्नानुसार—

$D_f = 120$ mm, $b_w = 300$ mm,
$d = 560$ mm, $A_{st} = 2500$ mm²
धरनों की आपसी दूरी = 3500 mm c/c
धरन का पाट = 4000 mm
b_f = ?
$f_{ck} = 20$ N/mm²,
$f_y = 415$ N/mm²



(सभी माप mm में)

चित्र 6.10

(ii) फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, b_f—

(a) $b_f = \frac{l_0}{6} + b_w + 6D_f$ अथवा (b) केन्द्र-से-केन्द्र धरनों का अन्तराल, जो भी न्यूनता है।

यहाँ $l_0 = 4000$ mm (शुद्ध आलम्बित धरन का पाट)

∴ $b_f = \frac{4000}{6} + 300 + 6 \times 120) = 1687$ mm — अथवा 3500 mm

उपरोक्त में न्यूनतम 1687 mm है। अत: $b_f = 1687$ mm ली जायेगी।

(iii) प्रश्न के अनुसार N.A. फ्लैंज में स्थित है।

∴ $x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b_f} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 2500}{0{\cdot}36 \times 20 \times 1687}$

$x_u = 74{\cdot}31$ mm

चूंकि x_u, $D_f = 120$ mm से कम है, अत: N.A. फ्लैंज में स्थित है। अत: प्रश्न की शर्त सही है।

(iv) **प्रतिरोध आघूर्ण (M_u)**—

$x_{u\,max.} = 0{\cdot}48 d$ (Fe 415 इस्पात के लिये सारणी 3.3 से)
$= 0{\cdot}48 \times 560 = 268{\cdot}8$ mm
∵ $268{\cdot}8 > 74{\cdot}31$ अर्थात् $x_{u\,max.} > x_u$, अत: यह एक अल्प प्रबलित (Under Reinforced) खण्ड है।

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u) \quad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर,

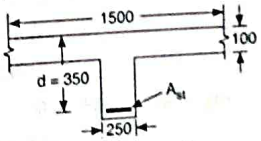
$$M_u = 0{\cdot}87 \times 415 \times 2500 (560 - 0{\cdot}42 \times 74{\cdot}31)$$
$$= 902625 \times 528{\cdot}79$$
$$= 477299074 \text{ N.mm}$$

∴ प्रतिरोधक आघूर्ण, $M_u = 477{\cdot}30$ kN.m उत्तर

उदाहरण 6.6 : एक T-धरन की फ्लैंज की चौड़ाई 1500 mm, मोटाई 100 mm, धरन की प्रभावी गहरायी 350 mm है। वैब 250 mm चौड़ी है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयोग करते हुये, T-धरन की चरम प्रतिरोध आघूर्ण तथा प्रबलन छड़ों का क्षेत्रफल ज्ञात कीजिए।

हल : (1) प्रश्नानुसार—

$f_{ck} = 20$ N/mm², $f_y = 415$ N/mm²,
$b_f = 1500$ mm, $D_f = 100$ mm,
$b_w = 250$ mm, $d = 350$ mm,



(सभी माप mm में)

चित्र 6.11-टी-धरन

(2) N.A. की सीमान्त गहरायी, $x_{u\,max.} = 0{\cdot}48\,d$ (सारणी 3.3 से)

$= 0{\cdot}48 \times 350 = 168$ mm

यहाँ $x_{u\,max.}$ D_f से अधिक है अर्थात् 168 mm > 100 mm । अत: N.A. वैब में पड़ता है।

(3) M_u के लिये सूत्र—

(i) $\frac{D_f}{d} = \frac{100}{350} = 0{\cdot}29$, यह मान 0·20 से अधिक है।

(ii) $\frac{D_f}{x_u} = \frac{100}{168} = 0{\cdot}60$, यह मान 0·42 से अधिक है।

अत: खण्ड की प्रतिरोध आघूर्ण ($M_{u\,Lim.}$)—

$$M_{u\,Lim.} = \frac{0{\cdot}36 x_{u\,max.}}{d}\left[1 - 0{\cdot}42\frac{x_{u\,max.}}{d}\right] f_{ck}\, b_w\, d^2 + \left[0{\cdot}45\, f_{ck}(b_f - b_w)\, y_f \left(d - \frac{y_f}{2}\right)\right] \quad ...(\text{सूत्र } 6.9)$$

उपरोक्त सूत्र में $\frac{x_{u\,max.}}{d} = \frac{168}{350} = 0{\cdot}48$ और

$y_f = (0{\cdot}15\, x_u + 0{\cdot}65\, D_f)$, परन्तु D_f से अधिक नहीं।

$= (0{\cdot}15 \times 168) + (0{\cdot}65 \times 100)$ mm, परन्तु 100 mm से अधिक नहीं।

$= (25{\cdot}2 + 65{\cdot}0)$ mm

$= 90{\cdot}2$ mm < 100 mm । अत: $y_f = 90{\cdot}2$ mm लिया जायेगा।

ज्ञात मान सूत्र में रखने पर—

$$M_{u\,Lim.} = 0{\cdot}36 \times 0{\cdot}48\,[1 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}48]\, 20 \times 250 \times (350)^2 + 0{\cdot}45 \times 20\left[(1500 - 250)\, 90{\cdot}2\left(350 - \frac{90{\cdot}2}{2}\right)\right]$$

$$M_u = [0{\cdot}1728 \times 0{\cdot}80 \times 5000 \times 122500] + [9 \times 1250 \times 90{\cdot}2 \times 304{\cdot}9]$$

$= (846{\cdot}72 \times 10^5) + 309397275$

$= 84672000 + 309397275$

$= 394069275$ N.mm = **394.07 kN.m** उत्तर

(4) सीमान्त प्रवलन इस्पात—$A_{st\,Lim.}$

कुल तनन = कुल सम्पीड़न

$T = C$

$$0{\cdot}87\, f_y\, A_{st\,Lim.} = (0{\cdot}36 f_{ck}\, b_w\, x_{u\,max}) + [0{\cdot}45 f_{ck}\,(b_f - b_w)\, y_f]$$

$$0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st\,Lim.} = [(0{\cdot}36 \times 20 \times 250 \times 168) + 0{\cdot}45 \times 20\,(1500 - 250) \times 90{\cdot}2]$$

$$361{\cdot}05\, A_{st\,Lim.} = 302400 + 1014750$$

$$\therefore \quad A_{st\,Lim.} = \frac{1317150}{361{\cdot}05}$$

$= \mathbf{3648\ mm^2}$ उत्तर

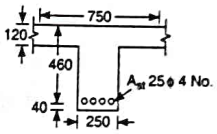
उदाहरण 6.7 : चित्र 6.12 में दर्शाये गयी एक T-धरन की प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए। खण्ड में M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान लें।

हल : (i) प्रश्नानुसार—

$b_f = 750$ mm, $D_f = 120$ mm, $b_w = 250$ mm

$d = 460$ mm, $A_{st} = 4 \times 491 = 1964$ mm²

M-20 = 20 N/mm², Fe 415 = 415 N/mm²



(सभी माप mm में)

चित्र 6.12

(ii) T-धरन की N.A. की गहरायी, $x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck}\, b_f}$

ज्ञात रखने पर, $x_u = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 1964}{0{\cdot}36 \times 20 \times 750} = 131{\cdot}3$ mm say 132 mm

$$x_{u\,max.} = \frac{700 d}{1100 + 0{\cdot}87 f} = \frac{700 \times 460}{1100 + 0{\cdot}87 \times 415} = 221 \text{ mm}$$

(यह मान सारणी 5.7 से भी सीधा पढ़ा जा सकता है अर्थात्

$x_{u\,max.} = 0{\cdot}48 \times d = 0{\cdot}48 \times 460 = 221$ mm)

(iii) T-धरन प्रतिरोध आघूर्ण, M_u—

M_u के लिये, B.I.S. कोड के अनुसार—

(a) $\frac{D_f}{d} = \frac{120}{460} = 0{\cdot}26$, यह मान 0·20 से अधिक है।

(b) $\frac{D_f}{x_u} = \frac{120}{132} = 0{\cdot}91$, यह मान 0·42 से अधिक है।

अत: टी-खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, M_u—

$$M_u = 0{\cdot}36\,\frac{x_u}{d}\left[1 - 0{\cdot}42\frac{x_u}{d}\right] f_{ck}\, b_w\, d^2 + \left[0{\cdot}45 f_{ck}(b_f - b_w) Y_f \left(d - \frac{Y_f}{2}\right)\right]$$

...(सूत्र)

उपरोक्त सूत्र में— $\frac{x_u}{d} = \frac{132}{460} = 0{\cdot}29$ तथा

$Y_f = (0{\cdot}15\, x_u + 0{\cdot}65\, D_f)$, परन्तु D_f से अधिक नहीं।

$= (0{\cdot}15 \times 132 + 0{\cdot}65 \times 120)$

$= 19{\cdot}8 + 78 = 97{\cdot}8$ mm यह मान $D_f = 120$ mm से कम है।

अत: Y_f का मान 97·8 लिया जायेगा।

ऋण मान रखने पर—

$$M_u = 0{\cdot}36 \times 0{\cdot}29\,[1 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}29]\, 20 \times 250 \times (460)^2 + \left[0{\cdot}45 \times 20 \left[(750 - 250)\, 97{\cdot}8 \left(460 - \frac{97{\cdot}8}{2}\right)\right]\right]$$

$= (0{\cdot}1044 \times 0{\cdot}88 \times 5000 \times 211600) + (9 \times 500 \times 97{\cdot}8 \times 411{\cdot}1)]$

$= 9720517 + 180925110 = 190645627$ N.mm

$\therefore \quad M_u = 190.65$ kN.m उत्तर

उदाहरण 6.8 : **एक ड्राइंग-हाल पर टी-धरन छत डाली गयी है। धरनों की मध्य से मध्य (c/c) दूरी 3 मी० तथा प्रभावी पाट 6 मी० है। स्लैब की मोटाई 120 mm है। छत पर 80 mm चूना कंक्रीट डालकर फिनिशिंग की गयी है। यदि छत पर 1500 N/m² का चल भार आ रहा हो तो मध्यवर्ती धरन का अभिकल्प कीजिये। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का प्रबलन इस्पात मान लें।**

हल : (1) टी-धरन खण्ड का उपयुक्त माप निर्धारित करते हुये—

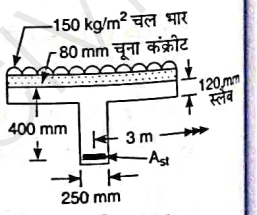
(i) धरन की गहराई, $\frac{S}{12}$ से $\frac{S}{20}$ ली जाती है।

यहाँ S = पाट है।

$\therefore$ गहराई $= \frac{S}{15} = \frac{6000}{15} = 400$ mm

(ii) धरन की चौड़ाई $= \frac{2}{3} \times 400$

$= 266$ mm say 250 mm



चित्र 6.13

(iii) स्लैब की मोटाई = 120 mm (प्रश्न में दे रखी है)। यह माप चित्र 6.13 में दर्शाये गये हैं।

(2) भार—टी-धरन पर 3·0 m चौड़ाई वाले फ्लैंज का भार आ रहा है।

(i) अध्यारोपित चल भार	$= 1 \times 3 \times 1500$	$= 4500$ N/m
(ii) चूना कंक्रीट का भार	$= 1 \times 3 \times 0{\cdot}08 \times 19200$	$= 4610$ N/m
(iii) 12 cm मोटी स्लैब का भार	$= 1 \times 3 \times 0{\cdot}12 \times 25000$	$= 9000$ N/m
(iv) रिब का भार	$= 1 \times 0{\cdot}25 \times 0{\cdot}28 \times 25000$	$= 1750$ N/m
	कुल भार	$= 19860$ N/m

फैक्टर (Factored) भार $= 19860 \times 1{\cdot}5 = 29790$ N/m

(3) **बंकन आघूर्ण**— $M_d = \frac{wl^2}{8}$

$\therefore \quad M_d = \frac{29790 \times 6^2}{8} = 134055$ N.m

$= 134055 \times 10^3$ N.mm

(4) **फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई**— $b_f = \frac{l_0}{6} + b_w + 6D_f$

$= \frac{6000}{6} + 250 + (6 \times 120)$

$= 1000 + 250 + 720 = 1970$ mm

अथवा 3000 mm (अगल-बगल के धरनों का अन्तराल), जो भी **न्यूनतम** है।

अत: फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई $b_f = 1970$ mm ली जायेगी।

टी-धरन की चौड़ाई = 250 mm (प्रश्न में दे रखी है)।

टी-धरन की प्रभावी गहरायी, 30 mm का आवरण रखने पर = 400 – 30 = 370 mm

(5) N.A. को फ्लैंज में स्थित मानते हुये—

N.A की गहरायी, $x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b_f} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}}{0{\cdot}36 \times 20 \times 1970} = 0{\cdot}026\, A_{st}$

(6) **न्यून प्रबलित (Under Reinforced) खण्ड के लिये**—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42\, x_u) \quad \text{...(सूत्र)}$$

$M_d = M_u$ रखने पर—

$134055 \times 10^3 = 0{\cdot}87 \times 415\, A_{st} (370 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}026\, A_{st})$

$134055000 = 133589\, A_{st} - 3{\cdot}95\, A_{st}^2)$

$A_{st}^2 - 33820\, A_{st} + 33938000 = 0$

यह एक द्विघातीय समीकरण है, हल करने पर— $A_{st} = 1035$ mm²

$\therefore \quad x_u = 0{\cdot}026 \times 1035 = 27$ mm, यह मान $D_f = 120$ mm से कम है।

अत: हमारी उपरोक्त मान्यत: के अनुरूप N.A. फ्लैंज में स्थित है।

20 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या—

$= \frac{1035}{314} = 3{\cdot}3$ say 4 छड़ें, व्यास 20 mm ।

(7) **प्रबलन इस्पात की जाँच**—

(a) धरन-खण्ड में न्यूनतम तनन इस्पात—

$A_{to} = \frac{0{\cdot}85 bd}{f_y} = \frac{0{\cdot}85 \times 250 \times 370}{415}$

$= 190$ mm² < 1035 mm², अत: सही है।

(b) धरन-खण्ड में अधिकतम तनन इस्पात—

$$A_{t\ max.} = 0{\cdot}04\, b \times D = 0{\cdot}04 \times 250 \times 400$$
$$= 4000\ \text{mm}^2 > 1035\ \text{mm}^2, \text{ अत: स्वीकार्य है।}$$

(8) कर्तन में जाँच—

अधिकतम कर्तन बल आलम्बों के निकट (d दूरी पर) होगा। धरन का शुद्ध पाट $6{\cdot}00 - d$ अर्थात् $6{\cdot}0 - 0{\cdot}37 = 5{\cdot}63$ m लेते हुये,

कर्तन बल, $$V_u = \frac{wL}{2} = \frac{29790 \times 5{\cdot}63}{2} = 83859\ \text{N}$$

कर्तन प्रतिबल, $$\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{83859}{250 \times 370} = 0{\cdot}91\ \text{N/mm}^2$$

तनन प्रबलन के लिये 4 छड़ें डाली गई हैं, जिनमें से दो छड़ों को आलम्बों से पाट/10 की दूरी पर समाप्त किया जायेगा। अत: आलम्बों के निकट, तली पर 2 छड़ें शेष रह जाती हैं।

$$p = \frac{100 \times A_{st_1}}{b \times d} = \frac{100 \times 2 \times 314}{250 \times 370} = 0{\cdot}68\%$$

M-20 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1) से $\tau_c = 0{\cdot}54\ \text{N/mm}^2$

चूँकि $\tau_v > \tau_c$ अत: धरन में कर्तन प्रबलन की आवश्यकता है। यह कर्तन प्रबलन उदग्र छल्लों के रूप में दिया जाता है।

(a) कंक्रीट खण्ड की कर्तन सामर्थ्य—

$$V_c = \tau_c\, bd = 0{\cdot}54 \times 250 \times 370 = 49950\ \text{N}$$

(b) शुद्ध कर्तन बल जिसके लिये कर्तन प्रबलन देना है—

$$V_{us} = 83859 - 49950 = 33909\ \text{N}$$

(c) 8 mm व्यास के दो टाँगों वाले उदग्र छल्लों का अन्तराल—

$$s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y \times A_{sv} \times d}{V_{us}} \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times (2 \times 50) \times 370}{33909} = 394\ \text{mm c/c}$$

परन्तु यह दूरी (Spacing) $0{\cdot}75d = 0{\cdot}75 \times 370 = 277$ mm या 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से अधिक नहीं होगी। अत: 8 mm ϕ के दो-टाँगों वाले छल्ले (Stirrups) 270 mm c/c पर लगाये जायेंगे।

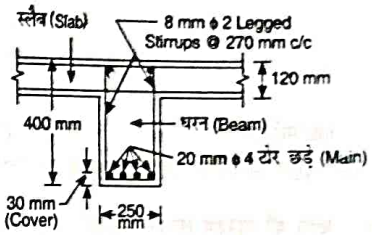
(d) न्यूनतम कर्तन प्रबलन के आधार पर 8 mm ϕ के छल्लों का अन्तराल—

$$s = \frac{A_{sv} \times f_y}{0{\cdot}4 \times b} = \frac{2 \times 50 \times 415}{0{\cdot}4 \times 250} = 415\ \text{mm c/c}$$

अत: ऊपर ज्ञात दूरी सही है। धरन की पूरी लम्बाई में छल्लों का अन्तराल, सरलता की दृष्टि से, 270 mm ही रखें।

(9) इस्पात का विवरण तथा चित्र—

अभिकल्पित प्रबलन इस्पात का ब्योरा चित्र 6.14 में दिखाया गया है।



चित्र 6.14

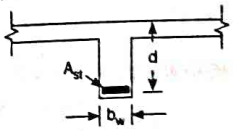
§ 6.7. T-धरन की मितव्ययी गहराई (Economical Depth of T-Beam) :

बड़े पाटों तथा भारी भारण के लिये टी-धरण अपनाये जाते हैं। दोनों परिस्थितियों में धरन-खण्ड पर्याप्त बड़ा रखना पड़ता है। निर्माण को मितव्ययी रखने के लिये, इस्पात तथा कंक्रीट की लागत पर विचार करना होता है, विशेष तौर पर इस्पात के मूल्य पर, जो कंक्रीट से कई गुना (60 से 75 गुना) अधिक होता है।

T-धरन में, सम्पीडन क्षेत्रफल, फ्लैंज की उपलब्धता के कारण काफी बड़ा होता है। अत: खण्ड के सन्तुलित अभिकल्पन के लिये तनन इस्पात की मात्रा काफी अधिक बढ़ानी पड़ती है। इसलिये खण्ड सन्तुलित होते हुये भी मितव्ययी नहीं रहता है।

छड़ों की संख्या की दृष्टि से अथवा स्तम्भ (आलम्ब) की चौड़ाई को देखते हुये, धरन-खण्ड की चौड़ाई प्राय: पूर्व निर्धारित होती है। अत: धरन की गहराई को इस प्रकार समंजित किया जाये कि खण्ड के निर्माण के लिये कंक्रीट अधिकतम मात्रा में और इस्पात न्यूनतम मात्रा में प्रयोग करना पड़े और कुल मिलाकर धरन की लागत न्यूनतम हो। धरन खण्डों के माप में भिन्नता होने पर भी फरमाबन्दी (Form Work) की लागत लगभग समान रहती है।

अत: **T-धरन की वह प्रभावी गहराई, जिससे खण्ड में प्रबलन इस्पात और कंक्रीट दोनों पदार्थों का सम्मिलित मूल्य न्यूनतम हो, मितव्ययी गहराई कहलाती है।**



चित्र 6.15

T-धरन की मितव्ययी गहराई निम्न प्रकार ज्ञात की जाती है—

माना r_t = एक घन मीटर इस्पात का मूल्य

r_c = एक घन मीटर कंक्रीट का मूल्य

और r = एक घन मीटर इस्पात तथा एक घन मीटर कंक्रीट के मूल्यों का अनुपात

$$\therefore \quad r = \frac{r_t}{r_c}$$

धरन की एक मीटर लम्बाई की लागत $\propto [(b_w \times d)\, r_c + A_{st} \times r_t]$

r_c से भाग देने पर, $\propto [(b_w \times d) + A_{st} \times r]$

परन्तु, $$A_{st} = \frac{M}{f_y\, jd}$$ यहाँ jd उत्तोलक भुजा है।

$$\therefore \quad \text{धरन की लागत} \propto \left[(b_w \times d) + \frac{r\,M}{\sigma_{st}\,jd}\right]$$

इस समीकरण में b_w का मान व्यावहारिक दृष्टि से निर्धारित कर दिया जाता है, अत: d के मान में उतार-चढ़ाव सम्भव है, जो धरन की प्रभावी गहराई है।

धरन की न्यूनतम लागत के लिये— $\dfrac{d\,(\text{मूल्य})}{d\,(\text{गहराई})} = 0$

$$\frac{d}{d(d)}\left[(b_w d) + \frac{r\,M}{f_y\,jd}\right] = 0$$

$$b_w - \frac{r\,M}{f_y\,jd^2} = 0$$

या $$d^2 = \frac{r\,M}{f_y\,j\,b_w}$$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{r\,M}{f_y\,j\,b_w}} \qquad \ldots(6.10)$$

यहाँ d = धरन की प्रभावी गहराई,

M = खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण,

r = इस्पात तथा कंक्रीट के एक घनमीटर के मूल्यों का अनुपात। सामान्यत: यह 60 से 75 तक लिया जाता है।

f_y = इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल,

j = उत्तोलक भुजा स्थिरांक, सामान्यत: इसका मान 0·9 लिया जाता है,

b_w = धरन खण्ड की चौड़ाई

उदाहरण 6.9 : एक प्रबलित सीमेंट कंक्रीट टी-धरन की मितव्ययी गहराई (Economical Depth) ज्ञात करें, जिसका विवरण इस प्रकार है–बंकन आघूर्ण (B.M.) = 1·1 × 10⁸ N-mm, इस्पात/कंक्रीट का मूल्य अनुपात = 70, टी-धरन के फ्लैंज की चौड़ाई = 300 mm। कंक्रीट तथा इस्पात में चरम प्रतिबल क्रमश: 20 N/mm² व 415 N/mm² मान लें।

हल : अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M_u = 1{\cdot}1 \times 10^8$ N-mm

इस्पात/कंक्रीट का मूल्य $= 70$

टी-धरन की मितव्ययी गहराई के लिये, निम्न सूत्र का प्रयोग करते हुये—

$$d = \sqrt{\frac{r\,M}{f_y \times j \times b_w}}$$

उपरोक्त में d = धरन खण्ड की प्रभावी गहराई,

$$r = \frac{\text{इस्पात का मूल्य}}{\text{कंक्रीट का मूल्य}} = 70$$

$f_y = 415$ N/mm², $j = 0{\cdot}9$ and $b_w = 300$ mm

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{70 \times 110{,}000{,}000}{415 \times 0{\cdot}9 \times 300}} = 262 \text{ mm}$$ **उत्तर**

(II) दोहरे प्रबलित T-धरन
(DOUBLY REINFORCED T-BEAM)

§ 6.8. आवश्यकता:

वास्तुकला (आर्किटक्चरल) दृष्टि से अथवा अन्य किसी कारणवश जब धरन की गहरायी सीमित कर दी जाती है, तब सम्पीडन क्षेत्र की सामर्थ्य बढ़ाने के लिये, धरन के ऊपरी क्षेत्र में भी प्रबलन दिया जाता है। अत: ऐसे टी-धरन को, जिसमें सम्पीडन तथा तनन, दोनों क्षेत्रों में प्रबलन छड़ें डाली गयी हैं, **दोहरे प्रबलित टी-धरन** कहलाते हैं। इस T-धरन का विश्लेषण, दोहरे प्रबलित धरनों की भाँति किया जाता है। दोहरे प्रबलित टी-धरन मितव्ययी नहीं होते हैं, क्योंकि सम्पीडन इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल से काफी कम प्रतिबल उपजते हैं। दोहरे प्रबलित टी-धरन में प्रयुक्त अतिरिक्त प्रतीक-चिन्ह निम्न हैं।

A_{sc} = सम्पीडन इस्पात का क्षेत्रफल,

f_{sc} = सम्पीडन इस्पात में उपजे प्रतिबल,

f_{cc} = सम्पीडन प्रबलन के परिक्षेत्र में कक्रीट में उपजे प्रतिबल,

d' = सम्पीडन छड़ों पर प्रभावी आवरण (ऊपरी सिरे से)।

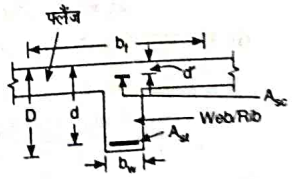
§ 6.9. बल शून्य अक्ष तथा प्रतिरोध आघूर्ण (N.A. and M_u) :

दोहरे प्रबलित T-धरन में, कुल सम्पीडन निम्न पर आँकी जाती है और इनका योगफल होती है—

(i) कंक्रीट द्वारा वहन सम्पीडन (C_1)

(ii) (सम्पीडन) इस्पात द्वारा वहन सम्पीडन (C_2)

अत: $C = C_1 + C_2$



चित्र 6.16

Case 1. जब N.A. फ्लैंज (Flange) में स्थित है—

(i) $$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - (f_{sc} - f_{cc}) A_{sc}}{0{\cdot}36 f_{ck}\, b_f} \qquad \ldots(6.10)$$

(ii) $$M_u = 0{\cdot}36 f_{ck}\, b_f\, x_u (d - 0{\cdot}42 x_u) + (f_{sc} - f_{cc}) A_{sc} (d - d') \qquad \ldots(6.11)$$

Case 2. जब N.A. वैब (Web) में स्थित है—इसकी निम्न दो स्थिति (a) व (b) बनती है।

(a) $\frac{D_f}{d} \le 0{\cdot}20$—प्रतिबल ब्लाक (Stress Block) के आयत-भाग की गहरायी फ्लैंज-गहरायी से **अधिक** है।

(i) कंक्रीट द्वारा वहन सम्पीडन—

$$C_1 = 0{\cdot}36 f_{ck} b_w x_u + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) D_f$$

(ii) सम्पीडन इस्पात द्वारा वहन सम्पीडन—

$$C_2 = f_{sc} A_{sc} - f_{cc} A_{sc}$$

कुल सम्पीडन बल, $C = C_1 + C_2$

(iii) तनन इस्पात द्वारा वहन तनन—

$$T = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$$

(iv) कुल तनन (T) = कुल सम्पीडन (C)

$$0{\cdot}87 f_y A_{st} = 0{\cdot}36 f_{ck} b_w x_u + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) D_f + A_{sc} (f_{sc} - f_{cc})$$

(v) बल शून्य अक्ष (N.A.)—

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) D_f - (f_{sc} - f_{cc}) A_{sc}}{0{\cdot}36 f_{ck} b_w} \quad ...(6.12)$$

(vi) प्रतिरोध आघूर्ण—

$$M_u = 0{\cdot}36 f_{ck} b_w x_u (d - 0{\cdot}42 x_u) + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) D_f \left(d - \frac{d_f}{2}\right) + (f_{sc} - f_{cc}) A_{sc} (d - d') \quad ...(6.13)$$

(b) $\frac{D_f}{d} > 0{\cdot}20$—प्रतिबल ब्लाक (Stress Block) के आयत-भाग (Rectangular Portion) की गहरायी फ्लैंज-गहरायी से **कम** है।

(i) **बल शून्य अक्ष (N.A.)**—इस स्थिति में D_f (Thickness of flange) को Y_f मान लिया जाता है।

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) Y_f - (f_{sc} - f_{cc}) A_{sc}}{0{\cdot}36 f_{ck} b_w} \quad ...(6.14)$$

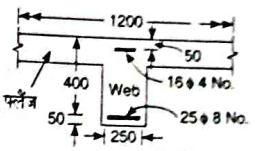
(यहाँ $Y_f = 0{\cdot}15 x_u + 0{\cdot}65 D_f$, परन्तु D_f से कम)

(ii) **प्रतिरोध आघूर्ण**—

$$M_u = 0{\cdot}36 f_{ck} b_w x_u (d - 0{\cdot}42 x_u) + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) Y_f \left(d - \frac{Y_f}{2}\right) + (f_{sc} - f_{cc}) A_{sc} (d - d') \quad ...(6.15)$$

6.9.1. धरनों में अधिकतम तनन प्रबलन (Limiting Tensile Steel)—विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट तथा इस्पात की श्रेणी के लिये ये मान सारणी 3.4 में दिये गये हैं।

उदाहरण 6.10 : चित्र 6.17 में दर्शाये गये 4·0 मी० शुद्धालम्बित पाट वाले एक दोहरी प्रबलित कंक्रीट T-धरन की प्रतिरोध आघूर्ण की गणना कीजिए। T-धरनों का अन्तराल (केन्द्र से केन्द्र) 1·20 मी० है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी के इस्पात का प्रयोग करें।



(सभी माप mm में)

चित्र 6.17

हल : (i) प्रश्नानुसार—

$D_f = 1200$ mm, $D = 450$ mm, $d = 400$ mm, $b_w = 250$ mm

$d' = 50$ mm, $A_{st} = 8 \times 491 = 3928$ mm^2, $A_{sc} = 4 \times 201 = 804$ mm^2

धरन का पाट = 4000 mm, $f_{ck} = 20$ N/mm^2, $f_y = 415$ N/mm^2

(ii) **T-धरन के फ्लैंज b_f की प्रभावी चौड़ाई**—यह निम्न का **न्यूनतम** ली जाती है—

(i) $b_f = \frac{l_0}{6} + b_w + 6 D_f$ अथवा

(ii) b_f = धरनों का अन्तराल (केन्द्र से केन्द्र)

यहाँ $l_0 = 4{\cdot}0$ m (शुद्ध आलम्बित धरन)

अत: $b_f = \frac{4000}{6} + 250 + (6 \times 120)$ अथवा 1200 mm

$= 1637$ mm अथवा 1200 mm, जो भी न्यूनतम है।

अत: $b_f = 1200$ mm लिया जायेगा।

(iii) **N.A. की गहरायी**, इसे फ्लैंज के भीतर मानते हुए—

$$0{\cdot}87 f_y A_{st} = (0{\cdot}36 f_{ck} b_f x_u) + (f_{sc} A_{sc} - f_{cc} A_{sc})$$

$f_{cc} A_{sc}$ की उपेक्षा (Neglect) करते हुये, क्योंकि इसका मान बहुत ही कम है।

$$0{\cdot}87 f_y A_{st} = 0{\cdot}36 f_{ck} b_f x_u + f_{sc} A_{sc}$$

$$\therefore \quad x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - f_{sc} A_{sc}}{0{\cdot}36 f_{ck} b_f} \quad ...(\text{सूत्र})$$

f_{sc} के लिये— $\frac{d'}{d} = \frac{50}{400} = 0{\cdot}125$ $\therefore$ $f_{sc} = 353$ N/mm^2 ...(सारणी 5.8)

ज्ञात मान रखने पर—

$$x_u = \frac{(0{\cdot}87 \times 415 \times 3928) - (353 \times 804)}{0{\cdot}36 \times 20 \times 1200}$$

$$x_u = \frac{1418205 - 283812}{8640} = 131{\cdot}3 \text{ mm}$$

यह मान $D_f = 120$ mm से अधिक है। अत: N.A. फ्लैंज के बाहर (अर्थात् वैब में) स्थित है (हमारी उपरोक्त कल्पना सही नहीं थी)।

अत: N.A. वैब (Web) में पड़ रहा है।

$$\therefore \quad x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - 0{\cdot}45 f_{ck}(b_f - b_w) Y_f - (f_{sc} - f_{cc}) A_{sc}}{0{\cdot}36 f_{ck} b_w} \quad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ $\frac{D_f}{d} = \frac{120}{400} = 0{\cdot}30 > 0{\cdot}20$

चूँकि $\frac{D_f}{d} > 0{\cdot}20$, इस स्थिति में फ्लैंज की मोटाई D_f को Y_f में बदल दिया जाता है। Y_f का मान कोड के अनुसार—

$Y_f = 0{\cdot}15 x_u + 0{\cdot}65 D_f$, परन्तु यह मान D_f से **कम** होना चाहिये

$= 0{\cdot}15 x_u + 0{\cdot}65 \times 120 = 0{\cdot}15 x_u + 78$ mm

अत: $Y_f = 0{\cdot}15 x_u + 78$

अत: Y_f का मान, x_u ज्ञात करने के पश्चात् निर्धारित होगा।

N.A. के लिये—

$$x_u = \frac{(0{\cdot}87 \times 415 \times 3928) - [0{\cdot}45 \times 20(1200 - 250)(0{\cdot}15 x_u + 78)] - (353 \times 804)}{0{\cdot}36 \times 20 \times 250}$$

(f_{cc} का मान बहुत कम होता है। अत: इसे छोड़ दिया जाता है)

$$x_u = \frac{1418205 - 8550(0{\cdot}15 x_u + 78) - 283812}{1800}$$

$$= \frac{1418205 - 1283 x_u - 666900 - 283812}{1800}$$

$$1800 x_u + 1283 x_u = 1418205 - 666900 - 283812$$

$$x_u = \frac{467493}{3083} = 151.64 \text{ mm} > D_f, \text{ अत: स्वीकार्य है।}$$

$$\therefore \quad x_u = \mathbf{152 \text{ mm}} \text{ (say)}$$

(iv) M-20 कंक्रीट और Fe 415 इस्पात के लिये—

$x_{u \text{ Lim.}} = 0{\cdot}48 d$ ...(सारणी 3.3 से)

$= 0{\cdot}48 \times 400 = 192$ mm

चूँकि $x_u < x_{u \text{ Lim.}}$ अर्थात् 152 mm < 192 mm, यह खण्ड अल्प प्रबलित है।

अत: $Y_f = 0{\cdot}15 \times 152 + 78 = 100{\cdot}8 \text{ mm} < D_f$

(v) प्रतिरोध आघूर्ण (M_u)—

$$M_u = 0{\cdot}36 f_{ck} b_w \times x_u (d - 0{\cdot}42 x_u) + 0{\cdot}45 f_{ck}(b_f - b_w) Y_f \left(d - \frac{Y_f}{2}\right) + (f_{sc} - f_{cc}) A_{sc} (d - d')$$

(f_{cc} को छोड़ते हुये, क्योंकि इसका मान बहुत ही कम होता है)

$$M_u = 0{\cdot}36 \times 20 \times 250 \times 152 (400 - 0{\cdot}42 \times 152) + 0{\cdot}45 \times 20 (1200 - 250) \times 100{\cdot}8 \times \left(400 - \frac{100{\cdot}8}{2}\right) + 353 \times 804 (400 - 50)$$

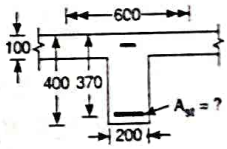
$= [273600(400 - 63{\cdot}84)] + [9(950) \times 100{\cdot}8 \times 349{\cdot}6] + [283812 \times 350]$

$= 91973376 + 301299264 + 99334200$

$= 492606840$ N.mm

$= \mathbf{492{\cdot}61 \text{ kN.m}}$ **उत्तर**

उदाहरण 6.11 : चित्र 6.18 में दर्शाये गये T-धरन में 300 kN.m की चरम बंकन आघूर्ण उपज रही है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयोग करते हुये, धरन-खण्ड में प्रबलन इस्पात की मात्रा निर्धारित कीजिए।



(सभी माप mm में)

चित्र 6.18

हल : (i) प्रश्नानुसार—

$b_f = 600$ mm, $D_f = 100$ mm, $D = 400$ mm, $b_w = 200$ mm

$d = 400 - 30 = 370$ mm, $f_{ck} = 20$ N/mm^2, $f_y = 415$ N/mm^2

$M_u = 300$ kN.m

(ii) सीमान्त बल शून्य अक्ष (N.A.)—

$x_{u \text{ Lim.}} = 0{\cdot}48 d$ —(f_{ck} 20 व f_y 415 के लिये)

$= 0{\cdot}48 \times 370 = 177{\cdot}6$ Say 178 mm

T-धरन को एकल-प्रबलित खण्ड मानते हुये तथा N.A. को वैब में स्थित मानकर, सन्तुलित खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण—

जबकि $\frac{D_f}{d} = \frac{100}{370} = 0{\cdot}27$, जोकि 0·20 से अधिक है,

अर्थात् 0·27 > 0·20, अत: M_u के लिये अग्र सूत्र लगेगा—

civilguru.net

(iii) $M_{u\,Lim} = 0{\cdot}36 \frac{x_{u\,max}}{d}\left[1 - 0{\cdot}42\frac{x_{u\,max}}{d}\right] f_{ck}\, b_w\, d^2$

$$+\left[0{\cdot}45 f_{ck}\,(b_f - b_w)\,Y_f\left(d - \frac{Y_f}{2}\right)\right] \quad \text{...(पूर्व)}$$

सूत्र में— $Y_f = 0{\cdot}15\, x_u + 0{\cdot}65\, D_f$, परन्तु D_f से अधिक नहीं,

$= 0{\cdot}15 \times 178 + 0{\cdot}65 \times 100 = 91{\cdot}7$ say 92 mm

अत: Y_f का मान 92 mm लिया जायेगा (100 mm नहीं)

ज्ञात मान रखने पर—

$$M_{u\,Lim.} = \left[0{\cdot}36 \times \frac{178}{370}\left(1 - 0{\cdot}42 \times \frac{178}{370}\right) 20 \times 200 \times (370)^2\right]$$

$$+\left[0{\cdot}45 \times 20(600 - 200)92\left(370 - \frac{92}{2}\right)\right]$$

$= 0{\cdot}1732\,(1 - 0{\cdot}202)\, 5476 \times 10^5 + (9 \times 400 \times 92 \times 324)$

$= 0{\cdot}1732 \times 0{\cdot}798 \times 5476 \times 10^5 + 107308800$

$= 75686000 + 107308800$

$= 182994800$ N.mm

प्रश्न के अनुसार $M_u = 300000000$ N.mm

अत: $M_u > M_{u\,Lim.}$ अर्थात् 300 kN.m > 182.994800 kN.m

अत: T-धरन को **दोहरा प्रबलित** अभिकल्पित करना होगा।

(iv) सन्तुलित खण्ड के लिये तनन इस्पात—

$$M_{u\,Lim.} = 0{\cdot}87 f_y\, A_{st_1}\,(d - 0{\cdot}42\, x_{u\,Lim.})$$

$$182994800 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st_1}\,(370 - 0{\cdot}42 \times 178)$$

$$\therefore \quad A_{st_1} = \frac{182994800}{0{\cdot}87 \times 415 \times 295{\cdot}24} = \mathbf{1717}\ \text{mm}^2 \quad \text{...(i)}$$

(v) $M_{u_2} = M_u - M_{u\,Lim.}$

$= 300000000 - 182994800$ N.mm

$= 117005200$ N.mm

सम्पीडन इस्पात पर 30 mm का आवरण (effective cover) लेने पर,

$$\frac{d'}{d} = \frac{30}{370} = 0{\cdot}081, \quad f_{sc} = 353\ \text{N/mm}^2 \text{ —(सारणी 5.8 से)}$$

सम्पीडन इस्पात की मात्रा (A_{sc}) —

$$M_{u_2} = f_{sc}\, A_{sc}\,(d - d')$$

$$117005200 = 353 \times A_{sc}\,(370 - 30)$$

$$\therefore \quad A_{sc} = \frac{117005200}{353 \times 340} = \mathbf{975}\ \text{mm}^2 \quad \text{...(ii)}$$

20 mm व्यास की छड़ें अपनाने पर, छड़ों की संख्या $= \frac{975}{314} = 3{\cdot}10$ say 4 छड़ें।

(vi) M_{u_2} के लिये तनन क्षेत्र में अतिरिक्त तनन प्रबलन (A_{st_2}) —

$$A_{st_2} = \frac{f_{sc} \times A_{sc}}{0{\cdot}87 f_y} = \frac{353 \times 975}{0{\cdot}87 \times 415} = \mathbf{954}\ \text{mm}^2 \quad \text{...(iii)}$$

धरन के तनन क्षेत्र में कुल तनन इस्पात $= A_{st_1} + A_{st_2}$

(i) + (iii) $= 1717 + 954 = 2671$ mm^2

25 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या

$$= \frac{2671}{491} = 5{\cdot}44 \text{ say } 6 \text{ छड़ें।}$$

(vii) **जांच** (Check)—

(a) न्यूनतम इस्पात, $A_{st_0} = \frac{0{\cdot}85 b d}{f_y} = \frac{0{\cdot}85 \times 200 \times 370}{415} = 152\ \text{mm}^2$

यह मान अभिकल्पित मान = 2671 mm^2 से कम है। अत: ठीक है।

(b) अधिकतम इस्पात, $A_{st_{00}} = 0{\cdot}04\, b\, D = 0{\cdot}04 \times 200 \times 400 = 3200\ \text{mm}^2$

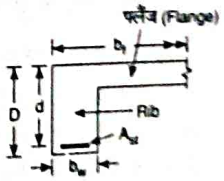
यह मान अभिकल्पित मान = 2671 mm^2 से अधिक है, अत: धरन खण्ड में डाला गया तनन प्रबलन स्वीकार्य है।

(III) L-धरन (L-BEAM)

§ 6.10. आकृति (Shape) :

जब पाटन-स्लैब रिब के एक तरफ ही बढ़ी रहती है, तब आकृति के अनुसार इसको L-धरन कहते हैं। छत-स्लैब के सिरे जब खड़े दीवार पर नहीं टिके रहते हैं, वहाँ पर L-धरन दिये जाते हैं। जीनों (Stairs) व लिफ्टों के लिये भी L-धरन का निर्माण किया जाता है।

असम भारित होने के कारण, L-धरन का गुरुत्व केन्द्र, रिब के ऊर्ध्वाधर अक्ष से बाहर निकल जाता है। इस कारण खण्ड के पलटने



चित्र 6.19 L-धरन

का प्रभाव उत्पन्न हो जाता है। अतः L-धरन बकल आघूर्ण के साथ-साथ मरोड़ आघूर्ण (Torsional Moment) के लिये अभिकल्पित करने होते हैं। L-धरन के लिये कंक्रीट के अनुमत प्रतिबल 30% बढ़ा लिये जाते हैं।

6.10-1. माप (Dimensions)—L-धरन में फ्लैंज की मोटाई, रिब की चौड़ाई, धरन की गहराई इत्यादि T-धरन की भाँति ही निर्धारित किये जाते हैं। L-धरन के फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, निम्न का न्यूनतम ली जाती है—

(i) $b_f = \frac{l_0}{12} + b_w + 3D_f$ अथवा

(ii) $b_f = b_w + \frac{1}{2} \times$ आस-पास के धरनों के मध्य शुद्ध दूरी —(6.16)

आस-पास स्थित L-धरन के लिये फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, निम्न का न्यूनतम ली जाती है—

(i) $b_f = \left[\frac{0.5 l_0}{\left(\frac{l_0}{b}\right) + 4}\right] + b_w$ अथवा (ii) $b_f = b$ —(6.17)

उपरोक्त में—

b_f = फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई,

l_0 = वह धरन के शून्य आघूर्ण वाले बिन्दुओं के मध्य दूरी है। सतत धरनों में वह मान 0·7 × प्रभावी फट लिया जाता है।

b_w = रिब की चौड़ाई, D_f = फ्लैंज की मोटाई,

b = फ्लैंज की वास्तविक चौड़ाई।

6.10-2. खण्ड सामर्थ्य (Strength of Section)—यह टी-धरनों की भाँति ज्ञात की जाती है।

प्रश्नावली–6

1. स्लैब को सामान्य धरनों के स्थान पर टी-धरन क्यों मितव्ययी सिद्ध होते हैं? [B.T.E.]
2. (i) एक टी-धरन का अनुप्रस्थ परिच्छेद खींचकर उसके घटकों के नाम लिखें।
   (ii) टी-धरन निर्माण के मुख्य चरण लिखिये।
3. एक T-धरन के अभिकल्पन तथा खण्ड में उत्पन्न प्रतिबलों की जाँच की प्रक्रिया लिखिये। [B.T.E.]
4. एकाश्मी डाले गये टी-धरन व स्लैब का संरचनात्मक व्यवहार स्पष्ट करें। [B.T.E.]
5. एक टी-धरन के फ्लैंज की चौड़ाई 1250 mm तथा गहराई 100 mm है। धरन की कुल गहराई (फ्लैंज सहित) 500 mm है और रिब की चौड़ाई 250 mm है। यदि रिब की तली में 50 mm के प्रभावी आवरण पर 22 mm व्यास की 8 छड़ें तनन प्रबलन के रूप में डाली गयी हों तो टी-धरन की बल शून्य रेखा की स्थिति ज्ञात कीजिये। [B.T.E.]

6. एक टी-धरन फर्श में आप किस प्रकार निर्णय करेंगे कि फटन-स्लैब की कितनी चौड़ाई टी-धरन क्रिया के लिये फ्लैंज के रूप में कार्य करती है? [B.T.E.]
7. एक कमरे का माप 6 m × 9 m है। इसमें दो टी-धरन 300 mm × 500 mm के डाले गये हैं। यदि स्लैब की मोटाई 100 mm हो तो फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, जो धरन के साथ कार्य करेगी, ज्ञात कीजिये। (उत्तर : 1900 mm)
8. एक टी-धरन की मितव्ययी गहराई (Economical Depth) से आप क्या समझते हैं? इसे आप कैसे ज्ञात करते हैं, लिखिये? [B.T.E.]
9. एक आर० सी० सी० टी-धरन की कुल गहराई (स्लैब सहित) 440 mm है। फ्लैंज की चौड़ाई 1500 mm तथा रिब की चौड़ाई 240 mm है। स्लैब की मोटाई 120 mm है। रिब में 25 mm व्यास की 4 छड़ें एक ही तल पर, तली से 40 mm की दूरी पर डाली गयी हैं। खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिये। [B.T.E.]
10. एक T-धरन फर्श की स्लैब की मोटाई 120 mm है। धरनों का अन्तराल, केन्द्र से केन्द्र 3·0 मी० है। धरन की चौड़ाई 300 mm, प्रभावी गहराई 550 mm और फट 4·0 m है। धरन के तनन क्षेत्र में 20 mm व्यास की 8 छड़ें डाली गयी हैं। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात का प्रयोग करते हुये, T-धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए। (उत्तर : 470·26 kN.m)
11. एक एकल-प्रबलित टी-धरन के फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई 1750 mm तथा मोटाई 150 mm है। टी-धरन के रिब में, जिसकी चौड़ाई 300 mm है, 24 mm ϕ की 8 छड़ें फ्लैंज की ऊपरी सतह से 500 mm की गहराई पर डाली गई हैं। खण्ड की बल शून्य रेखा की स्थिति ज्ञात करो।
12. एक छत के टी-धरन की तनन इस्पात तक की गहराई 760 mm है और इसका फ्लैंज 1520 mm चौड़ा तथा 100 mm मोटा है। वैब की मोटाई 300 mm है। यदि इसमें 4·35 × 10^8 N-mm का फैक्टर प्रतिरोध आघूर्ण उपलब्ध हो, तो आवश्यक न्यूनतम प्रबलन का डिजाइन कीजिये। M-20 और Fe 415 के मैटीरियल लें। [B.T.E.]
13. एक टी-धरन रचना में स्लैब की मोटाई 140 mm है और धरन की चौड़ाई 300 mm है। टी-धरन 3·5 मी० के अन्तराल पर 6 मी० के प्रभावी फट पर डाले गये हैं। स्लैब फर्श पर 5 kN/m² का अध्यारोपित भार आ रहा है। टी-धरन का अभिकल्पन कीजिये। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात मान लें।
14. एक टी-धरन फर्श में स्लैब की मोटाई 100 mm है जो धरनों के साथ एकाश्मी डाली गयी है। धरनों को केन्द्र से केन्द्र दूरी 3 मी० है। धरन का प्रभावी फट 6 मी० है। रिब की चौड़ाई 300 mm है और यह स्लैब से 600 mm नीचे बढ़े हुये हैं। रिब में 25 mm व्यास की 4 छड़ें, तली से 40 mm के आवरण पर डाली गयी हैं। फर्श पर अधिकतम कितना भार प्रति वर्ग मी० रखा जा सकता है, ज्ञात कीजिये। प्रयोग की गयी कंक्रीट M-20 ग्रेड की तथा प्रबलन इस्पात Fe 415 ग्रेड का मान लें। [B.T.E.]
15. एक छत कमरे का माप 15 m × 7 m है। इसकी छत के लिये 4 टी-धरन 3 मी० के अन्तराल पर डाले गये हैं। स्लैब की मोटाई 125 mm है और छत पर 3 kN/m² का चल भार तथा 1 kN/m² का फर्श सम्पूर्ति भार आ रहा है। छत के लिये मध्य धरन का अभिकल्पन कीजिये। M-20 श्रेणी की कंक्रीट का प्रयोग करें। इस्पात 415 N/mm² मान लें।

civilguruji

16. एक टी-धरन का फ्लैंज 750 mm × 120 mm तथा रिब 250 mm × 500 mm (प्रभावी) है। धरन के तनन क्षेत्र मे 3500 mm^2 प्रबलन इस्पात डाला गया है। इस धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करो। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान लें। *[B.T.E. Delhi]*
(उत्तर : $M_u = 410$ kN.m)

17. एक प्रबलित कंक्रीट टी-धरन की स्लैब 1800 mm चौड़ी तथा 125 mm मोटी है। धरन में 12 छड़ें (दो पंक्तियों मे) 20 mm ϕ की, 600 mm की प्रभावी गहराई पर प्रबलन के रूप में डाली गयी है। यदि धरनो के केन्द्र से केन्द्र दूरी 3 मी० है तथा पेटे (Rib) की चौड़ाई 350 mm है तो धरन पर सुरक्षित समान-वितरित भार (U. D. L.) ज्ञात करें, जो फर्श वहन कर सके। धरनों पर प्रभावी पाट 5 मी० है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का प्रबलन इस्पात मान लें।

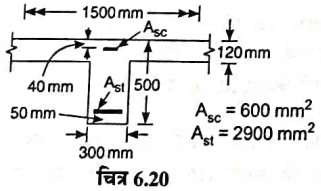
18. एक टी-धरन की तनन इस्पात तक गहराई 750 mm है। इसके फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई 1500 mm तथा मोटाई 100 mm है। रिब की चौड़ाई 350 mm है। $4{\cdot}5 \times 10^8$ N-mm का चरम प्रतिरोध आघूर्ण वहन करने के लिये तनन इस्पात की मात्रा ज्ञात करें।

19. एक सभा भवन की छत के लिये प्रबलित कंक्रीट टी-धरन एवं स्लैब का निर्माण किया जाना है। निम्नलिखित आँकड़े प्रयोग करके एक मध्यवर्ती टी-धरन के परिच्छेद का अभिकल्पन कीजिये—
(i) टी-धरन का प्रभावी पाट = 8 m, (ii) टी-धरनों की एक दूसरे से दूरी = 3 m (केन्द्र से केन्द्र), (iii) आर० सी० सी० स्लैब की मोटाई = 120 mm, (iv) स्लैब पर अध्यारोपित भार = 400 kg/m^2, (v) रिब की मोटाई = 250 mm, (vi) M-20 और Fe 415 के मैटीरियल प्रयोग करें।

20. एक T-धरन की प्रभावी फ्लैंज 700 mm, मोटाई = 100 mm, वैब की गहरायी 500 mm (फ्लैंज की तली से तनन इस्पात तक), वैब की मोटाई = 250 mm है। सम्पीडन इस्पात जो 50 mm के आवरण पर डाला गया है, का क्षेत्रफल 1140 mm^2 और तनन इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{st} = 24{\cdot}60$ mm^2 है। T-धरन की चरम प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए।

21. एक T-धरन से सम्बन्धित आंकड़े इस प्रकार है—$b_f = 1500$ mm, $D_f = 100$ mm, $b_w = 300$ mm, $d = 500$ mm, सम्पीडन प्रबलन, $A_{sc} = 402$ mm^2, तनन प्रबलन, $A_{st} = 1964$ mm^2, $d' = 40$ mm । M-20 कंक्रीट और Fe 415 इस्पात लेते हुये, T-धरन का प्रतिरोध आघूर्ण (M_u) ज्ञात कीजिए।

22. एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट T-धरन का परिच्छेद चित्र 6.21 में दर्शाया गया है। T-धरन का शुद्धालम्बित पाट 5·0 मी० है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी के इस्पात का प्रयोग करते हुये, T-धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए।



चित्र 6.20

7 प्रबलित कंक्रीट स्लैब (REINFORCED CONCRETE SLAB)

7.1. परिचय (Introduction) :

भवनों के कमरों की छत व ऊपरी फर्शों को पाटने के लिये डाली गयी चपटी, समतल पट्टियों/छतों को **स्लैब** कहते हैं। पुलों व भण्डारण टंकियों को ऊपर से ढाँपने के लिये तथा तली में आधार के रूप में भी स्लैब डाली जाती हैं। स्लैब अपने सिरों पर अगल-बगल की दीवारों अथवा धरनों पर आलम्बित होती हैं। स्लैब में भी प्रबलित कंक्रीट धरनों की भाँति तनन क्षेत्र में प्रबलन इस्पात डाला जाता है। सामान्यत: स्लैब-फर्श पर समवितरित भार आता है।

स्लैब की मोटाई 9 cm से 30 cm कुछ भी हो सकती है, परन्तु साधारण भवनों में मितव्ययिता की दृष्टि से 15 cm (150 mm) से अधिक मोटी स्लैब नहीं डाली जाती है। पाट की चौड़ाई अथवा अत्य अध्यारोपित भार के कारण, जब स्लैब की मोटाई अधिक आती है, तब इसके नीचे उपयुक्त दूरी पर धरन डालकर, इसके पाट को कम कर दिया जाता है। पाट के घट जाने पर, उसी भारण-व्यवस्था के लिये स्लैब की मोटाई कम हो जाती है। जब स्लैब के नीचे धरन दिया जाता है और यह धरन स्लैब के साथ एकाश्मी ढाला जाता है, तब यह व्यवस्था टी-धरन (Tee-Beam) कहलाती है (टी-धरनों का वर्णन अध्याय 6 में किया गया है)। फ्रेम संरचनाओं में स्लैब, धरन तथा स्तम्भ सभी एकाश्मी ढाले जाते हैं। स्लैब धरनों पर और धरन स्तम्भों पर टिकाये जाते हैं। जीनों (Stairs) तथा प्रवणी (Ramp) के लिये ढालू स्लैब डाली जाती है।

संरचनात्मक आवरण के रूप में प्रबलित कंक्रीट की स्लैब एक सामर्थ्यवान, टिकाऊ, जलाभेद्य, आकर्षक व सामान्य व्यय वाली व्यवस्था है। यह चादरों, टाइलों, लकड़ी के पटरों, पत्थर की पट्टियों की पाटन व्यवस्था से उत्तम है।

7.2. समवितरित भारों पर स्लैब का संरचनात्मक व्यवहार (Structural Behaviour of Slab Under Uniformly Distributed Loads) :

स्लैब पर पड़ने वाले सामान्य चल व अचल भारों का स्लैब-क्षेत्र पर वितरण समवितरित माना जाता है। जो कोई छोटा-मोटा स्थानीय संकेन्द्रित भार आता है, वह भी इसमे वितरण-इस्पात (Distribution Steel) डाले जाने के कारण, अधिक बड़े क्षेत्रफल पर फैल जाता है। स्लैब वास्तव में **द्वि-विमीय घटक** (Two-Dimensional Element) है। इसके अभिकल्पन मे इसकी लम्बाई व चौड़ाई, दोनों विमाओं पर ध्यान दिया जाता है।

भार के कारण स्लैब में भी, धरनों की भाँति प्रतिरोध आघूर्ण उपजती है। बलशून्य-अक्ष के ऊपर सम्पीडन-प्रतिबल तथा नीचे तनन प्रतिबल उपजते हैं। अत: तनन प्रतिबलों से उत्पन्न तनन प्रतिरोध के लिये इस्पात की छड़ों का प्रबलन दिया जाता है। प्रास स्लैब (Cantilever Slab) में सम्पीडन व तनन क्षेत्र, प्रास धरनों की भाँति अदल-बदल जाते हैं। संरचनात्मक अभिकल्पन की दृष्टि से स्लैब और धरन

मे कोई अन्तर नही है। धरन की चौड़ाई सीमित होती है, जबकि अभिकल्प की दृष्टि से, स्लैब की चौड़ाई एक मीटर (1000 mm) चौड़ी पास-पास सटी हुये अनेक पट्टियों (धरनों) से बनी मान ली जाती है। स्लैब मे धरनो की भाँति अपरुपण प्रतिरोध भी उपजते है, परन्तु सामान्य भारण (Loading) में इनका मान अनुमत से काफी कम होता है। अत: स्लैब की अपरुपण मे जाँच छोड़ी जा सकती है।

भारित स्लैब के मध्य-क्षेत्र मे विक्षेप (Deflection) उत्पन्न होता है, जिसे सीमित किया जाना चाहिये। अनुमत से अधिक विक्षेप देखने मे अच्छा नही लगता है। स्लैब के पाट/मोटाई का अनुपात सारणी 5.6 के अनुसार रखने पर विक्षेप अनुमत सीमा मे रहता है।

§ 7.3. स्लैब-आलम्बों के प्रकार (Types of End-Supports for Slab) :

स्लैब के आलम्ब अगल-बगल की दीवारें अथवा धरन होते है। आलम्बों पर स्लैब निम्न विधियों से टिकाई जाती है—

(i) शुद्धालम्बित स्लैब (Simply Supported Slab)
(ii) आबद्ध स्लैब (Fixed Slab)
(iii) सतत् स्लैब (Continuous Slab)
(iv) प्रास स्लैब (Cantilever Slab)—

वर्णन निम्न है। स्लैब-आलम्ब चित्र 7.1 में दर्शाये गये हैं।

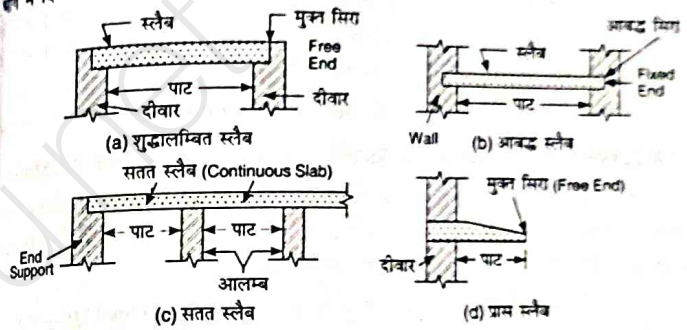
(1) शुद्धालम्बित स्लैब—जब प्रबलित कंक्रीट स्लैब के सिरे मुक्त रूप से दीवारों पर टिकाये जाते है और भार पड़ने पर ये एक भारित तश्तरी की भान्ति **ऊपर को उठने** में स्वतन्त्र होते हैं, तब स्लैब शुद्धालम्बित मानी जाती है। इस दशा मे आलम्बो पर बंकन आघूर्ण नगण्य ली जाती है। एक मंजिलें भवन की छत-स्लैब अथवा बहुतली भवनों की सबसे ऊपरी छत-स्लैब इस श्रेणी में आती हैं। शुद्धालम्बित व्यवस्था दो प्रकार की होती है—(i) जब स्लैब के **कोने दबाये नहीं गये हैं** (Corners not held down), (ii) जब स्लैब के **कोने दबाये गये हैं** (Corners held down)। प्रथम प्रकार में स्लैब के सिरे पूर्णत: मुक्त होते है और स्लैब पर भार पड़ने पर ऊपर उठ सकते है, जबकि दूसरी व्यवस्था में, आंशिक आबद्धता के कारण, भार पड़ने पर कोने ऊपर उठने के लिए पूर्ण स्वतन्त्र **नहीं** होते हैं। आंशिक आबद्धता के कारण मध्य पाट-क्षेत्र पर बंकन आघूर्ण का मान कुछ घट जाता है, परन्तु कोनों पर ऐंठन (Torsion) उत्पन्न हो जाती है, जिसके लिये कोनों पर अतिरिक्त प्रबलन देना पड़ता है।

बहुतली भवनों में सबसे ऊपरी छत-स्लैब को छोड़कर, निचले फर्शों की स्लैबें दूसरे प्रकार की आलम्बता में आती हैं।

(2) आबद्ध स्लैब—जब स्लैब के सिरे आलम्बों के साथ दृढ़ता से आबद्ध कर दिये जाते हैं और स्लैब पर भार पड़ने पर ऊपर नहीं उठ पाते हैं, तब यह **आबद्ध स्लैब** कहलाती है। आबद्ध होने के कारण, इसके सिरों पर ऋणात्मक बंकन आघूर्ण (Hogging B.M.) उत्पन्न होती है, जबकि पाट के मध्य धनात्मक बंकन आघूर्ण (Sagging B.M.) होती है। ऐसी स्लैब के सिरों पर, ऋणात्मक आघूर्ण के लिये भी प्रबलन देना पड़ता है। आबद्धता के कारण, धनात्मक आघूर्ण का मान काफी कम हो जाता है और स्लैब की मोटाई घट जाती है। बहुतली फ्रेम भवनों की फर्श-स्लैब तथा पोर्टल फ्रेम इसी श्रेणी में आते है।

(3) सतत स्लैब—बड़े हाल कमरों में जब छत-स्लैब अनेक मध्यवर्ती आलम्बों (धरनों) पर टिकी रहती है तब यह सतत स्लैब कहलाती है। मध्यवर्ती आलम्बों पर आंशिक आबद्धता के कारण स्लैब में ऋणात्मक आघूर्ण आता है, जिसके लिये इसके ऊपरी भाग में भी प्रबलन देना होता है।

(4) प्रास स्लैब—इस प्रकार की स्लैब में, इसका एक सिरा बाहर हवा में लटका रहता है। प्रास स्लैब में ऋणात्मक बंकन आघूर्ण (Hogging B.M.) उत्पन्न होती है, अत: मुख्य (तनन) प्रबलन इसके ऊपरी भाग में दिया जाता है। छज्जों तथा बालकनी पर प्रास स्लैब डाली जाती है।



चित्र 7.1—स्लैब के सिरा-आलम्ब (End Supports for Slab)

§ 7.4. स्लैब तथा धरन में भेद (Distinction Between Slab and Beam) :

स्लैब पर आने वाला चल तथा अचल भार इसके नीचे डाले गये धरनो पर स्थानान्तरित होता है। स्लैब का पाट कम करने के लिये ही, इसके नीचे, उचित दूरी पर धरन दिये जाते है। संरचनात्मक दृष्टि से स्लैब और धरन में कोई विशेष अन्तर नहीं है, फिर भी दोनो मे निम्न भेद हैं—

(i) स्लैब, धरन की तुलना में बहुत कम मोटी होती है। छोटे पाट पर, यह 9 cm (90 mm) मोटी भी पर्याप्त रहती है।

(ii) स्लैब के अभिकल्पन के लिये, लम्बाई की दिशा में इसकी एक मीटर (1000 mm) चौड़ी पट्टी ली जाती है और यह माना जाता है कि छत की सम्पूर्ण लम्बाई ऐसी साथ-साथ सटी अनेक पट्टियों (अथवा चपटे धरनों) से बनी है। वास्तव मे स्लैब इस प्रकार की पृथक पट्टियों (धरनों) को मिलाकर नहीं बनती है, बल्कि इसका निर्माण पूरी लम्बाई-चौड़ाई मे एकाश्मी होता है। जबकि धरन की चौड़ाई इसके सिरो पर दिये गये स्तम्भो (Columns) को ध्यान में रख कर निर्धारित की जाती है अथवा भारण-क्रम के आधार पर कुछ भी आकलित की जा सकती है।

अभिकल्पन के लिये स्लैब का पाट, इसकी अगल-बगल मे दी गयी न्यूनतम दूरी को दीवारों (अथवा धरनों) को माना जाता है।

(iii) प्रबलित स्लैब में, दोहरे प्रबलित धरनों की भाँति सम्पीडन इस्पात नहीं डाला जाता है।

(iv) स्लैब में अपरुपण प्रतिबल, सामान्यत: अनुज्ञेय से बहुत कम आते है। इसलिये कर्तन (अपरुपण) प्रबलन नहीं दिया जाता है। अनुज्ञेय से अधिक कर्तन प्रतिबलो की दशा मे स्लैब

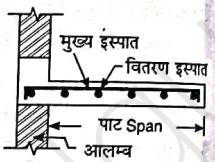
(3) सतत स्लैब—जब स्लैब का पाट अधिक होता है तो अत्यधिक मोटी स्लैब डालनी पड़ती है, जो मितव्ययी नहीं कही जा सकती है। अत: पाट को कम करने के लिये, स्लैब के नीचे, उचित दूरी पर प्रबलित कंक्रीट के धरन डाले जाते हैं, जिनका निर्माण स्लैब के साथ **एकाश्मी** (Monolithic) होता है। इस प्रकार स्लैब कई आलम्बों पर टिकी होने के कारण सतत स्लैब कहलाती है।

सतत स्लैब एकल-दैशिक अथवा द्वि-दैशिक हो सकती है और इसके सिरे एक अथवा दोनों दिशाओं में सतत हो सकते हैं। सतत स्लैब में इसके मध्यवर्ती आलम्बों पर ऋणात्मक बंकन आघूर्ण उत्पन्न होता है। इसलिये आलम्बों पर, स्लैब के ऊपरी भाग में भी प्रबलन दिया जाता है। सतत स्लैब का अभिकल्पन अनुखण्ड (IV) में दिया गया है।

लेक्चर हाल, बैंक, शोरूम, कार्यालयों, भण्डारगृहों इत्यादि के हाल कमरों के लिये जहाँ टी धरन व्यवस्था अपनायी गयी है, सतत स्लैब डाली जाती है।

(4) प्रास स्लैब—प्रास स्लैब का एक सिरा दीवार अथवा लिन्टल (धरन) में पूर्णत: आबद्ध रहता है, जबकि इसका दूसरा सिरा हवा में लटका रहता है। इनका अभिकल्पन प्रास धरनों की भाँति किया जाता है, परन्तु पटिया की चौड़ाई, सामान्य स्लैब की भाँति 1000 mm ली जाती है।

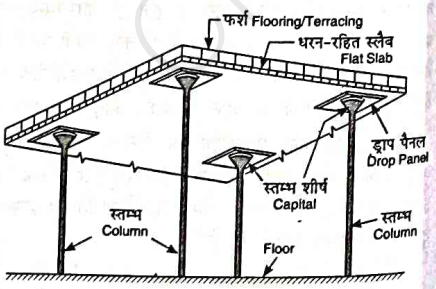
प्रास स्लैब में, इसकी ऊपरी परतों में तनन प्रतिबल तथा निचली परतों में सम्पीडन प्रतिबल (सामान्य स्लैब के विपरीत) उत्पन्न होते हैं। इसलिये तनन इस्पात इसके **ऊपरी** भाग में दिया जाता है। इसके अतिरिक्त मुख्य इस्पात के लम्बवत् वितरण इस्पात अलग से डाला जाता है। प्रास स्लैब के आबद्ध सिरे पर ऐंठन (Torsion) प्रतिबल भी उत्पन्न होते हैं अत: मुख्य इस्पात को आलम्ब के काफी भीतर ले जाकर भली-भाँति स्थिरण करना चाहिये। प्रास स्लैब का अभिकल्पन अनुखण्ड (II) में दिया गया है।



चित्र 7.3—प्रास स्लैब (Cantilever Slab)

प्रास स्लैब बरसाती (Porch), बालकनी, सन शैड, साईकिल स्टैण्ड, बस-स्टाप इत्यादि के लिये डाली जाती है।

(5) चपटी या धरन रहित स्लैब—लम्बे-चौड़े पाट पर भी, इस प्रकार की स्लैब के नीचे धरन नहीं दिये जाते हैं और यह सीधी स्तम्भों पर टिकी रहती है। बड़े पाटों के लिये अधिक गहरे धरन डालने पड़ते हैं, जो देखने पर लटकते हुये तथा भद्दे लगते हैं और निर्बाध-ऊंचाई (Head Room) को भी कम करते हैं। ऐसी जगहों पर चपटी स्लैब स्पाट तथा सुन्दर लगती है और कृत्रिम अन्तश्छद (False Ceiling) लगाने की आवश्यकता भी नहीं रहती है (चित्र 7.4)।



चित्र 7.4—चपटी या धरन-रहित स्लैब (Flat Slab Construction)

चपटी स्लैब की मोटाई 125 मिमी० से कम नहीं होनी चाहिये। इसकी दो अथवा अधिक दिशाओं में प्रबलन दिया जाता है। स्तम्भों पर स्लैब के पैनल की मोटाई कुछ अधिक रखी जाती है। इसे ड्राप पैनल (Drop Panel) कहते हैं। स्तम्भ का ऊपरी शीर्ष (Capital) भी मोटा रखा जाता है (परन्तु ड्राप पैनल तथा कैपिटल आवश्यक नहीं है) चपटी स्लैब के लिये प्रत्येक दिशा में कम से कम **तीन** सतत पट्ट होने जरूरी हैं। इसलिये बड़े हाल कमरों के लिये ही यह निर्माण अपनाया जाता है।

(6) गोलाकार स्लैब—गोल कमरों, पम्प रूम, चैक पोस्ट, वृत्ताकार पानी की टंकियों की तली व छत के लिये गोलाकार स्लैब अपनायी जाती है। सम-वितरित भार पर यह स्लैब तश्तरी (Saucer) की भाँति झुकती है और इसमें अरीय (Radial) तथा परिधीय (Circumferential) प्रतिबल उत्पन्न होते हैं। गोलाकार स्लैब के केन्द्रीय भाग में दोनों दिशाओं में जाल की भाँति प्रबलन दिया जाता है और किनारों के पास अरीय एवं परिधीय छड़ें लगायी जाती हैं। (देखें अनुच्छेद 7.20)।

(7) गुम्बदनुमा स्लैब—बड़े-बड़े जल संग्रह टैंकों तथा भवनों के प्रवेश हाल की एकल पाटी छतें, गुम्बदनुमा रखी जाती हैं। गुम्बद स्लैब की मोटाई, पाट की तुलना में बहुत ही कम आती है और यह चपटी स्लैब से भी मितव्ययी होती है।

§ 7.6. स्लैब अभिकल्पन के सामान्य नियम (General Rules for R.C.C. Slab Design):

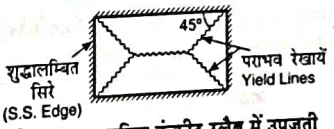
स्लैबों के विश्लेषण के लिये **पराभव रेखा सिद्धान्त** (Yield Line Theory) अपनाया जाता है। यह सिद्धान्त चरम भार विधि (Ultimate Load Method) पर आधारित है। इस सिद्धान्त में निपात (Collapse) की सीमा तक, स्लैब का विश्लेषण किया जाता है। जब स्लैब पर भार बढ़ता है, तब उच्च आघूर्ण पर प्रबलन छड़ें अपनी सामर्थ्य खोने लगती हैं, जिसका भान एक संकेतिक रेखा (पराभव रेखा-Yield Line) देती है। ये तरेड़ें (Crack Lines), विक्षेप (Deflection) से मिल कर फैलती हैं। और तब स्लैब खण्डित हो जाती है।

पराभव रेखा सिद्धान्त 1962 में जोनसन (Johansen) ने पेश किया था। यह सिद्धान्त अल्प-प्रबलित खण्डों (Under Reinforced Sections) पर ही लागू होता है, क्योंकि पूर्ण ध्वस्त से पूर्व, प्रबलन छड़ों का पराभव (शिथिल) हो जाता है। इस सिद्धान्त में अवयव के अपरुपण (Shear), विक्षेप या अभिलाग पर विचार नहीं किया गया है।

अल्प प्रबलित स्लैब में, विफलता के समय, प्रबलन छड़ें पराभव रेखा पर पूर्णत: प्रभावहीन (शिथिल-Yield) पड़ जाती हैं। पराभव रेखा के कारण स्लैब दृढ़-खण्ड (Rigid Segments) में बंट जाती है, जिन्हें प्रबलन छड़ें प्रत्यास्थता (Elastically) का वर्ताव करते, आपस में बाँधे रखती हैं।

पराभव रेखायें (Yield Lines) चित्र 7.5 में दर्शायी गयी हैं।

(1) आघूर्ण तथा अपरुपण—स्लैब अभिकल्पन के लिये अधिकतर वही नियम अपनाये जाते हैं जो अध्याय 5 में प्रबलित धरन-खण्डों के अभिकल्पन के लिये दिये गये हैं। अत: स्लैब पर भार, अधिकतम



चित्र 7.5—प्रबलित कंक्रीट स्लैब में उपजती पराभव रेखायें (Yield Line Patterns)

बंकन आघूर्ण, कर्तन बल, न्यूनतम प्रबलन इस्पात, छड़ों का व्यास, आवरण, अन्तराल, चक्कन (Laps) इत्यादि के लिये अध्याय 5 का अवलोकन किया जा सकता है। स्लैब की मोटाई अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये, जो समवितरित भार पर, पाट के मध्य क्षेत्र में आती है, ज्ञात की जाती है और **तनन प्रबलन स्लैब के निचले भाग में डाला जाता है।** शुद्धालम्बित स्लैब में, इसके आलम्बों पर भी **आंशिक आबद्धता के कारण, तनन उत्पन्न होता है, इसलिये आलम्बों के निकट, स्लैब के ऊपरी भाग में तनन प्रबलन भी दिया जाता है।**

(2) अपरूपण प्रबलन—सामान्य स्लैब में कर्तन प्रतिबल अनुज्ञेय से काफी कम होते हैं। फिर भी 20 cm से अधिक मोटी स्लैब में कर्तन प्रबलन दिया जा सकता है। स्लैब के लिये, I.S. कोड के अनुसार अपरूपण प्रतिबल के बढ़े हुये मान अपनाये जाते हैं, जो सारणी 4.2 में दिये गये हैं। कर्तन प्रतिबलों की जाँच यदि आवश्यक समझी जाये तो सामान्य धरनों की भाँति की जाती है।

(3) विक्षेप (Deflection Control)—

(i) स्लैब में ऊर्ध्व-विक्षेप (Vertical Deflection) सुरक्षित सीमा में रहे, इसके लिये 10 मी० पाट तक $\frac{\text{पाट}}{d}$ का अनुपात सारणी 7.1 में दिया जा रहा है। यहाँ d = स्लैब की प्रभावी गहरायी है।

सारणी 7.1 विक्षेप नियन्त्रण
(पाट 10 m तक) (I.S. 23.2-1)

अवयव	$\frac{l}{d}$ अनुपात
(a) प्रास स्लैब (Cantilever Slab)	7
(b) एकल-दिशा आलम्बित स्लैब (Simply Supported)	20
(c) स्तत स्लैब (Continuous Slab)	26

10 मी० से अधिक पाट के लिये, उपरोक्त मान $\frac{10}{\text{पाट}}$ से गुना कर लें (परन्तु प्रास-स्लैब के लिये, सही विक्षेप ज्ञात करने के लिये, आवश्यक गणनायें करें)।

(ii) द्वि-दैशिक स्लैब, 3·5 मी० पाट तक, जब इसमें मृदु-इस्पात का प्रबलन डाला गया है और भार (Loading) 3000 N/m^2 तक है, विक्षेप (Deflection) की सुरक्षित सीमा सारणी 7.2 से ली जा सकती है। द्वि-दैशिक स्लैब में विक्षेप की गणना के लिये छोटा पाट (Shorter of Two Spans) ले।

सारणी 7.2 विक्षेप सीमा

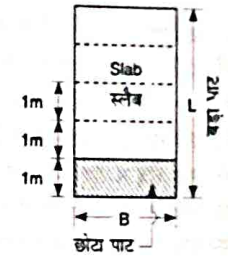
स्लैब	छोटा पाट/कुल गहरायी
(a) शुद्धालम्बित स्लैब	35
(b) स्तत स्लैब	40

नोट—उच्च सामर्थ्य की टोर छड़ों के लिये उपरोक्त मानों को 0·8 से गुना करें। (देखें अनुच्छेद 7.16)।

(I) एकल-दैशिक प्रबलित स्लैब
(ONE-WAY REINFORCED SLAB)

§ 7.7. अभिकल्पन तत्व (Design Considerations) :

(1) लम्बाई-चौड़ाई अनुपात—जब कमरे की लम्बाई, उसकी चौड़ाई से **दो गुना** से अधिक होती है, तब छत-आवरण एकल दैशिक स्लैब के लिये अभिकल्पन किया जाता है। बरामदों की छतें, पलियारें सामान्यतः इस वर्ग में आते हैं। यदि स्लैब का केवल एक ही पाट दिया गया है, तब इसे **एकल-दैशिक स्लैब** मानकर अभिकल्पित करें।

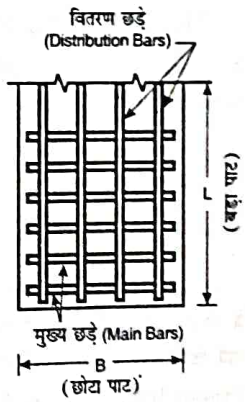


अभिकल्पन के लिये, (बड़े पाट की) एक मी० चौड़ी पट्टी

चित्र 7.6—अभिकल्प-पट्टी

(2) अभिकल्प पट्टी—अभिकल्पन के लिये, लम्बाई की दिशा में स्लैब की एक मी० चौड़ी पट्टी ली जाती है (चित्र 7.6)। इस पट्टी को एक 1000 mm चौड़ाई वाले धरन की भाँति अभिकल्पित किया जाता है। मुख्य इस्पात छोटे पाट के समान्तर, तली पर डाला जाता है और इसके ऊपर, आड़ी दिशा में वितरण इस्पात डाला जाता है।

(3) ताप इस्पात या वितरण इस्पात, यह स्लैब के अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल ($b \times D$) का **0·15%** लिया जाता है, अथवा मुख्य इस्पात के क्षेत्रफल 20% लिया जाता है। (जब उच्च पराभाव सामर्थ्य वाली विरूपित छड़ें प्रयोग की जायें तो यह मान **0·12%** ले सकते हैं)। यह इस्पात, मुख्य इस्पात के अभिलम्ब, इसके ऊपर रख कर जाल की भान्ति डाला जाता है (चित्र 7.7)। दोनों क्रास छड़ों को मिलन बिन्दु पर 20–24 गेज (1–0·63 mm thick) की नरम काली तार (Binding Wire) से बाँध दिया जाता है। इस व्यवस्था से कंक्रीटिंग के समय, प्रबलन छड़ें अपनी निर्धारित स्थिति में बनी रहती हैं और इधर-उधर भटकने (खिसकने) नहीं पाती हैं।



चित्र 7.7—स्लैब का ऊपरी प्लान (Top Plan)

(4) स्लैब में न्यूनतम प्रबलन इस्पात—किसी भी दिशा में, प्रबलन छड़ों का क्षेत्रफल, स्लैब-खण्ड के अनुप्रस्थ क्षेत्रफल का 0·15% से कम नहीं होगा (धारा 25.5.2-1)

(5) छड़ों का व्यास व अन्तराल—

(a) **मुख्य इस्पात** के लिये न्यूनतम 10 mm (उच्च पराभव छड़ों के लिये 8 mm ϕ) की छड़ें प्रयोग की जाती हैं। मुख्य छड़ का व्यास स्लैब की कुल मोटाई का 1/8 से अधिक नहीं होगा। तनन क्षेत्र में डाली गयी मुख्य छड़ों का अन्तराल, निम्न मान से जो भी **न्यूनतम** है, से **अधिक नहीं होना चाहिये—**

(i) 3 × स्लैब की प्रभावी मोटाई अर्थात $3d$

(ii) 300 mm

(b) **वितरण इस्पात** के लिये 6 mm से 10 mm ϕ की छड़ें प्रयोग की जाती हैं। वितरण छड़ों का अन्तराल, निम्न मान से जो भी **न्यूनतम** है, से **अधिक नहीं** होना चाहिये—

(i) 5 × स्लैब की प्रभावी मोटाई, अर्थात $5d$

(ii) 450 mm

(6) आवरण (Cover)—प्रबलन छड़ों के सिरों (Ends) पर 25 mm या 2 × छड़ का व्यास, जो भी **अधिक** है का शुद्ध आवरण दिया जाता है। तली या शीर्ष पर न्यूनतम आवरण, मुख्य छड़ का व्यास अथवा 15 mm जो भी **अधिक** हो, अपनाया जायेगा (देखें I.S. धारा 4.14.3)।

(7) छड़ों का छिन्नीकरण तथा स्थिरण (Curtailment and Anchorage of Tension Bars)—मध्य-पाट क्षेत्र मे डाले गये तनन इस्पात का न्यूनतम 50% क्षेत्रफल, आलम्बों (End Supports) के भीतर तक ले जाना चाहिये। शेष 50% आलम्बों से 0·10 × पाट ($0{\cdot}10\,l_x$ या $0{\cdot}10\,l_y$) की दूरी तक **तनन** क्षेत्र में बना रहना चाहिये (I.S. D-2-1-1)। आलम्बों से $0{\cdot}10\,l$ की दूरी पर, जहाँ बंकन आघूर्ण का मान सामान्यत: आधा से कम रह जाता है, आधी तनन छड़ें 45° पर ऊपर को नत (Bent up) करके, स्लैब के सम्पीडन क्षेत्र में ले जायी जा सकती हैं। यह प्रबलन स्लैब के कोनों (Corners) पर आंशिक आबद्धता के कारण उत्पन्न ऋणात्मक आघूर्ण (–ve B.M.) को भी रोधित करता है।

स्थिरण (Anchorage) के लिये, मुख्य छड़ों को $\frac{L_d}{3}$ तक आलम्बों के भीतर ले जाना आवश्यक है। उच्च सामर्थ्य की विरुपित छड़ों (टोर छड़ों) पर हुक (Hooks) नहीं दिये जाते हैं, क्योंकि मोड़ते समय इनके फटने की संभावना रहती है।

जैसा ऊपर लिखा गया है, स्लैब की तनन छड़ों को आलम्बों के निकट $\frac{l}{10}$ की दूरी पर कट (Cut) किया जा सकता है, परन्तु व्यवहार में इन्हें कट करने की बजाय, 45° पर ऊपर को नत करके, स्लैब के ऊपरी फलक में ले जाया जाता है।

(8) अपरुपण प्रबलन (Shear Reinforcement)—स्लैब की पट्टी की चौड़ाई (b) क्योंकि काफी बड़ी (1000 mm) होती है, अत: स्लैब में नामन अपरुपण प्रतिबल (Nominal Shear Stress) सुरक्षित सीमा के भीतर रहते हैं, अत: सामान्य स्लैबों में, धरनों की भांति अपरुपण प्रबलन (Shear Reinforcement) नहीं दिया जाता है, परन्तु अतिरिक्त अपरुपण सुरक्षा के लिये, प्रत्येक दूसरी तनन छड़ (Alternate Tension Bar) को, आलम्बों के निकट, ऊपर को नत करके सम्पीडन-क्षेत्र में लाया जाता है।

§ 7.8. अभिकल्प के चरण (Design Steps) :

स्लैब के अभिकल्पन के लिये निम्न क्रम अपनाया जा सकता है—

(1) मोटाई—स्लैब की उपयुक्त मोटाई मान लें—5000 N/m² तक के समवितरित भार के लिये, यह मोटाई 4 cm (40 mm) प्रति मीटर पाट मान लें और 10000 N/m² तक के भार के लिये 6 cm (60 mm) प्रति मीटर पाट लें। कुल मोटाई में से उचित आवरण घटा कर प्रभावी गहराई ज्ञात कर लें। सामान्यत: स्लैब की मोटाई 90 mm से कम नहीं रखनी चाहिये।

प्रारम्भिक गणनाओं के लिये स्लैब की मोटाई विक्षेप (Deflection) के आधार पर भी ले सकते हैं। अनुमत विक्षेप के मान सारणी 5.6 में दिये गये हैं।

(2) पाट—स्लैब के लिये प्रभावी पाट की गणना करें। यह दूरी **शुद्ध पाट + स्लैब की प्रभावी गहराई** अथवा **आलम्बों के मध्य से मध्य दूरी**, जो भी न्यूनतम हो, ली जाती है।

(3) भार—स्लैब की प्रति मी० विस्तृति पर आने वाले कुल भार की गणना करें। यह (i) अध्यारोपित भार (ii) फर्श की सम्पूर्ति (Finishing) का भार (iii) स्लैब का स्वयम् का भार का योगफल होता है। स्लैब पर अभिकल्प (Factored) भार निर्धारित करने के लिए भार-गुणक (Load Factor) $\gamma_f = 1{\cdot}5$ लें।

(4) अधिकतम बंकन आघूर्ण (B.M.)—समवितरित भार के लिये, एक पाट वाली शुद्धालम्बित स्लैब के लिये अधिकतम (फैक्टर) बंकन आघूर्ण $M_d = \frac{W_d \times l^2}{8}$ लिया जाता है।

(सतत स्लैब के लिये सारणी 5.4 देखें)

(5) स्लैब की मोटाई (अथवा गहराई)—बंकन आघूर्ण = प्रतिरोध आघूर्ण।

$$M_d = M_{u\,\text{Lim.}} \text{ अथवा } d = \sqrt{\frac{M}{R_u \times b}} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ R_u = सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक। R_u का मान, f_{ck} व f_y के लिये सारणी 3.6 से पढ़ा जा सकता है, अथवा सारणी 5.1 से $M_{u\,\text{Lim.}}$ का मान लिया जा सकता है। उपरोक्त में, स्लैब के लिये $b = 1000$ mm ली जाती है (पट्टी की अभिकल्प के लिये चौड़ाई)

$$R_u = 0{\cdot}36 f_{ck} \frac{x_{u\,\max.}}{d}\left[1 - \frac{0{\cdot}42\, x_{u\,\max.}}{d}\right]$$ भी ले सकते हैं।

इस प्रभावी गहराई में 15 mm अथवा छड़ का व्यास (जो भी अधिक हो) जोड़ कर, कुल गहराई निर्धारित करें।

यदि उपरोक्त मानी गयी गहराई, अभिकल्पित गहराई से अपेक्षाकृत कम है, तो उपरोक्त गणनायें संशोधित करें।

(6) प्रबलन इस्पात—तनन इस्पात का क्षेत्रफल (A_{st}), अल्प-प्रबलित (Under-Reinforced) खण्ड के लिये, ज्ञात करने के लिये निम्न सूत्र प्रयोग करें—

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b}$$

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}(d - 0{\cdot}42 x_u) \quad \textbf{अथवा} \quad M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}\left[d - \frac{f_y A_{st}}{f_{ck} b}\right]$$

यह एक द्वि-घातीय समीकरण (Quardic Equation) है, हल करने के लिये—

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$p_{t\,\text{Lim.}}$ का मान सारणी 5.7 से भी पढ़ा जा सकता है।

इस्पात की छड़ों का उपयुक्त व्यास चुन लें।

छड़ों का अन्तराल, $s = \dfrac{\text{एक छड़ का क्षेत्रफल} \times 1000}{\text{कुल क्षेत्रफल}} = \dfrac{a_t \times 1000}{A_{st}}$

टिप्पणी—स्लैब में छड़ों का अन्तराल (Spacing) ज्ञात किया जाता है, जबकि धरनों में इनकी संख्या।

(7) **वितरण इस्पात**—वितरण का क्षेत्रफल, $A_{sd} = \dfrac{0{\cdot}15}{100} \times$ स्लैब पट्टी का अनुप्रस्थ क्षेत्रफल

$$A_{sd} = \frac{0{\cdot}15}{100} \times 1000 \times D$$

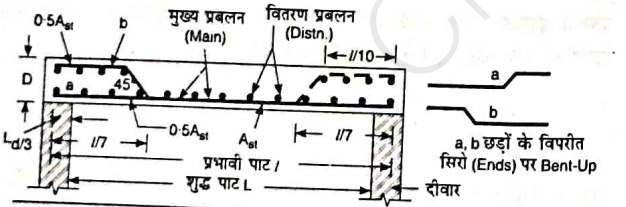
टोर छड़ों के लिये यह क्षेत्रफल पट्टी का 0·12% लें। यहाँ D स्लैब की कुल गहराई है। वितरण इस्पात के लिये छड़ का उपयुक्त व्यास चुन लें।

छड़ों का अन्तराल, $s = \dfrac{a_t \times 1000}{A_{sd}}$, यहाँ a_t एक छड़ का क्षेत्रफल है।

मुख्य तथा वितरण छड़ों का अन्तराल, अनुच्छेद 7.7-5 (I.S. Code 456–2000) के अनुसार होना चाहिये।

(8) **अपरूपण (कर्तन) तथा विकास लम्बाई में जाँच**—स्लैब की कर्तन तथा विकास लम्बाई में जाँच, प्रबलित कंक्रीट धरनों की भाँति की जाती है। सामान्य स्लैब, कर्तन बलों के प्रति सुरक्षित होती है, फिर भी 200 mm से मोटी स्लैब में कोड के अनुसार कर्तन प्रबलन दिया जा सकता है।

(9) **तनन छड़ों को मुक्त करना तथा प्रबलन इस्पात का चित्रण**—कुछ तनन छड़ों को आलम्बों (Centre of Support) से $\dfrac{l}{7}$ अथवा 0·15 l की दूरी पर कट किया जा सकता है अथवा Bent-up करके स्लैब के ऊपरी क्षेत्र (सम्पीडन क्षेत्र) में $\dfrac{l}{10}$ की लम्बाई तक ले जाया जा सकता है। ये छड़ों आलम्बों पर उत्पन्न –ve आघूर्ण को रोधित करेगी। यह व्यवस्था चित्र 7.8



Main Bars	Distn. Bars
Min : Dia : 8 mm टोर छड़ों के लिये 10 mm सादा छड़ों के लिये Spacing : 3 d अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है)	Min : Dia 8 mm (6 mm यदि उपलब्ध है) Spacing : 5 d अथवा 450 mm (जो भी न्यूनतम है)

नोट : पाट के मध्य-क्षेत्र में दिया गया तनन इस्पात का 50% आलम्बों के भीतर तक अवश्य जाना चाहिये, शेष 50%, पाट /7 की दूरी पर (आलम्बों से) छिन्नित किया जा सकता है।

चित्र 7.8—एकल दैशिक स्लैब में प्रबलन की स्थिति (Reinforcement Pattern in One-Way Slab)

में दर्शायी गयी है। तनन छड़ों की बैन्ट-अप की दो प्रणालियाँ हैं। प्रथम प्रणाली में बैन्ट-अप छड़ के दोनों सिरे 45° पर, $\dfrac{l}{7}$ की दूरी पर मोड़े जाते हैं और मौके पर एक पूर्ण सीधी छड़ और इसके बाद एक मुड़ी छड़ (Bent-up at Both Ends), एकांतर (Alternate) पर रखी जाती है। दूसरी प्रणाली में प्रत्येक तनन छड़ (मुख्य छड़) का एक ही सिरा मोड़ा (Bent-up) जाता है और मौके पर प्रत्येक छड़ सिरा-बदल स्थिति में (Right and Left) रखी जाती है। चित्र 7.8 में Bent-up की दूसरी प्रणाली दर्शायी गयी है।

उदाहरण 7.1 : एक एकल-दैशिक प्रबलित स्लैब, जिस की कुल मोटाई 140 mm है, में 20 mm के प्रभावी आवरण पर 10 mm व्यास की छड़ें, 200 mm c/c दूरी पर रखी गयी हैं। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात प्रयोग करने पर, खण्ड की चरम आघूर्ण-प्रतिरोध (Ultimate Moment of Resistance) ज्ञात कीजिए।

हल : (i) प्रश्नानुसार—

स्लैब की मोटाई, $D = 140$ mm

20 mm का आवरण लेने पर स्लैब की प्रभावी मोटाई, $d = 140 - 20 = 120$ mm

तनन इस्पात, $A_{st} = 10$ mm ϕ, 200 mm c/c, छड़ का क्षेत्रफल = 79 mm^2

$f_{ck} = 20$ N/mm^2, $f_y = 415$ N/mm^2

(ii) स्लैब की 1000 mm चौड़ी पट्टी लेते हुये—

एक पट्टी में प्रबलन छड़ों का क्षेत्रफल,

$$A_{st} = \frac{A_\phi \times 1000}{\text{छड़-अन्तराल}} = \frac{79 \times 1000}{200}$$

(10 mm ϕ छड़ का क्षेत्रफल = 79 mm^2)

$\therefore$ $A_{st} = 395$ mm^2

(iii) बल शून्य अक्ष की गहरायी (x_u)—

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b} \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 395}{0{\cdot}36 \times 20 \times 1000} = 19{\cdot}8 \text{ mm}$$

$x_{u\,max} = 0{\cdot}48\, d = 0{\cdot}48 \times 120$ ...(सारणी 5.7 से)

$= 57{\cdot}6$ mm

चूँकि $x_u < x_{u\,max}$, यह खण्ड अल्प प्रबलित (Under Reinforced) है।

(iv) अल्प प्रबलित खण्ड की चरम बंकन आघूर्ण,

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u) \quad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर— $M_u = 0{\cdot}87 \times 415 \times 395\,(120 - 0{\cdot}42 \times 19{\cdot}8)$

$= 15927786$ N.mm अथवा **15·93 kN.m** **उत्तर**

उदाहरण 7.2 : एक 150 mm मोटी एकल-दैशिक स्लैब 4 मी० के प्रभावी पाट पर शुन्द्यालम्बित है। इस पर 4 kN/m² का अध्यारोपित भार आ रहा है। यदि तनन इस्पात पर प्रभावी आवरण 20 mm हो, स्लैब में तनन व वितरण (ताप) इस्पातों का क्षेत्रफल ज्ञात करें। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और HYSD Fe 415 इस्पात प्रयोग करें।

हल : (i) प्रश्नानुसार—

स्लैब की मोटाई, $D = 150$ mm

प्रभावी गहरायी, $d = 150 - 20 = 130$ mm

प्रभावी पाट, $l = 4$ m

(ii) **भार**— (i) स्लैब पर अध्यारोपित भार $= 4000$ N/m²

(ii) स्लैब का स्वयं का भार $= 1 \times 1 \times 0{\cdot}15 \times 25000 = 3750$ N/m²

कुल भार $= 7750$ N/m²

आंशिक सुरक्षा गुणक 1·5 लेने पर, **अभिकल्प भार** (Factored Load),

$w_d = 7750 \times 1{\cdot}5 = 11625$ N/m—लम्बाई (पाट)

चरम बंकन आघूर्ण, $M_d = \dfrac{w_d l^2}{8} = \dfrac{11625 \times 4^2}{8} = 46500$ N.m

(iii) M-20 कंक्रीट तथा Fe 415 इस्पात के लिये—

$x_{u\,\text{Lim.}} = 0{\cdot}48\,d$ ...(सारणी 5.7 से)

$= 0{\cdot}48 \times 130 = 62{\cdot}4$ mm

स्लैब को अल्प प्रतिबलित मानते हुये—

$M_u = 0{\cdot}87\, f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42\, x_u)$ ...(सूत्र)

$= 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} (130 - 0{\cdot}42 \times 62{\cdot}4)$

$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 103{\cdot}8\, A_{st}$

(iv) तनन इस्पात के लिये—

$M_u = M_d$

$0{\cdot}87 \times 415 \times 103{\cdot}8\, A_{st} = 46500 \times 1000$

$\therefore \quad A_{st} = \dfrac{46500 \times 1000}{0{\cdot}87 \times 415 \times 103{\cdot}8} = 1241$ mm²

(a) तनन इस्पात, $A_{st} = 1241$ mm²

(b) वितरण इस्पात, स्लैब-खण्ड का 0·12% लेने पर, (HYSD छड़ों के लिये)—

$A_{sd} = \dfrac{1000 \times 150 \times 0{\cdot}12}{100} = 180$ mm²

अत: तनन इस्पात = **1241 mm²**

वितरण इस्पात = **180 mm²** **उत्तर**

उदाहरण 7.3 : एक शुन्द्यालम्बित स्लैब का छोटा पाट 4 मी० है। इस पर 2 kN/m² का चल भार आ रहा है। स्लैब को एकल-दिशा प्रबलित मानकर अभिकल्पन कीजिये। कंक्रीट की श्रेणी M–20 और प्रबलन छड़ों के लिये Fe 415 इस्पात का प्रयोग करना है।

हल : (i) **अभिकल्प स्थिरांक**—M–20 कंक्रीट और इस्पात Fe 415 के लिये (सारणी 5.7 से),

$f_{ck} = 20$ N/mm², $\quad f_y = 415$ N/mm²,

$x_{u\,\max} = 0{\cdot}48\,d$, $\quad p_{t\,\text{Lim}} = 0{\cdot}96\%$, $\quad M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck}$

(ii) **भार व बंकन आघूर्ण**—अभिकल्पन के लिये स्लैब की लम्बाई को, एक मीटर चौड़ी पट्टी (1000 mm) लेते हैं।

विक्षेप (Deflection) नियन्त्रण के लिये $\dfrac{\text{पाट}}{\text{गहराई}} = 30$ अथवा गहरायी $= \dfrac{\text{पाट}}{30}$

आशोधन गुणक (Modification Factor), $M_f = 1{\cdot}0$ लगाते हुये (चित्र 5.11 से),

स्लैब की गहराई $= \dfrac{\text{पाट}}{30 \times 1{\cdot}0} = \dfrac{4 \times 1000}{30 \times 1} = 133$ mm say 130 mm.

(a) **भार**—स्लैब पर चल भार $= 2{\cdot}00$ kN/m²

स्वयं का भार $1 \times 1 \times 0{\cdot}13 \times 25 = 3{\cdot}25$ kN/m²

कुल भार $= 5{\cdot}25$ kN/m² अथवा 5·25 kN/m run.

आंशिक सुरक्षा गुणांक, $\gamma_f = 1{\cdot}5$ लेने पर—

अभिकल्प (फैक्टर) भार, $f_d = 1{\cdot}5 \times 5{\cdot}25 = 7{\cdot}875$ kN/m say 7·88 kN/m

स्लैब का प्रभावी पाट = शुद्ध पाट + प्रभावी गहराई

$= 4{\cdot}0 + 0{\cdot}13 = 4{\cdot}13$ m

(b) **अभिकल्प (फैक्टर) आघूर्ण**, $M_d = \dfrac{wl^2}{8} = \dfrac{7{\cdot}88 \times (4{\cdot}13)^2}{8} = 16{\cdot}8$ kN.m

(iii) **प्रभावी गहराई**— $M_{u\,\text{Lim}} = M_d$ रखने पर,

$0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck} = 16{\cdot}8 \times 10^6$

अथवा $0{\cdot}138 \times 1000 \times d^2 \times 20 = 16{\cdot}8 \times 10^6$

$d^2 = \dfrac{16{\cdot}8 \times 10^6}{0{\cdot}138 \times 1000 \times 20}$

$\therefore \quad d = 78$ mm.

अत: विक्षेप के आधार पर ऊपर मानी गयी 130 mm गहराई सही है। 15 mm का कंक्रीट क शुद्ध आवरण और 12 mm की छड़ें डालने पर, प्रभावी गहरायी—

$d = 130 - \left(15 + \dfrac{12}{2}\right) = 109$ mm say 110 mm.

civilguru.net

(iv) **प्रबलन इस्पात—**

(a) **अल्प-प्रबलित खण्ड के लिये** N.A.—

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}}{0{\cdot}36 \times 20 \times 1000} = 0{\cdot}05 A_{st}$$

प्रतिरोध आघूर्ण, $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u)$ ...(सूत्र)

$M_d = M_u$ रखने पर,

$$16{\cdot}8 \times 10^6 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} (110 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}05 A_{st})$$

$$16{\cdot}8 \times 10^6 = 39716 A_{st} - 7{\cdot}58 A_{st}^2$$

$$A_{st}^2 - 5240 A_{st} - 2216360 = 0 \qquad \text{(यह एक द्विघातीय समीकरण है)}$$

$$A_{st} = \frac{-(5240) \pm \sqrt{(-5240)^2 - 4 \times 2216360}}{2}$$

$$A_{st} = \frac{5240 \pm 4312}{2} = 464 \text{ mm}^2$$

12 mm व्यास की छडें प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल $= \frac{1000 \times 113}{464} = 243$ mm c/c.

say 240 mm c/c.

यह अन्तराल $3 \times d = 3 \times 110 = 330$ mm अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से अधिक नही होना चाहिये। अत: मुख्य इस्पात के लिये 12 mm व्यास की छड़ें 240 mm c/c पर डाली जायेगी।

(b) वितरण इस्पात—यह स्लैब खण्ड का 0·12% लेते हुये—

$$A_{sd} = \frac{0{\cdot}12}{100} \times 1000 \times 130 = 156 \text{ mm}^2$$

8 mm व्यास की छड़ें प्रयुक्त करने पर, अन्तराल $= \frac{1000 \times 50}{156} = 321$ mm say 320 mm c/c.

यह अन्तराल $5d$ अर्थात $5 \times 110 = 550$ mm या 450 mm, जो भी न्यूनतम है, से भी कम है, अत: उचित है। अत: वितरण छड़ें 8 mm व्यास की 320 mm c/c पर डाली जायेगी।

(v) **अपरुपण में जाँच—**

अधिकतम अपरुपण बल, $V_u = \frac{7{\cdot}875 \times 4}{2} = 15{\cdot}75$ kN

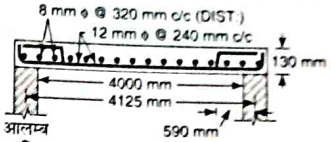
नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{15{\cdot}75 \times 1000}{1000 \times 110} = 0{\cdot}14 \text{ N/mm}^2$

खण्ड में इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \frac{464 \times 100}{1000 \times 110} = 0{\cdot}42\%$

M-20 कंक्रीट व 0·42% इस्पात के लिये सारणी 4.1 से, $\tau_c = 0{\cdot}44$ N/mm^2

ठोस स्लैब के लिये, $\tau_{c_1} = k \times \tau_c = 1{\cdot}3 \times 0{\cdot}44 = 0{\cdot}57$ N/mm^2 ...(सारणी 4.2)

चूँकि $0{\cdot}57 > 0{\cdot}14$ अथवा $\tau_c > \tau_v$, स्लैब अपरुपण में सुरक्षित है और किसी अपरुपण प्रबलन की आवश्यकता नहीं है।



चित्र 7.9—एकल-दैशिक प्रबलित स्लैब

(vi) **अभिकल्पन विवरण—**

(a) स्लैब की कुल मोटाई = 130 mm

(b) मुख्य इस्पात = 12 mm ϕ @ 240 mm c/c (तली पर)

(c) वितरण इस्पात = 8 mm ϕ @ 320 mm c/c

प्रबलन इस्पात चित्र 7.9 में दर्शाया गया है।

उदाहरण 7.4 : एक बरामदे की छत की प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट स्लैब 120 mm मोटी है। इसमें 10 mm ϕ की छड़ें 300 mm, की केन्द्रीय दूरी पर, स्लैब-तली से 20 mm के प्रभावी आवरण पर डाली गयी हैं। शुद्धालम्बित स्लैब की प्रभावी विस्तृति 3 मी० है। स्लैब द्वारा वहन किये जाने वाला सुरक्षित अध्यारोपित समवितरित भार ज्ञात कीजिये। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान लें।

हल : (1) प्रश्न के अनुसार—यह (बरामदा) छत-स्लैब एकल दिशा प्रबलित है।

स्लैब की गहराई, $D = 120$ mm

स्लैब की प्रभावी गहराई, $d = 120 - 20 = 100$ mm.

प्रबलन इस्पात = 10 mm व्यास की छड़ें, 300 mm के अन्तराल पर

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{79 \times 1000}{300} = 264 \text{ mm}^2$$

स्लैब का प्रभावी पाट = 3 m

(2) स्लैब खण्ड की क्रान्तिक बल शून्य रेखा—

$$x_{u\,max} = \frac{700 d}{1100 + 0{\cdot}87 f_y},$$

$f_y = 415$ के लिये, $x_{u\,max} = 0{\cdot}48 d$ (यह मान सारणी 5.7 से भी पढ़ा जा सकता है।)

$= 0{\cdot}48 \times 100 = 48$ mm

(3) वास्तविक बल शून्य रेखा— $x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 264}{0{\cdot}36 \times 20 \times 1000} = 13$ mm

चूँकि वास्तविक बल शून्य रेखा, क्रान्तिक बल शून्य रेखा से ऊपर है, अत: यह खण्ड **अल्प प्रबलित** है। इसलिये इस्पात के अनुज्ञेय प्रतिबल खण्ड को नियन्त्रित करेगे।

(4) **अधिकतम प्रतिरोध आघूर्ण**— $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u)$

$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 264 \,(100 - 0{\cdot}42 \times 13)$

$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 264 \times 94{\cdot}54$

$= 9011288$ N.mm

सुरक्षित बंकन आघूर्ण, आंशिक सुरक्षागुणक 1·5 लेने पर,

$$M_u = \frac{9011288}{1{\cdot}5} = 6007525 \text{ N.mm} \quad \text{अथवा } 600{\cdot}8 \text{ kg.m}$$

(5) माना स्लैब पर w kg/m का कुल भार आ रहा है।

$\therefore$ बंकन आघूर्ण, $M = \frac{wl^2}{8} = \frac{w \times 3^2}{8}$, यहाँ $l = 3$ m है।

परन्तु $M = M_u$

$\therefore \quad 600{\cdot}8 = \frac{w \times 3^2}{8}$

$\therefore \quad w = \frac{600{\cdot}8 \times 8}{9} = 534$ kg/m

स्लैब का स्वयं का भार $= 1 \times 1 \times 0{\cdot}12 \times 2500 = 300$ kg/m^2 or 300 kg/m run

स्लैब पर समवितरित अध्यारोपित भार $= 534 - 300 =$ **234 kg/m^2** उत्तर

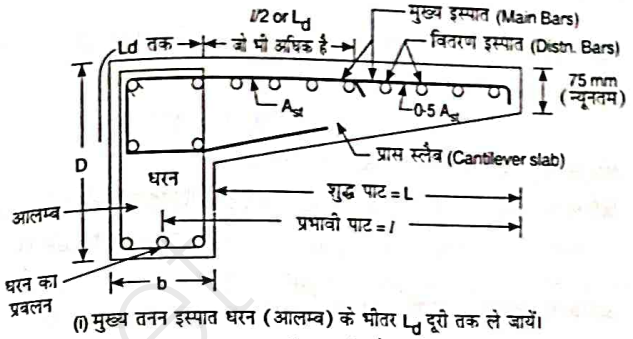
(II) प्रास स्लैब (CANTILEVER SLAB) (Balcony)

§ 7.9. प्रास स्लैब (या बालकनी) का अभिकल्पन (Design of Cantilever Slab):

प्रास स्लैब का अभिकल्पन भी सामान्य स्लैब की भाँति किया जाता है, परन्तु अधिकतम बंकन आघूर्ण आबद्ध सिरे पर उपजता है। अत: प्रबलन इस्पात की गणना आबद्ध सिरे पर की जाती है और **तनन इस्पात स्लैब के ऊपरी क्षेत्र में डाला जाता है**, क्योंकि बंकन आघूर्ण की प्रकृति उत्तलन (Hogging) होती है। प्रास स्लैब में अधिकतम कर्तन बल आबद्ध सिरे पर कार्यरत होता है, अत: कर्तन व विकास लम्बाई की जांच भी आबद्ध सिरे पर की जाती है। प्रास स्लैब में प्रबलन की स्थिति तथा छड़ों के कम करने (Curtailment) की विधि चित्र 7.10 में दर्शायी गयी है। प्रास स्लैब अभिकल्प के लिये मुख्य बिन्दु निम्न है—

(i) आबद्ध सिरे (Fixed End) पर गहरायी, $D = \frac{5}{10}$ से $\frac{5}{12}$ यहाँ S प्रास का शुद्ध पाट है।

(ii) मुक्त सिरे (Free End) पर गहरायी, $D_1 = \frac{D}{2}$ से $\frac{D}{3}$



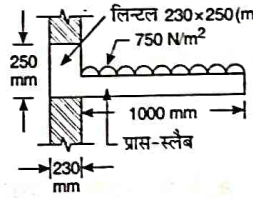
(i) मुख्य तनन इस्पात धरन (आलम्ब) के भीतर L_d दूरी तक ले जायें।

(ii) मुख्य छड़ का Cutt off बिन्दु दर्शाता है।

(iii) प्रास को पलटने से रोकने के लिये धरन में ऐंठन (Torsional) प्रबलन देना होगा।

चित्र 7.10—प्रास स्लैब में प्रबलन के छिन्नीकरण की सरलीकृत विधि (Curtailment of Tension Bars in Cantilever)

उदाहरण 7.5 : दो मीटर चौड़े भवन प्रवेश के आगे एक प्रास स्लैब (छज्जा) डाली गयी है, जो अपने लिन्टल-आलम्ब से 1·0 मी० बाहर बढ़ी हुई है। लिन्टल का माप 230 mm × 250 mm है। प्रास-स्लैब का 750 N/m^2 के चल भार के लिये सीमांत अवस्था विधि से अभिकल्पन करें। कंक्रीट M–20 ग्रेड की और प्रबलन इस्पात Fe 415 ग्रेड का डाला जाना है।



चित्र 7.11

हल : (i) अभिकल्प स्थिरांक—M–20 कंक्रीट व Fe 415 ग्रेड के इस्पात के लिये (सारणी 5.7 से)—

$x_{u\,max} = 0{\cdot}48\, d$

$p_{t\,Lim} = 0{\cdot}96\%$

$M_{u\,Lim} = 0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck}$

(ii) **भार व बंकन आघूर्ण**—अभिकल्पन के लिये प्रास स्लैब की एक मीटर चौड़ी पट्टी लेते हैं। विक्षेप नियन्त्रण के लिये पाट : गहराई का अनुपात 7 रखते हुये और इस पर आशोधन गुणांक (Modification Factor) (चित्र 5.11) = 1·0 लेते हुये,

$$\frac{\text{पाट}}{\text{गहराई}} = 7 \times 1{\cdot}10 \text{ अथवा गहराई} = \frac{\text{पाट}}{7 \times 1{\cdot}10} = \frac{1 \times 1000}{7 \times 1{\cdot}10} = 130 \text{ mm}$$

यह गहरायी $\frac{\text{पाट}}{10}$ भी लेते हैं, अर्थात $\frac{1000}{10} = 100$ mm, परन्तु यह बहुत कम है।

अत: माना कुल गहराई 140 mm और प्रभावी गहराई $= 140 - \left(\frac{10}{2} + 15\right) = 120$ mm रखते हैं (यहाँ छड़ का व्यास 10 mm और आवरण 15 mm लिया गया है)।

(a) **भार**—प्रास स्लैब पर चल भार $1 \times 1 \times 750$ = 750 N/m²
स्लैब का स्वयं का भार $1 \times 1 \times 0{\cdot}14 \times 25000$ = 3500 N/m²
कुल भार = 4250 N/m²

भार के लिये आंशिक सुरक्षा गुणांक 1·5 रखने पर—
अभिकल्प (फैक्टर) भार, $F_d = 4250 \times 1{\cdot}5 = 6375$ N/m² say 6400 N/m²
अथवा 6400 N प्रति मी० लम्बाई

(b) अभिकल्प (फैक्टर) आघूर्ण, $M_d = \dfrac{wl^2}{2} = \dfrac{6400 \times l^2}{2}$

$$= \frac{6400 \times 1 \times 1}{2} = 3200 \text{ N-m}$$

$$\therefore \quad M_d = 3200 \times 10^3 \text{ N-mm}$$

(iii) **प्रास स्लैब की गहराई**—$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck}$ ...(सारणी 5.7 से)

$M_{u\,\text{Lim}} = M_d$ रखने पर,

$$0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck} = 3200 \times 10^3$$

अथवा $0{\cdot}138 \times 1000 \times d^2 \times 20 = 3200 \times 1000$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{3200 \times 1000}{0{\cdot}138 \times 1000 \times 20}} = 34 \text{ mm}$$

इस गहरायी को निम्न सूत्र से भी ज्ञात कर सकते हैं—

$$d = \sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}} = \sqrt{\frac{3200 \times 1000}{2{\cdot}76 \times 1000}} = 34 \text{ mm}$$

R_u के लिये सारणी 3.6 देखें। R_u-सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक है। $R_u = 0{\cdot}138 \times f_{ck}$
यह ऊपर मानी गयी प्रभावी गहराई 120 mm से काफी कम है, परन्तु विक्षेप की दृष्टि से $d = 120$ mm और कुल गहराई 140 mm रखी जायेगी।

(iv) **प्रबलन इस्पात**—

(a) सन्तुलित खण्ड के लिये— $x_u = \dfrac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}}{0{\cdot}36\, f_{ck}\, b} = \dfrac{0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}}{0{\cdot}36 \times 20 \times 1000}$

$$\therefore \quad x_u = 0{\cdot}05\, A_{st}$$

$$M_u = 0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}\, (d - 0{\cdot}42\, x_u)$$

$M_d = M_u$ रखने पर,

$$3200 \times 1000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}\, [120 - (0{\cdot}42 \times 0{\cdot}05\, A_{st})]$$

$$3200 \times 1000 = 43326\, A_{st} - 7{\cdot}58\, A_{st}^2$$

$$A_{st}^2 - 5716\, A_{st} + 422164 = 0 \qquad \text{(यह द्विघातीय समीकरण है)}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{-(-5716) \pm \sqrt{(-5716)^2 - (4 \times 422164)}}{2}$$

$$A_{st} = \frac{5716 \pm 5566}{2} = 75 \text{ mm}^2$$

10 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल = $\dfrac{1000 \times 79}{75} = 1053$ mm
परन्तु यह अन्तराल $3d$ अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होना अर्थात् $3 \times 120 = 360$ mm अथवा 300 mm। अत: 10 mm ϕ की छड़ें 300 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(b) **वितरण प्रबलन**—HYSD छड़ों के लिये यह खण्ड का 0·12% लिया जाता है।

अत: $A_{sd} = \dfrac{0{\cdot}12}{100} \times 1000 \times 140 = 168 \text{ mm}^2$

8 mm व्यास की छड़ें डालने पर, अन्तराल = $\dfrac{1000 \times 50}{168} = 298$ mm Say 290 mm
यह अन्तराल $5\,d$ अर्थात् $5 \times 120 = 600$ mm अथवा 450 mm अथवा उपरोक्त गणित, जो भी **न्यूनतम** है, से अधिक नहीं होगा।
अत: 8 mm व्यास की छड़ें 290 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(v) **विकास लम्बाई**— $L_d = \dfrac{0{\cdot}87\, f_y\, \phi}{4\, \tau_{bd}}$ ...(सूत्र)

M–20 ग्रेड कंक्रीट के लिये अभिलाग प्रतिबल 1·2 N/mm² अनुमत है। टोर इस्पात के लिये इसे 60% बढ़ाया जाता है। (अनुच्छेद 4.16)। अत: $\tau_{bd} = 1{\cdot}2 \times 1{\cdot}60 = 1{\cdot}92$ N/mm².

$$\therefore \quad L_d = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 10}{4 \times 1{\cdot}92} = 470 \text{ mm}$$

(vi) **कर्तन (अपरुपण) में जाँच**—कर्तन बल, $V_u = 6400$ N तथा $b = 1000$

नामन (Nominal) कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d} = \dfrac{6400}{1000 \times 120} = 0{\cdot}05$ N/mm²

$$A_{st} = \frac{79 \times 1000}{300} = 264 \text{ mm}^2$$

खण्ड में इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \dfrac{100 \times A_{st}}{b \times d}$,

$$\therefore \quad p_t = \frac{264 \times 100}{1000 \times 120} = 0{\cdot}22\%$$

M–20 ग्रेड कंक्रीट और $p_t = 0{\cdot}22\%$ के लिये सारणी 4.1 से, $\tau_c = 0{\cdot}33$ N/mm²।
ठोस स्लैब के लिये, $\tau_{c_1} = k \times \tau_c = 1{\cdot}30 \times 0{\cdot}33 = 0{\cdot}43$ N/mm² ...(सारणी 4.2)
चूँकि $\tau_{c_1} > \tau_v$, अत: स्लैब में कर्तन प्रबलन आवश्यक नहीं है।

civilguru.net

(vii) अभिकल्पन विवरण—

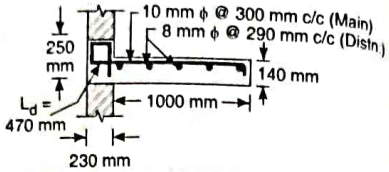
स्लैब की कुल मोटाई = 140 mm

तनन छड़ों पर कंक्रीट आवरण = 15 mm

तनन प्रबलन = 10 mm ϕ, 300 mm c/c

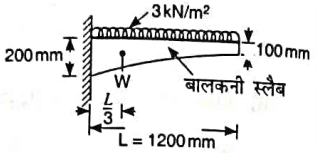
वितरण प्रबलन = 8 mm ϕ, 290 mm c/c

विकास लम्बाई = 470 mm.



चित्र 7.12 प्रास स्लैब

उदाहरण 7.6 : चित्र 7.13 में दर्शायी गयी एक प्रास-बालकनी का अभिकल्पन कीजिए, जिस पर 3 kN/m² का चल भार आ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान लें।



चित्र 7.13 बालकनी

हल : (i) प्रश्नानुसार—

प्रास का शुद्ध पाट (Over Hang), $L = 1200$ mm

आलम्ब (Support) पर मोटाई = 200 mm

मुक्त सिरे पर मोटाई = 100 mm

बालकनी पर चल भार (Live Load) = 3·0 kN/m²

$f_{ck} = 20$ N/mm², $f_y = 415$ N/mm²

(ii) बंकन आघूर्ण (B.M.) तथा अपरुपण बल (S.F.)—प्रास-स्लैब पर 20 mm कंक्रीट आवरण लेते हुये, $d = 200 - 20 = 180$ mm

प्रास-स्लैब की प्रभावी लम्बाई (Over Hang), $l = 1{\cdot}20 + \dfrac{0{\cdot}18}{2} = 1{\cdot}29$ say 1·30 m

प्रास पर भार-बालकनी की अनुलम्ब में चौड़ाई 1·0 m लेते हुये—

(a) चल भार = $1{\cdot}0 \times 1{\cdot}0 \times 3 = 3{\cdot}0$ kN/m²

प्रास के आबद्ध सिरे पर चल भार के कारण बंकन आघूर्ण—

$$\text{B.M}_1 = \frac{wL^2}{2} = \frac{3 \times (1{\cdot}2)^2}{2} = 2{\cdot}16 \text{ kN.m}$$

(b) प्रास का स्वयं का भार = $\left(\dfrac{0{\cdot}10 + 0{\cdot}20}{2}\right) \times 1{\cdot}2 \times 1 \times 25 = 4{\cdot}5$ kN

यह भार आबद्ध सिरे से $\dfrac{L}{3}$ की दूरी पर कार्यरत होगा।

अत: स्वयं के भार के कारण बंकन आघूर्ण, $\text{B.M}_2 = \dfrac{4{\cdot}5 \times 1{\cdot}2}{3} = 1{\cdot}80$ kN.m

कुल बंकन आघूर्ण B.M. = $\text{B.M}_1 + \text{B.M}_2 = 2{\cdot}16 + 1{\cdot}80 = 3{\cdot}96$ kN.m

भार-गुणक 1·5 लेते हुए, फैक्टर (Factored) बंकन आघूर्ण,

$$M_u = 1{\cdot}5 \times 3{\cdot}96 = 5{\cdot}94 \text{ kN.m}$$

अपरुपण बल (S.F.)—आलम्ब पर अपरुपण बल = $(3{\cdot}0 \times 1{\cdot}2) + 4{\cdot}5 = 8{\cdot}10$ kN

फैक्टर अपरुपण बल = $1{\cdot}5 \times 8{\cdot}10 = 12{\cdot}15$ kN

प्रास की आबद्ध सिरे पर गहरायी (Depth)—

सीमान्त बल शून्य अक्ष, $x_{u\,max.} = 0{\cdot}48\,d$ —(सारणी 5.7 से)

$= 0{\cdot}48 \times 180 = 86{\cdot}4$ mm

प्रतिरोध आघूर्ण, $M_u = R_u\, b\, d^2$ ...(सूत्र)

यहाँ R_u = सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक

M-20 कंक्रीट व f_y 415 के लिये $R_u = 2{\cdot}76$ ...(सारणी 3.6)

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}} = \sqrt{\frac{5{\cdot}94 \times 10^6}{2{\cdot}76 \times 1000}} = 46.4 \text{ mm}$$

यह मान =180 mm से कम है। अत: प्रास-स्लैब की आबद्ध सिरे पर प्रभावी गहरायी, d = 180 mm और कुल गहरायी, $D = 200$ mm स्वीकार्य है। मुक्त सिरे पर प्रास-स्लैब की गहरायी 100 mm निर्धारित है।

प्रबलन इस्पात—खण्ड को अल्प-प्रबलित मानते हुये, अल्प-प्रबलित खण्ड के लिये—

$$M_u = 0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}\, d\left[1 - \frac{f_y\, A_{st}}{b \times d\, f_{ck}}\right] \quad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर—

$$5{\cdot}94 \times 10^6 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} \times 180\left[1 - \frac{415 A_{st}}{20 \times 1000 \times 180}\right]$$

$A_{st}^2 - 8677\, A_{st} + 732979 = 0$ यह एक द्विघातीय समीकरण है।

हल करने पर— $A_{st} = 85{\cdot}5$ mm²

खण्ड में इसके परिच्छेद का 0·12% प्रबलन इस्पात (टोर छड़ों के लिये) डालना आवश्यक है।

अत: $\dfrac{0{\cdot}12}{100} \times 1000 \times 200 = 240$ mm²

अत: प्रास-खण्ड में 240 mm² प्रबलन इस्पात डाला जायेगा।

10 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल (Spacing)—

$$= \frac{1000 \times 79}{240} = 329 \text{ mm c/c}$$

यह अन्तराल— (i) $3 \times d = 3 \times 180 = 540$ mm अथवा (ii) 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से अधिक नहीं होगा।

अत: 10 mm व्यास की छड़ें 300 mm की दूरी पर डाली जायेंगी।

वितरण इस्पात—यह भी 10 mm व्यास का 300 mm की दूरी पर डाला जायेगा (इसकी मा भी न्यूनतम तनन प्रबलन से कम नहीं होगी)

(v) **अपरुपण में जांच** (Shear Check)—

अपरुपण बल, $V_u = 12{\cdot}15$ kN

प्रास-खण्ड में तनन इस्पात $= \dfrac{1000 \times 79}{300} = 264 \text{ mm}^2$

नामन अपरुपण प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d} = \dfrac{12150}{1000 \times 180} = 0{\cdot}07 \text{ N/mm}^2$

प्रास-खण्ड में इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \dfrac{100 \times A_{st}}{b \times d} = \dfrac{100 \times 264}{1000 \times 180} = 0{\cdot}147\%$

$p_t = 0{\cdot}147\%$ व M-20 के लिये, कंक्रीट की अपरुपण सामर्थ्य (Design Shear Strength)

$\tau_c = 0{\cdot}28 \text{ N/mm}^2$ ...(सारणी 4.1 से)

ठोस स्लैब के लिये, $\tau_{c1} = k \times \tau_c = 1{\cdot}3 \times 0{\cdot}28 = 36 \text{ N/ mm}^2$

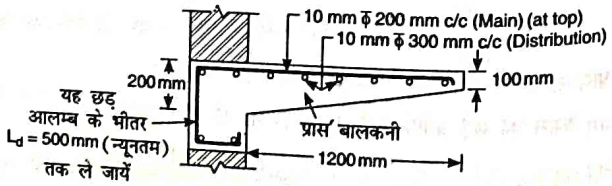
चूँकि $\tau_{c1} > \tau_v$, अर्थात् $0{\cdot}36 > 0{\cdot}07$, अत: प्रास स्लैब अपरुपण में सुरक्षित है।

(vi) **विकास लम्बाई** (Development Length)—तनन छड़ों को न्यूनतम L_d लम्बाई तक आलम्ब के भीतर ले जाना होगा। अत: $L_d = \dfrac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4\tau_b}$

M-20 कंक्रीट और Fe 415 के लिये, $\tau_{bd} = 1{\cdot}2 \times 1{\cdot}6 = 1{\cdot}92 \text{ N/mm}^2$ (टोर छड़ों के लिये)

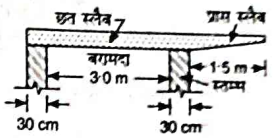
$\therefore \quad L_d = \dfrac{0{\cdot}87 \times 415 \times 10}{4 \times 1{\cdot}92} = 470 \text{ mm say } 500 \text{ mm}$

प्रास-बालकनी में प्रबलन छड़ों की स्थिति तथा अन्तराल चित्र 7.14 में दर्शाया गया है।



चित्र 7.14—प्रास-बालकनी

उदाहरण 7.7 : प्रबलित कंक्रीट की एक पोर्टिको स्लैब (Portico Slab) 3 मी० चौड़े बरामदे की छत के साथ 1·50 मी० बाहर (प्रास के रूप में) निकाली गयी है (चित्र 7.15)। बरामदे के सामने वाली दीवार 30 सेमी० मोटी है। बरामदे की छत पर कुल भार 8 kN/m² है और पोर्टिको स्लैब पर अध्यारोपित भार 2·5 kN/m² है। कैन्टीलीवर स्लैब का अभिकल्पन करें। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का प्रबलन इस्पात लें।



चित्र 7.15

हल : प्रश्न में, चित्र के अनुसार बरामदे तथा पोर्टिको की स्लैब एक ही तल पर तथा सतत है। सामान्यत: इस प्रकार की स्लैब में अधिकतम धनात्मक बंकन आघूर्ण (Sagging) तब उपजती है, जब प्रास भाग पर कोई चल भार नहीं माना जाता है और अधिकतम ऋणात्मक आघूर्ण (Hogging) तब आती है, जब प्रास भाग पर चल तथा अचल दोनों भार कार्यरत हैं और आलम्बित पाट पर केवल अचल भार पड़ता है। इस प्रकार दोनों प्रकार की आघूर्ण में जो अधिकतम होती है, उसी के आधार पर स्लैब की मोटाई ज्ञात की जाती है। इस प्रश्न में क्योंकि बरामदे पर चल तथा अचल भार अलग-अलग नहीं दिये हैं, अत: हम सबसे सरल स्थिति मानकर अर्थात् बरामदे तथा पोर्टिको पर सभी भार एक समय कार्यरत मानकर प्रास स्लैब का अभिकल्पन करते हैं।

(1) **भार**—माना प्रास स्लैब की मोटाई 120 mm है (40 mm प्रति मी० पाट)—(यह मोटाई $\frac{\text{पाट}}{7 \times 1{\cdot}7}$ भी ले सकते हैं। यहाँ 7 विक्षेप (प्रास के लिये) तथा 1·7 आशोधन गुणक है, जो विक्षेप पर लगाया जाता है। (चित्र 5.11) अत: प्रास के लिये $D = \dfrac{1500}{7 \times 1{\cdot}7} = 126$ mm (प्रास-स्लैब पर अध्यारोपित भार बहुत ही कम है, अत: इसकी मोटाई 120 mm रख कर गणनायें करते हैं)।

(a) प्रास स्लैब पर भार— (i) अध्यारोपित भार = 2500 N/m²

(ii) स्लैब का स्वयं का भार = $1 \times 1 \times 0{\cdot}12 \times 25000 = 3000 \text{ N/m}^2$

कुल भार = 5500 N/m²

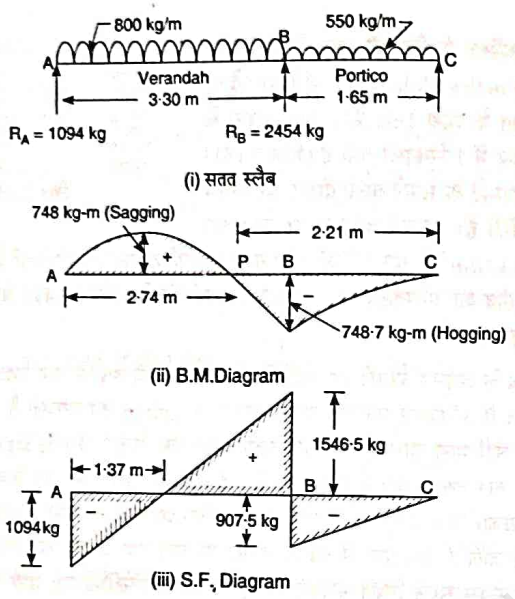
अथवा 550 kg/m लम्बाई

(b) प्रश्न अनुसार बरामदे की छत पर कुल भार = 8000 N/m² अथवा 800 kg/m run.

(2) **प्रभावी पाट**— बरामदा स्लैब के लिये = $3{\cdot}0 + 0{\cdot}15 + 0{\cdot}15 = 3{\cdot}30$ m

प्रास स्लैब के लिये = $1{\cdot}5 + 0{\cdot}15 = 1{\cdot}65$ m

(3) **बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल**—भार-व्यवस्था के लिये B.M. तथा S.F. चित्र 7.16 में दर्शाये गये हैं।



चित्र 7.16

बंकन आघूर्ण व कर्तन बल निम्न प्रकार ज्ञात किये जाते हैं—

बिन्दु A के प्रति सभी बलों का आघूर्ण लेने पर—

$$R_B \times 3{\cdot}30 = (550 \times 1{\cdot}65) \times 4{\cdot}125 + (800 \times 3{\cdot}3 \times 1{\cdot}65)$$

$$R_B \times 3{\cdot}30 = 3743 + 4356$$

$$\therefore \quad R_B = 2454 \text{ kg}$$

$$R_A = [800 \times 3{\cdot}3 + 550 \times 1{\cdot}65] - 2454$$

$$R_A = 1094 \text{ kg}$$

बिन्दु A तथा C पर बंकन आघूर्ण शून्य होगा अर्थात्

$$M_A = M_c = \text{zero}$$

अधिकतम धनात्मक बंकन आघूर्ण वहाँ होती है, जहाँ कर्तन बल शून्य हो जाता है। यह बिन्दु A से $\frac{1094}{800} = 1{\cdot}37$ मी० की दूरी पर होगा (चित्र 7.16 (iii))।

इस बिन्दु पर बंकन आघूर्ण $= 1094 \times 1{\cdot}37 - 800 \times 1{\cdot}37 \times \frac{1{\cdot}37}{2}$

$= 1499 - 751$

$= 748$ kg-m (Sagging B.M.)

माना नति परिवर्तन बिन्दु (point of contraflexure) आलम्ब A से x मी० की दूरी पर है।

अत: $$1094x - \frac{800x^2}{2} = 0$$

$$x = 2{\cdot}74 \text{ m}$$

बिन्दु P आलम्ब A से 2·74 मी० की दूरी पर स्थित होगा अथवा बिन्दु C से $3{\cdot}30 + 1{\cdot}65 - 2{\cdot}74 = 2{\cdot}21$ m पर होगा।

आलम्ब B पर ऋणात्मक आघूर्ण होगा।

$$M_B = 550 \times 1{\cdot}65 \times \frac{1{\cdot}65}{2}$$

$= 748{\cdot}7$ kg-m (Hogging B.M.)

बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल के सभी आवश्यक मान चित्र 7.16 में दर्शाये गये हैं।

(4) **प्रास स्लैब का अभिकल्पन**—स्लैब का अभिकल्पन अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये किया जाता है। यह स्लैब के आलम्ब B पर आती है। अत: आंशिक सुरक्षा गुणक, $\gamma_f = 1{\cdot}5$ लेने पर, अभिकल्प (Factored) आघूर्ण—

$$M_d = 748{\cdot}7 \times 1{\cdot}5 = 1123 \text{ kg.m} \text{ अथवा } 1123 \times 10^4 \text{ N.mm (–ve)}$$

$M_{u\,\text{Lim.}} = M_d$ रखने पर—

$$0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck} = 1123 \times 10000$$

$$0{\cdot}138 \times 1000 \times d^2 \times 20 = 11230000$$

$$\therefore \quad d^2 = \frac{11230000}{0{\cdot}138 \times 1000 \times 20}$$

$d = 64$ mm, परन्तु विक्षेप को ध्यान में रखते हुये,

प्रास-स्लैब की आबद्ध-सिरे पर यह मोटाई 120 mm रखते हैं।

अत: स्लैब की प्रभावी गहरायी $= 120 - 20 = 100$ mm

(5) **प्रबलन इस्पात**—

(a) सन्तुलित खण्ड के लिये, $x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}}{0{\cdot}36 \times 20 \times 1000}$

$$\therefore \quad x_u = 0{\cdot}05 A_{st}$$

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u) \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$M_d = M_u$$

$$11230000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} (100 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}05 A_{st})$$

$$A_{st}^2 - 4751 A_{st} + 1477632 = 0 \quad \text{(यह एक द्विघातीय समीकरण है)।}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{-(-4751) \pm \sqrt{(-4751)^2 - 4 \times 1477632}}{2}$$

$$= \frac{4751 \pm 4082}{2} = 334{\cdot}5 \text{ say } 335 \text{ mm}^2$$

16 mm व्यास की छड़ें (क्षेत्रफल 201 mm^2) प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्त

$$= \frac{1000 \times 201}{335} = 600 \text{ mm}$$

परन्तु यह अन्तराल $3\,d$ अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होगा, अ

$3 \times 100 = 300$ mm (न्यूनतम)

अत: 16 mm व्यास की छड़े 300 mm c/c पर डाली जायेगी।

ये छड़े पोर्टिको-स्लैब के ऊपरी भाग मे डाली जायेगी तथा बरामदे के भाग में नति परिवर्तन बि (Point of Contraflexure) (2·21 m + 47 ϕ) तक जायेगी अर्थात् 2·21 + (47 × 0·0 = 2·96 m दूरी तक ले जायी जायेगी।

(6) वितरण इस्पात—यह कंक्रीट क्षेत्रफल का 0·12% रखते हुये—

$$A_{sd} = \frac{0{\cdot}12}{100} \times 120 \times 1000 = 144 \text{ mm}^2$$

8 mm व्यास की छड़ (क्षेत्रफल 50 mm^2) प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल,

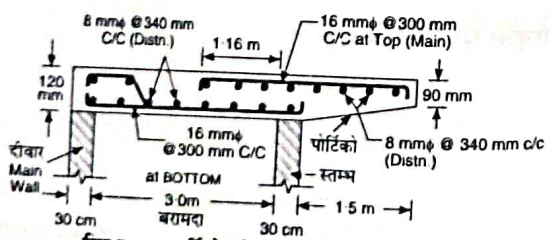
$$s = \frac{50 \times 1000}{144} = 347 \text{ mm.}$$

यह छड़े $5d$ अथवा 450 mm, जो भी न्यूनतम से है, से **अधिक** दूरी पर नहीं होंगी, अर्थ 347 mm या 5 × 100 = 500 mm या 450 mm। अत: 8 mm व्यास की छड़ें 340 mm c/c प डाली जायेगी।

प्रास स्लैब की मोटाई निर्बाध सिरे पर घटाकर 90 mm की जायेगी।

सामान्य स्लैब कर्तन में सुरक्षित होती है। अत: कर्तन प्रतिबल की जाँच की विशे आवश्यकता नहीं है। विक्षेप नियन्त्रण (Deflection Control) के लिये पाट-गहरायी अनुपा तथा आशोधन गुणक (Modification Factor) गणनाओं में लिये गये है।

(7) प्रबलन इस्पात का विवरण—



चित्र 7.17—पोर्टिको स्लैब-प्रबलन इस्पात का विवरण

(III) द्वि-दैशिक प्रबलित स्लैब (TWO-WAY SLAB)

§ 7.10. मुख्य बातें (Main Points) :

जब स्लैब अपने चारों किनारों (सिरों) पर अगल-बगल की दीवारों या धरनों पर आलम्बित होती है तब इस पर द्वि-दिशा पाटन-क्रिया प्रभावी मानी जाती है और इसे द्वि-दैशिक स्लैब कहते है, द्वि-दैशिक स्लैब के लिये विचारणीय बातें निम्न हैं—

(1) स्लैब दोनों पाटों (बड़ा तथा छोटा) पर आलम्बित तब मानी जाती है, जब स्लैब की लम्बाई, इसकी चौड़ाई से **दो गुना अथवा इससे कम** अर्थात् $\frac{l_y}{l_x} \leq 2{\cdot}0$ हो। इसके अन्तर्गत आने वाले कमरों के कुछ परिमाप इस प्रकार है—

(i) 6 m × 4·5 m	(ii) 6 m × 3 m
(iii) 5 m × 4 m	(iv) 5 m × 3 m
(v) 4·5 m × 3 m	(vi) 4 m × 3·5 m
(vii) 4 m × 3 m	(viii) 3 m × 3 m

(2) स्लैब क्योंकि दोनों पाटों पर टिकी हुई मानी जाती है, इसलिये स्लैब पर आने वाला भार दोनों पाटों पर इनके **अनुपात** में बँट जाता है। इसलिये स्लैब पर, एकल दैशिक आलम्बित स्लैब की तुलना में बंकन आघूर्ण व विक्षेप (Deflection) के मान काफी घट जाते हैं। इसलिये **स्लैब की मोटाई कम हो जाती है** और निर्माण लागत में कमी आती है।

(3) चूँकि स्लैब दोनों दिशा (तल) में झुकती है, इसलिये दोनों दिशाओं में तनन प्रबलन दिया जाता है। प्रत्येक पाट के लिये, बंकन आघूर्ण अलग-अलग आती हैं और इसी के अनुसार तनन इस्पात ज्ञात किया जाता है। प्रबलन छड़ें जाल की भांति एक-दूसरी के लम्बवत् तथा सटी हुई डाली जाती है।

(4) स्लैब के दोनों दिशाओं में (मुख्य इस्पात द्वारा) प्रबलित होने के कारण, इसमें वितरण इस्पात (Distribution Steel) की आवश्यकता नहीं रहती है।

(5) सामान्य स्लैब कर्तन प्रतिबलों के प्रति सुरक्षित होती है।

(6) जब द्वि-दैशिक स्लैब भारित होती है, इसके कोने (Corners) (एक चाकौर प्लेट की भांति) ऊपर को उठने (Up-lift) की चेष्टा करते हैं। तब स्लैब में दरारें (Cracks) उत्पन्न हो सकती है। इसे स्लैब का ऐंठन (Torsion) कहते हैं। कोनों पर स्लैब का ऐंठन (Torsion) का प्रभाव रोकने के लिये, इन क्षेत्रों (कोनों) में अतिरिक्त प्रबलन दिया जाता है।

(7) द्वि-दैशिक स्लैब, शुद्धालम्ब अथवा दोनों दिशाओं अथवा किसी एक दिशा मे सतत हो सकती है।

(8) द्वि-दैशिक स्लैब में प्रतिबलों का शुद्धता से विश्लेषण काफी जटिल है, अत: अभिकल्पन में प्रयोगों से उपलब्ध आँकड़ों की सहायता ली जाती है (यह आँकड़े IS कोड 456–2000 मे देखे जा सकते है)।

(9) छोटे (लघु) पाटों (3·50 मी० तक) की द्वि-दैशिक स्लैब के लिये, $\frac{\text{पाट}}{\text{कुल गहराई}}$ का मान, ...

7.2 के अनुसार लेने पर, 3 kN/m² तक के भार के लिये, विक्षेप (Deflection) की सुर... सीमा-शर्त पूरी हो जाती है।

§ 7.11. एकल-दैशिक–द्वि-दैशिक प्रबलित स्लैबों की तुलना :

एकल-दैशिक स्लैब (One-Way Slab)	द्वि-दैशिक स्लैब (Two-Way Slab)
1. पाट अनुपात— $\frac{l_y}{l_x} > 2{\cdot}0$	1. पाट अनुपात— $\frac{l_y}{l_x} \le 2{\cdot}0$
2. आनमन आघूर्ण (Flexural Moment) एक ही पाट (लघु पाट) पर उपजी मानी जाती है।	2. आनमन आघूर्ण दोनों पाटों पर उपजी ... जाती है।
3. स्लैब की मोटाई अधिक रखनी पड़ती है।	3. स्लैब की मोटाई, एकल-दैशिक स्लैब से ... कम आती है, क्योंकि बंकन आघूर्ण, दोनों ... पर, इनके मापों के आधार पर बंट जाती है।
4. तनन प्रबलन छोटे पाट के समान्तर डाला जाता है। लम्बे पाट के समान्तर डाला गया प्रबलन, वितरण इस्पात कहलाता है।	4. तनन प्रबलन (Tension Steel) दोनों पाटों ... समान्तर डाला जाता है। लम्बे पाट के सम... डाला गया प्रबलन, वितरण/ताप प्रबलन ... कार्य भी निभाता है।
5. स्लैब की मोटाई अधिक होने के कारण इसमें प्रबलन इस्पात की मात्रा भी अधिक रखनी पड़ती है, अत: यह अभिकल्प मित्तव्ययी नहीं होता है।	5. द्वि-दैशिक स्लैब की मोटाई तथा प्रबलन इ... की मात्रा कम होने के कारण, यह अभि... मित्तव्ययी होता है।
6. इस अभिकल्पन में गणनायें सरल पड़ती हैं।	6. अभिकल्पन के लिये B.I.S. द्वारा निर्धा... बंकन आघूर्ण गुणक अपनाने पड़ते हैं ... गणनायें भी जटिल होती है।

§ 7.12. शुद्धालम्बित द्वि-दैशिक स्लैब (Simply Supported Two-Way Slab)

शुद्धालम्बित स्लैब में भार पड़ने के कारण पाट के मध्य विक्षेप एवं बंकन उपजती है। इसके प्र... से स्लैब के कोनों में ऐंठन (Torsion) आती है और ये ऊपर को उठ जाते हैं।

यदि कोनों को ऊपर उठने से रोक दिया जाये, तो स्लैब का विक्षेप व बंकन बहुत कम हो ज... है और इसकी सामर्थ्य बढ़ जाती है।

कोनों की स्थिति को दृष्टि में रखते हुये, शुद्धालम्ब स्लैब दो श्रेणी में बँट जाती हैं—

Case I— शुद्धालम्बित स्लैब जिसके कोने **आबद्ध नहीं हैं** अर्थात् नीचे को दबाये नहीं गये हैं (Corners NOT Held Down)—

इस प्रकार की स्लैब एक मन्जिल भवनों की छतों तथा पानी की टंकियों को ढाँपने के लिये बनायी जाती हैं, जहाँ पर स्लैब के कोनों को आबद्ध करने की व्यवस्था नहीं होती है। इस स्लैब को Un-restrained Slab कहते हैं। **इस प्रकार की स्लैब में ऐंठन प्रबलन (Torsion Reinforcement) देने की आवश्यकता नहीं है।** स्लैब को चारों दीवारों पर असतत टिका दिया जाता है।

Case II—शुद्धलम्बित स्लैब जिसके कोने **आबद्ध कर दिये गये हैं** (Corners Held Down)—

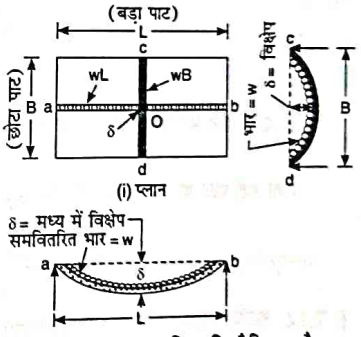
चिनाई में भली-भाँति दबाये गये स्लैब के सिरे अथवा धरनों के साथ एकाश्मी डाली गयी स्लैब इस श्रेणी में मान ली जाती है। इस स्लैब के कोने भार पड़ने पर, ऊपर उठने के लिये मुक्त नहीं होते हैं इस प्रकार की स्लैब को ऐंठन निरोधित स्लैब (Restrained against Torsion) कहते हैं। (पाठ्यक्रम की दृष्टि से इसका अभिकल्पन, इस पुस्तक की सीमा में नहीं आता है)।

(III-A) शुद्धालम्बित द्वि-दैशिक स्लैब, जिसके कोने आबद्ध नहीं हैं (SIMPLY SUPPORTED (S.S.) SLAB, CORNERS NOT HELD DOWN)

§ 7.13. भार वितरण (Load Distribution) :

द्वि-दैशिक स्लैब में भार इसके दोनों पाटों पर, इनके अनुपात में बँट जाता है। स्लैब के पाटों पर भार-वितरण **ग्रेशफ-रैंकिन विधि** द्वारा ज्ञात किया जाता है।

एक शुद्धालम्बित द्वि-दैशिक स्लैब पर विचार करें जिस पर w भार प्रति इकाई क्षेत्रफल आ रहा है (चित्र 7.18)। भार के कारण स्लैब दोनों दिशाओं में झुकेगी। यदि दो परस्पर लम्बवत् पतली पट्टियों $a-b$ तथा $c-d$ पर विचार करें तो इनके मिलन बिन्दु O पर विक्षेप, δ समान होगी।



चित्र 7.18—शुद्धालम्बित द्वि-दैशिक स्लैब (S.S. Two-Way Slab)

माना लो पट्टी $a-b$ के केन्द्र (बिन्दु O) में विक्षेप δ है।

$$\therefore \quad \delta = \frac{5}{384}\left[\frac{w_L \times (ab)^4}{E\,I}\right] \qquad \text{(सूत्र) ...(i)}$$

(सूत्र की उत्पति द्रव्यों की सामर्थ्य के अन्तर्गत देखें)

इसी प्रकार, पट्टी $c-d$ पर विक्षेप, $\delta = \frac{5}{384}\left[\frac{w_B \times (c\,d)^4}{E\,I}\right]$ (सूत्र) ...(ii)

क्योंकि मिलन बिन्दु O पर दोनों पाटों (पट्टियों) में विक्षेप बराबर है—

$$\therefore \quad \frac{5}{384}\left[\frac{w_L \times (ab)^4}{EI}\right] = \frac{5}{384}\left(\frac{w_B \times (cd)^4}{EI}\right)$$

EI समान है। $a-b$ को L तथा $c-d$ को B रखते हुये, सरलीकरण पर—

$$\therefore \quad w_L \times L^4 = w_B \times B^4 \qquad \text{...(iii)}$$

परन्तु $w = w_L + w_B$ प्रत्येक पाट पर पड़ने वाला भार,

अथवा $w_L = w - w_B$ यह मान (iii) में रखने पर—

$$(w - w_B) \times L^4 = w_B \times B^4$$

अथवा
$$\frac{B^4}{L^4} = \frac{w - w_B}{w_B}$$

$$\frac{B^4}{L^4} = \frac{w}{w_B} - 1$$

$$\frac{w}{w_B} = 1 + \frac{B^4}{L^4}$$

$$\frac{w}{w_B} = \frac{L^4 + B^4}{L^4}$$

∴ छोटे पाट पर आने वाला भार—$w_B = \left(\frac{L^4}{L^4 + B^4}\right) \times w$ ...(7.1)

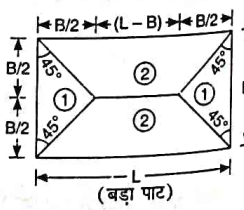
तथा बड़े पाट पर आने वाला भार—$w_L = w - w_B$ ...(7.2)

अथवा $w_L = \left(\frac{B^4}{L^4 + B^4}\right) \times w$ ...(7.3)

§ 7.14. कर्तन (अपरुपण) बल (Shear Force) :

प्रत्येक पाट पर कर्तन बल की गणना के लिये स्लैब को चित्र 7.19 के अनुसार दो त्रिभुजों तथा दो समलम्ब चतुर्भुजों में विभाजित कर लिया जाता है।

पाट B (छोटी दीवारों) पर त्रिभुज (1) का भार आयेगा तथा पाट L (बड़ी दीवारों) पर समलम्ब चतुर्भुज (2) का भार आता हुआ माना जाता है। भार का प्रति मी० लम्बाई, औसत निकालकर 1·5 से गुना कर देते हैं (क्योंकि केन्द्र (मध्य क्षेत्र)



चित्र 7.19

पर आने वाला भार का मान, सिरों पर के भार के मान से अधिक होता है। अतः औसत भार का 1·5 गुना कर दिया जाता है)। गणनाओं की जटिलता से बचते हुये, कर्तन बल के अधिक शुद्ध मान के लिये निम्न सूत्र प्रयोग किये जा सकते हैं—

(i) छोटे पाट (B) पर कर्तन बल $= \frac{1}{3} \times w \times B$ ...(7.4)

(ii) बड़े पाट (L) पर कर्तन बल $= \left[\frac{L/B}{2 + L/B}\right] \times w \times B$ ...(7.5)

§ 7.15. शुद्धालम्बित द्वि-दैशिक स्लैब की बंकन आघूर्ण के लिये गुणांक : (B. M. Coefficients for Two-Way Slab, S.S. at Four Sides):

एक द्वि-दैशिक स्लैब, जो अपने चारों किनारों (सिरों) पर शुद्धालम्बित है, भार पड़ने पर अपने चारों कोनों (Corners) पर ऊपर को **उठने** की चेष्टा करती है, जिसे यदि रोका नहीं जाता है, ऐसी स्लैब ही शुद्धालम्बित द्वि-दैशिक स्लैब कहलाती हैं।

शुद्धालम्बित द्वि-दैशिक स्लैब के दोनों पाटों के लिये बंकन आघूर्ण सारणी 7.3 में दिये गये गुणांक (Coefficients) की सहायता से भी ज्ञात की जा सकती है। यह गुणांक I. S. code 456–2000 द्वारा संस्तुत है और **ग्रेशाफ-रैंकिन सिद्धान्त** पर आधारित हैं।

$$M_x = \alpha_x w l_x^2 \qquad \text{...(7.6)}$$

$$M_y = \alpha_y w l_x^2 \qquad \text{...(7.7)}$$

यहाँ M_x = स्लैब के छोटे पाट के मध्य पर अधिकतम बंकन आघूर्ण

M_y = स्लैब के बड़े पाट के मध्य पर अधिकतम बंकन आघूर्ण

α_x व α_y = बंकन आघूर्ण गुणांक, (सारणी 7.3 में दिये गये हैं)

w = कुल अभिकल्पित भार प्रति इकाई क्षेत्रफल

l_x = स्लैब का छोटा पाट

l_y = स्लैब का बड़ा पाट

सारणी 7.3— चारों कोनो पर शुद्धालम्बित, द्वि-दैशिक स्लैब के लिये बंकन आघूर्ण गुणांक
(B.M. Coefficients)
(I.S. Code Table 27)

l_y = बड़ा पाट, l_x = छोटा पाट

$\frac{l_y}{l_x}$	1·0	1·1	1·2	1·3	1·4	1·5	1·75	2·0	2·5	3·0
α_x	0·062	0·074	0·084	0·093	0·099	0·104	0·113	0·118	0·122	0·124
α_y	0·062	0·061	0·059	0·055	0·051	0·046	0·037	0·029	0·020	0·014

स्लैब के मध्य-पाट में बंकन आघूर्ण के लिये डाला गया तनन इस्पात का 50% आलम्बों के भीतर रुक जाना चाहिये। शेष प्रबलन आलम्बों से $\frac{\text{पाट}}{7}$ की दूरी तक बना रहना चाहिये।

§ 7.16. विक्षेप की जाँच (Check For Deflection) :

विक्षेप को सीमित रखने के लिये 3·5 मी० पाट तक, स्लैब के **छोटे पाट/गहराई** का अनुपात 3000 N/m^2 (300 kg/m^2) तक भार-क्रम के लिये, निम्नलिखित से अधिक नहीं होना चाहिये।

(i) शुद्धालम्बित स्लैब = 35

(ii) सतत स्लैब = 40

विक्षेप के उपरोक्त मान Fe 250 ग्रेड की मृदु छड़ों के प्रबलन के लिये है। जब स्लैब में उच्च पराभव सामर्थ्य की विरूपित छड़ें (ग्रेड Fe 415) प्रयोग की गयी हैं, तो उपरोक्त मान को 0·8 से गुणा कर लिया जाये। अर्थात $35 \times 0{\cdot}8 = 28$ तथा $40 \times 0{\cdot}8 = 32$ (Clause 24.1, I.S. code 456–2000) (देखें सारणी 7.2)।

एकल दैशिक स्लैब (One Way Slab) की विक्षेप (Deflection) अनुच्छेद 5.10 के अनुसार ही परखी जायेगी।

§ 7.17. आलम्ब-धरनों पर भार (Loads on Supporting-Beams) :

समरूपी भरित द्वि-दैशिक प्रबलित स्लैब के आलम्ब-धरनों पर आने वाले भार का स्वरूप चित्र 7.19 के अनुसार लिया जायेगा।

§ 7.18. द्वि-दैशिक शुद्धालम्बित स्लैब के अभिकल्पन के चरण (Design Procedure for Two-Way S.S. Slab) :

शुद्धालम्ब द्वि-दैशिक स्लैब के अभिकल्पन की विधि व चरण नीचे दी जा रही है, परन्तु इससे पहले निम्नलिखित बातें समझ लें—

(i) प्रत्येक पाट के लिये वंकन आघूर्ण की गणना अलग-अलग की जायेगी।

(ii) स्लैब की मोटाई **अधिकतम** वंकन आघूर्ण के आधार पर ज्ञात की जायेगी।

(iii) अधिकतम वंकन आघूर्ण छोटे पाट पर उपजती है, अतः इसी वंकन आघूर्ण के लिये स्लैब की मोटाई ज्ञात की जाती है।

(iv) दोनों पाटों के लिये **अलग-अलग प्रबलन इस्पात** का क्षेत्रफल ज्ञात किया जायेगा। यह इस्पात एक-दूसरे के अभिलम्ब (जाल की भांति) डाला जायेगा।

(v) छोटे पाट के समान्तर तनन छड़ें सबसे नीचे की पंक्ति में डाली जायेंगी तथा उसके ऊपर इससे सटी हुई तथा इनके लम्बवत्, लम्बे पाट की तनन छड़े रहेंगी।

(vi) तनन इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात करने के लिये, दोनों दिशा में पाटों की प्रभादी गहराई अलग-अलग होगी। छोटे पाट की प्रभावी गहराई **अधिक** होती है, क्योंकि इसका तनन इस्पात नीचे की पंक्ति में डाला जाता है।

7.18-1. अभिकल्पन चरण (Design Steps)—

(1) स्लैब की दी गयी लम्बाई-चौड़ाई का अनुपात ज्ञात करें और यह निर्णय लें कि स्लैब **एक दैशिक** अथवा **द्वि-दैशिक** अभिकल्पित की जायेगी। जब $L \le 2B$ हो, तब द्वि-दैशिक स्लैब का अभिकल्पन किया जाता है। यहाँ L = बड़ा पाट व B = छोटा पाट है।

(2) विक्षेप (Deflection) के आधार पर, स्लैब की गहराई (D) मान लें (देखें सारणी 5.6)।

(3) स्लैब पर इकाई क्षेत्रफल पर कुल भार की गणना करें। इसके लिये चल भार, फर्श सम्पूर्ति का भार तथा स्लैब का स्वयं का भार जोड़ लें।

(4) आंशिक सुरक्षा गुणक (Partial Safety Factor), $\gamma_f = 1{\cdot}5$ लेते हुये, स्लैब पर अभिकल्प भार (Factored Load) निर्धारित करें।

(5) छोटे तथा बड़े पाट द्वारा वहन किये जाने वाले भारांश, निम्न सूत्रों से ज्ञात कर लें—

छोटे पाट पर कार्यरत भार, $$w_B = \left(\frac{L^4}{L^4 + B^4}\right) \times w \qquad \text{सूत्र ...(i)}$$

तथा बड़े पाट पर कार्यरत भार, $$w_L = w - w_B \qquad \text{...(ii)}$$

यहाँ L = बड़ा पाट, B = छोटा पाट तथा w = प्रति इकाई क्षेत्रफल स्लैब पर आ रहा कुल भार है।

(6) छोटे तथा बड़े पाट पर वंकन आघूर्ण की गणना करें—

(i) छोटे पाट पर, $M_x = \alpha_x w l_x^2$ ...(iii)

(ii) पाट पर, $M_y = \alpha_y w l_x^2$ ...(iv)

यदि w भार kg में तथा L या B मीटर में है, तो वंकन आघूर्ण को 10^4 से गुणा करके, इसे N–mm में परिवर्तित कर लें।

(7) अब **अधिकतम** बंकन आघूर्ण के लिये स्लैब में तनन प्रबलन की मात्रा ज्ञात करें।

$$M_u = M_d \qquad \text{...(v)}$$

यहाँ $$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u)$$

अभिकल्पन के लिये 1 मीटर (1000 mm) चौड़ी स्लैब पट्टी ली जाती है।

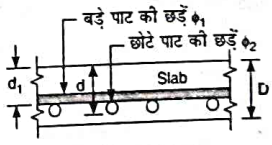
(8) छोटे तथा बड़े पाट के लिये अलग-अलग प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल तथा छड़ों का अन्तराल ज्ञात करें—

$$\text{अन्तराल, } s = \frac{a_1 \times 1000}{A_{st}}, \qquad \text{...(vi)}$$

यहाँ a_1 एक छड़ का क्षेत्रफल (mm^2 में) तथा A_{st} विचाराधीन पाट पर तनन इस्पात का क्षेत्रफल (mm^2) है।

बड़े पाट के लिये प्रभावी गहराई, छोटे पाट में प्रयुक्त छड़ के एक व्यास से कम होगी। यदि पाटों पर छड़ों के व्यास भिन्न हैं तब—बड़ें पाट (L) के लिये प्रभावी गहराई $d_1 = d - \frac{\phi_1}{2} - \frac{\phi_2}{2}$

यहाँ ϕ_1 तथा ϕ_2 छोटे तथा बड़े पाटों पर प्रयुक्त छड़ों का व्यास है (चित्र 7.20 देखें)।



चित्र 7.20

(9) स्लैब में कर्तन बल तथा स्थिरण की जाँच करें—

(i) छोटे पाट के लिये कर्तन बल $= \frac{1}{3} \times w \times B$ (सूत्र) ...(vii)

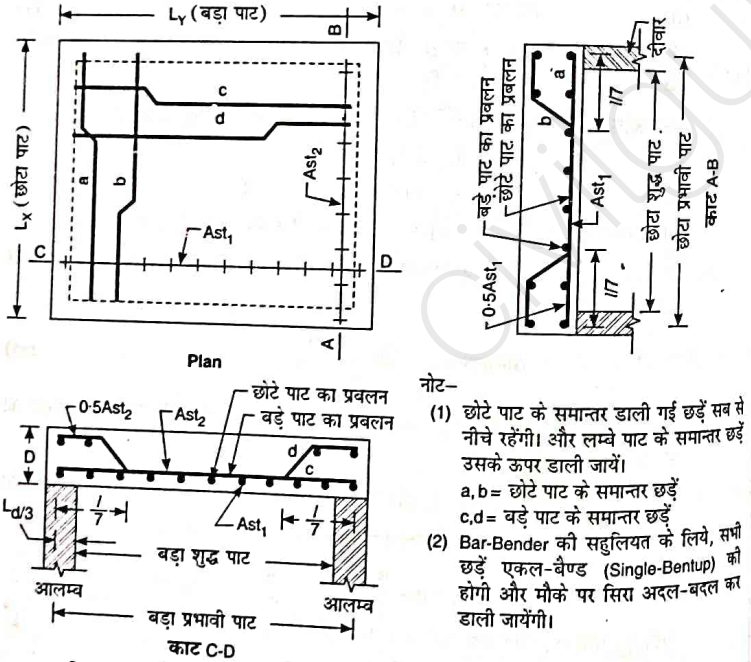
(ii) बड़े पाट के लिये कर्तन बल $= \left[\frac{L/B}{2 + L/B}\right] \times w \times B$ (सूत्र) ...(viii)

कर्तन प्रतिबलों का मान सारणी 4.1 से अधिक नहीं होना चाहिये। प्राय: स्लैब कर्तन से सुरक्षित होती है, अत: सामान्य केस में यह जाँच छोड़ी जा सकती है।

(10) विकास लम्बाई में जाँच, सामान्य विधि से दोनों पाटों के लिये अलग-अलग करें।

(11) I.S. कोड के अनुसार स्लैब के मध्य-पाट क्षेत्र में डाले गये तनन इस्पात का 50% आवश्यक रूप से आलम्बों के भीतर तक ले जाये और शेष इस्पात आलम्बों से $\frac{\text{पाट}}{7}$ की दूरी पर समाप्त किया जा सकता है अथवा इसे 45° पर नत करके स्लैब के ऊपरी क्षेत्र में ऋणात्मक (–ve) आघूर्ण के लिये ले जाते हैं।

(12) चित्र खींच कर दोनों दिशाओं में अभिकल्पित प्रबलन इस्पात की स्थिति दिखायें।



नोट–

(1) छोटे पाट के समान्तर डाली गई छड़ें सब से नीचे रहेंगी। और लम्बे पाट के समान्तर छड़ें उसके ऊपर डाली जायें।
a, b = छोटे पाट के समान्तर छड़ें
c, d = बड़े पाट के समान्तर छड़ें

(2) Bar-Bender की सहूलियत के लिये, सभी छड़ें एकल-बैण्ड (Single-Bentup) की होंगी और मौके पर सिरा अदल-बदल कर डाली जायेंगी।

चित्र 7.21—द्वि-दैशिक स्लैब में (जब कोने आबद्ध नहीं है) प्रबलन इस्पात की स्थिति (S.S. Slab, when Corners not held-down)

(III-B) द्वि-दैशिक स्लैब (जिसके कोने जकड़े नहीं हैं) का अभिकल्पन (DESIGN OF A TWO-WAY SLAB WHEN CORNERS NOT HELD DOWN)

उदाहरण 7.8 : निम्न आंकड़ों के लिये एक द्वि-दैशिक प्रबलित स्लैब का अभिकल्पन कीजिये। स्लैब शुद्धालम्बित है और इसके कोने जकड़े नहीं हैं (Corners Not Held-Down) (ऊपर उठने को स्वतन्त्र है)। कक्ष का माप 3·5 m × 4 m, स्लैब पर चल भार = 2 kN/m², कंक्रीट M–20 तथा इस्पात Fe 415 ग्रेड का अपनाये।

हल : (i) अभिकल्पन स्थिरांक—M–20 कंक्रीट व इस्पात Fe 415 के लिये—

$f_{ck} = 20\ \text{N/mm}^2$, $f_y = 415\ \text{N/mm}^2$

$x_{u\,max} = 0{\cdot}48\,d$, $M_{u\,Lim} = 0{\cdot}138\,b\,d^2 f_{ck}$ ...(सारणी 5.7 से)

प्रश्नानुसार $\frac{L}{B} = \frac{4{\cdot}0}{3{\cdot}5} = 1{\cdot}14 < 2$, अत: यह द्वि-दैशिक स्लैब (Two-Way Slab) अभिकल्पित की जायेगी।

(ii) स्लैब की गहरायी (मोटाई) तथा पाट—विक्षेप (Deflection) नियन्त्रण के लिये, स्लैब की गहरायी के लिये $\frac{\text{पाट}}{\text{गहराई}} = 28$ लेते हैं।

(Fe 415 इस्पात के लिये = 28, (सारणी 5.6 से) (टिप्पणी सहित)

$\therefore$ स्लैब की गहराई, $D = \frac{3{\cdot}5 \times 1000}{28} = 125\ \text{mm}$

20 mm का आवरण लेने पर, प्रभावी गहराई $d = 125 - 20 = 105$ mm

प्रभावी पाट = पाट + d,

अत: L_x के लिये = 3·5 + 0·105 = 3·605 m

L_y के लिये = 4·0 + 0·105 = 4·105 m

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4{\cdot}105}{3{\cdot}605} = 1{\cdot}14$$

(iii) भार तथा बंकन आघूर्ण—

चल भार = 2000 N/m²

स्लैब का स्वयं का भार, $1 \times 1 \times 0{\cdot}125 \times 25000 = 3125\ \text{N/m}^2$

कुल भार = 5125 N/m²

अभिकल्प (Factored) भार, आंशिक सुरक्षा गुणक, $\gamma_f = 1{\cdot}5$ लेते हुये,

$5125 \times 1{\cdot}5 = 7688\ \text{N/m}^2$ अथवा 7688 N प्रति मी० लम्बाई

प्रत्येक दिशा में स्लैब की एक मीटर चौड़ी पट्टी पर विचार करते हुये— $\frac{L_y}{L_x} = 1{\cdot}14$ के लिये,

सारणी 7.3 (अथवा I.S. Code Table 27) से $\alpha_x = 0{\cdot}078$ व $\alpha_y = 0{\cdot}060$ अपनाते हुये—

$$\therefore \quad M_x = \alpha_x\, w\,(l_x)^2 = 0{\cdot}078 \times 7688 \times (3{\cdot}605)^2 = 7794 \text{ N-m}$$
$$M_y = \alpha_y\, w\,(l_x)^2 = 0{\cdot}060 \times 7688 \times (3{\cdot}605)^2 = 5995 \text{ N-m}$$

(iv) स्लैब की गहराई अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये ज्ञात की जायेगी। उपरोक्त में M_x अधिक है, इसे $M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck}$ के तुल्य रखने पर—

$$M_{u\,\text{Lim}} = M_x$$
$$7794 \times 10^3 = 0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck}$$

ज्ञात मान रखने पर, $7794 \times 1000 = 0{\cdot}138 \times 1000 \times d^2 \times 20$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{7794 \times 1000}{0{\cdot}138 \times 1000 \times 20}} = 53 \text{ mm}$$

अथवा $$d = \sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}}$$

यहाँ R_u—सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक है। M-20 और Fe 415 के लिये इसका मान = 2·76 (सारणी 3.6 से) लिया जाता है।

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{7794 \times 1000}{2{\cdot}76 \times 1000}} = 53 \text{ mm}$$

यह गहरायी ऊपर मानी गयी गहराई 105 mm से कम है। अत: विक्षेप नियन्त्रण की दृष्टि से स्लैब की प्रभावी मोटाई, $d = 105$ mm और कुल मोटाई, $D = 125$ mm ली जायेगी।

(v) **प्रबलन इस्पात—**

(a) **स्लैब के छोटे पाट के समान्तर प्रबलन इस्पात—**

$$x_u = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}}{0{\cdot}36\, f_{ck}\, b}, \text{ ज्ञात मान रखने पर,}$$

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}}{0{\cdot}36 \times 20 \times 1000} = 0{\cdot}05\, A_{st}$$

सीमान्त बंकन आघूर्ण, $M_u = 0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}\,(d - 0{\cdot}42\, x_u)$ ...(सूत्र)

$M_u = M_x$ रखने पर—

$$7794 \times 1000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}\,[105 - (0{\cdot}42 \times 0{\cdot}05\, A_{st})]$$
$$7794000 = 37910\, A_{st} - 7{\cdot}58\, A_{st}^2$$
$$A_{st}^2 - 5001\, A_{st} + 1028232 = 0$$
$$= \frac{-(-5001) \pm \sqrt{(-5001)^2 - (4 \times 1028232)}}{2}$$
$$= \frac{5001 \pm 4571}{2} = 215 \text{ mm}^2$$

10 mm की छड़ें (क्षेत्रफल 79 mm²) प्रयोग करने पर, अन्तराल $= \frac{79 \times 1000}{215}$ = 368 mm c/c यह अन्तराल 3 d अर्थात् 3 × 105 = 315 mm c/c अथवा 300 mm अथवा उपरोक्त ज्ञात, जो भी न्यूनतम है, से **अधिक** नहीं होगा, अत: 10 mm व्यास की छड़ें 300 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(b) **स्लैब के बड़े पाट के समान्तर प्रबलन इस्पात**—बड़े पाट पर तनन छड़ें, छोटे पाट पर डाली गयी छड़ों के **ऊपर** बिछायी जायेंगी। अत: बड़े पाट की तनन छड़ों के लिये प्रभावी गहराई (10 mm छड़-व्यास रखने पर), $d_1 = 105 - \frac{10}{2} - \frac{10}{2} = 95$ mm

सीमान्त बंकन आघूर्ण, $M_u = 0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}\,(d_1 - 0{\cdot}42\, x_u)$ ...(सूत्र)

$M_u = M_y$ रखने पर,

$$6015 \times 1000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st}\,(95 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}05\, A_{st})$$
$$6015000 = 34300\, A_{st} - 7{\cdot}58\, A_{st}^2$$
$$7{\cdot}58\, A_{st}^2 - 34300\, A_{st} + 6015000 = 0$$
$$A_{st}^2 - 4525\, A_{st} + 793536 = 0$$
$$= \frac{-(-4525) \pm \sqrt{(-4525)^2 - 4 \times 793536}}{2}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{4525 - 4160}{2} = 183 \text{ mm}^2$$

10 mm व्यास की छड़ें डालने पर, छड़ों का अन्तराल $= \frac{79 \times 1000}{183} = 432$ mm c/c परन्तु यह अन्तराल 3 d अर्थात् 3 × 95 = 285 mm c/c अथवा 300 mm, अथवा 432 mm, जो भी न्यूनतम है, से **अधिक** नहीं होना चाहिये। अत: 10 mm व्यास की छड़ें 285 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(vi) **प्रबलन इस्पात की जाँच**—कोड के अनुसार टोर इस्पात का न्यूनतम क्षेत्रफल, प्रत्येक दिशा में 0·12% से कम नहीं होना चाहिये, अर्थात्

$$125 \times 1000 \times \frac{0{\cdot}12}{100} = 150 \text{ mm}^2$$

स्लैब की दोनों दिशाओं में A_{st} इससे अधिक है, अत: सही है।

आलम्बों से पाट/7 की दूरी पर 50% छड़ें ऊपर को नत कर दी जायेंगी ताकि आलम्बों पर आंशिक जकड़न (Partial Fixity) के कारण उत्पन्न –ve बंकन आघूर्ण को रोधित किया जा सके।

(vii) **अपरुपण में जाँच—**

(a) छोटे पाट के लिये अपरुपण बल— $= \frac{1}{3} \times w \times B$

$$= \frac{1}{3} \times 7688 \times 3{\cdot}5 = 8970 \text{ N}$$

(b) बड़े पाट के लिये अपरुपण बल— $= \left[\frac{L/B}{2 + L/B}\right] \times w \times B$

$= \left(\frac{1{\cdot}14}{2 + 1{\cdot}14}\right) \times 7688 \times 3{\cdot}5 = 9769\ \text{N}$

उपरोक्त में अधिकतम अपरुपण बल 9769 N है। अत: इसी पर विचार किया जाता है।

अधिकतम अपरुपण बल, $V_u = 9769\ \text{N}$

नामन अपरुपण प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{bd} \quad \frac{9769}{1000 \times 105} = 0{\cdot}10\ \text{N/mm}^2$

(यहाँ) $d = 105$ mm लिया जायेगा, क्योंकि अपरुपण (Shear) में निचली पंक्ति की छड़ें कर्ण में पहले प्रभावित होती हैं)

स्लैब में प्रबलन का क्षेत्रफल, $A_{st} = \frac{79 \times 1000}{300} = 263\ \text{mm}^2$

इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \frac{100 \times 263}{1000 \times 105} = 0{\cdot}25\%$

M-20 तथा $p_t = 0{\cdot}25\%$ के लिये सारणी 4.1 से, $\tau_c = 0{\cdot}36\ \text{N/mm}^2$

स्लैब के लिये, $\tau_{c_1} = k \times \tau_c = 1{\cdot}30 \times 0{\cdot}36 = 0{\cdot}47\ \text{N/mm}^2$

$\because\ \tau_{c_1} > \tau_v$, अत: स्लैब में अपरुपण प्रबलन आवश्यक नहीं है।

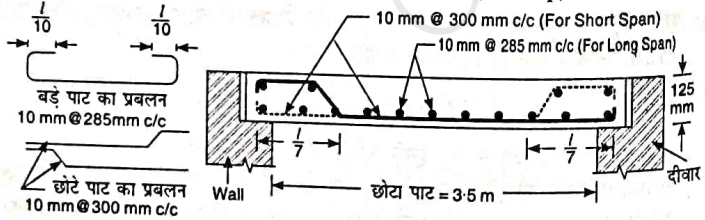
(viii) अभिकल्पन विवरणी तथा चित्रण—

स्लैब की मोटाई = 125 mm

छोटे पाट के समान्तर प्रबलन = 10 mm ϕ @ 300 mm c/c

बड़े पाट के समान्तर प्रबलन = 10 mm ϕ @ 285 mm c/c

आलम्ब से पाट/7 की दूरी पर 50% छड़ें ऊपर को नत (Bent up) की जायेंगी।



चित्र 7.22—द्वि-दैशिक स्लैब (Two-Way Slab)

उदाहरण 7.9 : एक 5 मी० × 5 मी० प्रभावी माप की छत के लिये प्रबलित सीमेंट कंक्रीट की स्लैब का अभिकल्पन करें, जो 3 kN/m² का अध्यारोपित भार वहन कर सके। स्लैब के किनारे जकड़े हुये नहीं हैं (Corners not Held-Down)। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयोग करें। [B.T.E.]

हल : (1) चूँकि स्लैब की लम्बाई तथा चौड़ाई बराबर है। अर्थात् $L/B = 5/5 = 1$ है, जो 2 से कम है, अत: यह स्लैब दो तरफा प्रबलित (Two-Way Reinforced) मान कर अभिकल्पित की जायेगी। स्लैब के दोनों पाटों पर समवितरित भारांश बराबर होगा। अभिकल्पन के लिये स्लैब की एक मी० चौड़ी पट्टी ली जायेगी और एक पाट के लिये अभिकल्पित प्रबलन दूसरे पाट के लिये भी अपनाया जायेगा।

(2) भार—माना स्लैब की मोटाई 150 mm है $\left(\frac{\text{पाट}}{35} = 143\ \text{mm say } 150\ \text{mm}\right)$।

(i) अध्यारोपित भार $= 3000\ \text{N/m}^2$

(ii) स्लैब का स्वयम् का भार $= 1 \times 1 \times 0{\cdot}15 \times 25000 = 3750\ \text{N/m}^2$

कुल भार $= 6750\ \text{N/m}^2$

आंशिक सुरक्षा गुणक, $\gamma_f = 1{\cdot}5$ लेते हुये,

अभिकल्प (Factored) भार $= 6750 \times 1{\cdot}5 = 10125$ N प्रति मी० लम्बाई

चूँकि दोनों (बराबर) पाटों पर भार समान होगा, अत: एक पाट के लिये भार,

$$\frac{W}{2} = \frac{10125}{2} = 5063\ \text{N/m}$$

अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M_d = \frac{wl^2}{8} = \frac{5063 \times 5^2}{8}$

$= 15822\ \text{N.m} = 15822000\ \text{N.mm}$

(3) स्लैब की मोटाई— $M_{u\ \text{Lim.}} = M_d$ रखने पर,

$0{\cdot}138\ bd^2 f_{ck} = 15822000$

$0{\cdot}138 \times 1000 \times d^2 \times 20 = 15822000$

$\therefore \quad d = 76\ \text{mm}$

स्लैब की मोटाई निम्न सूत्र से भी ज्ञात कर सकते हैं—$M_{u\ \text{Lim.}} = R_u\, bd^2$, यहाँ R_u = सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (Moment of Resistance Factor)। R_u के मान सारणी 3.6 में दिये गये हैं। M-20 कंक्रीट और Fe 415 के लिये $R_u = 2{\cdot}76$ है। अत: $d = \sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}}$,

ज्ञात मान रखने पर— $d = \sqrt{\frac{15822000}{2{\cdot}76 \times 1000}} = 76\ \text{mm}$

— (दोनों सूत्रों से ज्ञात मोटाई समान आती है)।

अत: विक्षेप के आधार पर ऊपर मानी गयी 150 mm मोटाई स्वीकार्य है।

20 mm का कंक्रीट का आवरण मानते हुये, स्लैब की प्रभावी गहरायी, $d = 150 - 20 = 130\ \text{mm}$

(4) प्रबलन इस्पात—

(i) मध्य पाये पट्ट के लिये ऋण हलन—

मध्यवर्ती खम्भे के लिये,

$$x_u = \frac{0.87 f_y A_{st}}{0.36 f_{ck} b} = \frac{0.87 \times 415 \times A_{st}}{0.36 \times 20 \times 1000} = 0.05 A_{st}$$

$$M_u = 0.87 f_y A_{st} (d - 0.42 x_u)$$

$$= 0.87 \times 415 \times A_{st} (130 - 0.42 \times 0.05 A_{st})$$

$$= 44937 A_{st} - 7.58 A_{st}^2$$

$M_u = M_u$ रखने पर—

$$15822000 = 44937 A_{st} - 7.58 A_{st}^2$$

$$A_{st}^2 - 6192 A_{st} + 2087335 = 0$$ यह एक द्विघातीय समीकरण है,

$$A_{st} = \frac{-(-6192) \pm \sqrt{(-6192)^2 - (4 \times 2087335)}}{2}$$

$$A_{st} = \frac{+6192 \pm 5477}{2} = 358 \text{ mm}^2$$

12 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

$$= \frac{1000 \times 113}{358} = 243 \text{ mm say } 240 \text{ mm c/c}$$

यह अन्तराल $3 \times d = 3 \times 130 = 390$ mm अथवा 300 mm अथवा 240 mm (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होना।

अतः प्लैब के सहित पाये पट्ट में, ऋण हलन के लिये 12 mm व्यास की छड़ें, 240 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(ii) मध्य पट्ट के लिये ऋण हलन— $M_u = M_u$

यहाँ $M_u = 0.87 f_y A_{st} (d_1 - 0.42 x_u)$

यहाँ $x_u = 0.05 A_{st}$ (ऊपर ज्ञात है)।

$d_1 = 150 - 15 - 12 - 6 = 117$ mm

(यहाँ पर हमने पट्ट आवरण 15 mm और छड़ का व्यास 12 mm है)

अतः $M_u = 0.87 \times 415 \times A_{st} (117 - 0.42 \times 0.05 A_{st})$

$$= 42243 A_{st} - 7.58 A_{st}^2$$

$\therefore 15822000 = 42243 A_{st} - 7.58 A_{st}^2$

$7.58 A_{st}^2 - 42243 A_{st} + 15822000 = 0$

$$A_{st} = \frac{-(-5573) \pm \sqrt{(-5573)^2 - (4 \times 2087335)}}{2}$$

$\therefore A_{st} = 404 \text{ mm}^2$

12 mm व्यास की छड़ डालने पर, छड़ों का अन्तराल $= \frac{113 \times 1000}{404} = 280$ mm

यह अन्तराल $3d$ अर्थात् $3 \times 117 = 351$ mm अथवा 300 mm अथवा 280 mm (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होना।

अतः 12 mm व्यास की छड़ें 280 mm c/c पर डाली जायेंगी। ये छड़ें निचले ऋण छड़ों की बीच पर छड़ी (ऊपर की ओर) डाली जायेंगी।

उपरोक्त ऋण छड़ों को प्रत्येक एकान्तर छड़ (Alternate Bar), बिछाने वाले के लिये $\frac{\text{पाट}}{7}$ की दूरी पर (आधारों के पास से) 45° पर ऊपर को मोड़ (Bent up) दी जायेंगी।

(iii) अपरूपण में जाँच (Shear Check)— पट्ट पर भार, $V_u = 5063 \times 5 = 25315$ N

अपरूप कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{25315}{1000 \times 130} = 0.20 \text{ N/mm}^2$

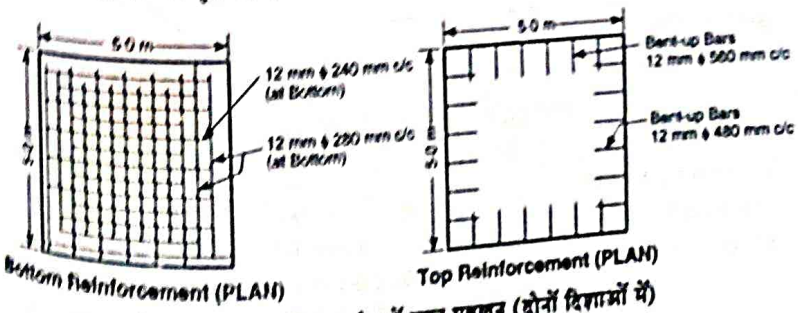
खड़े में हलन का प्रतिशत, $p_t = \frac{100 \times A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 358}{1000 \times 30} = 0.28\%$

सारणी 4.1 से, $\tau_c = 0.38 \text{ N/mm}^2$

k गुणक (प्लैब प्लैब के लिये) लगाने पर $= 0.38 \times 1.30 = 0.50 \text{ N/mm}^2$

$\because \tau_c > \tau_v$ अर्थात् $(0.50) > (0.20) \text{ N/mm}^2$ । अतः प्लैब में अपरूप प्रबलन देने की आवश्यकता नहीं है।

(iv) कोनों पर ऐंठन प्रबलन (Torsional Reinforcement)— प्लैब के कोने ऊपर उठने को स्वतन्त्र है, फिर भी ऐंठन प्रबलन के लिये 8 mm व्यास की छड़ें $\frac{\text{पाट}}{5} = 1.0$ मी० के क्षेत्र में 200 mm c/c की दूरी पर (नीचे तथा ऊपर) डालें। ऋण छड़ें चित्र 7.23 में दर्शायी गयी हैं।



चित्र 7.23—द्वि-दैशिक प्लैब में ऋण प्रबलन (दोनों दिशाओं में)

(IV) सतत स्लैब (CONTINUOUS SLAB)

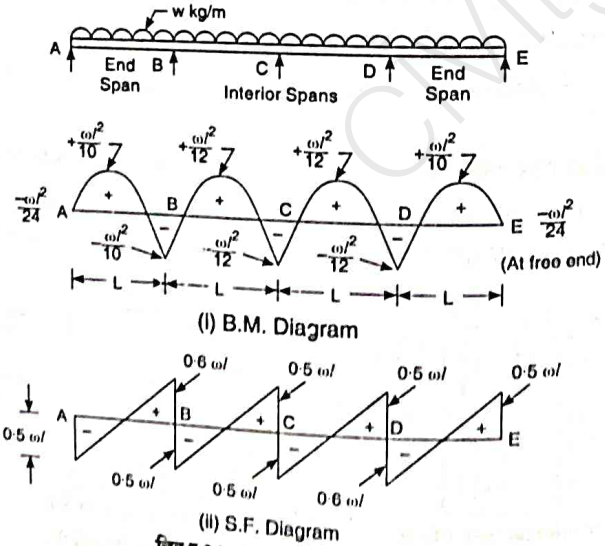
§ 7.19. अभिकल्प तत्व (Design Consideration) :

जब एक जोड़-रहित स्लैब अनेक आलम्बों (धरनों) पर टिकी रहती है, तो इसे सतत स्लैब कहते है। टी-धरन निर्माण मे पूरे कमरे पर एक ही स्लैब (One piece) डाली जाती है, जो सतत स्लैब के अन्तर्गत आती है। सतत स्लैब में प्रभावी पाट की गणना के लिये अनुच्छेद 5.7 देखें।

सतत स्लैब के सभी पाट बराबर अथवा भिन्न हो सकते हैं, (पाटों के मापों में भिन्नता 15% से अधिक नही होगी—बड़े पाट पर विचार करते हुये), परन्तु अभिकल्पन तथा निर्माण की दृष्टि से सभी पाट बराबर रखना उचित रहता है। असम पाटों की सतत स्लैब देखने में भी अटपटी लगती है। इसी प्रकार स्लैब के सब पाटो पर अध्यारोपित भार, प्रति वर्ग मीटर समान रखने पर गणनायें सरल हो जाती है और पूरे कमरे में स्लैब की एक ही मोटाई रखना सम्भव हो जाता है।

सतत स्लैब में भीतरी आलम्बों पर आंशिक आबद्धता के कारण ऋणात्मक बंकन आघूर्ण (Hogging Moment) उपजती हैं, जबकि पाट के मध्य में धनात्मक बंकन आघूर्ण (Sagging Moment) आती हैं। स्लैब के बाहरी सिरों पर, शुद्धालम्बित होने के कारण बंकन आघूर्ण शून्य होती है (चिनाई की दीवार होने के कारण, इस सिरे पर $\frac{wl^2}{24}$ ऋणात्मक आघूर्ण मान ली जाती है)।

मोटे तौर पर, एक सम पाटों वाली सतत स्लैब के लिये बंकन आघूर्ण के मान चित्र 7.24 के अनुसार लिये जा सकते हैं। अधिक शुद्ध विश्लेषण के लिये बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल के मान सारणी 5.4 से लिये जा सकते है (गुणकों के लिये I.S. 456–Table 12 देखें)।



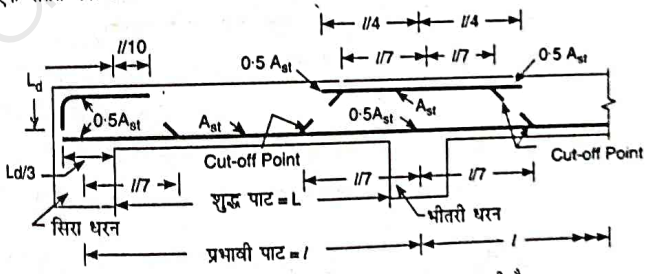
चित्र 7.24—सतत स्लैब का विश्लेषण

असम पाटों तथा अन्य प्रकार के भारों के लिये बंकन आघूर्ण के मान त्रि-आघूर्ण प्रमेय (Three Moment Theorem) अथवा अन्य मानक विधियों से ज्ञात किये जा सकते हैं।

चित्र 7.24 देखने पर स्पष्ट होगा कि सिरे वाले पाटों में बंकन आघूर्ण का मान कुछ अधिक है। चूंकि पूरे कमरे में स्लैब की एक ही मोटाई रखनी अधिक सुविधाजनक है, अत: सभी पाटों के लिये बंकन आघूर्ण का मान समान प्राप्त करने के लिये, सिरे वाले पाटों (End Spans) की लम्बाई भीतर वाले पाटों की तुलना में कुछ कम रखी जाती है। यदि भीतरी पाटों की लम्बाई L है तो सिरे वाले पाटो की लम्बाई सामान्यत: $0{\cdot}9\,L$ ली जाती है।

7.19-1. प्रबलन : सतत स्लैब (तथा धरनों) में धनात्मक बंकन आघूर्ण (+ve B.M.) के लिये आवश्यक प्रबलन के अतिरिक्त, आलम्बों पर ऋणात्मक बंकन आघूर्ण (–ve B.M.) के लिये भी प्रबलन दिया जाता है। सामान्यत: धनात्मक आघूर्ण के लिये तली में डाली गयी छड़ों को, कार्य मुक्त होने पर, ऊपर को नत कर ऋणात्मक आघूर्ण के लिये प्रयोग किया जाता है। अथवा आलम्बों पर, स्लैब के ऊपरी क्षेत्र में अलग से प्रबलन दिया जाता है।

एक सतत स्लैब में प्रबलन की स्थिति सरल तौर पर चित्र 7.25 में दिखायी गयी है।



(i) स्लैब में प्रबलन के लिये नत-छड़े भी प्रयोग की जा सकती है। नत-बिन्दु उपरोक्त Cut-off बिन्दु ही माने जायेंगे।

(ii) तनन छडें Ld/3 तक आलम्बों के भीतर से जायें अथवा ⊂ हुक डालें।

चित्र 7.25—सतत स्लैब में प्रबलन इस्पात तथा छिन्नीकरण बिन्दु की स्थिति
(Reinforcement Pattern in Continuous Slab)

उदाहरण 7.10 : 8 m × 19 m भीतरी माप वाले एक हाल कमरे के लिये अनेकाधार वाली स्लैब का अभिकल्पन करें। स्लैब 30 cm चौड़े धरनों पर, जो 4 मीटर की केन्द्रीय दूरी पर डाले गये हैं, टिकी हैं। स्लैब पर अध्यारोपित भार 3 kN/m² है। स्लैब का स्वच्छ रेखाचित्र खींचकर, अभिकल्पित प्रबलन की स्थिति दर्शायें। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान लें।

हल : (1) हाल कमरा भीतर से 19 m लम्बा तथा 8 m चौड़ा है। इस पर टी-धरन डाले जायेंगे। धरनों को छोटे पाट के समान्तर अर्थात् 8 m पर रखा जायेगा। धरनों की मध्य से मध्य दूरी 4 मीटर है। इस प्रकार भीतरी तीन पाट 4 मीटर के तथा सिरे वाले पाट 3·5 मीटर के रखे जायेंगे। धरनों की यह व्यवस्था चित्र 7.26 में दिखायी गयी है (यहां सतत स्लैब का अभिकल्पन दिया जा रहा है। T-धरन के अभिकल्पन के लिये अध्याय 6 देखें)।

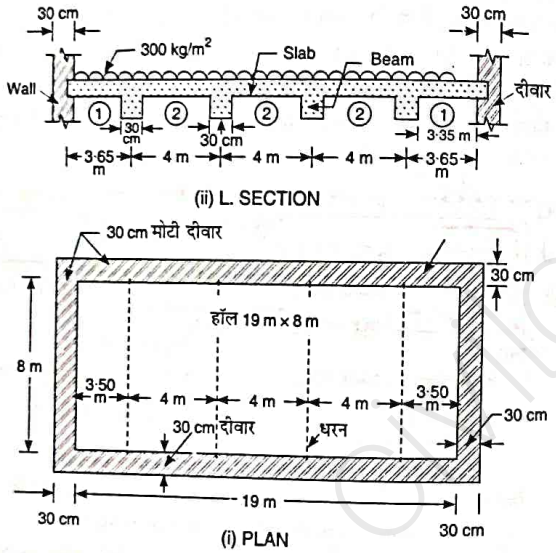
माना कमरे की दीवारें 30 cm मोटी हैं।

(i) सिरे वाले पाटों का शुद्ध पाट = 3·5 – 0·15 = 3·35 m

(ii) भीतरी पाटों का शुद्ध पाट = 4·0 – (0·15 + 0·15) = 3·70 m

अत: (a) सिरे वाले पाट की प्रभावी लम्बाई = 3·35 + 0·15 + 0·15 = 3·65 m
(अनुच्छेद 5.7(iii) (a) के अनुसार)

(b) भीतरी पाट की प्रभावी लम्बाई = 4·0 – (0·15 + 0·15) = 3·70 m
(अनुच्छेद 5.7(iii) (b) के अनुसार)



चित्र 7.26

क्योंकि पाटों की प्रभावी लम्बाई, उनकी प्रभावी चौड़ाई से **दो** गुना से अधिक है ($L > 2\,B$), अत: सभी स्लैबे एकल-दिशा स्लैब मान कर अभिकल्पित की जायेंगी।

अभिकल्पन के लिये स्लैब की लम्बाई की दिशा में 1000 mm चौड़ी पट्टी ली जायेगी। खण्ड की गहराई अधिकतम बंकन आघूर्ण के अनुसार रखी जायेगी।

माना टोर छड़ों से प्रबलित स्लैब की मोटाई विक्षेप के आधार पर पाट/गहराई = 32 के अनुसार, $\frac{4 \times 1000}{32} = 125$ mm आती है। भार को देखते हुये इसे 130 mm और प्रभावी गहरायी 130 – 15 = 115 mm रखते है।

(2) **भार तथा बंकन आघूर्ण**—

(i) स्लैब पर अध्यारोपित भार, = 3000 N/m²

(ii) स्लैब का स्वयं का भार, 1 × 1 × 0·13 × 25000 = 3250 N/m²

कुल भार = 6250 N/m²

भार-गुणक 1·5 लेते हुये, अभिकल्प (Factored) भार = 6250 × 1·5 = 9375 N/m²

say 9400 N/m लम्बाई

(i) सिरे वाले पाट पर अधिकतम बंकन आघूर्ण—

$$\pm \frac{wl^2}{10} = \frac{9400 \times (3{\cdot}65)^2}{10} = 12524 \text{ N.m}$$

(ii) भीतरी पाट पर अधिकतम बंकन आघूर्ण—

$$\pm \frac{wl^2}{12} = \frac{9400 \times (3{\cdot}70)^2}{12} = 10724 \text{ N.m}$$

उपरोक्त में अधिकतम मान 12524 N.m (अर्थात् 12524000 N.mm) है। अत: स्लैब की मोटाई इसी B.M. के आधार पर ज्ञात की जायेगी, और सभी पाटों पर (समान मोटाई की स्लैब डालने के लिये) यही मोटाई ली जायेगी।

(3) **स्लैब की मोटाई** (Depth)—

$$M_u = 12524000 \text{ N.mm} = 12{\cdot}524 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$M_u = R_u\, bd^2$, यहाँ R_u = सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक।

अथवा $d = \sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}}$, M-20 कंक्रीट और Fe 415 इस्पात के लिये, $R_u = 2{\cdot}76$ (देखें सारणी 3.6)

ज्ञात मान रखने पर, $d = \sqrt{\frac{12524000}{2{\cdot}76 \times 1000}} = 68$ mm यह गहरायी विक्षेप के आधर पर मानी गयी गहरायी, 115 mm से कम है। अत: स्लैब की विक्षेप के आधर पर, कुल मोटाई 130 mm और प्रभावी 115 mm ही ली जायेगी।

(4) **तनन प्रबलन** (Tension Reinforcement)—

सीमान्त बलशून्य अक्ष, $x_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}48\,d$

$= 0{\cdot}48 \times 115 = 55{\cdot}2$ mm

सन्तुलित खण्ड के लिये प्रतिरोध आघूर्ण—

$$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}36\, f_{ck}\, b\, x_{u\,\text{Lim}}\,(d - 0{\cdot}42\, x_{u\,\text{Lim}}) \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= 0{\cdot}36 \times 20 \times 1000 \times 55{\cdot}2\,(115 - 0{\cdot}42 \times 55{\cdot}2)$$

$$= 397440 \times 91{\cdot}82 = 36492941 \text{ N.mm} = 36{\cdot}493 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$M_{u\,\text{Lim}} > M_u$ अर्थात् $36{\cdot}493 \times 10^6 > 12{\cdot}524 \times 10^6$ N.mm

अत: यह खण्ड एकल-प्रबलित है और अल्प प्रबलित (Under Reinforced) अभिकल्पित किया जायेगा।

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{f_y A_{st}}{f_{ck}\, b \times d}\right] \quad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर—

$$12524 \times 10^3 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} \times 115 \left[1 - \frac{415 A_{st}}{20 \times 1000 \times 115}\right]$$

$$12524000 = 41521\, A_{st}\,[1 - 0{\cdot}0002\, A_{st}]$$

$$A_{st}^2 - 4997\, A_{st} + 1507100 = 0 \qquad \text{— (यह एक द्विघातीय समीकरण है)}$$

हल करने पर, $A_{st} = 323 \text{ mm}^2$

10 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

$$s = \frac{a_1 \times 1000}{A_{st}} = \frac{79 \times 100}{323} = 245 \text{ mm say } 240 \text{ mm}$$

यह अन्तराल $3 \times d$ अथवा 300 mm अथवा 240 mm (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होगा अर्थात् $3 \times 115 = 345$ mm या 300 mm अथवा 240 mm । इनमें न्यूनतम 240 mm है अत: 10 mm व्यास की छड़ें 240 mm c/c पर डाली जायेगी।

प्रत्येक तीसरी (Alternate) तनन-छड़, आलम्ब से $\frac{l}{7}$ की दूरी पर 45° पर ऊपर को नत (Bent up) करके, आलम्बों के भीतर तक ले जायी जायेगी, जो ऋणात्मक बंकन आघूर्ण (–ve B.M.) को प्रतिरोधित करेगी (अथवा ऋणात्मक आघूर्ण के लिये स्लैब के ऊपरी क्षेत्र में अलग से प्रबलन छड़ें डालनी होंगी।

(5) **वितरण इस्पात**—यह खण्ड के सकल क्षेत्रफल का 0·12% (टोर छड़ों के लिये) लिया जायेगा।

$$A_{td} = \frac{0{\cdot}12}{100} \times 1000 \times 130 = 156 \text{ mm}^2$$

8 mm व्यास की छड़ों का प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

$$s = \frac{a_7 \times 1000}{A_{sd}} = \frac{50 \times 1000}{156} = 320 \text{ mm}$$

यह अन्तराल $5d$ या 450 mm, (जो भी न्यूनतम है), से अधिक नहीं होना चाहिये, अर्थात् $5 \times 115 = 575$ mm या 450 mm

अत: 8 mm व्यास की छड़ें 320 mm c/c पर डाली जायेंगी।

टिप्पणी— चित्र 7.27 में दर्शायी गयी प्रबलन पद्धति अपनाने पर, सामान्य स्लैब कर्तन व विकास लम्बाई में सुरक्षित हो जाती है।

(6) **अपरूपण में जांच (Shear Check)**—स्लैब में सबसे अधिक अपरूपण बल सिरे से अगले आलम्ब (Support B—चित्र 7.24) पर उपजती है। इसका मान 0·6 wl लिया जाता है, अर्थात् अपरूपण बल— $0{\cdot}6 \times 9400 \times 3{\cdot}7 = 20868$ N

$$\text{नामन अपरूपण प्रतिबल, } \tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{20868}{1000 \times 115} = 0{\cdot}18 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{स्लैब में तनन इस्पात का प्रतिशत्— } = \frac{100\, A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 321}{1000 \times 115} = 0{\cdot}28\%$$

20 ग्रेड की कंक्रीट की अभिकल्प अपरूपण सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}42$ N/mm²

ठोस स्लैब के लिये, $k = 1{\cdot}3$ (सारणी 4.2 से)

$$\therefore \quad \tau_c' = 1{\cdot}3 \times 0{\cdot}42 = 0{\cdot}55 \text{ N/mm}^2$$

चूँकि $\tau_c > \tau_v$, अर्थात $0{\cdot}55 > 0{\cdot}18$ अत: स्लैब अपरूपण में सुरक्षित है

(7) **विकास लम्बाई (Development Length) में जांच**—M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड की टोर छड़ों के लिये विकास लम्बाई—

$$L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4 \times \tau_{bd}} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times \phi}{4 \times 1{\cdot}92} \quad \text{यहाँ } \tau_{bd} = 1{\cdot}92 \text{ N/mm}^2 \text{ (सारणी 4.4 से)}$$

$$\therefore \quad L_d = 47\,\phi$$

स्थिरण लम्बाई, $L_0 = 12\,\phi$ अथवा d (जो भी अधिक है)

$= 12 \times 10$ mm अथवा 115 mm

$= 120$ mm या 115 mm अत: L_0 लम्बाई 120 mm ली जायेगी।

अब $$L_d \le \frac{1{\cdot}3 M_1}{V} + L_0$$

सिरा आलम्ब से $\frac{l}{7}$ की दूरी पर 50% छड़ें छिन्नीकृत (Curtail) करने पर—

$$M_1 = 0{\cdot}87 f_y A_{st} \left(d - \frac{f_y \times A_{st}}{f_{ck} \times b}\right)$$

$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times (0{\cdot}5 \times 321)\left[115 - \left(\frac{415 \times 0{\cdot}5 \times 321}{20 \times 1000}\right)\right]$$

$$= 57949\ [111{\cdot}7]$$

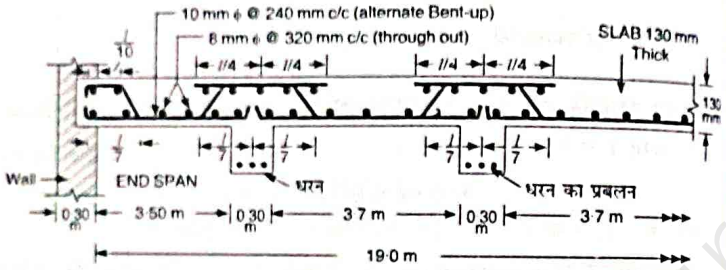
$$\therefore \quad M_1 = 6472903 \text{ N.mm}$$

तथा $$V = 9400 \times 3{\cdot}50 \times 0{\cdot}5 = 16450 \text{ N}$$

अत:
$$47\phi \leq \frac{1{\cdot}3 \times 6472903}{16450} + 120$$
$$47\phi \leq 632$$

अथवा $\phi < 13$ mm । तनन में छड़ का व्यास 10 mm है अत: स्लैब विकास लम्बाई सुरक्षित है।

(8) इस्पात का विवरण—



चित्र 7.27—सतत स्लैब-प्रबलन इस्पात का विवरण
(Continuous Slab)

§ 7.20. गोलाकार स्लैब (Circular Slab) :

गोलाकार कमरों की छतों, भण्डारण (जल) टंकियों आदि पर गोलाकार स्लैब डाली जाती है। इसके पाट, इसके मध्य (Centre) से त्रिज्य-दूरी (R) लिया जाता है। गोलाकार स्लैब में प्रतिबलों का विश्लेषण प्रत्यास्थ सिद्धान्त पर किया जाता है। गोलाकार स्लैब एक द्वि-दैशिक (Two-Way) स्लैब है, जिसका बकन दोनों दिशाओं में होता है। समवितरित भार पड़ने पर, गोलाकार स्लैब एक तश्तरी (Saucer) की भाँति झुकती है और इसमें त्रिज्य (Radial) व परिधीय (Circumferential) प्रतिबल उपजते है। स्लैब की उत्तल (Convex) सतह पर तनन प्रतिबल और अवतल (Concave) सतह पर सम्पीडन प्रतिबल उपजते है। अत: उत्तल क्षेत्र में त्रिज्य व परिधीय, दोनों दिशाओं में प्रबलन दिया जाता है। विकल्प के लिये यह प्रबलन दो लम्ब (Perpendicular) दिशाओं में, जाल के रूप में भी डाला जा सकता है। सामान्यत: स्लैब के मध्य भाग में समकोणक जाल (Mesh) के रूप में और किनारों (Edges) के निकट त्रिज्य-परिधीय रूप में छड़े डाली जाती है।

एक शुद्धालम्बित गोलाकार स्लैब, जिस पर समवितरित भार (U.D.L.) पड़ रहा है, की दशा निम्नलिखित है—

गोलाकार स्लैब में अधिकतम बकन आघूर्ण व अपरूपण बल के मान निम्न लिये जाते है—

(i) **त्रिज्य आघूर्ण** (Radial Moment)—

(a) केन्द्र में अधिकतम, $M_r = \frac{3wR^2}{16}$

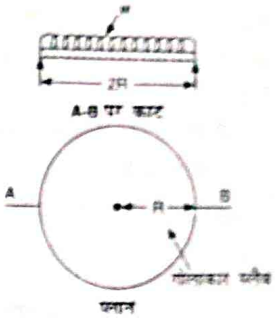
(b) आलम्ब (Support) पर, M_r = शून्य

(ii) **परिधीय आघूर्ण** (Circumferential Moment)—

(a) केन्द्र में अधिकतम, $M_\theta = \frac{3wR^2}{16}$

(b) आलम्ब (Support) पर

$$M_{\theta_1} = + \frac{2wR^2}{16}$$



चित्र 7.28—गोलाकार स्लैब

(iii) **त्रिज्य अपरुपण बल** (Radial Shear Force)—

आलम्ब पर अधिकतम, $V = \frac{wR}{2}$

यहाँ R = स्लैब की त्रिज्य

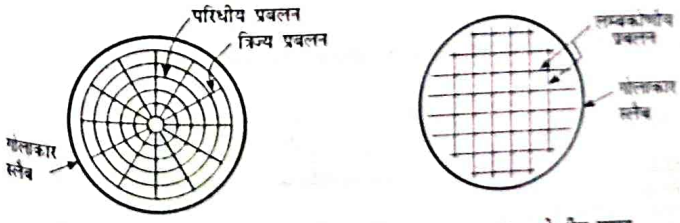
w = समवितरित भार (U.D.L.)

§ 7.21. प्रबलन (Reinforcement) :

गोलाकार स्लैब में प्रबलन छड़े दो प्रकार से डाली जाती है—

(a) त्रिज्य-परिधीय पैट्रन में

(b) लम्बकोणीय जाल के रूप में।



(a) **त्रिज्य-परिधीय प्रबलन** (Radial-circumferential Reinforcement)

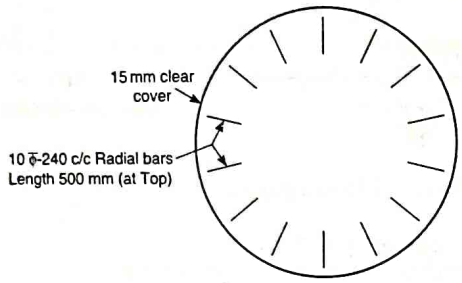
(b) **लम्बकोणीय जाल** (Orthotropic Mesh)

चित्र 7.29—गोलाकार स्लैब में प्रबलन की आकृति

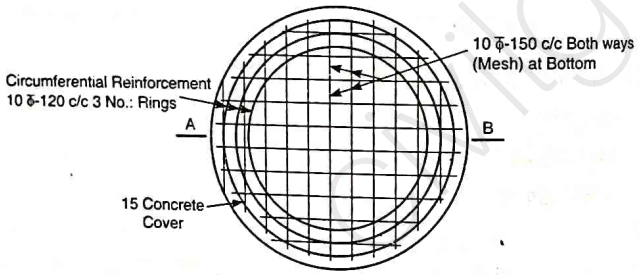
परन्तु त्रिज्य-परिधीय दिशाओं में छड़ें रखने में, स्लैब के मध्य-भाग में छड़ों को, सीमित क्षेत्र के कारण, दिक्कत आती है, अत: लम्बकोणीय जाल के रूप में भी छड़ें टिकायी जाती हैं। सुविधा के लिये स्लैब के मध्य क्षेत्र में लम्बकोणीय-जाल का पैट्न और किनारों (Edges) की तरफ त्रिज्य-परिधीय पैटर्न में छड़े बिछायी जाती है।

गोलाकार स्लैब में किनारी (Supporting Edge) पर आंशिक आबद्धता के कारण ऋणात्मक (–ve) आघूर्ण के लिये प्रबलन दिया जाता है, जिसके लिये आघूर्ण $\frac{1}{16}\ wR^2$ ली जाती है।

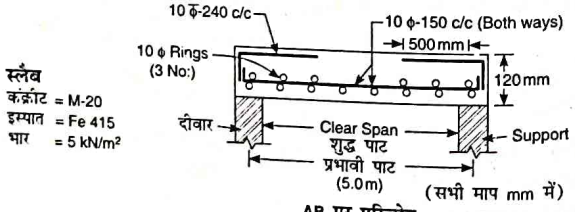
चित्र 7.30 में गोलाकार स्लैब में प्रबलन-छड़ों की प्ररूपी स्थिति दर्शायी गयी है।



(b) ऊपरी प्रबलन (Top Reinforcement)



(a) तली प्रबलन (Bottom Reinforcement)

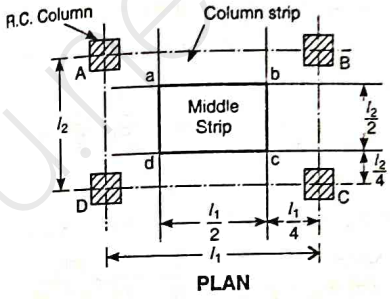


AB पर परिच्छेद

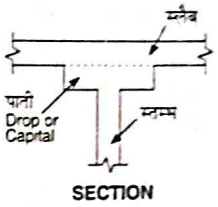
चित्र 7.30—गोलाकार स्लैब में प्रबलन-इस्पात
(Reinforcement in Circular Slab)

§ 7.22. चपटी या धरन-रहित स्लैब (Flat Slab) :

स्पाट स्लैब ऐसी पटिया को कहते हैं, जो सीधे स्तम्भों पर टिकी रहती है अर्थात् इस स्लैब के नीचे कोई धरन (टी-धरन) नहीं दिया जाता है। परन्तु स्लैब और स्तम्भ के संगम शीर्ष पर स्लैब की मोटाई कुछ बढ़ा कर रखी जाती है, जिसे पाती (ड्रोप-Drop) कहते हैं। यह व्यवस्था कुछ सस्ती पड़ती है और कक्ष में से सभी धरनों के लुप्त हो जाने पर, कक्ष की निर्बाध ऊँचाई (Head Room) बढ़ जाती है और कक्ष सुन्दर व आकर्षक लगने लगता है।



PLAN



SECTION

(i) Pancl *A-B-C-D*.

(ii) Middle strip $= a\text{-}b\text{-}c\text{-}d = \frac{l_1}{2} \times \frac{l_2}{2}$

(iii) Column strip $= \frac{l_1}{4} \times \frac{l_2}{4}$

चित्र 7.31—चपटी स्लैब (Flat Slab)

चपटी स्लैब के अभिकल्पन के लिये, इसे पैनल में बाँट लिया जाता है। अगल-बगल के चारों स्तम्भों के मध्य स्थित स्लैब एक पैनल कही जाती है (चित्र में A-B-C-D)। पुन: पैनल को मध्य पट्टी (Middle Strip) व स्तम्भ पट्टियों (Column Strips) में बांट लिया जाता है। मध्य पट्टी को एक सतत धरन मान लिया जाता है, जो स्तम्भ-पट्टियों पर टिका है। स्पाट स्लैब पर पड़ने वाला अध्यारोपित भार मध्य पट्टी से स्तम्भ पट्टियों पर आता है और फिर स्तम्भ पर अन्तरित हो जाता है।

स्तम्भ पट्टियों से घिरी, मध्य पट्टी को भी एक सतत धरन की भांति, जो स्तम्भ-पट्टियों पर टिकी है, अभिकल्पित किया जाता है।

फ्लैट स्लैब की न्यूनतम मोटाई 125 mm रखी जाती है। विक्षेप को नियंत्रण में रखने के लिये $\frac{\text{पाट}}{\text{प्रभावी गहरायी}}$ = 32 (Fe 415 व सतत स्लैब के लिये) रखनी चाहिये।

7.22-1. पाती (Drop or Capital)—स्तम्भ के निकट बंकन आघूर्ण अधिक होती है, अत: स्तम्भ के शीर्ष पर स्लैब कुछ अधिक मोटी रखी जाती है। जिसे पाती (Capital of Column) कहते हैं। यह आयताकार होती है और प्रत्येक दिशा में यह $\frac{\text{पैनल}}{3}$ से कम नहीं होनी चाहिये।

7.22-2. विश्लेषण—फ्लैट स्लैब के विश्लेषण की दो विधियाँ हैं—

(a) सरल अभिकल्प विधि (Direct Design Method)—इस विधि में निम्न मान्यतायें ली जाती हैं—

(i) प्रत्येक दिशा में न्यूनतम 3 सतत पाट होने चाहिये।

(ii) $\frac{\text{लम्बा पैनल}}{\text{छोटा पैनल}}$ का अनुपात 2 से बड़ा न हो। पैनल आयताकार होना चाहिये।

(iii) प्रत्येक दिशा में उत्तोत्तर (Successive) पाट की लम्बाई, तथा लम्बे पाट में $\frac{1}{3}$ से अधिक का अन्तर न हो।

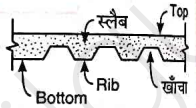
(iv) अभिकल्प चल भार, अभिकल्प अचल भार से 3 गुना से अधिक न हो।

(b) तुल्य फ्रेम विधि (Equivalent Frame Method)—इस विधि में स्पाट स्लैब को एक दृढ़ सतत फ्रेम (Rigid Continuous Frame) मान लिया जाता है (I.S. 456 धारा 31.5)।

(अधिक विवरण के लिये स्नातक-स्तर की पुस्तक देखें)।

§ 7.23. पटियादार स्लैब (Waffle Slab) :

जो स्लैब सीधा स्तम्भों पर टिकी हुयी होती है और उसकी तली (Bottom) में, दोनों दिशाओं में, खाँचे (Recesses on the Soffit) बने होते हैं (जैसे टी-धरन की पर्शुका (Rib) होती है), पटियादार स्लैब (Waffle Slab) कहलाती है (चित्र 7.32)। सामान्यत: पटियादार स्लैब में तली में रिब की चौड़ाई 100 mm से अधिक नहीं होती है और गहरायी इसकी चौड़ाई से 3·5 गुना से अधिक नहीं। खाँचों की आपसी दूसरी भी 1000 mm से अधिक नहीं होगी।



चित्र 7.32—पटियादार स्लैब (Waffle Slab)

पटियादार स्लैब का अभिकल्पन भी चपटी स्लैब (Flat Slabs) की भांति किया जाता है।

प्रश्नावली–7

1. स्लैब तथा धरन के अभिकल्पन में क्या मूल भेद है? स्पष्ट लिखिये।
2. प्रबलित कंक्रीट स्लैब कितने प्रकार की होती हैं, इनके नाम दीजिये।
3. एकल-दैशिक आर० सी० स्लैब में वितरण प्रबलन क्यों और कितना दिया जाता है? स्पष्ट लिखिये।
4. प्रबलित कंक्रीट स्लैब में मुख्य तथा वितरण प्रबलन की स्थिति, चित्र की सहायता से स्पष्ट करें।
5. स्लैब के लिये निम्न प्रबलन छड़ों का नये कोडानुसार अन्तराल बताइये—
   (i) मुख्य तनन छड़ें (ii) वितरण छड़ें
6. एक प्रास स्लैब का रेखाचित्र खींचकर उसमें मुख्य इस्पात की स्थिति दर्शाये तथा छड़ो के cut-off बिन्दु दिखाये।
7. (a) निम्नलिखित माप के कमरों पर आप कौन-सी स्लैब डिजाइन करेंगे—
   (i) 6 m × 4·5 m (ii) 3 m × 4 m (iii) 3 m × 8 m
   (b) द्वि-दैशिक स्लैब के अभिकल्पन का आधार लिखें। [B.T.E.]

8. एकल-दैशिक (one-way) शुद्ध आलम्बित आर० सी० सी० स्लैब के अभिकल्पन में अपनाये जाने वाले चरणों का वर्णन करें। [B.T.E.]
9. एक द्वि-दैशिक स्लैब के पाटों पर भार वितरण पर टिप्पणी लिखें।
10. एक प्रबलित कंक्रीट सतत स्लैब के दो पाटों का चित्र देकर उसमें मुख्य इस्पात की स्थिति दिखायें। छड़ों को नत करने के अथवा cut-off बिन्दुओं की स्थिति तथा आलम्बों से दूरी दर्शायें।
11. एक फर्श पर 150 mm मोटी आर० सी० सी० स्लैब डाली गयी है। स्लैब में 10 mm व्यास की छड़ें, 200 mm के अन्तराल पर डाली गयी हैं। छड़ के मध्य से कंक्रीट आवरण की मोटाई 25 mm है। कंक्रीट M-20 और इस्पात Fe 415 श्रेणी का है। स्लैब की चरम प्रतिरोध आघूर्ण और कुल कितना अध्यारोपित भार वहन कर सकती है, ज्ञात कीजिये। [B.T.E.]
    (उत्तर: 16·6 kN.m)
12. 3·5 मी० के पाट पर शुद्धालम्बित प्रबलित कंक्रीट स्लैब का अभिकल्पन कीजिये, जिस पर स्वयं के भार के अतिरिक्त 2 kN/m^2 का चल भार आ रहा है। खण्ड में अधिकतम प्रतिबल f_{ck} = 20 N/mm^2, और f_y = 415 N/mm^2 मान लें। (**उत्तर :** 150 mm, 10 mm ϕ 150 mm c/c, 8 mm ϕ 300 mm c/c)
13. एक प्रबलित कंक्रीट शुद्धालम्बित स्लैब का अभिकल्पन करें, जो एक बरामदे की छत के रूप में डाली जानी है। स्लैब का प्रभावी पाट 3·50 मी० तथा अध्यारोपित भार 3 kN/m^2 है। स्लैब-काट का स्वच्छ रेखा-चित्र खींच कर, अभिकल्पित प्रबलन की स्थिति दर्शायें। M-20 N/mm^2, Fe 415 N/mm^2, मान लें। [B.T.E.]
14. एक 140 mm मोटी प्रबलित कंक्रीट स्लैब में, 20 mm के प्रभावी आवरण पर तनन प्रबलन के लिये 12 mm व्यास की छड़ें 100 mm के अन्तराल पर प्रयोग की गयी हैं। यदि M-20 N/mm^2, Fe 415 से अधिक न बढ़ने पाये तो स्लैब पर प्रति वर्ग मी० सुरक्षित अध्यारोपित भार ज्ञात कीजिये। स्लैब का प्रभावी पाट 4 मी० है।
15. एक कमरे की लम्बाई-चौड़ाई का अनुपात 1·4 है। इस पर 8 kN/m^2 का फैक्टर भार आ रहा है। पाटों पर ग्रेशफ-रैंकिन सिद्धान्त के अनुसार भार-वितरण ज्ञात कीजिये। (**उत्तर :** 6347 N, 1653 N)
16. एक कमरे की चौड़ाई 4 मी० और लम्बाई-चौड़ाई का अनुपात 1·5 है। स्लैब पर कुल 8 kN/m^2 का भार पड़ रहा है। छोटे तथा बड़े पाट पर कर्तन बल ज्ञात कीजिये:
17. एक प्रबलित कंक्रीट प्रास-स्लैब का अभिकल्पन करें, जो अपने आलम्ब (Support) से 1·20 मी०बाहर बढ़ी हुयी है और 2 kN/m^2 का चल भार वहन कर रही है। स्लैब का स्वयं का तथा फिनिशिंग का भार 1·5 kN/m^2 लीजिए। M-15 ग्रेड की कंक्रीट तथा Fe 415 ग्रेड का इस्पात प्रयोग करें। [B.T.E.]
18. एक कमरे की भीतरी माप 5·70 m × 3·70 m है और दीवारों की मोटाई 300 mm है। कमरे की छत पर प्रबलित कंक्रीट की डालनी है, जिसके कोने आबद्ध नहीं है (Corners Not Held Down) और ऊपर उठने को स्वतन्त्र हैं। स्लैब पर स्वयं के भार के अतिरिक्त 200 kg/m^2 का चल भार आ रहा है। स्लैब का I.S. कोड में सुझाये गये बंकन आघूर्ण गुणक अपनाते हुये, अभिकल्पन कीजिए। कंक्रीट M-20 और इस्पात Fe 415 ग्रेड का मान लें।

19. एक 6 मी० × 5 मी० माप के कमरे के लिये दो-तरफा प्रबलित कंक्रीट स्लैब का अभिकल्प कीजिये। स्लैब पर अपने भार सहित कुल भार 8 kN/m² का है। स्लैब के किनारे शुद्धालम्ब है तथा कोने जकड़ित नहीं है। M-20 तथा Fe 415 मान लें। [B.T.E.]

20. एक बरसाती (Portico) की छत पर प्रास स्लैब डाली गयी है, जिसका भीतरी सिरा कमरे की मुख्य स्लैब से आबद्ध है। प्रास दीवार से 2·5 मी० बाहर निकली हुयी है और इस पर 1500 N/m² का रनर के भार के अतिरिक्त अध्यारोपित भार आ रहा है। स्लैब की मोटाई तथा इस्पात की मात्रा ज्ञात कीजिये। M-20 तथा Fe 415 का मैटीरियल मान लें। [B.T.E.]

21. एक प्रबलित कंक्रीट स्लैब, जो 5 m × 4 m माप के कमरे पर डाली जानी है, साधारण रूप से आधारित है और इसके कोने नीचे को नहीं दबाये गये हैं। स्लैब के ऊपर 3 kN/m² का कुल समवितरित भार आ रहा है। स्लैब का अभिकल्पन कीजिये तथा स्पष्ट चित्र द्वारा दोनों दिशाओं में प्रबलन का विवरण दर्शाये। M-20 तथा Fe 415 के पदार्थ प्रयोग करें। [B.T.E.]

(**उत्तर :** D = 150 mm, A_{st} = 275 mm²/190 mm)

22. एक कक्ष का भीतरी माप 7·5 m × 3·5 m है। इसके लिये उपयुक्त स्लैब का अभिकल्पन कीजिये। छत पर 5000 N/m² का चल भार मान लें। M-20 और Fe 415 मैटीरियल का प्रयोग करें [B.T.E.]

(**उत्तर :** मुख्य छड़ें 10 mm ϕ @ 150 mm c/c
वितरण छड़ें 6 mm ϕ @ 150 mm c/c)

23. एक 150 mm मोटी स्लैब द्वि-दैशिक प्रबलित है। तनन इस्पात की छड़ों का व्यास 12 mm है। सबसे निचली छड़ों की परत पर 15 mm का प्रभावी आवरण दिया गया है। यदि कमरे का भीतरी माप 4·5 m × 6·0 m हो और स्लैब के कोने मुक्त (Corners Free) हों तो स्लैब की प्रति वर्ग मी० भार-वहन क्षमता ज्ञात कीजिये। M-20 तथा Fe 415 के पदार्थ मान लें।

24. 5 m × 7 m माप के कमरे के लिये आर०सी० स्लैब का अभिकल्पन कीजिये। स्लैब के किनारे शुद्धालम्बित है तथा कोने (Corners) नीचे को नहीं दबाये गये हैं। स्लैब पर 3 kN/m² (300 kg/m²) का भार लिया जा सकता है तथा दीवारों पर स्लैब का चढ़ाव (Bearing) 150 mm है। M-20 की कंक्रीट तथा Fe 415 का इस्पात मान लें!

25. एक कमरे का शुद्ध माप 3·5 m × 4·0 m है। छत-स्लैब पर 1·5 kN/m² का चल भार आ रहा है। स्लैब के लिये M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 250 ग्रेड का इस्पात प्रयोग करना है। स्लैब शुद्धालम्बित है और इसके कोने ऊपर उठने को स्वतन्त्र हैं (Corners Not Held Down)। छत-स्लैब का अभिकल्पन कीजिए। (**उत्तर :** D = 100 mm, छोटा पाट = 10 mm ϕ = 220 mm c/c, बड़ा पाट = 10 mm ϕ 250 mm c/c)

8 प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ एवं स्तम्भ-नींव
(R.C.C. COLUMN AND COLUMN-FOOTING)
(Limit State of Collapse-Compression)

(A) प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ (R.C.C. COLUMNS)

§8.1. परिभाषा एवं प्रकार्य (Definition and Function of Column) :

ऐसे ऊर्ध्वाधर सम्पीडन थमले (पाये), जिनके ऊपर सामान्यत: अक्षीय सम्पीडन भार आता है तथा जिनकी ऊँचाई इनके न्यूनतम पार्श्व माप का 3 गुना से अधिक है, **स्तम्भ** (Column) के नाम से जाते है। जब यह अनुपात 3 या 3 से कम होता है, तब इसे **चौकी** (Pedestal) कहते हैं। ऐसे सम्पीडन अवयव जो क्षैतिज (Horizontal) अथवा तिरछे (Inclined) लगे होते हैं और उन पर अक्षीय भार (Axial Load) पड़ता है, **सम्पीडांग या टेकें** (Struts) कहलाती हैं। स्ट्रेटें छत कैंचियों (Trusses) में लगायी जाती हैं। संरचनात्मक दृष्टि से स्तम्भ सम्पीडन अवयव (Compression Member) के अन्तर्गत आता है। स्तम्भ भवन की ऊपरी मन्जिलों के धरनों, फर्शों, छतों, कैंचियों (Trusses) आदि को आलम्बन प्रदान करने के लिये खड़े (निर्माण) किये जाते हैं और प्राय: ठोस दीवारों के पूरक हैं। यह अपने ऊपर आ रहे संरचनात्मक भार को सीधे नींव पर अन्तरित करते हैं। स्तम्भों पर अक्षीय भार आना चाहिये परन्तु स्लैब, धरन तथा प्रास धरन, जो स्तम्भ पर टिकाये जाते है और अपना भार स्तम्भ पर स्थानान्तरित करते हैं, की स्थिति के कारण, स्तम्भों पर उत्केन्द्रित (Eccentric Loads) भार आ ही जाते हैं। ऐसे स्तम्भों को अभिकल्पित करते समय, इनमें उपजी उत्केन्द्रता-आघूर्ण पर भी विचार करना होता है।

भारवाही दीवारों की भाँति, स्तम्भ संरचनात्मक दृष्टि से भवनों व अन्य संरचनाओं के मुख्य घटक माने जाते हैं। किसी स्लैब अथवा धरन के विफल होने से, इतनी गम्भीर स्थिति उत्पन्न नहीं होती है, जितनी एक स्तम्भ के धराशायी होने पर, क्योंकि ऐसी स्थिति आने पर स्तम्भों पर टिकी सम्पूर्ण संरचना (धरन, गर्डर, स्लैब) के ढह जाने की स्थिति आ जाती है। इसलिये स्तम्भों के अभिकल्पन तथा निर्माण में **अत्यन्त सावधानी** रखनी चाहिये।

मोटे तौर पर स्तम्भ काष्ठ, चिनाई, प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट, इस्पात तथा संग्रथित (Composit) हो सकते हैं। लकड़ी के स्तम्भ को पोस्त (Post) कहते हैं। ये हल्के भार-वहन के लिये, लकड़ी की कैंचियों (Wooden Trusses) में लगाये जाते हैं। चिनाई कार्य में ईंट/पत्थर चिनाई के स्तम्भ, जिन्हें पिल्लर (Pillar) (पायाँ) (खम्भा) कहते हैं, खड़े किये जाते हैं। खम्भा अधिक भार नहीं वहन कर पाता है। प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं (भवन, पुल, टेंकी आदि) में प्रबलित कंक्रीट के स्तम्भ (Column), जो मध्यम/भारी सभी प्रकार के भार वहन कर सकते हैं, खड़े किये जाते है। भारी/अति भारी भारों को वहन करने के लिये इस्पात के अथवा संग्रथित स्तम्भ (इस्पातीय गर्डरों को कंक्रीट मे अन्त: स्थापित (Embedded) करके) खड़े किये जाते हैं। भारी भार वहन करने वाले इस्पातीय स्तम्भों को स्थाणुक (Stanchion) कहते हैं।

चूँकि सीमेंट कंक्रीट सीधे सम्पीडन प्रतिबलों के वहन में पर्याप्त सामर्थ्य रखती है, अत: सीमेंट कंक्रीट के सतम्भ, ईंट चिनाई के पायों से अधिक बेहतर होते हैं और कम फर्श—क्षेत्रफल घेरते है। चौकी

में सादा कंक्रीट (Plain Concrete) का प्रयोग किया जा सकता है, परन्तु स्तम्भों में इस्पात का प्रबलन देना संरचनात्मक दृष्टि से मितव्ययी व लाभप्रद रहता है। परन्तु दीर्घ (Long) स्तम्भ अपनी लम्बाई (ऊँचाई) के कारण, पार्श्व में झुकने (Buckling) की प्रवृत्ति रखते हैं।

बहुतली ढाँचेदार संरचनाओं (Multi-storeyed Frame Structures) में जहाँ चिनाई की दीवारों को केवल विभाजक (Partitions) या पर्दा के रूप में खड़ा किया जाता है, स्तम्भों का महत्व और भी बढ़ गया है।

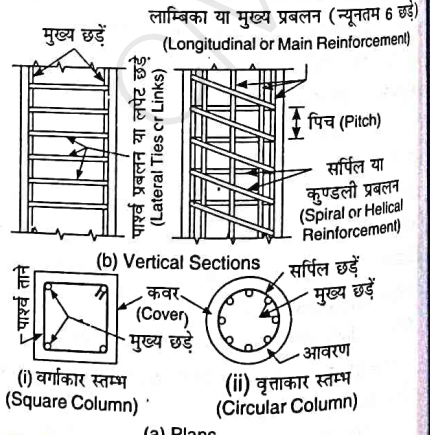
प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ किसी भी शक्ल व ऊँचाई में खड़े किये जा सकते हैं, परन्तु तनु-स्तम्भ (Slender Column) व्याकुंचन (Buckling) व पार्श्व आघात (टक्कर) से नष्ट होने की प्रवृत्ति रखते हैं।

§ 8.2. सीमेंट कंक्रीट स्तम्भों में प्रबलन की आवश्यकता (Necessity of Reinforcement in Cement Concrete Columns) :

सादा (Plain) सीमेंट कंक्रीट स्तम्भ की सामर्थ्य यद्यपि काफी होती है, परन्तु इन्हें अधिक सामर्थ्यवान बनाने के लिये तथा इनका व्याकुंचन (Buckling) रोकने के लिये, इनमें **आवश्यक रूप से इस्पातीय छड़ों का प्रबलन दिया जाता है।**

कंक्रीट स्तम्भ की सामर्थ्य बढ़ाने के लिये अब उच्च पराभव सामर्थ्य वाला प्रबलन इस्पात, Fe 415 और M-20 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग किया जाने लगा है। प्रबलित कंक्रीट स्तम्भों की विस्तृत चर्चा निम्न है—

(a) लाम्बिका या मुख्य प्रबलन—सादा सीमेंट कंक्रीट के स्तम्भों का अनुप्रस्थ खण्ड काफी बड़ा रखना पड़ता है, जो अधिक स्थान घेरते हैं और देखने में भी भद्दे (Bulky) लगते हैं, अत: सीमेंट कंक्रीट स्तम्भों में इस्पात का प्रबलन दिया जाता है। इस्पातीय छड़ें कंक्रीट के साथ एकजुट होकर सम्पीडन बलों को बाँट लेती हैं। फलस्वरूप स्तम्भ का परिच्छेद काफी कम हो जाता है। भार की किसी आकस्मिक उत्केन्द्रिता के कारण, स्तम्भ में सम्पीडन प्रतिबलों के साथ-साथ वंकन प्रतिबल भी उत्पन्न होते हैं, जिसके परिणामस्वरूप कंक्रीट खण्ड में तनन उत्पन्न होता है। प्रबलन इस्पात तनन प्रतिबलों को वहन करने में सक्षम है। इसलिये स्तम्भों में खड़ी छड़ें, जिसे लाम्बिका, अनुदैर्ध्य या मुख्य प्रबलन (Longitudinal or Main Reinforcement) कहते हैं, प्रबलन के रुप में डाली जाती हैं।



चित्र 8.1—कंक्रीट स्तम्भों में प्रबलन के रूप (Reinforcement in R.C.C. Columns)

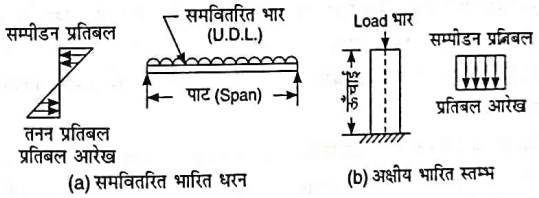
(b) पार्श्व या टाई प्रबलन—लाम्बिका छड़ों पर उपयुक्त मोटा कंक्रीट का आवरण दिया जाता है ताकि यह कंक्रीट की संगी बन सके। फिर भी भार आने पर, इनके व्याकुंचन (Buckle) होने अथवा अपनी स्थिति से भटक जाने की सम्भावना बनी रहती है। अधिक व्याकुंचन पर ये छड़े कंक्रीट आवरण को भी विखण्डित (फाड़) कर सकती हैं। अत: लाम्बिका छड़ों को, पार्श्व तान छड़ों (Lateral Ties) या कुण्डलीय छड़ों (Spiral Bars) से, आवश्यक ऊर्ध्वाधर अन्तराल पर जकड़ दिया जाता है।

कुण्डली या सर्पिल छड़ें, बन्धक (Ties) छड़ो का कार्य तो करती ही हैं, साथ ही कंक्रीट को भार पड़ने पर, पार्श्व दिशा में फैलने (भटकने) से भी रोके रखती हैं। इससे स्तम्भ की सामर्थ्य और अधिक बढ़ जाती है और इसमें अधिक पार्श्विक स्थिरता आ जाती है। सर्पिल छड़ों द्वारा प्रबलित स्तम्भ अचानक विफल नहीं होते हैं, परन्तु इनको मुख्य छड़ों के चारों ओर रस्सी (कुण्डली) की तरह लपेटने में कुछ दिक्कत आती है।

स्तम्भों में लाम्बिका तथा पार्श्व प्रबलन चित्र 8.1 में दर्शाया गया है।

§ 8.3. धरन तथा स्तम्भ में सैद्धान्तिक भेद (Difference in between Beam and Column) :

एक अनुप्रस्थ भारित धरन तथा अक्षीय भारित स्तम्भ में उपजे प्रतिबलों की प्रकृति में अन्तर होता है। धरन आनमन आघूर्ण (Flexural Moment) के लिये अभिकल्पित किये जाते हैं, जबकि स्तम्भों में सीधे सम्पीडन प्रतिबल उत्पन्न होते हैं।



चित्र 8.2—प्रतिबलों की प्रकृति (Nature of Stresses in Beam and Column)

एक भारित धरन खण्ड में बल शून्य रेखा (उदासीन अक्ष) से ऊपर सम्पीडन प्रतिबल तथा इससे नीचे तनन प्रतिबल उपजते हैं, जिनका अधिकतम मान धरन की ऊपरी तथा निचली सतहों पर होता है जबकि बल शून्य रेखा पर प्रतिबल शून्य होते हैं। स्तम्भों में केवल सम्पीडन प्रतिबल उपजते हैं और इसकी तीव्रता पूरे खण्ड-काट पर एक-समान रहती है।

क्योंकि सीधे बल अधिक घातक होते हैं, अत: स्तम्भों के लिये, कंक्रीट के सम्पीडन प्रतिबल का अधिकतम अनुज्ञेय मान, धरनों की तुलना में कम रखा जाता है। M-15 श्रेणी की कंक्रीट के स्तम्भों के लिये, धरनों के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल का $0{\cdot}4\,f_{ck}$ लिया जाता है।

§ 8.4. स्तम्भों के अभिकल्पन में मितव्ययता (Economy in Design of R.C. Columns) :

जैसा ऊपर वर्णन किया गया है, कंक्रीट स्तम्भों को अधिक सामर्थ्यवान बनाने, इसका खण्ड न्यूनतम रखने तथा उत्केन्द्रित भार के कारण उत्पन्न तनन प्रतिबलों से निपटने के लिये, स्तम्भ में प्रबलन इस्पात डाला जाता है। परन्तु आवश्यकता से अधिक इस्पात का प्रबलन के रूप में प्रयोग मितव्ययी नहीं

है। इसका कारण है कि इस्पात कंक्रीट से 60 गुना (लगभग) महंगा है, जबकि यह कंक्रीट की तुलना में लगभग 16 गुना भार ही अधिक ले पाता है, $\frac{\text{Fe } 250}{\text{M-15}} = 16{\cdot}7$

इसे ध्यान में रखकर ही स्तम्भों के लिये प्राय: उच्च सामर्थ्य वाली कंक्रीट, M-20, M-25 का प्रयोग किया जाता है।

§ 8.5. प्रबलित कंक्रीट स्तम्भों का वर्गीकरण (Classification of R.C.C. Columns) :

प्रबलित कंक्रीट स्तम्भों को निम्न आधार पर वर्गीकृत किया जाता है—

(i) भार-व्यवस्था के आधार पर (Loading System),

(ii) लम्बाई के आधार पर (Effective Length),

(iii) आकृति के अनुसार (Shapes of Cross-section)।

(1) भार-व्यवस्था के आधार पर स्तम्भ—यह निम्न दो प्रकार के होते हैं—

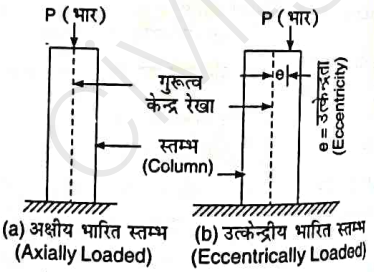
(a) अक्षीय भारित स्तम्भ (Axially Loaded Column),

(b) उत्केन्द्रीय भारित स्तम्भ (Eccentrically Loaded Column)।

(a) अक्षीय भारित स्तम्भ—जब स्तम्भ पर आ रहे भार की क्रिया रेखा, स्तम्भ के उर्ध्वाधर अक्ष के सम्पाती होती है, इसे अक्षीय भारित स्तम्भ कहते हैं। (चित्र 8.3-a)

ऐसे स्तम्भों में केवल सम्पीडन प्रतिबल उपजते हैं। (इस पुस्तक में अक्षीय भारित स्तम्भों की ही चर्चा की गयी है)।

(b) उत्केन्द्रीय भारित स्तम्भ—जब स्तम्भ पर आ रहे भार की क्रिया-रेखा, स्तम्भ के ऊर्ध्वाधर अक्ष के सम्पाती नहीं होती है, ऐसे स्तम्भ को उत्केन्द्रीय भारित स्तम्भ कहते हैं (चित्र 8.3-b)। उत्केन्द्रीय भारित स्तम्भ पर सीधे सम्पीडन प्रतिबलों (Direct Compressive Stress) के साथ-साथ बंकन आघूर्ण भी उपजती है, जो तनन प्रतिबलों (Bending Stress) को उत्पन्न करती है। क्योंकि कंक्रीट तनन में कमजोर होती है, अत: तनन के कारण स्तम्भ के विफल होने की सम्भावना रहती है।



चित्र 8.3—सतम्भों पर भार-व्यवस्था (Loadings on Columns)

अत: सभी स्तम्भ 20 mm की न्यूनता उत्केन्द्रता के लिये अभिकल्पित किये जाने चाहिये।

(2) प्रभावी लम्बाई के आधार पर स्तम्भ—यह दो प्रकार के होते हैं—

(a) लघु स्तम्भ (Short Column)

(b) दीर्घ या तनु स्तम्भ (Long Column or Slender Column)

(a) **लघु स्तम्भ**—जब किसी स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई (l_{ef}) व इसके न्यूनतम पार्श्व (आड़ी) माप (D) का अनुपात **12 से कम होता है**, इसे **लघु स्तम्भ** कहते हैं अर्थात् $\frac{l_{ef}}{D} < 12$, लघु स्तम्भ कहलाता है (I.S. धारा 25.1-2)।

(b) **दीर्घ स्तम्भ**—जब यह अनुपात 12 या 12 से अधिक होता है तो इसे **दीर्घ स्तम्भ** अथवा तनु सम्पीडन अवयव (Slender Compression Member) की श्रेणी में रखा जाता है, अर्थात् $\frac{l_{ef}}{D} \geq 12$, दीर्घ स्तम्भ कहलाता है। (I.S. कोड धारा 25.1-2)।

किसी सम्पीडन अवयव की प्रभावी लम्बाई और इसकी न्यूनतम पार्श्व माप के अनुपात को **तनुता अनुपात** (Slenderness Ratio) कहते हैं।

किसी भी दीर्घ स्तम्भ के सिरों के भीतर की आलम्ब-रहित ऊँचाई, इसके न्यूनतम पार्श्व माप से **60 गुना से अधिक** नहीं होनी चाहिये। इसे स्तम्भ की **तनुता सीमा** (Slenderness Limit) कहते हैं।

कृपया ध्यान रहे कि समान खण्ड-माप (Cross Section) होने पर भी, दीर्घ स्तम्भ की सामर्थ्य, लघु स्तम्भ की अपेक्षा **कम** होती है। इसका कारण दीर्घ स्तम्भ का भार आने पर पार्श्व की ओर झुकने (Buckling) की प्रवृत्ति है।

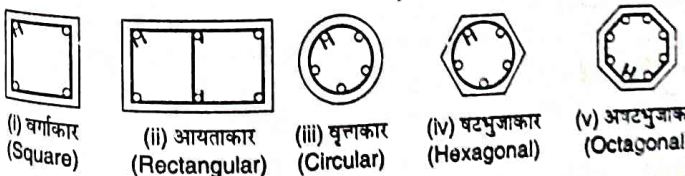
इस तथ्य को हम इस प्रकार भी कह सकते हैं कि एक लघु स्तम्भ **अत्यधिक सम्पीडन** भार पर विफल होता है, जब कि एक दीर्घ स्तम्भ क्रान्तिक भार आने से पूर्व ही **व्याकुंचन** (Buckling) के कारण नष्ट हो जाता है।

(3) आकृति के अनुसार स्तम्भ—भवन के धरनों, फर्शों, छतों, ऊपरी दीवारों को सम्भाले हुये स्तम्भ, वास्तुकला की दृष्टि से बड़े महत्वपूर्ण समझे जाते हैं और लाभप्रद होने के साथ-साथ देखने में आकर्षक भी बनाये जाते हैं। अत: ज्यामितीय दृष्टि से यह कोई भी आकृति ले सकते हैं, परन्तु स्थल पर ढालने (Casting) की दृष्टि से निम्नलिखित आकृति के स्तम्भ अधिक अपनाये जाते हैं।

(i) वर्गाकार (ii) आयताकार (iii) वृत्ताकार (iv) षट भुजाकार (v) अष्ट भुजाकार।

स्तम्भों को प्राय: इनकी आकृति के आधार पर पुकारा जाता है (चित्र 8.4)।

निर्माण-पदार्थ की दृष्टि से स्तम्भ प्रकाष्ठ, चिनाई, इस्पात, कंक्रीट अथवा संप्रथित (Composite) हो सकते हैं। अत्य भारों के लिये, इस्पात के गर्डर, स्तम्भ के रूप में खड़े किये जाते हैं।



चित्र 8.4—प्रबलित कंक्रीट स्तम्भों की आकृतियाँ (Shapes of R.C.C. Columns)

§ 8.6. लघु स्तम्भ और दीर्घ स्तम्भ में भेद (Differences in between Short Column and Long Column) :

लघु स्तम्भ	दीर्घ स्तम्भ
(1) इसकी प्रभावी लम्बाई तथा न्यूनतम आड़ी माप का अनुपात 12 से कम होता है।	(1) इस स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई तथा न्यूनतम आड़ी माप का अनुपात 12 या 12 से अधिक होता है।
(2) इसकी प्रभावी लम्बाई तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्य (Least Radius of Gyration) का अनुपात 40 से कम होता है।	(2) इसकी प्रभावी लम्बाई तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्य का अनुपात 40 से अधिक होता है।
(3) समान परिच्छेद के लघु और दीर्घ स्तम्भो में, लघु स्तम्भ की भार-वहन क्षमता (सामर्थ्य) अधिक होती है।	(3) इस स्तम्भ की भार-वहन क्षमता, समान परिच्छेद वाले लघु स्तम्भ से कम होती है।
(4) लघु स्तम्भ मे व्याकुंचन (Buckling) की सम्भावना बहुत कम होती है।	(4) इस स्तम्भ में व्याकुंचन की सम्भावना अधिक रहती है। तनु (Slender) स्तम्भ आसानी से व्याकुंचित होते हैं।
(5) लघु स्तम्भ की विफलता (Failure) संदलन (Crushing) के कारण होती है।	(5) दीर्घ स्तम्भ सामान्यत: व्याकुंचन (Buckling) के कारण विफल होते हैं।
(6) इनकी ऊँचाई कम आकर्षित करती है।	(6) ये स्तम्भ देखने वाले को आकर्षित भी करते हैं और भयभीत भी। इनकी ऊँचाई देखने के लिये, दर्शक को अपनी गर्दन ऊपर को उठानी पड़ती है।
(7) निर्माण सरल पड़ता है।	(7) ऊँचाई में पाड़े लगाने तथा तख्ता-बन्दी करने में दिक्कत आती है।

§ 8.7. स्तम्भों की शब्दावली (Terms used in Columns) :

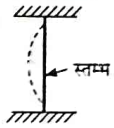
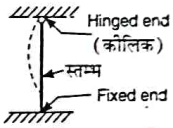
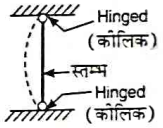
प्रबलित कंक्रीट स्तम्भों से सम्बन्धित मुख्य पद निम्नलिखित हैं—

(1) वास्तविक लम्बाई (Actual Length of Column)—स्तम्भ के दोनों सिरों के मध्य दूरी (कुल ऊँचाई), इसकी वास्तविक लम्बाई कहलाती है। इसे L से प्रदर्शित किया जाता है।

(2) प्रभावी लम्बाई (Effective Length of Column)--यह स्तम्भ के उस भाग की लम्बाई (ऊँचाई) है, जो भार पड़ने के कारण पार्श्व में झुक जाने की प्रवृत्ति रखती है। यह व्याकुंचित स्तम्भ के नति परिवर्तन बिन्दुओं (Points of Contraflexure) के मध्य की दूरी होती है। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई इसके सिरों की स्थितियों (End Conditions) पर निर्भर करती है। स्तम्भ का अभिकल्पन करते समय, स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई के स्थान पर, इसकी **प्रभावी लम्बाई** ही गणना में ली जाती है।

प्रभावी लम्बाई, l_{ef} से प्रदर्शित की जाती है। भारतीय मानक के अनुसार स्तम्भों की प्रभावी लम्बाई सारणी 8.1 में दी गयी है।

सारणी 8.1 स्तम्भों की संसूतित प्रभावी लम्बाई (Effective Length of Columns)
(I.S. 456-2000 Table 28)

स्तम्भ के सिरों की स्थिति (End Conditions)	प्रभावी लम्बाई l_{ef}	चिह्न (Symbol)
(1)	(2)	(3)
(1) दोनों सिरे स्थिति तथा दिशा में पूर्णत: आबद्ध हैं। (Both Ends Fixed)	$l_{ef} = 0{\cdot}65\ L$	 चित्र 8.5
(2) एक सिरा पूर्णत: आबद्ध है तथा दूसरा कीलदार (कब्जेदार) है। (One End Fixed, Other Hinged)	$l_{ef} = 0{\cdot}80\ L$	 चित्र 8.6
(3) दोनों सिरा कीलदार (कब्लेदार) हैं। (Both Ends Hinged)	$l_{ef} = L$	 चित्र 8.7
(4) एक सिरा पूर्णत: आबद्ध परन्तु दूसरा सिरा पूर्णत: मुक्त है। (One End Fixed, Other Free)	$l_{ef} = 2L$	 चित्र 8.8

यहाँ L = स्तम्भ की आलम्बन-रहित लम्बाई (Unsupported Length)

l_{ef} = स्तम्भ के लिये प्रभावी लम्बाई (Effective Length)

स्तम्भ की आलम्ब-रहित (Un-supported) लम्बाई दोनों निरोध (Restraints) के मध्य की शुद्ध दूरी ली जाती हैं। टी-धरन निर्माण में यह फर्श से लेकर छत के (कम गहरे) धरन की निचली सतह तक ली जाती हैं।

(3) न्यूनतम पार्श्व माप (Least Lateral Dimensions)—स्तम्भ के अनुप्रस्थ काट की चौड़ाई अथवा मोटाई, जो भी न्यूनतम होती है, स्तम्भ का **न्यूनतम पार्श्व माप** कहलाती है। वृत्ताकार स्तम्भ के लिये इसका **व्यास** ही न्यूनतम पार्श्व माप मानी जाती है।

(4) **न्यून परिभ्रमण त्रिज्या** (Least Radius of Gyration)—यह निम्न प्रकार ज्ञात की जाती है—

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \qquad ...(8.1)$$

यहाँ r = न्यून परिभ्रमण त्रिज्या

I = न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia)

A = स्तम्भ के परिच्छेद का क्षेत्रफल

(5) **तनुता अनुपात** (Slenderness Ratio)—स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई (ऊँचाई) तथा इसके न्यूनतम पार्श्व माप का अनुपात, **तनुता अनुपात** कहलाता है। इसे K से प्रदर्शित करते हैं। स्तम्भ का तनुता अनुपात निम्न सूत्र (a) अथवा (b) से ज्ञात किया जाता है।

(a) $K = \frac{l_{ef}}{r}$ ...(8.2)

यहाँ— K = तनुता अनुपात

l_{ef} = स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई

r = न्यून परिभ्रमण त्रिज्या (Least Radius of Gyration)

(b) $K = \frac{l_{ef}}{b}$ ...(8.3)

यहाँ b = स्तम्भ का न्यूनतम पार्श्व माप या व्यास

तनुता अनुपात सीमा (Slenderness Limit)—

(i) आलम्ब-सिरों के मध्य अन-आलम्बन दूरी (Unsupported Length) न्यूनतम पार्श्व माप से 60 गुना से अधिक नहीं होगी, अर्थात— $l \nmid 60\,b$

(ii) जब स्तम्भ का एक सिरा निरोधित (Restrained) है, तब— $l \nmid \frac{100b^2}{D}$

यहाँ l = अन-आलम्बन दूरी, b = स्तम्भ खण्ड की चौड़ाई, D = स्तम्भ खण्ड की गहराई

(6) **आवरण** (Cover)—स्तम्भ की लाम्बिका छड़ों पर कंक्रीट का पर्याप्त मोटा आवरण दिया जाता है ताकि भार आने पर ये छड़ें बाहर को न बहक (भटक) जायें। कंक्रीट आवरण, प्रबलन इस्पात को वायुमण्डलीय कुप्रभावों तथा अग्नि के प्रकोप से भी सुरक्षित रखता है। आवरण के सम्बन्ध में निम्न बातें याद रखनी चाहियें—

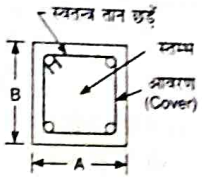
(i) न्यूनतम कंक्रीट आवरण 40 mm अथवा मुख्य छड़ का व्यास, जो भी अधिक हो, लिया जाता है।

(ii) परन्तु छोटे परिच्छेद वाले स्तम्भ, जो 200 mm अथवा कम माप के हैं और जिनमें मुख्य छड़े 12 mm व्यास तक की प्रयोग को गयी हैं, आवरण 25 mm रखा जा सकता है।

(iii) अग्नि अथवा जल के सम्पर्क में आने वाले स्तम्भों के लिये, न्यूनतम आवरण 50 mm लिया जाता है।

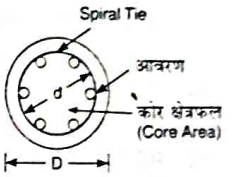
(7) **अनुप्रस्थ काट का प्रभावी क्षेत्रफल**—कंक्रीट स्तम्भ की सामर्थ्य ज्ञात करने के लिये, इसके अनुप्रस्थ परिच्छेद का प्रभावी क्षेत्रफल लिया जाता है। यह निम्न प्रकार से ज्ञात किया जाता है—

(a) **स्वतन्त्र तान-छड़** (Ties) **वाले स्तम्भ**—इसके लिये अनुप्रस्थ परिच्छेद का पूर्ण क्षेत्रफल, जिसमें आवरण भी सम्मिलित रहता है, लिया जाता है। चित्र 8.9 के अनुसार यह $A \times B$ होगा।



चित्र 8.9

(b) **कुण्डली टाई** (Spiral) **वाले स्तम्भ**—ऐसे स्तम्भ के लिये कंक्रीट-आवरण गणना में **नहीं** लिया जाता है। केवल कोर क्षेत्रफल (कुण्डली-छड़ की बाहरी सतह तक) ही खण्ड का प्रभावी क्षेत्रफल माना जाता है। चित्र 8.10 के अनुसार यह d व्यास वाले कोर का क्षेत्रफल होगा।



चित्र 8.10

§ 8.8. अक्षीय सम्पीडन तथा उत्केन्द्रता (Axial Compression and Eccentricity for Columns) :

स्तम्भ मूल रूप से एक सम्पीडन अवयव (Compression Member) है। व्यवहार में स्तम्भ पर पड़ने वाला भार शुद्धता से अक्षीय नहीं होता है। इसके शीर्ष पर एकाश्मी (Monolithic) टिकाये गये धरन/स्लैब अपनी सिरा-निरोधिता (End-Restraint) के कारण अथवा उत्केन्द्रता (Eccentricity) के कारण, अवयव (स्तम्भ-खण्ड) में कुछ बंकन आघूर्ण उत्पन्न करते हैं।

अत: सामान्य स्तम्भों को **न्यूनतम उत्केन्द्रता** के लिये अभिकल्पित किया जाना चाहिये। स्तम्भों में न्यूनतम उत्केन्द्रता I.S. कोड की धारा 25.4 के आधार पर ज्ञात की जाती है। कोड के अनुसार अनुमत न्यूनतम उत्केन्द्रता = 20 mm हैं। स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता निम्न सूत्र से ज्ञात की जा सकती है।

$$e_{min.} = \frac{l}{500} + \frac{D}{30} \qquad ...(8.4)$$

यहाँ— l = स्तम्भ की अन-आलम्बित (Un-supported) लम्बाई

D = स्तम्भ का पार्श्व माप (न्यूनतम फलक)

अत: स्तम्भ जिनकी कोई भी पार्श्व माप 'D' 400 mm से कम है, उनकी न्यूनतम उत्केन्द्रता $0{\cdot}05D$ से अधिक होगी। ऐसे स्तम्भ अक्षीय भार के साथ-साथ बंकन के लिये भी अभिकल्पित करने होंगे।

§ 8.9. कंक्रीट स्तम्भों में प्रबलन (Reinforcement) :

जब कंक्रीट स्तम्भ की लम्बाई, इसके न्यूनतम पार्श्व माप से 4–6 गुना से अधिक हो, तब इसमें **आवश्यक रूप से प्रबलन देना चाहिये।** कंक्रीट चौकी (Pedestal) में भी प्रबलन इस्पात डालना उत्तम रहता है। भार वहन के लिये आवश्यक **नहीं** होने पर भी, स्तम्भ में न्यूनतम प्रबलन देना चाहिये क्योंकि भार की उत्केन्द्रता के कारण, स्तम्भ में उपजे तनन प्रतिबलों को रोधन करने के लिये ऐसा करना जरूरी हो जाता है, क्योंकि शुद्धतम अक्षीय भारित संरचना (स्तम्भ) व्यवहारिक तौर पर सम्भव नहीं है।

कंक्रीट स्तम्भों में दो प्रकार का प्रबलन दिया जाता है—

(i) मुख्य, अनुदैर्ध्य या लाम्बिका प्रबलन (Main or Longitudinal Reinforcement)

(ii) अनुप्रस्थ, आड़ा या पार्श्व प्रबलन (Transverse or Lateral Reinforcement)

(1) मुख्य, अनुदैर्ध्य या लाम्बिका प्रबलन—

(i) स्तम्भों में यह खड़ी छड़ों के रूप में डाला जाता है। यह छड़े कंक्रीट के संग जुट कर सम्पीड़न बलों को वहन करती है। उत्केन्द्रित भार के कारण, स्तम्भ में बंकन-आघूर्ण के फलस्वरूप उत्पन्न तनन प्रतिबलों को भी वहन करती है। इसके लिये छड़ों को स्तम्भ की परिधि के निकट डालना चाहिये। लाम्बिका प्रबलन स्तम्भ को तन्यता (Ductility) प्रदान करता है और मन्द विरूपण (Creep) के प्रभाव को कम रखता है।

(ii) **लाम्बिका छड़ों का व्यास**—यह 12 mm से 50 mm तक रखा जा सकता है। **12 mm से कम व्यास की छड़ें, मुख्य इस्पात के रूप में प्रयोग नहीं की जायेंगी।**

(iii) **छड़ों का क्षेत्रफल**—मुख्य छड़ों का क्षेत्रफल, स्तम्भ के अनुप्रस्थ काट के सकल क्षेत्रफल का 0·8% से 6% तक रखा जा सकता है (I.S. code 456-धारा 26.5.3), परन्तु कंक्रीट डालने तथा कुटाई में कठिनाई को देखते हुए यह 4% से अधिक नहीं होना चाहिये। परन्तु जहाँ पर ऊपर नीचे के दोनों स्तम्भों का प्रबलन इस्पात मिलता (Overlap) है, वहाँ पर अधिकतम प्रतिशत 6% रखा जा सकता है। **चौकी** (Pedestals) **में इसके अनुप्रस्थ काट का 0·15% प्रबलन इस्पात पर्याप्त रहता है।**

जब वास्तुकला की दृष्टि से स्तम्भ का अनुप्रस्थ क्षेत्रफल, भारों (loads) के लिये आवश्यक क्षेत्रफल से अधिक रखा जाता है, तब मुख्य इस्पात का क्षेत्रफल, आवश्यक क्षेत्रफल के आधार पर ही लेना चाहिये।

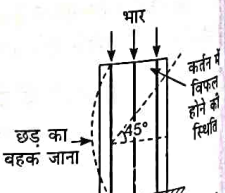
(iv) **छड़ों की संख्या**—वहु-भुजा धारी स्तम्भ-खण्ड में, प्रत्येक कोने में एक मुख्य छड़ अवश्य रहनी चाहिये। वर्गाकार अथवा आयाताकार खण्ड के लिये न्यूनतम 4 छड़ें डालना लाजमी है। वृत्ताकार स्तम्भ के लिये न्यूनतम 6 छड़ें होनी चाहियें।

जब स्तम्भ में पार्श्व प्रबलन के रूप में **सर्पिल छड़ें डाली गयी हैं तो कम से कम 6 मुख्य छड़ों का प्रयोग करना चाहिये।** प्रत्येक छड़ सर्पिल प्रबलन से सटाकर (भीतरी तरफ) लगानी चाहिये।

(v) **छड़ों की दूरी**—स्तम्भ की परिधि पर, मुख्य छड़ों की क्षैतिज दूरी 300 mm से अधिक नहीं होनी चाहिये।

(vi) **आवरण**—यह 40 mm से कम नहीं होना चाहिये [देखें अनुच्छेद 8.7 (6)]

(2) अनुप्रस्थ, आड़ा या पार्श्व प्रबलन—भार आने पर लाम्बिका (मुख्य) छड़ों को बाहर की ओर भटक जाने की प्रवृत्ति रहती है (चित्र 8.11)। इसे रोकने के लिये स्तम्भ की लम्बाई (ऊँचाई) में, उचित ऊर्ध्वाधर अन्तराल पर **पार्श्व प्रबलन** देना आवश्यक है। **पार्श्व प्रबलन जहाँ लाम्बिका छड़ों को अपनी मूल ऊर्ध्व स्थिति में बनाये रखता है, वहीं कंक्रीट को फटने,**



चित्र 8.11—स्तम्भ का विकर्ण तनन में विफल होना

चटकने तथा बाहर की ओर उभरने (झुकने) से भी रोके रखता है। विकर्ण तनन (Diagonal Tension) तथा मुख्य छड़ों के व्याकुंचन (Buckling) के कारण, स्तम्भ की कंक्रीट क्षैतिज अक्ष के 45° के कोण पर चटकने की चेष्टा रखती है। यह विफलता पार्श्व प्रबलन द्वारा ही रोकी जा सकती है। पार्श्व प्रबलन स्तम्भों को तन्यता (Ductility) प्रदान करता है।

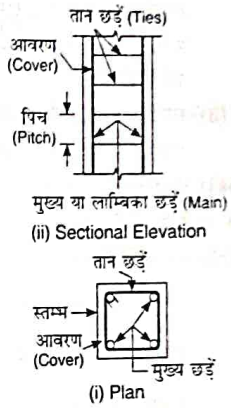
पार्श्व प्रबलन दो प्रकार का होता है—

(a) स्वतन्त्र छल्ले या तान छड़ें (Links or Ties Bars)

(b) कुण्डलीय या सर्पिल छड़ें (Helical or Spiral Bars)

(a) स्वतन्त्र छल्ले या तान छड़ें—

(i) इस्पात की छड़ के बने ये चकोर या गोल छल्ले, मुख्य छड़ों को बाहर से लपेट कर (सटा कर) लगाये जाते हैं। यह मुख्य छड़ों को अपनी निर्धारित खड़ी स्थिति में जकड़े रखते हैं और इनका व्याकुंचन (बहकाव) रोकते हैं (चित्र 8.12)। स्वतन्त्र छल्ले, स्तम्भ की पूरी लम्बाई (ऊँचाई) में उपयुक्त ऊर्ध्व अन्तराल पर इस प्रकार लगाने चाहिये कि सभी मुख्य (खड़ी) छड़ें इनकी पकड़ में आ जायें। तान छड़ों के सिरों पर मानक बैण्ड दिये जाते हैं और इन्हें मुख्य छड़ों से बन्धक तार (Binding Wire) द्वारा बाँध दिया जाता है। ध्यान रहे कि **स्वतन्त्र तान छड़ें (छल्लें) स्तम्भ के भार वहन में कोई योगदान नहीं करती हैं।**



चित्र 8.12—स्वतन्त्र तान छड़ें (Lateral Ties)

(ii) **व्यास**—छल्लों की छड़ का व्यास 8 mm से 16 mm तक अथवा मुख्य लाम्बिका छड़ के व्यास का 1/4, जो भी अधिक हो, लिया जाता है। तान छड़ें 6 mm व्यास से कम की नहीं होंगी। टाई छल्ले का भीतरी (मोड़) कोण 135° से अधिक नहीं होना चाहिये।

(iii) **अन्तराल या पिच**—छल्लों का अन्तराल (आपसी दूरी), निम्न का **न्यूनतम** होना चाहिये—

(क) स्तम्भ का न्यूनतम पार्श्व माप।

(ख) 16 ϕ, यहाँ ϕ लाम्बिका छड़ (जो सबसे कम मोटी है) का व्यास है।

(ग) 300 mm

जब उपरोक्त नियम के अनुसार तान छड़ों का व्यास तथा अन्तराल निर्धारित किया जाता है तो इसके लिये अन्य गणनायें करने की आवश्यकता नहीं है। (I. S. code 456-2000)

(b) कुण्डलीय या सर्पिल छड़ें—

(i) यह छड़ें, रस्सी की भाँति, मुख्य (लाम्बिका) इस्पात के चारों तरफ घुमाकर, लगातार लपेटी जाती हैं और स्तम्भ की पूर्ण ऊँचाई तक जाती हैं। सर्पिल छड़ें, स्तम्भ की मुख्य छड़ों का व्याकुंचन रोकती हैं और स्तम्भ की कंक्रीट-कोर को परिधि के भीतर बाँधे रखती हैं। इससे **स्तम्भ को अतिरिक्त सामर्थ्य मिलती** है और यह अधिक भार वहन कर सकता है। सर्पिल प्रबलन स्वयं भी

स्तम्भ पर आने वाले भार का कुछ अंश वहन करता है। (देखें अनुच्छेद 8.9)। स्तम्भ में लाम्बिका छड़ों को चक्री में बांधती हुयी सर्पिल छड़ें चित्र 8.13 में दर्शायी गयी है।

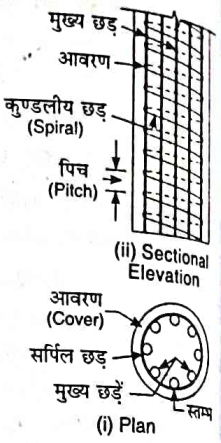
स्वतन्त्र तान छड़ो की तुलना में सर्पिल छड़ को लाम्बिका छड़ो के गिर्द रस्सी की भान्ति घुमाना कुछ कठिन पड़ता है, अत: क्षेत्र (Field) में यह प्रबलन-विधि कम ही प्रयोग की जाती है।

(ii) **व्यास**—8 mm से 16 mm तक अथवा मुख्य इस्पात के व्यास का 1/4, जो भी अधिक हो, लिया जाता है।

(iii) **अन्तराल या पिच**—

(क) अधिकतम पिच—यह निम्न का **न्यूनतम** मान लिया जायेगा—

$$75 \text{ mm} \quad \text{अथवा} \quad \frac{\text{कोर का व्यास}}{6}$$



चित्र 8.13—सर्पिल छड़ें (Spiral Ties)

(ख) न्यूनतम पिच—यह निम्न का **न्यूनतम** लिया जायेगा—

25 mm अथवा (3 × सर्पिल छड़ का व्यास)

(iv) **सर्पिल छड़ का प्रति इकाई-ऊँचाई में आयतन**—सर्पिल छड़ एक चक्कर (पिच) में स्तम्भ के गिर्द घूम जाती है। अत: एक पिच-ऊँचाई में सर्पिल छड़ की लम्बाई,

$$L_{sp} = \sqrt{(\pi \times D_k)^2 + (P)^2}$$

यहाँ, D_k = कोर का व्यास है। यह सर्पिल छड़ के बाहरी घेरे (Outside Dia : of the Helix) तक लिया जाता है (अर्थात् D_k = स्तम्भ का कुल व्यास — दो शुद्ध आवरण + सर्पिल छड़ के दो व्यास)।

p = सर्पिल छड़ का पिच

अत: इस लम्बाई में सर्पिल छड़ का आयतन = $\frac{\pi \phi^2}{4} \times L_{sp}$

$\therefore$ प्रति इकाई-ऊँचाई में सर्पिल छड़ का आयतन, $A_{sp} = \frac{\pi \phi^2}{4} \times L_{sp} \times \frac{1}{p}$ ...(8.5)

(3) **छड़ों पर चढ़ाव एवं जोड़ लम्बाई** (Lap Length)—जब लाम्बिका छड़ें, आवश्यक लम्बाई की उपलब्ध न हों तो छड़ों को लम्बाई की दिशा में आपसी चढ़ाव देकर लम्बा करना पड़ता है। चढ़ाव की लम्बाई पर्याप्त होनी चाहिये ताकि अभिलाग से एक छड़ पर आ रहे प्रतिबल दूसरी छड़ पर स्थानान्तरित हो सकें। जब स्तम्भ की अनेक छड़ों को चढ़ाव देना हो, तो सभी चढ़ाव एक बिन्दु-स्थल में न रख कर, बिखरा (Staggered) देने चाहियें।

36 mm से अधिक व्यास की छड़ों को चढ़ाव नहीं देना चाहिये। इन्हें वैल्ड करना उचित रहता है।

स्तम्भों में चढ़ाव लम्बाई, विकास लम्बाई (L_d) के बराबर रखी जाती है, परन्तु यह 24 ϕ से कम नहीं होनी चाहिये। विकास लम्बाई, $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4 \tau_{bd}}$ ...(8.6)

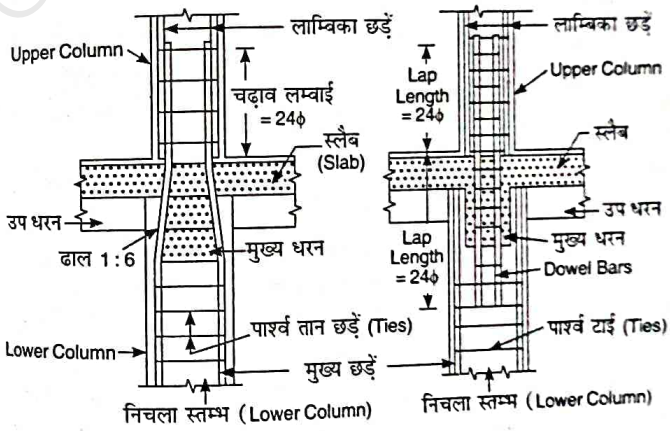
यहाँ ϕ = छड़ का व्यास

f_y = छड़ में चरम सम्पीडन प्रतिबल— Fe 250 के लिये—250 N/mm^2

— Fe 415 के लिये—415 N/mm^2

τ_{bd} = अनुज्ञेय अभिलाग प्रतिबल। विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट व प्रबलन इस्पात के लिये τ_{bd} के मान सारणी 4.4 से देखे जा सकते हैं।

(4) **सतत् स्तम्भों में चढ़ाव**—बहु-तली भवनों में ऊपर-नीचे के तलों के लिये निर्मित सतत स्तम्भ की खड़ी (मुख्य) प्रबलन छड़ों में चढ़ाव चित्र 8.14 के अनुसार फर्श तल पर अथवा धरनों के संगम पर दिया जाता है। खड़ी प्रबलन छड़ों के चढ़ाव की न्यूनतम लम्बाई 24 ϕ और गुज्जी (Dowel) छड़ों के लिये 48 ϕ रखनी चाहिये।



चित्र 8.14—स्तम्भों का सम्बन्धन (Inter Locking of Upper and Lower Columns)

मुख्य प्रबलन छड़ों की चढ़ाव दूरी में ऊपर तथा नीचे के स्तम्भों में तान छड़ों (Ties) का अन्तराल कम कर देना चाहिये।

(5) **चौकी में** (Pedestal) **में प्रबलन**—जब चौकी की सामर्थ्य गणना में नहीं ली गयी है, तब इस में नामन (Nominal) लाम्बिका इस्पात, जिसका क्षेत्रफल चौकी के क्षेत्रफल का 0·15% से कम न हो, डालना चाहिये।

निपात की सीमांत अवस्था-सम्पीड़न
(LIMIT STATE OF COLLAPSE: COMPRESSION)
(I) अक्षीय भारित लघु स्तम्भ
(AXIALLY LOADED SHORT COLUMN)

§ 8.10. लघु स्तम्भ (Short Column) :

(1) पहचान—I. S. Code 456–2000 (धारा 25.1-2) के अनुसार जब किसी कंक्रीट स्तम्भ का प्रभावी लम्बाई-न्यूनतम पार्श्व माप का अनुपात 12 से **कम** होता है (अथवा प्रभावी लम्बाई/न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या का अनुपात 40 से **कम** होता है). इसे **लघु स्तम्भ** कहा जाता है। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई इसके सिरों की जकड़-स्थिति के आधार पर ज्ञात की जाती है (देखे अनुच्छेद 8.7)। **यदि प्रश्न में स्तम्भ की ऊँचाई नहीं दे रखी है, तब इसे लघु स्तम्भ माना जायेगा।**

(2) लघु स्तम्भ की सामर्थ्य—स्तम्भों पर सीधा सम्पीडन भार लगता है। अधिकतम भार, जो एक स्तम्भ सुरक्षापूर्वक वहन कर सकता है, इसकी सामर्थ्य कहलाती है। कंक्रीट स्तम्भों की सामर्थ्य ज्ञात करने की दो विधियाँ हैं—

(a) प्रत्यास्थ सिद्धान्त विधि (Elastic Theory Method)

(b) भार गुणक विधि (Load Factor Method)। इसे भारतीय मानक कोड विधि भी कहते हैं।

प्रत्यास्थ सिद्धान्त विधि में, इस्पात में अधिकतम प्रतिबल, कंक्रीट में उत्पन्न प्रतिबल का m गुना लिये जाते हैं। स्तम्भ की सामर्थ्य, कंक्रीट तथा लाम्बिका इस्पात द्वारा वहन किये गये भारों का योगफल होती है।

यदि सीधे भार के लिये, M-15 ग्रेड की कंक्रीट के लिये, $\sigma_{cc} = 4$ N-mm^2 हो और $m = 18$ लिया जाये तो इस्पात में अधिकतम प्रतिबल $m \times \sigma_{cc}$ अर्थात् $18 \times 4 = 72$ N/mm^2 लिये जायेंगे। अत: प्रत्यास्थ सिद्धान्त के अनुसार कंक्रीट 4 N/mm^2 तक और इस्पात 72 N/mm^2 तक ही प्रबलित माना जाता है, जबकि Fe 250 के मृदु इस्पात में सीधे अनुज्ञेय प्रतिबल 130 N/mm^2 लिये जाते हैं। सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M.) में कंक्रीट के लिये $0{\cdot}4\, f_{ck}$ (अर्थात् M-15 की कंक्रीट के लिये $0{\cdot}4 \times 15 = 6$ N/mm^2) और इस्पात के लिये $0{\cdot}67\, f_y$ (अर्थात् Fe 250 के लिये $0{\cdot}67 \times 250 = 167{\cdot}5$ N/mm^2) अपनाये जाते हैं, जो प्रत्यास्थ सिद्धान्त विधि के प्रतिबलों से काफी अधिक है। इस प्रकार प्रत्यास्थ सिद्धान्त में कंक्रीट और इस्पात की सामर्थ्य का पूर्ण उपयोग नहीं हो पाता है। इसीलिये **प्रत्यास्थ सिद्धान्त पर अभिकल्पित स्तम्भ मितव्ययी नहीं कहे जा सकते हैं।**

प्रयोगों द्वारा यह सिद्ध हुआ है कि चरम भार के निकट कंक्रीट एक प्रत्यास्थ पदार्थ की भाँति कार्य नहीं करती है। इस चरण पर कंक्रीट तथा इस्पात के प्रतिबलों में आदान-प्रदान होता है। खण्ड के विफल होते समय, कंक्रीट तथा इस्पात, अपने-अपने चरम प्रतिबलों पर एक साथ पहुँचते हैं। अत: स्तम्भ की सुरक्षित भार वहन क्षमता, मापांक अनुपात (m) पर आधारित न मानकर, **कंक्रीट तथा इस्पात की सामर्थ्य के चरम बिन्दु पर उपजे प्रतिबलों के आधार पर ज्ञात करना अधिक न्यायसंगत बनता है।** चरम सामर्थ्य को एक उपयुक्त गुणांक से भाग देकर, सुरक्षित अधिकतम भार ज्ञात कर लिया जाता है। इस गुणांक को भार-गुणक (Load Factor) कहते हैं और यह विधि भार गुणांक विधि कहलाती है। **भारतीय मानक ब्यूरो ने भी, स्तम्भों की सामर्थ्य निर्धारित करने के लिये इसी विधि की संस्तुति की है।**

§ 8.11. मुख्य बातें :

सीमांत अवस्था विधि (निपात की सीमान्त अवस्था-सम्पीडन) (I.S. 456-2000-धारा 39) में स्तम्भों का अभिकल्पन करते समय निम्न बातें महत्व रखती हैं।

(i) कंक्रीट में सम्पीडन प्रतिबल-विकृति वितरण का सम्बन्ध परवलयाकार (Parabolic) माना गया है।

(ii) कंक्रीट में अधिकतम सम्पीडन प्रतिबल $= 0{\cdot}67\, f_{ck}$ लिये जाते हैं। इस पर आंशिक सुरक्षागुणक (Partial Safety Factor) = 1·5 लगाया जाता है।

अत: कंक्रीट की अभिकल्प सम्पीडन सामर्थ्य $= \dfrac{0{\cdot}67\, f_{ck}}{1{\cdot}5} = 0{\cdot}446\, f_{ck}$ (say $0{\cdot}4\, f_{ck}$) ली जाती है। यहाँ f_{ck} कंक्रीट की अभिलक्षणिक सम्पीडन सामर्थ्य (Characteristic Compressive Strength) है।

(iii) कंक्रीट की तनन सामर्थ्य पर विचार नहीं किया जाता है।

(iv) प्रबलन इस्पात में प्रतिबल, प्रयुक्त इस्पात की प्रकार के आधार पर, प्रतिबल-विकृति वक्र (Stress-Strain Curve) से लिये जाते हैं।

इस्पात के लिये आंशिक सुरक्षागुणक = 1·15 लिया जाता है। अत: इस्पात की तनन में, अभिकल्प सामर्थ्य, $f_d = \dfrac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y$ ली जाती है। सीधा सम्पीडन (Compression) में यह मान $0{\cdot}67\, f_y$ लिया जाता है (स्तम्भों के लिये)।

(v) **न्यूनतम उत्केन्द्रता (Minimum Eccentricity)**—सभी सम्पीडित अवयव अपनी दोनों मुख्य दिशाओं पर न्यूनतम उत्केन्द्रता अनुसार अभिकल्पित किये जायेंगे I.S. कोड अनुसार,

न्यूनतम उत्केन्द्रता, $e_{min} = \dfrac{l}{500} + \dfrac{D}{30}$, परन्तु e_{min} 20 mm से कम (Minimum)—

(I.S. धारा 25.4)।

अथवा $e_{min} > 0{\cdot}05\, D$। **यदि न्यूनतम उत्केन्द्रता $0{\cdot}05\, D$ से अधिक है, तब स्तम्भ खण्ड अक्षीय भार व बंकन दोनों के लिये अभिकलित करना होगा।**

यहाँ l = स्तम्भ की अनआलम्बिता (Unsupported) लम्बाई,

D = बंकन दिशा में स्तम्भ का पार्श्व माप, $0{\cdot}05D \geq 20$ mm अथवा

$$D \geq \frac{20}{0{\cdot}05} = 400 \text{ mm}$$

(vi) (a) **लघु स्तम्भ के लिये**—$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} \cdot A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$ ...(8.7)

यहाँ— P_u = अभिकल्प (Factored) अक्षीय भार/स्तम्भ की चरम सामर्थ्य

A_c = कंक्रीट का क्षेत्रफल

A_{sc} = लाम्बिका इस्पात का क्षेत्रफल

f_{ck} = सम्पीडन कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य

f_y = इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य

(सभी स्तम्भ जिनकी $D = 400$ mm से कम है अथवा $0{\cdot}12l$ से कम है, इनकी न्यूनतम उत्केन्द्रता $0{\cdot}05D$ से **अधिक** होगी, अत: ऊपर दिया गया सूत्र इस स्थिति में **लागू नहीं होगा**)।

(b) जब स्तम्भ में कुण्डलीय (Spiral) प्रबलन दिया जाता है, यह अधिक तन्य (Ductile) हो जाता है, अत: इसकी भार-वहन क्षमता, सादा पार्श्व टाई वाले इसी परिमाप के लघु स्तम्भ से 1·05 गुना अधिक बढ़ जाती है (परन्तु कुण्डलीय इस्पात और स्तम्भ-कोर के आयतनों का अनुपात, $0{\cdot}36\left[\frac{A_g}{A_k}-1\right]\frac{f_{ck}}{f_y}$ से कम नहीं होगा।

तब कुण्डलीय प्रबलन वाले लघु स्तम्भ की सामर्थ्य के लिये—

$$P_u = 1{\cdot}05\,[0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}) \qquad \text{...(8.8)}$$

8.12. अभिकल्प के चरण (Steps for L.S. Design of Column) :

(i) स्तम्भ के लिये अभिकल्प (Factored) भार = P_u तथा कंक्रीट और इस्पात के ग्रेड दे रखे हैं।

(ii) स्तम्भ के लिये उपयुक्त इस्पात की मात्रा (% of steel) चुने (सामान्यत: यह मान A_g का 0·8% से 4% तक ले सकते हैं)। माना यह A_{sc} है और A_g = खण्ड का सकल क्षेत्रफल है।

(iii) $A_g = A_c + A_{sc}$ तथा

$$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck}(A_g - A_{sc}) + 0{\cdot}67 f_y A_{sc} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

इस सूत्र में A_g के अतिरिक्त सभी मान ज्ञात है, अत: A_g की गणना करें।

(iv) स्तम्भ की फलक अथवा व्यास निर्धारित करें। आयताकार स्तम्भ के लिये एक फलक का माप मानकर, अन्य फलक के माप की गणना करें।

(v) A_{sc} के लिये छड़ों की संख्या व व्यास चुनें।

(vi) पार्श्व टाई (Lateral Ties) की गणनायें करें। (देखें अनुच्छेद 8.8)।

(vii) (a) स्तम्भ की लम्बाई की जांच करें। लघु स्तम्भ के लिये $\frac{L_{eff}}{b} < 12$ होना चाहिये।

(b) न्यूनतम उत्केन्द्रता (Minimum Eccentricity) की गणना करें। अक्षीय भारित स्तम्भ के लिये—

$e_{min} = \frac{l}{500} + \frac{D}{30} \geq 20$ mm। परन्तु अधिकतम 20 mm

अथवा $e_{min} > 0{\cdot}05\,D$, यहाँ l = स्तम्भ की अनआलम्बित ऊँचाई D = पार्श्व न्यूनतम माप

8.13. लघु स्तम्भों में समस्याओं के प्रकार (Type of Problems) :

लघु कंक्रीट स्तम्भों में मुख्यत: दो प्रकार की समस्यायें होती है—

(a) स्तम्भ की सामर्थ्य ज्ञात करना,

(b) स्तम्भ-खण्ड का अभिकल्पन करना।

यदि स्तम्भ की लम्बाई दे रखी है, इसकी प्रभावी लम्बाई (l_{eff}) ज्ञात करके, यह निर्णय ले कि स्तम्भ लघु है अथवा दीर्घ की श्रेणी में आता है। स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता की भी जांच करें (देखें अनुच्छेद 8.7)।

(a) **स्तम्भ की सामर्थ्य ज्ञात करना** (Strength of Column)—इस प्रकार की समस्या में, स्तम्भ का अनुप्रस्थ काट तथा प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल दे रखा है। स्तम्भ की सुरक्षित भारवहन क्षमता ज्ञात करनी होती है। **इसे हल करने के चरण निम्न हैं—**

(i) स्तम्भ की भार-वहन क्षमता—$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$ ...(सूत्र)

(ii) यदि स्तम्भ में सर्पिल प्रबलन दिया गया है, तब उपरोक्त (i) से ज्ञात की गयी सामर्थ्य को 5% बढ़ा दें, अर्थात् $P_u = 1{\cdot}05 \times [0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}]$

यह भार तभी बढ़ाया जाता है, जब खण्ड अनुच्छेद 8.10-vi-b की शर्त पूरी करता हो।

(iii) यदि अनुप्रस्थ तान छड़ें (Ties) नहीं दी गयी हैं तो उसका I. S. code के अनुसार व्यास तथा अन्तराल निर्धारित कर लें।

(b) **स्तम्भ-खण्ड का अभिकल्पन करना** (Design of Column)—इस प्रकार की समस्या में, स्तम्भ पर आने वाला भार तथा कंक्रीट व इस्पात के चरम प्रतिबल दे रखे हैं। स्तम्भ का खण्ड निर्धारित करना होता है और लाम्बिका छड़ों तथा पार्श्व तान छड़ों का अभिकल्पन भी करना है। **इसे हल करने के चरण निम्न हैं—**

(i) स्तम्भ की वास्तुकला अथवा फर्श-क्षेत्र की उपयोगिता को दृष्टि में रख कर, कोई उपयुक्त आकृति मान लें। यह वर्गाकार, आयताकार, वृत्ताकार अथवा बहुभुजाकार हो सकती है।

(ii) अनुदैर्ध्य (मुख्य) इस्पात की कोई उपयुक्त मात्रा मान लें। यह स्तम्भ-काट के क्षेत्रफल का 0·8 से 6% हो सकती है। सामान्यत: यह मान 1 से 2% लिया जाता है।

(iii) भार-वहन सूत्र से, कंक्रीट तथा इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात करें तथा छड़ों की संख्या निकाल लें।

(iv) स्तम्भ के लिये पार्श्व प्रबलन का अभिकल्पन करें। यह स्वतन्त्र छल्लों (Ties) अथवा सर्पिल छड़ के रूप में हो सकता है। छल्लों की छड़ का व्यास तथा पिच ऊपर सुझाये गये निर्देशों के अनुसार निर्धारित कर लें (अनुच्छेद 8.8)।

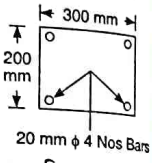
(v) स्तम्भ का अनुप्रस्थ परिच्छेद खींच कर, उसमें सभी आवश्यक माप तथा प्रबलन की स्थिति स्पष्ट दर्शायें।

उदाहरण 8.1 : एक लघु प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ का खण्ड माप 200 mm × 300 mm है जिसमें 20 mm ϕ की चार छड़ों (प्रत्येक कोने पर एक) का प्रबलन दिया गया। स्तम्भ की चरम भार-वहन क्षमता तथा सुरक्षित क्षमता ज्ञात ज्ञात करें। न्यूनतम उत्केन्द्रता $e_{min} < 0.05D$ मान लें। भार गुणक 1·5 लें।

(a) यदि M-15 व Fe 250 ग्रेड के पदार्थ डाले गये हों।

(b) जब M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का टोर इस्पात प्रयोग किया गया है।

हल : (a) स्तम्भ के लिये M-15 कंक्रीट के लिये चरम सम्पीडन प्रतिबल, f_{ck} = 15 N/mm² और Fe 250 इस्पात के लिये चरम प्रतिबल = 250 N/mm² हैं।



चित्र 8.15

स्तम्भ की भार-धारणा क्षमता (Factored Load)—

$$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$$

यहाँ— P_u = स्तम्भ की चरम भार-वहन क्षमता

f_{ck} = कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य, 15 N/mm²

f_y = इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य, 250 N/mm²

A_c = स्तम्भ में कंक्रीट का शुद्ध (Net) क्षेत्रफल, $A_c = A_g - A_{sc}$

A_{sc} = लाम्बिका इस्पात का क्षेत्रफल, 4 × 314 = 1256 mm²

∴ $A_c = (200 \times 300) - 1256 = 58744$ mm²

स्तम्भ की चरम भार वहन क्षमता, $P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$

$= (0{\cdot}4 \times 15 \times 58744) + (0{\cdot}67 \times 250 \times 1256)$

$= 352464 + 210380$

$= 562844$ N = 56·3 टन।

भार-गुणक 1·5 लेते हुये, स्तम्भ की अनुमत (सुरक्षित) भार वहन क्षमता

$$= \frac{F_d}{1{\cdot}5} = \frac{56{\cdot}3}{1{\cdot}5} = \mathbf{37{\cdot}53 \text{ टन}}$$ उत्तर

(b) जब M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का इस्पात प्रयोग किया गया है—

∴ स्तम्भ की चरम भार धारण क्षमता—

$$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$$

$$P_u = (0{\cdot}4 \times 20 \times 58744) + (0{\cdot}67 \times 415 \times 1256)$$

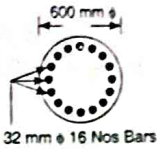
$= 469952 + 349231 = 819183$ N अथवा 81·9 टन

भार-गुणक 1·5 लेने पर, स्तम्भ की अनुमत (सुरक्षित) क्षमता

$$= \frac{F_d}{1{\cdot}5} = \frac{81{\cdot}9}{1{\cdot}5} = \mathbf{54{\cdot}6 \text{ टन}}$$ उत्तर

उदाहरण 8.2 : ज्ञात करें कि 600 mm व्यास वाला एक प्रबलित सीमेंट कंक्रीट लघु स्तम्भ जो 32 mm ϕ की 16 छड़ों द्वारा प्रबलित है, कितना सुरक्षित भार वहन कर सकता है। स्तम्भ के लिये M–20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का प्रबलन इस्पात प्रयोग करें।

हल : प्रश्नानुसार— स्तम्भ में M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात डाला गया है।



चित्र 8.16

स्तम्भ का व्यास = 600 mm

स्तम्भ परिच्छेद का क्षेत्रफल, $A_g = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{22 \times 600 \times 600}{7 \times 4}$

$= 282858$ mm²

32 mm व्यास की 16 छड़ों का क्षेत्रफल, $A_{sc} = 16 \times 805 = 12880$ mm²

स्तम्भ में कंक्रीट का शुद्ध (Net) क्षेत्रफल, $A_c = 282858 - 12880 = 269978$ mm²

माना स्तम्भ में स्वतन्त्र टाई लगायी गयी हैं—

स्वतन्त्र (पार्श्व) टाई वाले लघु स्तम्भ की चरम भार-वहन क्षमता,

$$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$$

$$= (0{\cdot}4 \times 20 \times 269978) + (0{\cdot}67 \times 415 \times 12880)$$

$= 2159824 + 3581284 = 5741108$ N = 574 टन (Say)

भार-गुणक 1·5 अपनाते हुये, स्तम्भ पर सामान्य (अनुमत) भार

$$= \frac{F_d}{1{\cdot}5} = \frac{574}{1{\cdot}5} = \mathbf{382 \text{ टन}}$$ उत्तर

उदाहरण 8.3 : एक वर्गाकार प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 3 मी० है। इसकी अनुप्रस्थ काट 400 mm × 400 mm है। इसको 16 mm ϕ की 8 छड़ों से प्रबलित किया गया है, जिसमें 4 छड़ें कोनों पर लगायी गयी तथा शेष 4 छड़ें भुजाओं के मध्य में लगायी गयी हैं। छड़ों पर प्रभावी आवरण 40 mm का है। पार्श्व प्रबलन के लिये 8 mm ϕ की टाई का उपयोग 300 mm की केन्द्रीय दूरी पर पूरे स्तम्भ पर किया गया है। M–20 ग्रेड की सीमेंट कंक्रीट तथा Fe 415 ग्रेड का प्रबलन इस्पात का प्रयोग करने पर, इस स्तम्भ पर कितना अक्षीय सुरक्षित भार डाला जा सकता है, ज्ञात कीजिये। स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता, $e_{min.} < 0{\cdot}05D$ मान लें।

हल : स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता, प्रश्न के अनुसार, 0·05 D = 0·05 × 400 = 20 mm से कम है।

स्तम्भ का सकल क्षेत्रफल, $A_g = 400 \times 400 = 160000$ mm²

प्रबल इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{sc} = 8 \times 201 = 1608$ mm²

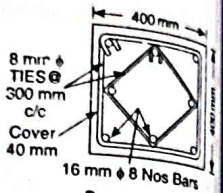
कंक्रीट का शुद्ध (Net) क्षेत्रफल, $A_c = 160000 - 1608 = 158392$ mm²

civildurg.net

स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई = 3 m

स्तम्भ का अनुप्रस्थ काट = 400 mm × 400 mm

तनुता अनुपात, $k = \frac{l_{ef}}{b} = \frac{3 \times 1000}{400} = 7{\cdot}5$



चित्र 8.17

चूँकि यह अनुपात 12 से कम है, अत: यह एक **लघु स्तम्भ** है। लघु स्तम्भ की चरम भार वहन क्षमता—

$$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$$

ज्ञात मान रखने पर—

$$P_u = (0{\cdot}4 \times 20 \times 158392) + (0{\cdot}67 \times 415 \times 1608)$$
$$= 1267136 + 447105$$
$$= 1714241 \text{ N} = 171{\cdot}43 \text{ टन (Say)}$$

भार-गुणक 1·5 लेते हुये, स्तम्भ पर सुरक्षित भार

$$= \frac{F_d}{1{\cdot}5} = \frac{171{\cdot}43}{1{\cdot}5} = \mathbf{114{\cdot}3 \text{ टन}}$$ उत्तर

उदाहरण 8.4 : एक गोलाकार स्तम्भ का व्यास 300 mm है। इसमें 20 mm व्यास की 8 लाम्बिक छड़ें डाली गयी हैं। स्तम्भ को 8 mm व्यास की 25 mm पिच वाली सर्पिल टाई से बाँधा गया है। स्तम्भ के लिये यदि M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का इस्पात उपयोग हुआ हो, तो इसकी सुरक्षित अक्षीय भार वहन क्षमता निर्धारित करें। स्तम्भ का शुद्ध (Net) आवरण 40 mm मान लें। स्तम्भ की उत्केन्द्रता $e_{min} < 0{\cdot}05D$ मान लें।

हल—(i) प्रश्नानुसार—स्तम्भ में M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात डाला गया है।



चित्र 8.18

गोलाकार स्तम्भ का व्यास = 300 mm

कोर का व्यास, $D_k = D - (2 \times \text{आवरण}) + (2 \times \text{सर्पिल छड़ का व्यास})$

$$= 300 - (2 \times 40) + (2 \times 8)$$
$$= 236 \text{ mm}$$

मुख्य इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{sc} = 8 \times 314 = 2512 \text{ mm}^2$

स्तम्भ का सकल क्षेत्रफल, $A_g = \frac{\pi \times 300^2}{4} = 70715 \text{ mm}^2$

चूँकि प्रश्न में स्तम्भ की ऊँचाई नहीं दी गयी है, अत: इसे **लघु स्तम्भ** माना जायेगा।

(ii) सर्पिल टाई वाले स्तम्भ की चरम सामर्थ्य—

$$P_u = 1{\cdot}05 [0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}] \quad \text{...(सूत्र)}$$

परन्तु सर्पिल टाई वाले स्तम्भ की सामर्थ्य के लिये गुणक 1·05 तभी लगाया जाता है, जब निम्न शर्त पूरी होती है—

$$\frac{\text{सर्पिल प्रबलन का आयतन}}{\text{कोर का आयतन}} \geq 0{\cdot}36 \left[\frac{A_g}{A_k} - 1\right] \times \frac{f_{ck}}{f_y} \quad \text{...(सूत्र)}$$

अत: सर्पिल प्रबलन का प्रति इकाई-ऊँचाई का आयतन, $V_{sp} = \frac{\pi \phi^2 \times L_{sp}}{4 \times p}$

यहाँ ϕ = सर्पिल छड़ का व्यास = 8 mm ϕ

L_{sp} = सर्पिल छड़ की एक चक्र में लम्बाई = $\sqrt{(\pi D_k)^2 + (p)^2}$

यहाँ D_k = कोर का व्यास = 236 mm

$\therefore \quad L_{sp} = \sqrt{(\pi \times 236)^2 + (25)^2} = 742 \text{ mm}$

$$V_{sp} = \frac{\pi \phi^2 \times L_{sp}}{4 \times p} = \frac{\pi \times (8)^2 \times 742}{4 \times 25} = 1493 \text{ cu mm}$$

कोर का कंक्रीट क्षेत्रफल, $A_k = \frac{\pi (D_k)^2}{4} - A_{sc}$

$$= \frac{\pi \times (236)^2}{4} - 2512 = 41249 \text{ mm}^2$$

कोर का आयतन प्रति मिमी० ऊँचाई में = 41249 × 1 = 41249 cu mm

A_g = स्तम्भ का सकल क्षेत्रफल = 70715 mm^2

f_{ck} = 20 N/mm^2 (M-20 ग्रेड की कंक्रीट के लिये)

f_y = 415 N/mm^2 (Fe 415 इस्पात के लिये)

अत: $\frac{1493}{41249} \geq 0{\cdot}36 \left[\frac{70715}{41249} - 1\right] \times \frac{20}{415}$

$0{\cdot}036 \geq 0{\cdot}36 [0{\cdot}714 \times 0{\cdot}05]$

$0{\cdot}036 \geq 0{\cdot}013$

यह सत्य है। अत: स्तम्भ की सामर्थ्य के लिये गुणक 1·05 लगाया जायेगा।

$$P_u = 1{\cdot}05[0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}]$$
$$= 1{\cdot}05 [0{\cdot}4 \times 20 \times 41249 + 0{\cdot}67 \times 415 \times 2512]$$
$$= 1{\cdot}05 (329992 + 698462)$$
$$= 1079877 \text{ N} = 107{\cdot}98 \text{ टन}$$

भार-गुणक 1·5 अपनाते हुये, स्तम्भ की सामान्य (सुरक्षित) भार-वहन क्षमता

$$= \frac{F_d}{1{\cdot}5} = \frac{107{\cdot}98}{1{\cdot}5} = \mathbf{92 \text{ टन}}$$ उत्तर

यदि इस स्तम्भ में **सर्पिल टाई के स्थान पर सामान्य स्वतन्त्र टाई** लगायी जाती है, तब स्तम्भ की सामर्थ्य— $P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$

$= 0{\cdot}4 \times 20 \times 68203 + 0{\cdot}67 \times 415 \times 2512$

$= 545624 + 698462 = 1244086 \text{ N} = 124{\cdot}4 \text{ टन}$

सुरक्षित भार $= \dfrac{124{\cdot}4}{1{\cdot}5} = \mathbf{83 \text{ टन}}$ उत्तर

टिप्पणी— चूँकि सर्पिल टाई लगाने से स्तम्भ की कुल सामर्थ्य में कोई विशेष बढ़ोत्तरी नहीं होती है, अत: क्षेत्र में इसका कम प्रयोग किया जाता है। छड़ को रस्सी की भाँति लाम्बिका छड़ों के गिर्द लपेटने में दिक्कत भी आती है।

उदाहरण 8.5 : एक वृत्ताकार प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ का व्यास 400 mm है। इसमें 25 mm ϕ की 10 छड़ें, मुख्य प्रबलन के रूप में प्रयोग की गयी हैं। स्तम्भ के लिये पार्श्व प्रबलन का अभिकल्पन कीजिये। स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता 0·05 D से कम है। [B.T.E.]

हल : कंक्रीट स्तम्भ में पार्श्व प्रबलन दो प्रकार से दिया जाता है—

(i) स्वतन्त्र टाई के रूप में

(ii) सर्पिल टाई के रूप में

(1) स्वतन्त्र टाई का अभिकल्पन—

(a) व्यास—टाई का व्यास 8 mm अथवा मुख्य छड़ के व्यास का एक-चौथाई, जो भी अधिक हो, लिया जाता है। अत: 8 mm अथवा $\dfrac{25}{4} = 6{\cdot}25$ mm

अत: 8 mm व्यास की छड़ का प्रयोग किया जायेगा (क्योंकि 6 mm व्यास की टोर छड़ों का उत्पादन अब नहीं किया जाता है)।

(b) टाई का अन्तराल (पिच)—यह निम्न का न्यूनतम होना चाहिये—

(i) स्तम्भ काट का न्यूनतम माप, 400 mm

(ii) 16 ϕ, यहाँ ϕ मुख्य छड़ का व्यास है, $16 \times 25 = 400$ mm

(iii) 300 mm

अत: 8 mm ϕ टाई का पिच 300 mm c/c रखा जायेगा। उत्तर

(2) सर्पिल टाई का अभिकल्पन—

(a) व्यास—8 mm से 16 mm तक अथवा मुख्य छड़ का एक-चौथाई, जो भी अधिक हो।

8 mm अथवा $\dfrac{25 \times 1}{4} = 6{\cdot}25$ अत: व्यास 8 mm लिया जायेगा।

(b) अन्तराल या पिच—अधिकतम पिच निम्न का न्यूनतम लिया जाता है—

75 mm अथवा $\dfrac{\text{कोर का व्यास}}{6}$

माना स्तम्भ के लिये 40 mm का शुद्ध आवरण लिया गया है।

अत: कोर का व्यास = स्तम्भ का कुल व्यास – (दो आवरण) + (टाई के दो व्यास)

$= 400 - (2 \times 40) + (2 \times 8) = 336$ mm

$\therefore$ पिच 75 mm या $\dfrac{336}{6}$ mm = 56 mm (जो भी न्यूनतम हो) अत: यह 56 mm लिया जायेगा

अत: 8 mm ϕ सर्पिल टाई का पिच 56 mm होगा **उत्तर**

उदाहरण 8.6 : एक लघु प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ का खण्ड-माप 400 mm × 600 mm सीमित है और इस पर 150 टन का अक्षीय भार आ रहा है। स्तम्भ के लिये Fe 415 ग्रेड का इस्पात और M-20 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग होना है। स्तम्भ का अभिकल्पन करें। स्तम्भ का चित्र बनाकर इसमें प्रबलन इस्पात की स्थिति स्पष्ट दर्शायें।

हल : (1) स्तम्भ का खण्ड माप = 400 mm × 600 mm। माना स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता 0·05 D से कम है और सुरक्षित सीमा में है।

स्तम्भ पर फैक्टर (Factored) भार = $1{\cdot}5 \times 150 = 225$ टन

(2) **स्तम्भ की चरम भार धारण क्षमता**—$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$ ...(सूत्र)

उपरोक्त में ज्ञात मान रखने पर—

$225 \times 10000 = 0{\cdot}4 \times 20 (400 \times 600 - A_{sc}) + 0{\cdot}67 \times 415 A_{sc}$

$270{\cdot}05 A_{sc} = 330000$

$\therefore \quad A_{sc} = 1222 \text{ mm}^2$

प्रबलन इस्पात का न्यूनतम क्षेत्रफल 0·8% लिया जाता है अत: न्यूनतम क्षेत्रफल

$= \dfrac{0{\cdot}8 \times 400 \times 600}{100} = 1920 \text{ mm}^2$

स्तम्भ में न्यूनतम से भी कम प्रबलन इस्पात डाला गया है, जो उचित नहीं है। अत: स्तम्भ में न्यूनतम प्रबलन अर्थात् 1920 mm^2 तो डाला ही जायेगा। अत: 16 mm व्यास की छड़ों की संख्या— $= \dfrac{1920}{201} = 9{\cdot}6$ say 10 छड़ें 16 mm व्यास की डालें।

क्योंकि मुख्य (लम्बिका) छड़ों की आपसी दूरी (Spacing) 300 mm से अधिक नहीं होनी चाहिये, अत: न्यूनतम 10 छड़ें प्रयोग करते हैं।

(3) **पार्श्व टाई—**

(a) व्यास—8 mm अथवा $\dfrac{16 \times 1}{4} = 4$ mm। मानक माप की दृष्टि से 8 mm व्यास की छड़े ली जायेगी (क्योंकि 6 mm व्यास की **टोर** छड़ों का अब उत्पादन नहीं किया जाता है)।

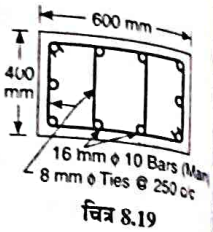
(b) **अन्तराल**—

(i) खण्ड का न्यूनतम माप = 400 mm

(ii) 16 ϕ, यहाँ ϕ = 16 mm है, अर्थात् 16 × 16 = 256 mm

(iii) 300 mm

उपरोक्त में 256 mm न्यूनतम है। अत: 8 mm ϕ की छड़ से बनी टाई 250 mm c/c प्रयोग की जायेगी।



चित्र 8.19

(4) **चित्र**—स्तम्भ में प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 8.19 में दर्शायी गयी है।

उदाहरण 8.7 : एक 4 m ऊँचे प्रबलित कंक्रीट के लघु (Short) स्तम्भ के दोनों सिरे (Ends) स्थिति तथा दिशा में पूर्णत: आबद्ध है (Held in Position and Restrained against Rotation)। स्तम्भ पर 1500 kN का अक्षीय भार आ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 इस्पात प्रयोग करते हुये, स्तम्भ का अभिकल्पन कीजिये।

हल : (i) प्रश्नानुसार— $L = 4$ m, $P = 1500$ kN,

$f_{ck} = 20$ N/mm^2, $f_y = 415$ N/mm^2

(ii) क्योंकि स्तम्भ दोनों सिरों पर स्थिति (Position) तथा दिशा (Rotation) में पूर्णत: आबद्ध है, अत: स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई, $l_{eff} = 0{\cdot}65\,L$ (सारणी 8.1 से)

$= 0{\cdot}65 \times 4000$ mm $= 2600$ mm

(iii) स्तम्भ के लिये अभिकल्प (Factored) भार—

$P_u = 1{\cdot}5\,P = 1{\cdot}5 \times 1500 = 2250$ kN

(iv) स्तम्भ के लिये 1% इस्पात लेने पर, इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{sc} = 0{\cdot}01\,A_g$

$A_c = A_g - A_{sc}$

$= A_g - 0{\cdot}01\,A_g = 0{\cdot}99\,A_g$

(v) $P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर, $2250 \times 10^3 = (0{\cdot}4 \times 20 \times 0{\cdot}99\,A_g) + (0{\cdot}67 \times 415 \times 0{\cdot}01\,A_g)$

$2250000 = 7{\cdot}92\,A_g + 2{\cdot}78\,A_g$

$\therefore \quad A_g = \dfrac{2250000}{10{\cdot}70} = 210280$ mm^2

माना यह एक आयताकार स्तम्भ है, जिसकी एक फलक 400 mm है। अत: स्तम्भ की अन्य फलक $= \dfrac{210280}{400} = 525{\cdot}7$ mm say 530 mm

अत: स्तम्भ का माप 400 mm × 530 mm रखते हैं।

(vi) स्तम्भ की लघुता (Short) की जाँच—

तनुता अनुपात (Slenderness Ratio)— $\dfrac{l_{eff}}{b} = \dfrac{2600}{400} = 6{\cdot}5$

यह मान 12 से कम है, अत: यह स्तम्भ, लघु स्तम्भ (Short Column) की श्रेणी में लिया जायेगा।

(viii) न्यूनतम उत्केन्द्रता (Minimum Eccentricity) की जाँच—

$$e_{min} = \frac{l}{500} + \frac{D}{30} \qquad \text{...(भाग 25.4)}$$

$$= \frac{2600}{500} + \frac{400}{30} = 18{\cdot}53 \text{ mm}$$

न्यूनतम उत्केन्द्रता $0{\cdot}05\,D$ से अधिक नही होगी। अर्थात $0{\cdot}05 \times 400 = 20$ mm, परन्तु यह 18·53 mm है, अत: यह स्वीकार्य सीमा में है। अत: स्तम्भ अक्षीय भारित (Axially Loaded) लघु स्तम्भ अभिकल्पित किया जा सकता है।

(viii) **स्तम्भ में लाम्बिका इस्पात** (Longitudinal Bars), $A_{sc} = 0{\cdot}01\,A_g$

$= 0{\cdot}01 \times 210280 = 2103$ mm^2

20 mm ϕ की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या—

$$N = \frac{2103}{314} = 7 \text{ छड़ें} \quad (20\,\phi \text{ छड़ का क्षेत्रफल} = 314 \text{ mm}^2)$$

स्तम्भ के परिच्छेद (400 mm × 530 mm) देखते हुये इसमें **20 mm ϕ की 8 छड़ें** प्रयोग की जायेगी। प्रत्येक फलक पर दो निकटवर्ती मुख्य छड़ों की आपसी दूरी 300 mm से अधिक नही होगी। मुख्य छड़ों पर 40 mm का शुद्ध आवरण (Clear Cover) देना होगा।

(ix) **पार्श्व टाई** (Lateral Ties)—

पार्श्व टाई का व्यास निम्न से कम नहीं होगा—

(a) लाम्बिका छड़ × $\dfrac{1}{4}$ अर्थात् $\dfrac{20}{4} = 5$ mm ϕ अथवा (b) 6 mm ϕ

अत: 6 mm ϕ की टाई प्रयोग की जायेगी

टाई का अन्तराल (Spacing)—यह निम्न से अधिक नहीं रखा जायेगा

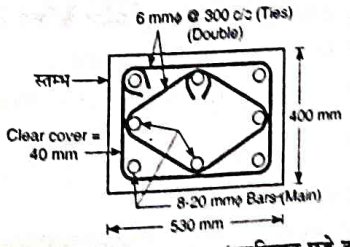
(a) स्तम्भ का न्यूनतम (पार्श्व) माप = 400 mm

(b) 16 ϕ, यहाँ ϕ मुख्य छड़ का व्यास है = 16 × 20 = 320 mm

(c) 300 mm

अत: 6 mm ϕ की टाई 300 mm के अन्तराल पर डाली जायेंगी।

(x) **चित्र**—



चित्र 8.20—स्तम्भ में प्रबलन इस्पात (लाम्बिका छड़े तथा टाई)

उदाहरण 8.8 : 80 टन का अक्षीय भार वहन करने के लिये, एक 250 mm व्यास वाले प्रबलित कंक्रीट के वृत्ताकार स्तम्भ का अभिकल्पन कीजिये। स्तम्भ की लम्बाई 4 m है और इसके दोनों सिरे स्थिति (Position) तथा घूमने (Rotation) के प्रति पूर्णत: आबद्ध है। कंक्रीट M-30 ग्रेड की और इस्पात Fe 415 का मान लें। स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता $< 0{\cdot}05\,D$ है।

हल : (1) प्रश्नानुसार स्तम्भ के दोनों सिरे पूर्णत: आबद्ध हैं। सर्वप्रथम हम यह जाँच करते हैं कि यह स्तम्भ लघु (Short) अथवा दीर्घ (Long) है। इसके लिये—

स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई (सारणी 28-IS code 456-2000 से), गुणक $= 0{\cdot}65\,L$

$$\therefore \quad l_{ef} = 0{\cdot}65 \times 4 = 2{\cdot}6 \text{ m} = 2600 \text{ mm}$$

250 mm ϕ स्तम्भ का न्यूनतम पार्श्व माप, $b = 250$ mm

$$\therefore \text{ तनुता अनुपात, } \quad k = \frac{l_{ef}}{b} = \frac{2600}{250} = 10{\cdot}4$$

चूँकि यह मान 12 से कम है, अत: यह एक लघु स्तम्भ है।

(2) स्तम्भ पर चरम अक्षीय भार, $P_u = 1{\cdot}5 \times 80 = 120$ टन —(भार गुणक 1·5 लेते हुये)

स्तम्भ का परिच्छेद क्षेत्रफल, $A_g = \dfrac{\pi D^2}{4} = \dfrac{\pi \times 250^2}{4} = 49107 \text{ mm}^2$

माना स्तम्भ में प्रबलन इस्पात A_{sc} है।

अत: स्तम्भ में शुद्ध कंक्रीट-क्षेत्रफल, $A_c = A_g - A_{sc}$ है।

$$\therefore \quad A_c = 49107 - A_{sc}$$

स्तम्भ की भार वहन क्षमता—$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर—

$$120 \times 10000 = 0{\cdot}4 \times 30[49107 - A_{sc}) + 0{\cdot}67 \times 415 \times A_{sc}$$

$$266\, A_{sc} = 610716$$

$$\therefore \quad A_{sc} = 2296 \text{ mm}^2$$

20 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या: $= \dfrac{2296}{314} = 7{\cdot}3$ say 8 छड़ें

अत: 20 mm ϕ की 8 छड़ें मुख्य (लाम्बिका) इस्पात के रूप में डाली जायेंगी।

(3) **पार्श्व इस्पात**—यह स्वतन्त्र टाई के रूप में डाला जायेगा।

(i) **टाई का व्यास**—यह 8 mm से कम नहीं होगा अथवा लाम्बिका छड़ का $\frac{1}{4}$ होना चाहिये,

अर्थात् $\dfrac{20 \times 1}{4} = 5$ mm, क्योंकि यह मानक व्यास नहीं है, अत: 8 mm ϕ की छड़ें टाई के लिये प्रयोग की जायेगी।

(ii) **टाई का पिच**—यह निम्न के न्यूनतम से अधिक नहीं होना चाहिये—

(a) स्तम्भ की आड़ी माप = 250 mm

(b) 16 ϕ, यहाँ ϕ मुख्य छड़ का व्यास है अर्थात् $16 \times 20 = 320$ mm

(c) 300 mm

अत: 8 mm ϕ की स्वतन्त्र टाई का पिच 250 mm c/c लिया जायेगा। **उत्तर**

उदाहरण 8.9 : 80 टन का अक्षीय भार वहन करने वाले प्रबलित कंक्रीट के एक गोलाकार स्तम्भ का अभिकल्पन करें। स्तम्भ की ऊँचाई (लम्बाई) 4·8 मीटर है और इसके दोनों सिरे कीलदार (Hinged) हैं। स्तम्भ के लिये Fe 415 ग्रेड का इस्पात तथा M–20 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग करें। स्तम्भ के लिये पार्श्व प्रबलन (टाई) का अभिकल्पन भी करें। स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता सुरक्षित-सीमा में है।

हल : (1) स्तम्भ में M-20 की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात डाला जाना है।

स्तम्भ पर अक्षीय भार = 80 टन

स्तम्भ के लिये फैक्टर (Factored) भार, $P_u = 80 \times 1{\cdot}5 = 120$ टन (भार-गुणक 1·5 लेते हुये)।

(2) प्रश्नानुसार स्तम्भ के दोनों सिरे कब्जेदार है, अत: $l_{ef} = L$ (सारणी 28, I.S. code 456) स्तम्भ को लघु रूप में अभिकल्पित करने के लिये, तनुता अनुपात 12 से **कम** होना चाहिये। अत: तनुता अनुपात $k = 11{\cdot}5$ अपनाते हुये— (क्योंकि स्तम्भ का खण्ड-माप प्रश्न में नही दे रखा है)।

$$11{\cdot}5 = \frac{l_{ef}}{b} \quad \text{अथवा} \quad b = \frac{l_{ef}}{11{\cdot}5} = \frac{4.8 \times 1000}{11{\cdot}5} = 417 \text{ mm}$$

अत: स्तम्भ का व्यास 420 mm अपनाते हैं।

स्तम्भ का क्षेत्रफल, $A_g = \dfrac{\pi \times (420)^2}{4} = 138600 \text{ mm}$

(3) **स्तम्भ की चरम भार वहन क्षमता**—$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$

ज्ञात मान रखने पर, $120 \times 10000 = 0{\cdot}4 \times 20\,(138600 - A_{sc}) + 0{\cdot}67 \times 415 \times A_{sc}$

$$1200000 = 1108800 + 270\, A_{sc}$$

$$\therefore \quad A_{sc} = 338 \text{ mm}^2$$

10 mm ϕ की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या, $= \dfrac{338}{79} = 4{\cdot}3$ say 5 छड़ें

(क्योंकि गोलाकार स्तम्भ में न्यूनतम 5 छड़ें होनी चाहिये)

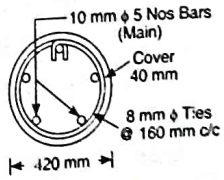
अत: 10 mm ϕ, की 5 छड़ें मुख्य (लाम्बिका) प्रबलन के रूप में डाली जायेंगी।

(4) **पार्श्व प्रबलन**—

यह स्वतन्त्र टाई के रूप में डाला जायेगा।

(i) **व्यास**—8 mm अथवा 1/4 × मुख्य छड़ का व्यास, जो भी अधिक हो, अर्थात् 8 mm या $\dfrac{10 \times 1}{4} = 2{\cdot}5$ mm

अत: 8 mm ϕ की छड़ प्रयोग की जायेंगी।



चित्र 8.21

(ii) **अन्तराल (पिच)**—यह निम्न का न्यूनतम लिया जाता है—

(a) स्तम्भ का आड़ी माप अर्थात् 420 mm.

(b) 16 ϕ, यहाँ ϕ मुख्य छड़ का व्यास है अर्थात् $16 \times 10 = 160$ mm

(c) 300 mm

अत: 8 mm व्यास की स्वतन्त्र टाई 160 mm के अन्तराल पर प्रयोग की जायेगी।

उदाहरण 8.10 : एक स्तम्भ का माप 400 mm × 600 mm, और ऊँचाई 3 m है। इसके दोनों सिरे कीलदार (Not Restrained Against Rotation) है। स्तम्भ पर 180 टन का भार आ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात लेते हुये स्तम्भ के लिये प्रबलन इस्पात का अभिकल्पन करें।

हल : (1) प्रश्न के अनुसार—स्तम्भ की चौड़ाई, $b = 400$ mm, गहरायी, $d = 600$ mm, लम्बाई $L = 3$ m तथा ऊपर से पड़ने वाला भार, $P = 180$ टन है।

स्तम्भ में कंक्रीट $M = 20$ N/mm^2 की और इस्पात Fe 415 N/mm^2 का डाला गया है।

(2) कीलदार सिरों वाले स्तम्भ के लिये प्रभावी लम्बाई, $l_{ef} = L$

अत: $l_{ef} = 3 \text{ m} = 3000$ mm

$$\text{तनुता अनुपात (Slenderness Ratio)} = \frac{\text{प्रभावी लम्बाई}}{\text{न्यूनतम पार्श्व माप}} = \frac{3000}{400} = 7{\cdot}5$$

यह मान 12 से कम है। अत: यह लघु स्तम्भ (Short Column) अभिकल्पित होगा।

(3) **उत्केन्द्रता की जांच**—

$$\text{न्यूनतम उत्केन्द्रता } (e_{min}) = \frac{L}{500} + \frac{D}{30} \geq 20 \text{ mm}$$

स्तम्भ की 600 mm फलक के लिये— $= \dfrac{3000}{500} + \dfrac{600}{30} = 26{\cdot}0 \text{ mm} > 20 \text{ mm}$

स्तम्भ की 400 mm फलक के लिये— $= \dfrac{3000}{500} + \dfrac{400}{30} = 20 \text{ mm}$

अत: यह लघु **अक्षीय भारित** स्तम्भ अभिकल्पित किया जायेगा।

(4) **भार तथा प्रबलन इस्पात**—

अभिकल्प (Factored) भार, $P_u = 1{\cdot}5 \times 180 = 270$ टन

स्तम्भ का सकल क्षेत्रफल, $A_g = 400 \times 600 = 240000$ mm^2

कंक्रीट का शुद्ध (Net) क्षेत्रफल, $A_c = A_g - A_{sc}$

$= 240000 - A_{sc}$

अक्षीय भारित लघु स्तम्भ के लिये चरम भार—

$$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$$

$$270 \times 10000 = 0{\cdot}4 \times 20 (240000 - A_{sc}) + 0{\cdot}67 \times 415 A_{sc}$$

$$270{\cdot}05 A_{sc} = 2700000 - 1920000$$

$$A_{sc} = 2889 \text{ mm}^2$$

∴

(a) **लाम्बिका छड़ें**—22 mm व्यास की छड़ें डालने पर—

$$\text{संख्या} = \frac{2889}{380} = 7{\cdot}6 \text{ say } 8 \text{ छड़ें}$$

$$\text{स्तम्भ में इस्पात का प्रतिशत} = \frac{380 \times 8 \times 100}{240000} = 1{\cdot}27\%$$

यह मान 0·8% से अधिक और 4% से कम है, अत: स्वीकार्य है।

(b) **पार्श्व टाई** (Lateral Ties)—पार्श्व टाई का व्यास $= \dfrac{\text{लाम्बिका छड़}}{4}$ अथवा 8 mm,

जो भी अधिक है, लिया जाता है। $\dfrac{22}{4}$ अथवा 8 mm,

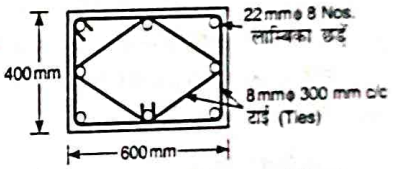
अत: 8 mm व्यास की छड़ें टाई के रूप में डाली जायेंगी (क्योंकि अब 6 mm व्यास की टोर छड़ें बाजार में उपलब्ध नहीं है।

छड़ों का अन्तराल—यह निम्न का न्यूनतम लिया जायेगा—

(i) स्तम्भ की न्यूनतम पार्श्व माप = 400 mm

(ii) $16 \phi = 16 \times 22 = 352$ mm

(iii) 300 mm । अत: 8 mm व्यास की छड़ें 300 mm c/c पर टाई के रूप में लगायी जायेगी।



चित्र 8.22—स्तम्भ 400 mm × 600 mm (प्रबलन इस्पात का विवरण)

उदाहरण 8.11 : एक वर्गाकार लघु स्तम्भ पर 120 टन का भार आ रहा है। इसके लिये M-20 और Fe 415 के मैटीरियल का प्रयोग किया जाना है। न्यूनतम उत्केन्द्रता $e_{min} < 0{\cdot}05D$ मानते हुये, स्तम्भ का अभिकल्पन कीजिए।

हल : (i) प्रश्नानुसार—

स्तम्भ पर भार = 120 टन

$f_{ck} = 20$ N/mm^2, $f_y = 415$ N/mm^2

∴ $e_{min.} < 0{\cdot}05 D$

$$D = \frac{20}{0{\cdot}05} = 400 \text{ mm} \qquad \because e_{min.} = 20 \text{ mm}$$

(ii) **स्तम्भ पर फैक्टर भार** = 120 × 1·5 = 180 टन (भार गुणक 1·5 लेते हुये)

स्तम्भ में 0·8% इस्पात लेते हुये—

$$A_{sc} = \frac{0{\cdot}8}{100} \times A_g = 0{\cdot}008\, A_g$$

$$A_c = A_g - 0{\cdot}008\, A_g = 0{\cdot}992\, A_g$$

(iii) **स्तम्भ की भार-वहन क्षमता**—

$$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc} \quad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर—

$$180 \times 10000 = 0{\cdot}4 \times 20 \times 0{\cdot}992\, A_g + 0{\cdot}67 \times 415 \times 0{\cdot}008\, A_g$$

$$180 \times 10000 = 10{\cdot}1604\, A_g$$

∴ स्तम्भ का सकल क्षेत्रफल, $A_g = 177158\ \text{mm}^2$

वर्गाकार स्तम्भ की फलक = $\sqrt{177158}$ = 420·9 mm say 420 mm

अत: स्तम्भ का माप 420 mm × 420 mm रखते हैं।

स्तम्भ में प्रबलन इस्पात, $A_{sc} = 0{\cdot}008 \times 420 \times 420 = 1412\ \text{mm}^2$

16 mm व्यास की छड़ें लेने पर, छड़ों की संख्या = $\frac{1412}{201}$ = 7 छड़ें। परन्तु स्तम्भ की सममिति (Symmetry) को देखते हुये, 16 mm ϕ की 8 छड़ें डाली जायेंगी।

(iv) **टाई** (Lateral Ties)—स्तम्भ में स्वतन्त्र टाई लगायी जायेगी। पार्श्व टाई का व्यास निम्न से कम नहीं होगा—

(a) मुख्य छड़ का $\frac{1}{4} \times 16 = 4$ mm

(b) 8 mm (क्योंकि 6 mm की छड़ें अब उपलब्ध नहीं है। अत: टाई का व्यास 8 mm लिया जायेगा।

टाई का अन्तराल—यह निम्न का न्यूनतम होगा—

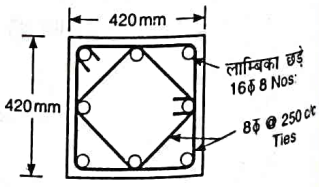
(a) स्तम्भ की न्यूनतम फलक-माप—420 mm

(b) मुख्य छड़ का 16 गुना = 16 × 16 = 256 mm

(c) 300 mm

अत: 8 mmϕ की छड़ें 250 mm के अन्तराल पर लगायी जायेंगी।

(v) **चित्र**—उपरोक्त अभिकल्पित आँकड़े चित्र 8.23 में दर्शाये गये हैं।



चित्र 8.23

(II) अक्षीय भारित दीर्घ स्तम्भ
(AXIALLY LOADED LONG COLUMN)

§ 8.14. दीर्घ स्तम्भ (Long Column or Slender Column) :

(1) **पहचान**—जब कंक्रीट स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई/न्यूनतम पार्श्व माप का अनुपात 12 या **12 से अधिक** होता है (अथवा प्रभावी लम्बाई/न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या का अनुपात 40 या इससे अधिक होता है), इसे **दीर्घ स्तम्भ** या **तनु स्तम्भ** कहा जाता है, परन्तु इसकी अन-आलम्बित लम्बाई (Un-supported Length) स्तम्भ के न्यूनतम पार्श्व माप से 60 गुना से अधिक **नहीं** होगी। (I.S. Code धारा 25.3.1)

(2) **दीर्घ स्तम्भ की सामर्थ्य**—भार पड़ने पर एक दीर्घ स्तम्भ आड़ी दिशा में झुकने (Buckling) की प्रवृत्ति रखता है। इसकी लम्बाई का कितना भाग पार्श्व में झुक सकता है, यह स्तम्भ के सिरों की स्थिति तथा इनकी आबद्धता (जकड़न) पर निर्भर करता है। झुकने की प्रवृत्ति के कारण, **समान खण्ड-माप के होने पर भी, दीर्घ स्तम्भ, लघु स्तम्भ से कम भार ले पाता है।**

प्रबलित कंक्रीट दीर्घ स्तम्भ की भारवहन क्षमता लघु स्तम्भ की भाँति ज्ञात की जाती है, परन्तु प्राप्त मान को, व्याकुंचन को दृष्टि में रखकर, उपयुक्त लघुकरण गुणक (Reduction Factor) से गुना कर दिया जाता है और दीर्घ स्तम्भ की सुरक्षित भार वहन क्षमता ज्ञात कर ली जाती है। **ध्यान रहे कि लघुकरण गुणक का मान सर्वदा 1 से कम होता है।**

L.S.M. से दीर्घ स्तम्भों का अभिकल्पन काफी जटिल है। इसके लिये कुछ विशिष्ट आँकड़ों की आवश्यकता पड़ती है। कार्यकारी प्रतिबल विधि कुछ सरल है। अभिकल्प-प्रक्रिया को समझने के लिये कुछ उदाहरण निम्न है।

लघुकरण गुणक (Reduction Factor)—I.S. code 456-2000 (B-3.3) के अनुसार लघुकरण गुणक का सूत्र निम्न है—

$$C_r = \left[1{\cdot}25 - \frac{l_{ef}}{48\, b}\right] \quad \text{...(8.9)}$$

अथवा $$C_r = \left[1{\cdot}25 - \frac{l_{ef}}{160\, r}\right] \quad \text{...(8.10)}$$

यहाँ— C_r = लघुकरण गुणक (Reduction Factor)

l_{ef} = स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई (यह I.S. code सारणी 28 से ज्ञात की जा सकती है)।

b = स्तम्भ का न्यूनतम पार्श्व माप। सर्पिल प्रबलन वाले स्तम्भ में कोर का व्यास (dia. of core) लिया जाता है।

r = न्यून परिभ्रमण त्रिज्या (Least Radius of Gyration)

अत: दीर्घ स्तम्भ की सामर्थ्य :

$$P_u = [0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}] \times C_r \quad \text{...(8.11)}$$

उदाहरण 8.12 : एक प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ जो 400 mm × 400 mm काट का है और 12 m ऊँचा है, के दोनों सिरे दिशा और स्थिति में आबद्ध (Restrained) हैं। स्तम्भ पर 120 टन का अक्षीय भार आ रहा है। स्तम्भ का पूर्ण अभिकल्पन करें। M-20 श्रेणी की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का प्रबलन इस्पात का प्रयोग करें।

हल : (1) स्तम्भ पर अभिकल्प (Factored) भार, $P_u = 1{\cdot}5 \times 120 = 180$ टन

(2) स्तम्भ की लम्बाई, $L = 12$ m

स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई, जब इसके दोनों सिरे पूर्णत: आबद्ध हैं (Fixed in Position),

$$l_{ef} = 0{\cdot}65\,L = 0{\cdot}65 \times 12 = 7{\cdot}8 \text{ m}$$

स्तम्भ का न्यूनतम पार्श्व माप, $b = 400$ mm

$$\therefore \text{ तनुता अनुपात, } \quad k = \frac{l_{ef}}{b} = \frac{7{\cdot}8 \times 1000}{400} = 19{\cdot}5$$

चूँकि यह मान **12** से अधिक है, अत: यह स्तम्भ दीर्घ स्तम्भों की श्रेणी में आता है।

(3) दीर्घ स्तम्भ के लिये लघुकरण गुणांक, $C_r = \left[1{\cdot}25 - \frac{l_{ef}}{48\,b}\right]$

$$= \left[1{\cdot}25 - \frac{7800}{48 \times 400}\right]$$

$$= 1{\cdot}25 - 0{\cdot}41 = 0{\cdot}84$$

(4) **स्तम्भ की भार वहन क्षमता—**

$$P_u = [0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}] \times C_r$$

$$180 \times 10000 = [0{\cdot}4 \times 20\,(400 \times 400 - A_{sc}) + 0{\cdot}67 \times 415\,A_{sc}] \times 0{\cdot}84$$

$$1800000 = [1280000 - 8\,A_{sc} + 278\,A_{sc}] \times 0{\cdot}84$$

$$270 A_{sc} = 2142857 - 1280000$$

$$\therefore \quad A_{sc} = 3196 \text{ mm}^2$$

22 mm ϕ की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या— $\frac{3196}{380} = 8{\cdot}4$ say 10 छड़ें

अत: 22 mm ϕ की 10 छड़ें मुख्य इस्पात (लाम्बिका छड़ें) के रूप में डाली जायेंगी। मुख्य इस्पात का क्षेत्रफल $10 \times 380 = 3800$ mm²

स्तम्भ में इस्पात का प्रतिशत = $\frac{3800 \times 100}{400 \times 400} = 2{\cdot}4\%$, यह 6% से कम है, अत: स्वीकार्य है।

(5) **स्वतन्त्र (पार्श्व) टाई—**

(i) **व्यास**—टाई छड़ का व्यास 8 mm से कम नहीं होना चाहिये (क्योंकि 6 mm ϕ के टोर-छड़ों का उत्पादन अब नहीं होता है) अथवा मुख्य छड़ का $\frac{1}{4}$ अर्थात् $\frac{22}{4} = 5{\cdot}5$ mm।

अत: 8mm व्यास की छड़ें टाई के लिये प्रयोग की जायेंगी।

(ii) **अन्तराल (पिच)**—यह निम्न के न्यूनतम मान से अधिक नहीं होना चाहिये।

(a) स्तम्भ की आड़ी माप, अर्थात् 400 mm

(b) $16 \times \phi$ यहाँ ϕ मुख्य इस्पात का व्यास है अर्थात् $16 \times 22 = 352$ mm

(c) 300 mm

अत: पार्श्व टाई का अन्तराल 300 mm c/c लिया जायेगा।

उदाहरण 8.13 : एक गोलाकार स्तम्भ का व्यास 400 mm है। इसमें 20 mm व्यास की 6 छड़ें, मुख्य इस्पात के रूप में प्रयोग की गयी हैं। पार्श्व सर्पिल टाई के लिये 10 mm व्यास की छड़ें लगायी गयी हैं, जिसका पिच 50 mm है। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 6·5 मी० है और मुख्य छड़ों पर शुद्ध आवरण 40 mm दिया गया है।

यदि कंक्रीट तथा इस्पात में चरम प्रतिबलों का मान क्रमश: 20 N/mm² तथा 415 N/mm² हो तो प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ की सामर्थ्य निर्धारित करें।

हल : (1) स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई = 6·5 m

स्तम्भ का व्यास = 400 mm

कोर का व्यास, $D_k = 400 - (2 \times 40) + (2 \times 10)$

$= 340$ mm

मुख्य इस्पात का क्षेत्रफल = $6 \times 314 = 1884$ mm²



चित्र 8.24

(2) स्तम्भ लघु है अथवा दीर्घ है, की जाँच के लिये—

$$\text{तनुता अनुपात, } k = \frac{l_{ef}}{b} = \frac{6{\cdot}5 \times 1000}{340} = 19{\cdot}11$$

(यहाँ b कोर का व्यास लिया जायेगा)

चूँकि यह मान 12 से अधिक है, अत: यह लम्बे स्तम्भों की श्रेणी में लिया जायेगा।

लघुकरण गुणांक— $C_r = \left[1{\cdot}25 - \frac{l_{ef}}{48\,b}\right]$

$$\therefore \quad C_r = \left[1{\cdot}25 - \frac{6{\cdot}5 \times 1000}{48 \times 340}\right] = 0{\cdot}85$$

(3) स्तम्भ की भार धारण क्षमता—स्तम्भ पर अभिकल्प (Factored) भार,

$$P_u = [0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}] \times 1{\cdot}05 \times C_r$$

उपरोक्त सूत्र में 1·05 सर्पिल टाई वाले स्तम्भ के लिये लगाया गया है। यह गुणक तभी लगाया जाता है, जब निम्न शर्त पूरी होती हो (अनुच्छेद 8.11)।

$$\frac{\text{सर्पिल प्रबलन का आयतन}}{\text{कोर का आयतन}} \geq 0{\cdot}36\left[\frac{A_g}{A_k}-1\right]\times\frac{f_{ck}}{f_y}$$

अत: सर्पिल प्रबलन की प्रति इकाई-ऊँचाई का आयतन, $V_{sp}=\dfrac{\pi\phi^2\times l_{sp}}{4p}$

यहाँ ϕ = सर्पिल छड़ का व्यास = 10 mm

l_{sp} = सर्पिल छड़ की एक चक्र में लम्बाई $=\sqrt{(\pi\times D_k)^2+(p)^2}$

$=\sqrt{(\pi\times 340)^2+(50)^2}=1069$ mm, यहाँ $p=50$ mm पिच है।

$$\therefore\quad V_{sp}=\frac{\pi\times(10)^2\times 1069}{4\times 50}=1680 \text{ cu mm प्रति mm ऊँचाई}$$

कोर का कंक्रीट क्षेत्रफल, $A_k=\left[\dfrac{\pi\times 340^2}{4}\right]-[1884]=88945$ mm^2

कोर का आयतन, प्रति मिमी० ऊँचाई में $=A_k\times 1$

$=88945\times 1=88945$ mm^3

A_g = स्तम्भ का सकल क्षेत्रफल $=\dfrac{\pi\times 400^2}{4}=125714$ mm^2

$f_{ck}=20$ N/mm^2 (M-20 ग्रेड की कंक्रीट के लिये)

f_y = सर्पिल छड़ की अभिलक्षणिक सामर्थ्य $=415$ N/mm^2

अत: $\dfrac{1680}{88945}\geq 0{\cdot}36\left[\dfrac{125714}{88945}-1\right]\times\dfrac{20}{415}$

$0{\cdot}019\geq 0{\cdot}36\times 0{\cdot}41\times 0{\cdot}05$

$0{\cdot}019\geq 0{\cdot}0074$

यह सत्य है। अत: स्तम्भ की सामर्थ्य के लिये गुणांक 1·05 लगाया जायेगा।

$$\therefore\quad P_u=[0{\cdot}4\times 20\times 88945+0{\cdot}67\times 415\times 1884]\times 1{\cdot}05\times 0{\cdot}85$$

$=[711560+523846]\times 0{\cdot}893=1103218$ N

स्तम्भ पर अनुमत सुरक्षित भार $=\dfrac{1103218}{1{\cdot}5}=735479$ N $=$ **73·55 टन** उत्तर

(B) एकाकी स्तम्भ-पाद
(ISOLATED COLUMN-FOOTING)

§ 8.15. नींव (Foundations) :

भवनों तथा अन्य संरचनाओं पर आने वाला चल व अचल भार दीवारों तथा स्तम्भों द्वारा नीचे भूमि पर अन्तरित होता है। भार को भली-भाँति अवमृदा पर अन्तरित करने के लिये दीवारों तथा स्तम्भों के नीचे नींव (दृढ़ आधार) बनायी जाती है। नींव का क्षेत्रफल इतना रखा जाता है कि इस पर पड़ने वाले कुल भार की तीव्रता, मृदा की (प्रति वर्ग मीटर) सुरक्षित भार धारण क्षमता से अधिक न होने पाये। जब मृदा पर अपनी धारण क्षमता से अधिक भार आता है तो यह नीचे को धँस जाती है अथवा पार्श्व में खिसक जाती है, जिसके फलस्वरूप नींव नष्ट हो जाती है और इस पर टिकी अधिरचना धँस कर या पलट कर धराशायी हो जाती है। भूमितल (G.L.) से ऊपर स्थित निर्माण को **अधिरचना** (Superstructure) तथा भूमितल से नीचे स्थित निर्माण को **अध:रचना** (Substructure or Foundation) कहते हैं। संरचना की प्रकार, कार्यरत भार का वितरण, अवभूमि की भार-धारण क्षमता, भूमिजल-स्तर को ध्यान में रखते हुये, कई प्रकार की नींव अपनायी जाती है, जिसमें एकाकी (Isolated), संयुक्त (Combined) नींवें आदि आती हैं।

मुख्य नींव के नाम निम्न हैं—

(1) फैलाव नींव (Spread Footing Foundation) जैसे खसकेदार, ग्रिलेज, स्ट्रिप (पट्टी) फुटिंग इत्यादि। ये आकृति में वर्गाकार, आयताकार, गोलाकार हो सकती हैं।

(2) राफ्ट या पटरा नींव (Raft or Mat Foundation)।

(3) पाइल नींव (Pile Foundation)।

(4) कूप नींव (Well Foundation)।

जब दो स्तम्भ बहुत पास-पास स्थित हों, तब दोनों के लिये संयुक्त पाद (Combined Footing) अपनायी जाती है। पाठ्यक्रम को दृष्टि में रखते हुये, यहाँ एकाकी पाद (Isolated Footing) नींव की ही चर्चा की गयी है।

§ 8.16. प्रबलित कंक्रीट स्तम्भों के लिये एकाकी पाद नींव (Isolated Footings For-R.C.C. Column) :

किसी एकल स्तम्भ के नीचे डाली गयी स्वतन्त्र नींव को **एकाकी पाद नींव** (Isolated Footing) कहते हैं। जब स्तम्भ पर अध्यारोपित भार कम होता है और अव:मृदा की भार-धारण क्षमता सन्तोषजनक हो, एकाकी पाद नींव अपनायी जाती हैं।

साधारण भवनों की दीवारों तथा एकाकी स्तम्भों के लिये फैलाव नींव (Spread Footing) का अधिक प्रयोग किया जाता है। यह नींव दीवार या स्तम्भ के फलकों के दोनों तरफ बढ़ी रहती है। क्योंकि यह नींव नीचे जाकर अधिक चौड़ी हो जाती है, अत: अवमृदा के अधिक क्षेत्रफल पर संरचना का भार वितरित करती है। प्रबलित सीमेंट कंक्रीट के स्तम्भ जो अत्यधिक सम्पीडन भार वहन के लिये निर्माण किये जाते हैं, के नीचे प्राय: फैलाव नींव डाली जाती है। भारण तथा नींव मृदा की दक्षता को ध्यान में

$$\frac{\text{सर्पिल प्रबलन का आयतन}}{\text{कोर का आयतन}} \geq 0{\cdot}36\left[\frac{A_g}{A_k}-1\right]\times\frac{f_{ck}}{f_y}$$

अत: सर्पिल प्रबलन की प्रति इकाई-ऊँचाई का आयतन, $V_{sp}=\dfrac{\pi\phi^2\times l_{sp}}{4p}$

यहाँ ϕ = सर्पिल छड़ का व्यास = 10 mm

l_{sp} = सर्पिल छड़ की एक चक्र में लम्बाई $=\sqrt{(\pi\times D_k)^2+(p)^2}$

$=\sqrt{(\pi\times 340)^2+(50)^2}$ = 1069 mm, यहाँ p = 50 mm पिच है।

$\therefore\quad V_{sp}=\dfrac{\pi\times(10)^2\times 1069}{4\times 50}$ = 1680 cu mm प्रति mm ऊँचाई

कोर का कंक्रीट क्षेत्रफल, $A_k=\left[\dfrac{\pi\times 340^2}{4}\right]-[1884]$ = 88945 mm^2

कोर का आयतन, प्रति मिमी० ऊँचाई में $=A_k\times 1$

$=88945\times 1=88945$ mm^3

A_g = स्तम्भ का सकल क्षेत्रफल $=\dfrac{\pi\times 400^2}{4}$ = 125714 mm^2

f_{ck} = 20 N/mm^2 (M-20 ग्रेड की कंक्रीट के लिये)

f_y = सर्पिल छड़ की अभिलक्षणिक सामर्थ्य = 415 N/mm^2

अत: $\dfrac{1680}{88945}\geq 0{\cdot}36\left[\dfrac{125714}{88945}-1\right]\times\dfrac{20}{415}$

$0{\cdot}019\geq 0{\cdot}36\times 0{\cdot}41\times 0{\cdot}05$

$0{\cdot}019\geq 0{\cdot}0074$

यह सत्य है। अत: स्तम्भ की सामर्थ्य के लिये गुणांक 1·05 लगाया जायेगा।

$\therefore\quad P_u=[0{\cdot}4\times 20\times 88945+0{\cdot}67\times 415\times 1884]\times 1{\cdot}05\times 0{\cdot}85$

$=[711560+523846]\times 0{\cdot}893=1103218$ N

स्तम्भ पर अनुमत सुरक्षित भार $=\dfrac{1103218}{1{\cdot}5}=735479$ N = **73·55 टन** उत्तर

(B) एकाकी स्तम्भ-पाद
(ISOLATED COLUMN-FOOTING)

§ 8.15. नींव (Foundations) :

भवनों तथा अन्य संरचनाओं पर आने वाला चल व अचल भार दीवारों तथा स्तम्भों द्वारा नीचे भूमि पर अन्तरित होता है। भार को भली-भाँति अवमृदा पर अन्तरित करने के लिये दीवारों तथा स्तम्भों के नीचे नींव (दृढ़ आधार) बनायी जाती है। नींव का क्षेत्रफल इतना रखा जाता है कि इस पर पड़ने वाले कुल भार की तीव्रता, मृदा की (प्रति वर्ग मीटर) सुरक्षित भार धारण क्षमता से अधिक न होने पाये। जब मृदा पर अपनी धारण क्षमता से अधिक भार आता है तो यह नीचे को धँस जाती है अथवा पार्श्व में खिसक जाती है, जिसके फलस्वरूप नींव नष्ट हो जाती है और इस पर टिकी अधिरचना धँस कर या पलट कर धराशायी हो जाती है। भूमितल (G.L.) से ऊपर स्थित निर्माण को **अधिरचना** (Superstructure) तथा भूमितल से नीचे स्थित निर्माण को **अध:रचना** (Substructure or Foundation) कहते हैं। संरचना की प्रकार, कार्यरत भार का वितरण, अवभूमि की भार-धारण क्षमता, भूमिजल-स्तर को ध्यान में रखते हुये, कई प्रकार की नींव अपनायी जाती है, जिसमें एकाकी (Isolated), संयुक्त (Combined) नींवें आदि आती हैं।

मुख्य नींव के नाम निम्न हैं—

(1) फैलाव नींव (Spread Footing Foundation) जैसे खसकेदार, ग्रिलेज, स्ट्रिप (पट्टी) फुटिंग इत्यादि। ये आकृति में वर्गाकार, आयताकार, गोलाकार हो सकती हैं।

(2) राफ्ट या पटरा नींव (Raft or Mat Foundation)।

(3) पाइल नींव (Pile Foundation)।

(4) कूप नींव (Well Foundation)।

जब दो स्तम्भ बहुत पास-पास स्थित हों, तब दोनों के लिये संयुक्त पाद (Combined Footing) अपनायी जाती है। पाठ्यक्रम को दृष्टि में रखते हुये, यहाँ एकाकी पाद (Isolated Footing) नींव की ही चर्चा की गयी है।

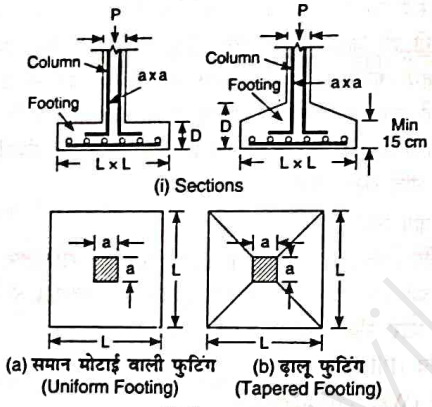
§ 8.16. प्रबलित कंक्रीट स्तम्भों के लिये एकाकी पाद नींव (Isolated Footings For-R.C.C. Column) :

किसी एकल स्तम्भ के नीचे डाली गयी स्वतन्त्र नींव को **एकाकी पाद नींव** (Isolated Footing) कहते हैं। जब स्तम्भ पर अध्यारोपित भार कम होता है और अव:मृदा की भार-धारण क्षमता सन्तोषजनक हो, एकाकी पाद नींव अपनायी जाती हैं।

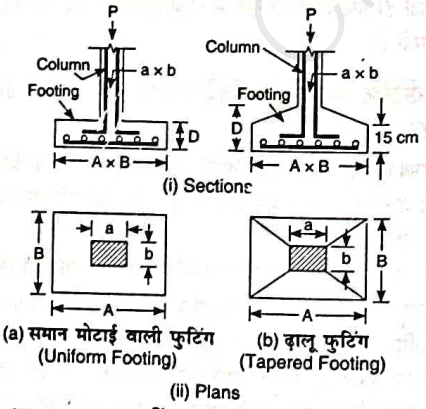
साधारण भवनों की दीवारों तथा एकाकी स्तम्भों के लिये फैलाव नींव (Spread Footing) का अधिक प्रयोग किया जाता है। यह नींव दीवार या स्तम्भ के फलकों के दोनों तरफ बढ़ी रहती है। क्योंकि यह नींव नीचे जाकर अधिक चौड़ी हो जाती है, अत: अवमृदा के अधिक क्षेत्रफल पर संरचना का भार वितरित करती है। प्रबलित सीमेंट कंक्रीट के स्तम्भ जो अत्यधिक सम्पीडन भार वहन के लिये निर्माण किये जाते हैं, के नीचे प्राय: फैलाव नींव डाली जाती है। भारण तथा नींव मृदा की दक्षता को ध्यान में

रखकर, प्रत्येक स्तम्भ के लिये अलग-अलग अथवा कई स्तम्भों के लिये सांझी नींव बनायी जाती है। जब प्रत्येक स्तम्भ के लिये स्वतन्त्र व अलग नींव रखी जाती है, तब इसे **एकाकी पाद** नींव कहते हैं। एकाकी स्तम्भों के आकार के अनुरूप फैलाव नींव, **वृत्ताकार, वर्गाकार अथवा आयताकार** रखी जाती है। नींव मे आवश्यक क्षेत्रफल प्राप्त करने के लिये, स्तम्भ के पाद को बाहर की तरफ बढ़ा कर बनाया जाता है, जिसे पाद या फुटिंग (Footing) कहते हैं।

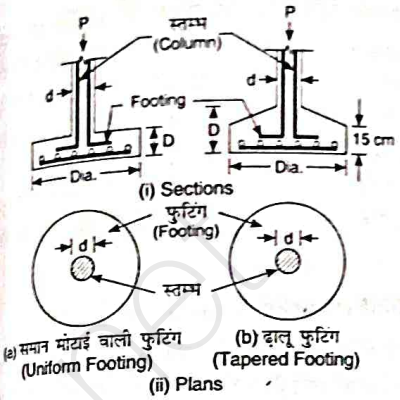
स्तम्भों की फुटिंग वर्गाकार, आयताकार, गोलाकार (सामान्य मोटाई वाली अथवा ढालू) और चौकीनुमा (Pedestal) प्रकार की होती हैं। ये फुटिंग चित्र 8.25 से 8.30 में दिखायी गयी हैं। एकाकी पाद-नींव के ब्लाक की मोटाई एक-समान (Uniform) अथवा किनारों की तरफ ढालू (Tapered) हो सकती है। पाद-नींव ब्लाक की किनारी (Edge) पर मोटाई 150 mm से कम नहीं होगी।



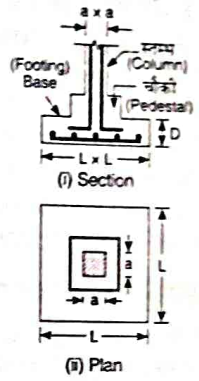
चित्र 8.25—वर्गाकार स्तम्भ नींव (एकाकी नींव) (Square Footing)



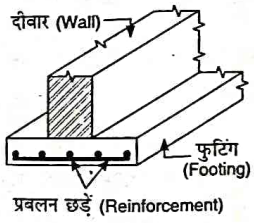
चित्र 8.26—आयताकार स्तम्भ नींव (एकाकी नींव) (Rectangular Footing)



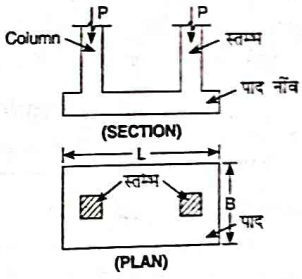
चित्र 8.27—वृत्ताकार स्तम्भ नींव (एकाकी नींव) (Circular Footing)



चित्र 8.28—चौकीनुमा स्तम्भ नींव (एकाकी नींव) (Pedestal Footing)



चित्र 8.29—दीवार या पट्टी फुटिंग नींव (एकाकी नींव) (Wall Footing)



चित्र 8.30—संयुक्त फुटिंग नींव (Combined Footing)

8.16-1. प्रबलन—स्तम्भ से बाहर बढ़ी हुयी पाद एक उल्टी प्रास स्लैब (Cantilever Slab) की भाँति कार्य करती है, जिसकी तली पर प्रतिक्रिया के रूप में मृदा का दाब (नीचे से उपर को) लगता है। इसलिये पाद में तनन (मुख्य) इस्पात पाद की तली पर दिया जाता है। यह छड़ें पाद की दोनों दिशाओं में (Two-ways), जाल के रूप में, समान अन्तराल पर, तथा एक दूसरे के लम्ब डाली जाती हैं। मुख्य छड़ों पर, जिनकी कंक्रीट अवमृदा के सम्पर्क में आती हैं, न्यूनतम आवरण 50 mm देना होगा (परन्तु यह 75 mm से अधिक नहीं होना चाहिये)। खुले क्षेत्रों में, छड़ों पर 40 mm (न्यूनतम) का आवरण देना चाहिये।

पाद (Footing) में मुख्य छड़ों का व्यास 10 mm से कम नहीं होना चाहिये। छड़ों की आपसी दूरी (Spacing) 300 mm अथवा $3 \times d$, जो भी न्यूनतम है, ली जायेगी। मुख्य छड़ों के दोनों सिरों पर विकास लम्बाई प्राप्त करने के लिये 90° का बैंड दिया जा सकता है।

पाद के मध्य भाग में, स्तम्भ के अनुप्रस्थ माप के अनुसार, कम ऊँचाई की ऊर्ध्वाधर छड़ें खड़ी की जाती हैं। इन छड़ों को गुज्झी छड़े (Dowel Bars or Starter Bars) कहते हैं। गुज्झी छड़ों का निचला सिरा समकोण (90°) पर मोड़कर, पाद की मुख्य छड़ों से बाँध दिया जाता है और ऊर्ध्वाधर सिरा पाद से कुछ ऊपर निकला रहता है, इन के साथ स्तम्भ की मुख्य छड़ों को चढ़ाव देकर खड़ा किया जाता है। यह चढ़ाव 48 ϕ से कम नहीं होना चाहिये, यहाँ ϕ स्तम्भ की मुख्य छड़ों का व्यास है।

पाद के नीचे 8 से 10 cm मोटी सीमेंट कंक्रीट (1 : 4 : 8) डाली जाती है। इसको भली-भाँति कूट कर समतल कर देना चाहिये। यह अवःमृदा (नींव) के छोटे-मोटे दोष भर देती है और पाद के लिये एक समतल, ठोस आधार प्रदान करती है।

§ 8.17. मृदाओं की भार धारण क्षमता (Bearing Capacity of Soils) :

मृदा की भार-धारणा क्षमता प्लेट-लोड परीक्षण अथवा किसी अन्य उपयुक्त विधि से ज्ञात की जाती है। भार धारण क्षमता टन प्रति वर्ग मी० में आँकी जाती है। (अधिक जानकारी के लिये लेखक की पुस्तक "भवन निर्माण तकनीकी" देखें)।

मृदा को कभी भी इसकी चरम भार धारण क्षमता तक भारित नहीं किया जाता है। चरम क्षमता को सुरक्षा गुणक (Factor of Safety), जिसका मान 2 से 4 रखा जाता है, से भाग देकर, मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता निर्धारित कर ली जाती है।

मुख्य मृदाओं की सुरक्षित भार धारण क्षमता सारणी 8.2 में दी गयी है।

सारणी 8.2—मृदाओं की सुरक्षित भार धारण क्षमता
(Safe Bearing Capacity of Soils)

मृदा की प्रकार	सुरक्षित धारण क्षमता (Tonnes/m^2) में
(1) जलोढ़ मृदा	5 से 7·5
(2) रेत मिश्रित चिकनी मिट्टी	20
(3) कुटी हुयी चिकनी मिट्टी	30 से 45
(4) ढीली महीन् बालू अथवा सिल्ट	10 से 15
(5) कुटी हुयी मोटी बालू	20 से 25
(6) कंकर और रेतीली ग्रेवल	20 से 35
(7) कुटी हुई ग्रेवल	50 से 55
(8) मूरम	20 से 45
(9) साधारण चट्टान	100 से 200
(10) कठोर चट्टान	250 से अधिक

§ 8.18. पाद नींव (Footing Foundations) :

एकाकी स्तम्भ नींव के अन्तर्गत निम्न माप ज्ञात किये जाते हैं—

(i) नींव की गहरायी,
(ii) पाद का क्षेत्रफल,
(iii) पाद स्लैब की मोटाई एवं प्रबलन इस्पात।

एकाकी स्तम्भों की फुटिंग मुख्यतः दो प्रकार से विफल हो सकती है—

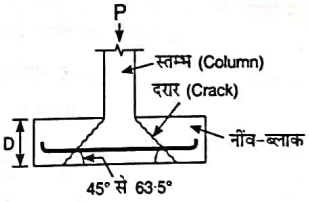
(i) बंकन आघूर्ण के कारण,
(ii) धँसन अथवा कर्तन (अपरुपण) बल के कारण।

फुटिंग के प्रास भाग पर नीचे से मृदा का प्रतिक्रियात्मक दाब कार्य करता है। इसके कारण अधिकतम बंकन आघूर्ण स्तम्भ के फलक पर होती है, जहाँ पर प्रास की मोटाई ज्ञात की जाती है।

भार के कारण स्तम्भ अपनी फलकों की परिधि पर नींव के अन्दर धँसने की चेष्टा करता है, परन्तु नींव ब्लाक की मोटाई इस धँसन को रोकती है। जब नींव ब्लाक की मोटाई अपर्याप्त होती है तो नींव धँसन अथवा कर्तन के कारण विफल होती है। धँसन के समय उत्पन्न दरारें ठीक ऊर्ध्वाधर न होकर क्षैतिज से 45° से $63\frac{1}{2}°$ पर नत होती हैं।

8.18-1 नींव की गहराई—सामान्यतः नींव को भूमि तल से कुछ नीचे तक ले जाया जाता है ताकि—

(i) नींव के लिये समतल, स्थिर तथा दृढ़ आधार मिल सके,
(ii) अवमृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता उपलब्ध हो सके,
(iii) नींव वायुमण्डलीय प्रभावों जैसे वर्षा, आँधी, बाढ़, पाला, जल-कटाव इत्यादि से सुरक्षित रहे।



चित्र 8.31—स्तम्भ का धँसन से विफल होना

नींव की भूमि तल से न्यूनतम गहराई रैंकिन सूत्र से ज्ञात की जा सकती है— $D = \frac{p}{\gamma}\left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]^2$ ...(8.12)

यहाँ— D = नींव की न्यूनतम गहराई, मी० में

p = मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता, kg/m^2 में

γ = मदा का घनत्व, kg/m^3 में

ϕ = मदा का विश्राम कोण (Angle of Repose)

सामान्य मृदा वाली भूमि में नींव 50 सेमी (भूमि-तल से) नीचे रखनी चाहिये। चट्टानी भूमि में, यह चट्टानी-मलबा साफ करके/हटा कर, उस पर सीधे डाली जा सकती है।

उदाहरण 8.14 : एक स्तम्भ के लिये नींव की गहराई ज्ञात कीजिये, यदि मृदा की भार धारण क्षमता 15 टन प्रति वर्ग मी०, घनत्व 1700 kg/m³ तथा विश्राम कोण 30° हो।

हल : प्रश्नानुसार—

मृदा की भार धारण क्षमता, $p = 15 \times 1000 \text{ kg/m}^2$

मृदा का घनत्व, $\gamma = 1700 \text{ kg/m}^3$

विश्राम कोण, $\phi = 30°$

रैंकिन सूत्र का प्रयोग करने पर, नींव की गहराई—

$$D = \frac{p}{\gamma}\left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]^2$$

$$= \frac{15000}{1700}\left[\frac{1-\sin 30°}{1+\sin 30°}\right]^2 = \frac{15000}{1700} \times \frac{1}{9} = 0{\cdot}98 \text{ m say } \mathbf{1 \text{ meter}}$$

8.18-2. नींव का क्षेत्रफल—नींव के लिये आवश्यक क्षेत्रफल (लम्बाई × चौड़ाई) स्तम्भ द्वारा संचारित भार और अवमृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता पर निर्भर करता है।

माना P = स्तम्भ पर आ रहा भार

w = पाद का स्वयं का भार

p = अवमृदा की सुरक्षित भार क्षमता

A = नींव का क्षेत्रफल

$$\therefore \qquad A = \frac{P+w}{p} \quad \text{अथवा} \quad A = \frac{W}{p} \qquad \ldots(8.15$$

यहाँ W = कुल भार $= P + w$

उदाहरण 8.15 : एक वर्गाकार स्तम्भ पर 30 टन का चरम (Factored) भार आ रहा है। यदि अवमृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता 10 टन प्रति वर्ग मी० हो, तो नींव का आवश्यक क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये।

हल : स्तम्भ पर आने वाला फैक्टर भार, $P = 30$ टन

स्तम्भ का स्वयं का भार, 10% लेते हुये, $w = 3$ टन

कुल भार, $W = 33$ टन

नींव का क्षेत्रफल, $A = \frac{W}{p} = \frac{33 \times 1000}{10 \times 1000} = 3{\cdot}3 \text{ m}^2$

वर्गाकार नींव की फलक $= \sqrt{3{\cdot}3} = 1{\cdot}82 \text{ m say } \mathbf{1{\cdot}85 \text{ m} \times 1{\cdot}85 \text{ m}}$

§8.19. नींव ब्लॉक की मोटाई (Thickness of Foundation Block) :

नींव ब्लॉक की मोटाई (गहराई) **बंकन आघूर्ण तथा कर्तन**, दोनों के आधार पर (जो अधिक मान दे) निर्धारित की जाती है। बाहरी भार के कारण, नींव की मृदा की प्रतिक्रिया ऊपर की तरफ होती है, जिस से नींव-पाद पर **बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल** लगते हैं।

नींव पर अवमृदा द्वारा ऊपर की ओर कार्य कर रहे दाब का मान ज्ञात करते समय, नींव ब्लाक का स्वयं का भार छोड़ दिया जाता है।

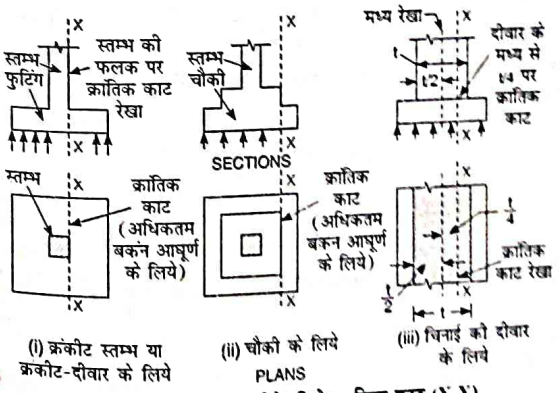
8.19-1. बंकन आघूर्ण (B.M.) के आधार पर नींव ब्लॉक की मोटाई—

(a) **क्रान्तिक काट**—नींव ब्लॉक की मोटाई निर्धारित करने के लिये अधिकतम बंकन आघूर्ण **क्रान्तिक काट** पर ज्ञात की जाती है। **क्रान्तिक काट पर अवयव की विफलता की सम्भावना अधिकतम होती है।** क्रान्तिक काट के लिये खण्ड से एक ऊर्ध्व तल पारित किया जाता है, जिसके एक ओर के सभी बलों का आघूर्ण उस काट के प्रति लिया जाता है। क्रान्तिक काट की स्थिति निम्न सी जाती है—

(i) **प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ या कंक्रीट दीवार के लिये**—अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये क्रान्तिक काट कंक्रीट स्तम्भ या कंक्रीट-दीवार की **फलक** (Face) पर अथवा चौकी की फलक पर लिया जाता है।

(ii) **चिनाई की दीवार के लिये**—चिनाई-दीवार की मोटाई की मध्य रेखा और फलक, दोनों के मध्य पर, क्रान्तिक काट लिया जाता है, अर्थात् दीवार के फलक से $t/4$ भीतर लिया जाता है। यहाँ t = दीवार की मोटाई है।

क्रान्तिक काट चित्र 8.32 में दर्शाये गये हैं।



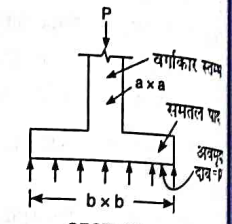
चित्र 8.32—बंकन आघूर्ण के लिये क्रान्तिक काट (X-X)
(Critical Sections for B.M. Computing)

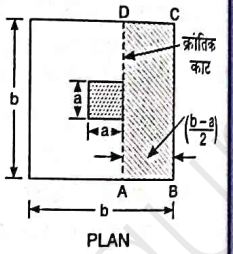
(b) **अधिकतम बंकन आघूर्ण**—यह वर्गाकार स्तम्भ के किसी एक फलक पर ज्ञात की जाती है। जब पाद का फैलाव (Projections) दोनों दिशाओं में असम होता है तो दोनों फलकों पर बंकन आघूर्ण

ज्ञात की जाती है और जिस फलक पर **अधिकतम** बंकन आघूर्ण उपजती है, उसी पर विचार करके, पाद की मोटाई निर्धारित की जाती है।

वर्गाकार स्तम्भ की वर्गाकार पाद के लिये अधिकतम बंकन आघूर्ण (Max: B.M.) निम्न प्रकार ज्ञात करते हैं—

(i) जब पाद की मोटाई समान है—माना एक वर्गाकार स्तम्भ, जिसकी फलक 'a' है, के लिये वर्गाकार समान मोटाई वाली फुटिंग डाली जानी है। पाद-स्लैब की किनारे पर चौड़ाई 'b' है। माना स्लैब पर अवमृदा का ऊपर को p' दाब (Up-lift Pressure) प्रति इकाई क्षेत्रफल कार्य कर रहा है (चित्र 8.33)। **अधिकतम बंकन आघूर्ण स्तम्भ के फलक पर ज्ञात की जायेगी।**





चित्र 8.33—समान मोटाई की पाद

स्तम्भ की फलक AD पर आयत $ABCD$ (रेखाच्छादित) के क्षेत्रफल का उत्थापक भार आ रहा है।

आयत $ABCD$ का क्षेत्रफल $= \left(\frac{b-a}{2}\right) \times b$

इस क्षेत्र पर अव:मृदा का उत्थापक दाब (Up-lift Pressure) $= \frac{(b-a)}{2} \times b \times p'$

यह बल आयत $ABCD$ के गुरुत्व केन्द्र पर कार्य करेगा, जिसकी स्तम्भ की फलक से दूरी—

$$= \frac{(b-a)}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{b-a}{4} \text{ होगी।}$$

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण = रेखाच्छादित क्षेत्रफल × दाब तीव्रता × गुरुत्व केन्द्र की फलक से दूरी,

$$M = \left[\left(\frac{b-a}{2}\right) \times b \times p'\right] \times \left(\frac{b-a}{4}\right)$$

$$M = \frac{(b-a)^2}{8} \times b \times p' \qquad ...(8.14)$$

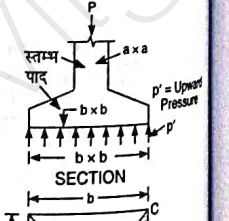
(ii) जब पाद ढालू है—वर्गाकार पाद को किनारों की ओर ढालू लेते हुये (चित्र 8.34)—

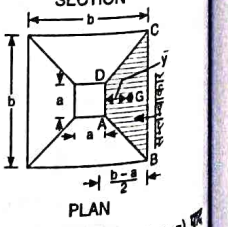
a = स्तम्भ की फलक

b = पाद की फलक

p' = अव:मृदा का उत्थापक दाब

अधिकतम बंकन आघूर्ण स्तम्भ की फलक AD पर ज्ञात किया जायेगा।





चित्र 8.34—ढालू (Taper) पाद

स्तम्भ की फलक AD पर समलम्बाकार क्षेत्र $ABCD$ का भार आ रहा है। (चित्र 8.34)—

$$\therefore \text{ समलम्बाकार } ABCD \text{ का क्षेत्रफल} = \left(\frac{b+a}{2}\right) \times \left(\frac{b-a}{2}\right) = \frac{(b+a)(b-a)}{4}$$

समलम्बाकार क्षेत्र पर कार्य कर रहा कुल दाब $= p' \times \frac{(b+a)(b-a)}{4}$

यह दाब समलम्बाकार के गुरुत्व केन्द्र पर कार्य करता है। इस गुरुत्व केन्द्र की फलक AD से दूरी, $\bar{y} = \left(\frac{(a+2b)}{a+b}\right) \times \left(\frac{b-a}{2}\right) \times \frac{1}{3} = \frac{(a+2b)(b-a)}{6(a+b)}$ ...(सूत्र)

अत: फलक AD पर अधिकतम बंकन आघूर्ण—

M = कुल बल × गुरुत्व केन्द्र से दूरी

$$= \frac{p'(b+a)(b-a)}{4} \times \frac{(a+2b)(b-a)}{6(a+b)}$$

$$\therefore \quad M = \frac{p'(b-a)^2(a+2b)}{24} \qquad ...(8.15)$$

यहाँ p' = ऊपर की ओर कार्यरत शुद्ध प्रतिक्रियात्मक दाब (Uplift Pressure of Soil)

a = स्तम्भ के फलक की चौड़ाई

b = नींव स्लैब की चौड़ाई

टिप्पणी—एकाकी स्तम्भों के लिये सामान्यत: ढालू पाद ही प्रयोग की जाती है।

8.19-2. कर्तन के आधार पर नींव ब्लॉक की मोटाई—फुटिंग स्लैब की मोटाई इतनी आवश्यक होनी चाहिये कि स्तम्भ इस पर टिका रहे और इसमें धँसने न पाये। फुटिंग की कर्तन सामर्थ्य में जाँच (a) एकल-दिशा बंकन (One Way Bending) अथवा (b) द्विदिशा बंकन (Two Way Bending) के लिये की जाती है।

(i) जब बंकन एक दिशा में हो तो **उदग्र कर्तन** (Vertical Shear) के लिये फुटिंग की जाँच की जाती है।

(ii) जब बंकन द्वि-दिशा में होने की सम्भावना है तो **धंसन कर्तन** (Punching Shear) में पाद की जाँच की जाती है।

(a) **क्रान्तिक काट**—कर्तन की जाँच के लिये, क्रान्तिक काट निम्न प्रकार लिये जाते है—

(i) **उदग्र कर्तन** (Vertical Shear) **के लिये**—काट, स्तम्भ की फलक से d **क्षैतिज दूरी** पर लिया जाता है। (चित्र 8.35)

यहाँ d = नींव स्लैब की प्रभावी गहराई है।

(ii) **धँसन कर्तन** (Punching Shear) **के लिये**—यह काट स्तम्भ की फलकों से $\frac{d}{2}$ की क्षैतिज दूरी पर, **चारों साइडों की परिधि** पर लिया जायेगा। (चित्र 8.36)।

(b) **कर्तन बल**—यह चित्र 8.35 व 8.36 में रेखाच्छादित क्षेत्रफल को अव:मृदा की उत्थापक शक्ति तीव्रता से गुना करके प्राप्त किया जाता है—

$$V_u = P' \times \text{रेखाच्छादित क्षेत्रफल} \quad ...(8.16)$$

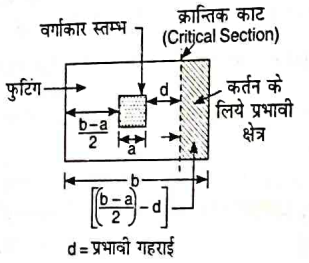
(i) **एकल-दिशा कर्तन** (One-Way Shear)—

$$\text{कर्तन प्रतिबल, } \tau_v = \frac{V_u}{b \times d} \quad ...(8.17)$$

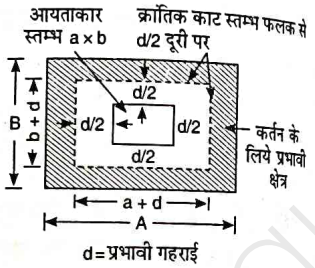
यहाँ V_u = फैक्टर कर्तन बल

b = नींव स्लैब की चौड़ाई

d = नींव स्लैब की काट पर प्रभावी मोटाई



चित्र 8.35—एकल दिशा कर्तन के लिये क्रान्तिक काट



चित्र 8.36—द्वि-दिशा कर्तन या धँसन के लिये क्रान्तिक काट

सामान्यत: नींव स्लैब में कर्तन प्रबलन नहीं दिया जाता है परन्तु उपरोक्त ज्ञात कर्तन प्रतिबल का मान स्लैब की कर्तन सामर्थ्य से बढ़ना नहीं चाहिये, अर्थात्—

$$\tau_v = k \times \tau_c \quad ...(8.18)$$

यहाँ k = ठोस प्रबलित स्लैब के लिये गुणांक है। यह सारणी 4.2 से प्राप्त किया जा सकता है।

τ_c = साधारण खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य है। यह सारणी 4.1 से ज्ञात की जा सकती है।

(ii) **द्वि-दिशा कर्तन** (Two-Way Shear)—

$$\text{कर्तन प्रतिबल, } \tau_v = \frac{V_u}{b_0 \times d}$$

यहाँ b_0 = क्रान्तिक काट की परिधि अर्थात् चारों साइडों का योगफल

d = नींव स्लैब की काट पर प्रभावी गहराई

जब एकाकी पाद में कर्तन प्रबलन नहीं डाला गया है, तब नामन कर्तन प्रतिबल, क्रान्तिक काट पर $\tau_v < k_s \times \tau_c$ अर्थात् τ_v का मान $k_s \times \tau_c$ से अधिक नहीं होना चाहिये। यहाँ $k_s = (0{\cdot}5 + r)$ अथवा 1 जो भी **कम** हो।

यहाँ— $r = \dfrac{\text{स्तम्भ की छोटी फलक}}{\text{स्तम्भ की बड़ी फलक}}$.

$\tau_c = 0{\cdot}25\sqrt{f_{ck}}$,

यहाँ f_{ck} अधिकतम अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल (धारा 31.6.3-1)

फुटिंग में **कर्तन प्रबलन नहीं दिया जाता है।** τ_v का मान $k_s \times \tau_c$ से अधिक होने पर, स्लैब की मोटाई बढ़ा देनी उत्तम रहती है।

8.19-3. विकास लम्बाई—जिस क्रान्तिक काट पर बंकन आघूर्ण की जाँच की जाती है, उसी काट को विकास लम्बाई की जाँच के लिये भी मान लिया जाता है। इसके अतिरिक्त, जहाँ स्लैब की मोटाई एकदम कम की जाती है, वहाँ पर भी विकास लम्बाई की जाँच की जाती है।

8.19-4. किनारे पर पाद की मोटाई—मितव्ययता की दृष्टि से नींव स्लैब की मोटाई किनारों पर कम कर दी जाती है परन्तु I.S. Code के अनुसार यह मोटाई 150 mm से कम नहीं होनी चाहिये। किनारों पर बंकन आघूर्ण का मान भी बहुत कम आता है।

8.19-5. विक्षेप (Deflection)—नींव में विक्षेप की जांच आवश्यक नहीं है। नींव-ब्लाक में गहरे घरनों में दिया जाने वाला पार्श्व प्रबलन (Side Reinforcement) भी छोड़ा जा सकता है।

8.19-6. तनन प्रबलन—फुटिंग स्लैब में तनन इस्पात की व्यवस्था निम्न प्रकार से की जानी चाहिये—

(a) **एकल-दिशा प्रबलन के लिये**—(i) तनन इस्पात स्लैब के निचले भाग में डाला जाता है क्योंकि नींव स्लैब एक उल्टे प्रास की भाति कार्य करती है, जिस पर मृदा का प्रतिक्रियात्मक दाब नीचे से ऊपर को पड़ता है।

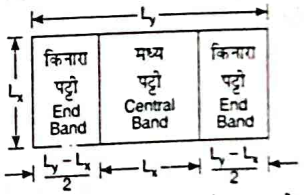
(ii) तनन छड़ें स्लैब की पूरी चौड़ाई में समान दूरी पर डाली जाती हैं।

(b) **द्वि-दिशा वर्गाकार नींव स्लैब**—(i) तनन इस्पात दोनों दिशाओं में, पूरी लम्बाई में समान दूरी पर डाला जाता है।

(ii) प्रत्येक दिशा में इस्पात का क्षेत्रफल, अभिकल्पित क्षेत्रफल के बराबर रखा जाता है।

(c) **द्वि-दिशा आयताकार नींव स्लैब**—(i) स्लैब की चौड़ाई में तनन छड़ें समान दूरी पर लम्बाई के समानान्तर डाली जाती हैं।

(ii) स्लैब की लम्बाई में, चौड़ी दिशा के समानान्तर छड़ें निम्न व्यवस्था से डाली जाती हैं।



चित्र 8.37—आयताकार पाद में प्रबलन के लिये पट्टी-व्यवस्था (Bands)

स्लैब की लम्बाई को **तीन** पट्टियों में बाँट लिया जाता है। मध्य की पट्टी वर्गाकार रखी जाती है और किनारें की पट्टियाँ बराबर-बराबर रखी जाती हैं (देखें चित्र 8.37)। इनकी चौड़ाई— $\dfrac{L_y - L_x}{2}$ होती है।

(a) **मध्य पट्टी** (Central Band) **में इस्पात**— $A_{sto} = \dfrac{2A_{st}}{1 + \dfrac{L_y}{L_x}}$ ...(8.19)

(b) **किनारा पट्टी** (End Band) **में इस्पात**—$A_{ste} = \frac{A_{st} - A_{sto}}{2}$ ...(8.20)

यहाँ— A_{sto} = मध्य पट्टी में इस्पात का क्षेत्रफल
A_{ste} = किनारा पट्टी में इस्पात का क्षेत्रफल
A_{st} = छोटी दिशा में इस्पात की कुल मात्रा
L_y = स्लैब की लम्बी दिशा (Long Side)
L_x = स्लैब की छोटी दिशा (Short Side)

तीनों पट्टियों में उपरोक्त इस्पात समान दूरी पर डाला जायेगा।

8.19-7. नामन प्रबलन (Nominal Reinforcement)—पाद में न्यूनतम प्रबलन तथा अन्तराल, जैसे स्लैब की भान्ति रहेगा। इसकी मात्रा एक मी० से अधिक मोटे पाद के लिये 360 mm^2 प्रति मीटर लम्बाई (प्रत्येक दिशा में) से कम नहीं होगी (यदि यह गणनाओं में कम आती है तब)।

8.19-8. प्रबलन छड़ों पर आवरण (Cover over Bars)—नींव में प्रबलन छड़ों पर शुद्ध आवरण (Clear Cover) 50 mm (न्यूनतम) रहेगा।

§ 8.20. भार का स्तम्भ से पाद-नींव पर अन्तरण (Transfer of Load) :

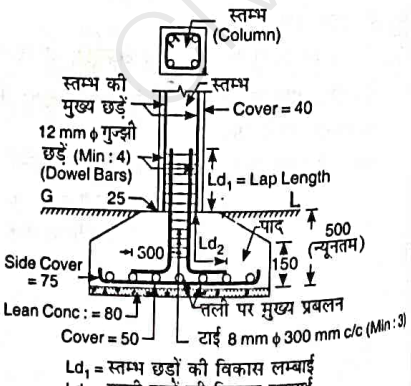
(i) प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ पर आने वाले भार को नींव पर ले जाने के लिये, स्तम्भ की मुख्य छड़ों को फुटिंग स्लैब के भीतर तक ले जाकर, इनको तनन इस्पात से बाँध देना चाहिये अथवा गुज्झी छड़ों (Dowel Bars) का प्रयोग करना चाहिये। गुज्झी छड़ का व्यास, स्तम्भ की मुख्य छड़ के व्यास से 3 mm से अधिक बढ़ा नहीं होगा।

(ii) बढ़ायी गयी लाम्बिका छड़ों अथवा गुज्झी छड़ों का क्षेत्रफल, स्तम्भ के क्षेत्रफल का 0·50% से कम नहीं होना चाहिये। न्यूनतम 12 mm व्यास की 4 छड़ें आवश्यक है।

(iii) कम से कम 4 छड़ें नींव स्लैब के भीतर तक जानी चाहिये।

(iv) गुज्झी छड़ों का स्तम्भ की छड़ों पर चढ़ाव (Overlap) स्तम्भ की छड़ों की विकास लम्बाई के बराबर होना चाहिये। M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 250 इस्पात के लिये यह चढ़ाव 55 ϕ लिया जा सकता है। यहाँ ϕ स्तम्भ की मुख्य छड़ का व्यास है (देखे सारणी 4.5)।

इसी प्रकार गुज्झी छड़ों का निचला भाग पाद के अन्दर 44 ϕ जाना चाहिये। यहाँ ϕ गुज्झी छड़ का व्यास है।



चित्र 8.38—स्तम्भ नींव में प्रबलन व्यवस्था
(Reinforcement Pattern in Column-Footing)

§ 8.21. एकाकी स्तम्भ पाद के अभिकल्पन के चरण :

स्तम्भ पाद के अभिकल्पन के चरण निम्नलिखित हैं—

(i) स्तम्भ पर आ रहा भार ज्ञात करें।

(ii) अध्यारोपित भार का 10%, पाद का भार मान कर, नींव पर पड़ने वाला कुल भार ज्ञात करें।

(iii) नींव का क्षेत्रफल ज्ञात करें—$A = \frac{\text{नींव सहित कुल भार}}{\text{मृदा की सुरक्षित धारण क्षमता}}$,

नींव-पाद की फलक (Side) की गणना कर, $S = \sqrt{A}$

(iv) नींव ब्लाक पर ऊपर को कार्यरत अव:मृदा का शुद्ध प्रतिक्रियात्मक दाब ज्ञात करें—

$p' = \frac{\text{स्तम्भ पर आने वाला भार} \times 1{\cdot}5}{A}$, यहाँ 1·5 भार गुणक है।

(v) अधिकतम धँसन बल (Shear Force) और अधिकतम बंकन आघूर्ण (Bending Moment) के आधार पर नींव की प्रभावी गहराई (जो भी अधिक आती है) ज्ञात करें। प्रभावी गहराई में 50 से 70 mm आवरण जोड़ कर, कुल गहराई निर्धारित करें।

(vi) प्रबलन इस्पात की मात्रा ज्ञात करें—$A_{st} = \frac{M}{0{\cdot}87 f_y \times z}$

अथवा $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{A_{st} f_y}{b \times d f_{ck}}\right]$ ...(सूत्र)

छड़ का उचित व्यास मान कर, छड़ों की संख्या निकाल लें। यह छड़ें दोनों दिशाओं में डालें।

(vii) नींव का चित्र खींचकर, तनन प्रबलन, स्तम्भ छड़ों की स्थिति इत्यादि दर्शायें।

उदाहरण 8.16 : एक प्रबलित कंक्रीट वर्गाकार स्तम्भ, जिसका परिच्छेद 36 cm × 36 cm है, पर अक्षीय भार आना है। इसकी नींव का माप 3·20 m × 3·20 m है। स्तम्भ की फलक के ठीक निकट नींव की प्रभावी गहराई 65 cm है। यदि स्तम्भ नींव पर 94 टन का चरम भार प्रेषित करता है तो धँसन (Punching Shear) में नींव की जाँच कीजिये। प्रबलित कंक्रीट खण्ड में सुरक्षित धँसन प्रतिबल 0·40 N/mm^2 मान लें।

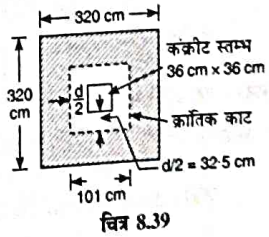
हल : (1) प्रश्नानुसार—

नींव पर चरम भार, $P_u = 94$ टन

नींव का क्षेत्रफल, $A = 3{\cdot}2 \times 3{\cdot}2\ m^2$

पाद पर अव: मृदा का प्रतिक्रियात्मक दाब,

$$P' = \frac{P_u}{A} = \frac{94 \times 10000}{3{\cdot}2 \times 3{\cdot}2} = 91800\ N/m^2$$



चित्र 8.39

नींव की प्रभावी गहराई $d = 65$ cm या 650 mm

(2) **धँसन** (Punching shear) **की जाँच**—I.S. Code 456–2000 के अनुसार धँसन की जाँच के लिये क्रान्तिक-काट स्तम्भ की फलकों से $d/2$ की दूरी पर लिया जाता है। यह दूरी

$360 + \frac{650}{2} + \frac{650}{2} = 1010$ mm बनती है।

धँसन बल, $V_u = p' [(3{\cdot}2)^2 - (1{\cdot}01)^2]$

$= 91800 [(3{\cdot}2)^2 - (1{\cdot}01)^2] = 846400$ N

पाद की धँसन प्रतिरोधकता $= b_0 \times d \times \tau_v$

यहाँ $b_0 = 4 \times 101 = 404$ cm $= 4040$ mm

अत: $\tau_v = \frac{V_u}{b_0 \times d} = \frac{846400}{4040 \times 650} = 0{\cdot}32$ N/mm^2

यह मान 0·40 N/mm^2 से कम है, अत: पाद धँसन में सुरक्षित है। उत्तर

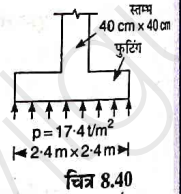
उदाहरण 8.17 : 400 mm × 400 mm वर्गाकार प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ का पाद 2·4 m × 2·4 m है, जिस पर 17·4 टन/मी^{2} का अवमृदा का प्रतिक्रियात्मक भार ऊपर की ओर लगा है। पाद में क्रान्तिक बंकन आघूर्ण और धँसन बल ज्ञात करें। $f_{ck} = 20$ N/mm^2 और Fe 415 N/mm^2 लें। [B.T.E.]

हल : (1) प्रश्नानुसार—

स्तम्भ का माप = 40 cm × 40 cm

पाद का माप = 2·4 m × 2·4 m

अव: मृदा का ऊपर की ओर कार्यरत प्रतिक्रियात्मक दाब = 17·4 t/m^2



चित्र 8.40

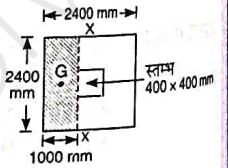
(2) **क्रान्तिक बंकन आघूर्ण**—यह स्तम्भ के फलक पर ज्ञात की जायेगी। अधिकतम बंकन आघूर्ण,

M = रेखाच्छादित क्षेत्रफल × दाब तीव्रता × क्रान्तिक काट से रेखाच्छादित क्षेत्र के गुरुत्व केन्द्र की दूरी

$= (2{\cdot}4 \times 1{\cdot}0) \times 17400 \times 0{\cdot}50$

$= 20880$ kg-m

$= 20880 \times 10^4$ N-mm **उत्तर**



चित्र 8.41

(3) **पाद की गहरायी**—दिये गये प्रतिबलों के लिये—

$M_u = 0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck}$

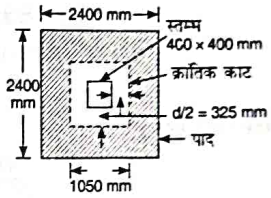
अथवा $d = \sqrt{\frac{M_u}{0{\cdot}138\, b\, f_{ck}}} = \sqrt{\frac{20880 \times 10000}{0{\cdot}138 \times 2400 \times 20}} = 178$ mm

नोट— यह देखने में आया है कि अधिकतर केसों में स्तम्भ-नींव धँसन (Punching) में विफल होती है, क्योंकि उपरोक्त सूत्र से ज्ञात की गयी पाद की गहरायी अपर्याप्त होती है।

अत: इस केस में नींव की गहरायी 700 mm (व्यवहारिक दृष्टि से) और प्रभावी गहरायी $700 - 50 = 650$ mm लेते हुये, पाद की धँसन में जांच करते हैं।

(4) **धँसन बल** (Punching Force)—I.S. कोड के अनुसार, धँसन की जांच के लिये क्रान्तिक-काट, स्तम्भ की फलकों से $\frac{d}{2}$ अर्थात् $\frac{650}{2} = 325$ mm की दूरी पर लिया जायेगा। स्तम्भ काट की इस परिधि पर धँसने की चेष्टा करता है। इस दूरी पर पाद का माप (फलक) = 400 + $\frac{650}{2} + \frac{650}{2} = 1050$ mm अथवा 1050 mm × 1050 mm होगा।

अत: स्तम्भ की फलकों से $\frac{d}{2}$ की परिधि पर धँसन-बल—V_u = अव: मृदा का प्रतिक्रियात्मक दाब × रेखाच्छादित क्षेत्रफल (चित्र 8.42)



चित्र 8.42

$V_u = p' [(2{\cdot}4)^2 - (1{\cdot}05)^2]$

$= 17400 [(2{\cdot}4)^2 - (1{\cdot}05)^2]$

$= 17400 \times 4{\cdot}65 = \mathbf{80910}$ kg **उत्तर**

(5) **धँसन की जाँच**—

पाद की धँसन प्रतिरोधकता $= b_0 \times d \times \tau_v$

यहाँ b_0 = क्रान्तिक-काट की कुल परिधि (घेरा)

$= 4 \times 1050 = 4200$ mm

$\therefore$ धँसन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b_0 \times d} = \frac{809100}{4200 \times 650} = 0{\cdot}30$ N/mm^2

परन्तु $\tau_v < k_s \times \tau_c$

यहाँ $k_s = 0{\cdot}5 + \frac{\text{पाद की बड़ी फलक}}{\text{पाद की छोटी फलक}}$

$= 0{\cdot}5 + \frac{2{\cdot}40}{2{\cdot}40} = 0{\cdot}5 + 1 = 1{\cdot}5$, परन्तु यह मान 1·0 लिया जाता है

और $\tau_c = 0{\cdot}25\sqrt{f_{ck}} = 0{\cdot}25 \times \sqrt{20} = 1{\cdot}12$ N/mm^2

$\therefore$ $k_s \times \tau_c = 1 \times 1{\cdot}12 = 1{\cdot}12$ N/mm^2

अत: $\tau_v < k_s \times \tau_c$ अर्थात् $0{\cdot}30 < 1{\cdot}12$ N/mm^2

अत: यह पाद (Footing) धँसन (Punching) में **सुरक्षित है।** उत्तर

civilguru.pk

(I) वर्गाकार (समतल) पाद
(SQUARE (UNIFORM) FOOTING)

उदाहरण 8.18 : एक वर्गाकार प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ की भुजा 250 mm है। इस पर 40 टन का अक्षीय भार आ रहा है। स्तम्भ के लिये I. S. Code के अनुसार उपयुक्त पाद का अभिकल्पन कीजिये। मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता 11 टन/मी०^2 मान लें। पाद के लिये M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड की टोर छड़ें प्रयोग करनी है।

हल : (1) प्रश्नानुसार—

स्तम्भ का माप = 250 mm × 250 mm

स्तम्भ पर बाहरी भार = 40 t

अत: मृदा की भार धारण क्षमता = 11 t/m^2

(2) भार— भार गुणक 1·5 लेते हुये, अभिकल्पित भार, $P_u = 40 \times 1{\cdot}5 = 60$ टन

10% की दर से पाद का स्वयं का भार, $w = \dfrac{60 \times 10}{100} = 6$ टन

कुल चरम भार, $w = 66$ टन

(3) पाद का क्षेत्रफल— $A = \dfrac{W}{p} = \dfrac{66}{11} = 6\ m^2$

वर्गाकार पाद की एक फलक = $\sqrt{6} = 2{\cdot}45$ say $2{\cdot}50$ m

अत: पाद की माप = 2·5 m × 2·5 m अथवा 2500 mm × 2500 mm

(4) अत: मृदा का ऊपर को कार्यरत शुद्ध प्रतिक्रियात्मक दाब—

$$P' = \frac{P_u}{A} = \frac{60}{2{\cdot}5 \times 2{\cdot}5} = 9{\cdot}6\ t/m^2 = 0{\cdot}096\ N/mm^2$$

(5) पाद की गहराई—

यह बंकन आघूर्ण और धँसन बल के आधार पर (जो भी मान अधिक होगा) ज्ञात की जायेगी। सरलता के लिये हम समान मोटाई की पाद का अभिकल्पन करते हैं।

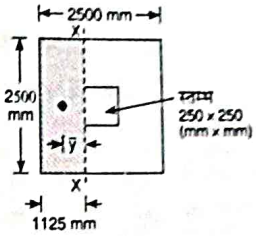
(a) अधिकतम बंकन आघूर्ण के आधार पर पाद की गहराई—बंकन आघूर्ण के लिये क्रान्तिक काट, स्तम्भ की फलक से सटा हुआ लिया जाता है (चित्र 8.43)। अत: रेखाच्छादित क्षेत्र पर कार्यरत दाब के लिये बंकन आघूर्ण लिया जायेगा। इस दाब का गुरुत्व केन्द्र स्तम्भ के फलक से $\dfrac{1125}{2}$ mm मी० दूरी पर होगा।

अत: क्रान्तिक-काट पर प्रतिरोध आघूर्ण,

$$M_d = 2500 \times 1125 \times 0{\cdot}096 \times \frac{1125}{2}$$

$$= 151875000\ \text{N.mm}$$

$M_u = 0{\cdot}138\ b\ d^2 f_{ck}$ (Fe 415 इस्पात के लिये सारणी 3.5 से)



चित्र 8.43

$M_u = M_d$ रखने पर—

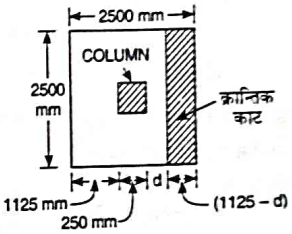
$$0{\cdot}138\ b\ d^2 f_{ck} = 151875000$$

$$0{\cdot}138 \times 2500 \times 15\ d^2 = 151875000$$

$$\therefore \quad d = \mathbf{171\ mm}$$

(b) एकल-दिशा कर्तन के आधार पर पाद की गहरायी—

इसके लिये क्रान्तिक-काट, स्तम्भ की फलक से 'd' की दूरी पर लिया जाता है।



चित्र 8.44

क्रान्तिक-काट पर कर्तन-बल—

$$V_u = p' \times 2500 \times (1125 - d)$$

$$= 0{\cdot}096 \times 2500 \times (1125 - d)$$

$$= 270000 - 240\ d \qquad \text{...(i)}$$

पाद में 0·25% प्रबलन मानते हुये,

$\tau_c = 0{\cdot}35\ N/mm^2$ (सारणी 4.1)

पाद द्वारा वहन कर्तन बल = $\tau_c \times 2500 \times d = 0{\cdot}35 \times 2500\ d = 875\ d$ ...(ii)

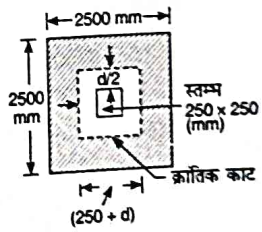
(i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$270000 - 240\ d = 875\ d$$

$$\therefore \quad d = \frac{270000}{1115} = \mathbf{242\ mm}$$

(c) द्वि-दिशा कर्तन अथवा धँसन के आधार पर पाद की गहरायी—

धँसन बल ज्ञात करने के लिये, क्रान्तिक-काट स्तम्भ की फलकों से $\dfrac{d}{2}$ की दूरी पर लिया जाता है (चित्र 8.45)—



चित्र 8.45

$$V_u = p'[(2500)^2 - (250 + d)^2]$$

$$= 0{\cdot}096\ [(2500)^2 - (d^2 + 500d + 62500)]$$

$$= 0{\cdot}096\ [d^2 + 500d - 6187500]$$

$$= 0{\cdot}096d^2 + 48d - 594000 \qquad \text{...(iii)}$$

civilguru.net

क्रान्तिक-काट पर कर्तन बल—

अधिकतम अनुमत कर्तन प्रतिबल $= 0{\cdot}25\sqrt{f_{ck}}$

$= 0{\cdot}25\sqrt{15} = 0{\cdot}97\ \text{N/mm}^2$

क्रान्तिक-काट का घेरा (परिधि) $= 4(250 + d)$

अत: रोधित कर्तन-बल $= 0{\cdot}97 \times 4\,(250 + d) \times d$

$= (970 + 3{\cdot}88\,d)\,d$

$= 3{\cdot}88\,d^2 + 970\,d$

(iii) व (iv) को तुल्य रखने पर— ...(iv)

$0{\cdot}096d^2 + 48d - 594000 = 3{\cdot}88d^2 + 970\,d$

$3{\cdot}784\,d^2 + 922\,d + 594000 = 0$

$d^2 + 244\,d + 156977 = 0$ —यह एक द्विघातीय समीकरण है

$$d = \frac{-244 \pm \sqrt{(244)^2 + (4 \times 156977)}}{2}$$

$$\therefore \quad d = \frac{-244 \pm 829}{2} = \mathbf{293\ mm}$$

उपरोक्त (a), (b) व (c) में पाद की अधिकतम प्रभावी गहरायी 'd' 293 mm है। अत: पाद की प्रभावी गहरायी 300 mm और 50 mm का कंक्रीट-आवरण रखने पर, कुल गहरायी 300 + 50 = 350 mm ली जायेगी।

(6) **प्रबलन इस्पात—**

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st}\, d\left[1 - \frac{A_{st}\, f_y}{b \times d\, f_{ck}}\right] \qquad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर—

$$151875000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} \times 300\left[1 - \frac{A_{st} \times 415}{2500 \times 300 \times 15}\right]$$

$$151875000 = 108315\,A_{st} - \frac{108315 \times 415\,A_{st}^2}{2500 \times 300 \times 15}$$

$$A_{st}^2 - 27079\,A_{st} + 37968750 = 0$$

$$A_{st} = \frac{27079 \pm \sqrt{(-27079)^2 - (4 \times 37968750)}}{2}$$

$$= \frac{27079 \pm 24112}{2} = 1484\ \text{mm}^2$$

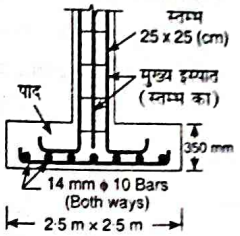
14 mm व्यास की टोर छड़ें प्रयुक्त करने पर,

$$\text{छड़ों की संख्या} = \frac{1484}{154} = 9{\cdot}6 \text{ say } 10 \text{ Nos.}$$

अत: 14 mm व्यास की 10 छड़ें पाद में रखी जायेगी। सिरों पर 40 mm का कंक्रीट आवरण लेने पर, छड़ों की आपसी दूरी (Spacings) $= \frac{2500 - (2 \times 40)}{10 - 1} = 269$ mm. यह दूरी 300 mm से कम है, अत: स्वीकार्य है।

ये छड़ें पाद की दोनों दिशाओं में, एक-दूसरी के समकोणक, जाल के रूप में डाली जायेगी।

पाद में प्रबलन की स्थिति चित्र 8.46 में दर्शायी गयी है।



चित्र 8.46

(II) वर्गाकार (ढालू) पाद
(SQUARE SLOPED OR TAPERED FOOTING)

उदाहरण 8.19 : एक 500 mm पार्श्व माप का वर्गाकार स्तम्भ 200 टन का अक्षीय चरम भार वहन करता है। स्तम्भ के लिये वर्गाकार पाद (Footing) अभिकल्पित कीजिये। मृदा की सुरक्षित धारण क्षमता 10 टन प्रति वर्ग मीटर है। M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयुक्त करें।

हल : (1) प्रश्नानुसार— स्तम्भ का माप $= 500\ \text{mm} \times 500\ \text{mm}$

स्तम्भ पर चरम भार, $P_u = 200$ टन

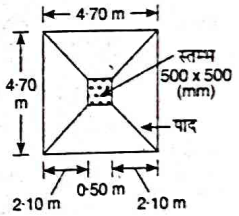
अव मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता, $p = 10\ \text{t/m}^2$

(2) **भार—**

स्तम्भ द्वारा संचारित भार, $P_u = 200\ \text{t}$

पाद का स्वयं का भार, $w = 200 \times \frac{1}{10} = 20\ \text{t}$

कुल भार, $W_u = 220\ \text{t}$



चित्र 8.47

(3) **पाद का क्षेत्रफल—** $A = \frac{W_u}{p} = \frac{220}{10} = 22\ \text{m}^2$

वर्गाकार पाद की भुजा $= \sqrt{22} = 4{\cdot}69$ m say 4·70 m (चित्र 8.47)

(4) पाद की तली पर मृदा की शुद्ध दाब-तीव्रता—$p' = \frac{p}{A} = \frac{200 \times 1000}{4{\cdot}7 \times 4{\cdot}7}$

$= 9054\ \text{kg/m}^2$ अथवा $0{\cdot}091\ \text{N/mm}^2$

(5) **पाद की गहराई,** बंकन आघूर्ण और धँसन को दृष्टि में रखते हुये निर्धारित की जायेगी।

(a) **अधिकतम बंकन आघूर्ण के आधार पर पाद की गहराई—**

अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये क्रान्तिक काट, स्तम्भ की फलक पर लिया जायेगा।

$$M_u = \frac{p'(b-a)^2(a+2b)}{24} \quad \text{...(सू.)}$$

यहाँ p' = पाद पर कार्यरत शुद्ध दाब, 9054 kg/m^2

$b = 4{\cdot}70$ m, $a = 0{\cdot}50$ m

$$\therefore\ M_u = \frac{9054(4{\cdot}70-0{\cdot}50)^2(0{\cdot}50+2\times4{\cdot}70)}{24}$$

$$= \frac{9054\times17{\cdot}64\times9{\cdot}9}{24} = 65882 \text{ kg-m} = 65882\times10^4 \text{ N-mm.}$$

M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 इस्पात के लिये—

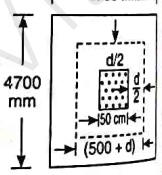
$M_u = R_u \times b \times d^2$, यहाँ R_u सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (सारणी 3.6 से) = 2·07

$$M_u = 2{\cdot}07\times4700\times d^2$$

$$\therefore\quad d = \sqrt{\frac{65882\times10000}{2{\cdot}07\times4700}} = \mathbf{260\ mm}$$

(b) **धँसन के आधार पर पाद की गहरायी—**

धँसन बल ज्ञात करने के लिये, क्रान्तिक-काट स्तम्भ की फलकों से $\frac{d}{2}$ की दूरी पर लिया जाता है (चित्र 8.48)



चित्र 8.48

अपरूपण बल—

$$V_u = p'[(4700)^2 - (500+d)^2]$$

$$= 0{\cdot}091\,[2209\times10^4 - 250000 - d^2 - 1000d]$$

$$= -0{\cdot}091d^2 - 91d + 1987440 = 0 \quad \text{...(i)}$$

क्रान्तिक-काट पर अनुमत कर्तन बल—

अधिकतम अनुमत कर्तन प्रतिबल $= 0{\cdot}25\sqrt{f_{ck}}$

$$= 0{\cdot}25\sqrt{15} = 0{\cdot}97 \text{ N/mm}^2$$

क्रान्तिक-काट पर घेरा $= 4(500+d)$

अत: क्रान्तिक-काट पर रोधित कर्तन बल $= 0{\cdot}97\times4(500+d)\times d$

$$= 3{\cdot}88\,d^2 + 1940d \quad \text{...(ii)}$$

(i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$-0{\cdot}091\,d^2 - 91d + 1987440 = 3{\cdot}88d^2 + 1940\,d$$

$$d^2 + 512\,d - 500615 = 0 \quad \text{—यह एक द्विघातीय समीकरण है,}$$

हल करने पर, $d = 497$ mm, चूँकि धँसन पर विचार करने पर, पाद की गहरायी अधिक आती है (497 mm), अत: पाद की प्रभावी गहरायी 500 mm तथा 50 mm का कंक्रीट-आवरण रखते हुये, कुल गहरायी = 500 + 50 = 550 mm

पाद के किनारे (Edge) पर गहरायी 250 mm रखने पर, पाद को ढालू (Tapered) रखा जायेगा।

(6) **प्रबलन इस्पात—** $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d\left[1 - \frac{A_{st} f_y}{b\times d\, f_{ck}}\right]$ ...(सू.)

ज्ञात मान रखने पर—

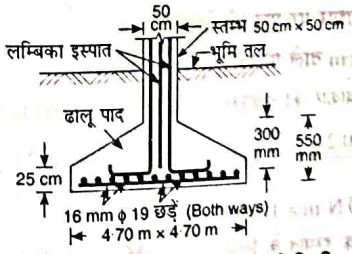
$$658820000 = 0{\cdot}87\times415\,A_{st}\,500\left[1 - \frac{A_{st}\,415}{4700\times500\times15}\right]$$

$$658820000 = 180525\,A_{st} - 1{\cdot}81\,A_{st}^2$$

$$A_{st}^2 - 99738\,A_{st} + 363988950 = 0$$

हल करने पर, $A_{st} = 3794$ mm^2, 16 mmϕ की टोर छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या $\frac{3794}{201} = 19$ छड़ें। ये छड़ें 4700 mm के पाट पर डाली जायेंगी। अत: छड़ों का अन्तराल $= \frac{4700}{(19-1)} = 261$ mm। यह दूरी 300 mm से कम है, अत: स्वीकार्य है।

यह छड़ें पाद में, इसकी दोनों दिशाओं में जाल की भांति डाली जायेंगी। प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 8.49 में दर्शायी गयी है।



चित्र 8.49—पाद में प्रबलन इस्पात की स्थिति

(III) आयताकार पाद (RECTANGULAR FOOTING)

उदाहरण 8.20 : निम्नलिखित आँकड़ों के आधार पर एक आयताकार स्तम्भ-पाद का अभिकल्प कीजिये— (i) स्तम्भ 200 mm × 300 mm
(ii) स्तम्भ पर पड़ने वाला अक्षीय भार = 40 टन
(iii) मृदा की भार धारण क्षमता = 15 टन/मी०^2
पाद की छोटी भुजा 1·50 मी० से अधिक नहीं होनी चाहिये। पाद के लिये Fe 415 ग्रेड का इस्पात और M-15 ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग करें।

हल : (1) भार—भार-गुणक 1·5 लेने पर, स्तम्भ पर अध्यारोपित (Factored) भार,

$$P_u = 1{\cdot}5 \times 40 = 60 \text{ टन}$$

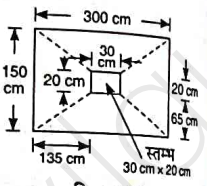
पाद का स्वयं का भार (स्तम्भ भार का 10% लेते हुये), $w = 6$ टन

कुल भार, $W_u = 66$ टन

मृदा की भार धारण क्षमता, $p = 15$ टन/मी०^2

(2) पाद का क्षेत्रफल—$A = \dfrac{W_u}{p} = \dfrac{66}{15} = 4{\cdot}40 \text{ m}^2$

चूँकि आयताकार पाद की छोटी भुजा 1·5 मी० सीमित कर दी गयी है, अत: पाद की दूसरी भुजा $= \dfrac{4{\cdot}40}{1{\cdot}5} = 2{\cdot}94$ m say 3 m



चित्र 8.50

∴ पाद का माप = 1·50 m × 3 m

(3) पाद पर नीचे से कार्यरत मृदा का शुद्ध दाब (Net Upward Pressure)—

$$p' = \frac{P}{A} = \frac{60 \times 10000}{1{\cdot}5 \times 3} = 133340 \text{ N/m}^2 = 0{\cdot}133 \text{ N/mm}^2$$

(4) पाद की गहराई— यह बंकन आघूर्ण, कर्तन और धँसन (द्वि-दिशा कर्तन) को दृष्टि में रखते हुये निर्धारित की जायेगी।

(a) बंकन आघूर्ण के आधार पर पाद की गहराई—

(i) स्तम्भ के 20 cm वाले फलक पर बंकन आघूर्ण—

M_1 = [समलम्बाकार का क्षेत्रफल × दाब तीव्रता] × फलक से गुरुत्व केन्द्र की दूरी

$$= \left[\frac{1{\cdot}5 + 0{\cdot}2}{2} \times 1{\cdot}35 \times 133340\right] \times \left[\frac{0{\cdot}2 + 2 \times 1{\cdot}5}{0{\cdot}2 + 1{\cdot}5}\right] \times \left[\frac{1{\cdot}35}{3}\right]$$

$= 129610 \text{ N-m} = 12961 \times 10^4 \text{ N-mm}$

Fe 415 ग्रेड के इस्पात के लिये, $M_u = 0{\cdot}138\, b\, d^2 f_{ck}$ (सारणी 3·5 से)

$M_1 = M_u$ को तुल्य रखने पर—

$$129610000 = 0{\cdot}138 \times 1500 \times 15 \times d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{129610000}{0{\cdot}138 \times 1500 \times 15}}$$

∴ $d = 204{\cdot}3$ say **205 mm**

(ii) स्तम्भ के 30 cm वाले फलक पर बंकन आघूर्ण—

$$M_2 = \left[\frac{3 + 0{\cdot}3}{2} \times 0{\cdot}65 \times 133340\right] \times \left[\frac{0{\cdot}3 + (2 \times 3)}{0{\cdot}3 + 3}\right] \times \left[\frac{0{\cdot}65}{3}\right]$$

$= 59153$ N.m say 5916×10^4 N.mm

पाद की गहरायी, $d = \sqrt{\dfrac{59160000}{0{\cdot}138 \times 3000 \times 15}}$

∴ $d =$ **98 mm**

(b) एकल-दिशा कर्तन के आधार पर पाद की गहरायी—

क्रान्तिक-काट स्तम्भ की फलक से 'd' की दूरी पर लिया जाता है।

(i) पाद की लम्बी दिशा में कर्तन बल—

$$V_{u_1} = p' \times 3000\,(650 - d)$$
$$= 0{\cdot}133\,[1950000 - 3000\,d]$$
$$= 259350 - 399\,d$$

(ii) पाद की छोटी दिशा में कर्तन बल—

$$V_{u_2} = p' \times 1500\,(1350 - d)$$
$$= 0{\cdot}133 \times 1500 \times 1350 - 0{\cdot}133 \times 1500 \times d$$
$$= 269325 - 199{\cdot}5\,d \quad \text{...(i)}$$

पाद की छोटी दिशा में कर्तन बल अधिक लग रहा है, अत: इसी पर विचार किया जायेगा। पाद में 0·50% प्रबलन मानते हुये, $\tau_c = 0{\cdot}46$ N/mm^2 (सारणी 4.1)

पाद द्वारा वहन कर्तन बल $= \tau_c \times 1500 \times d$

$$= 0{\cdot}46 \times 1500 \times d$$
$$= 690\,d \quad \text{...(iii)}$$

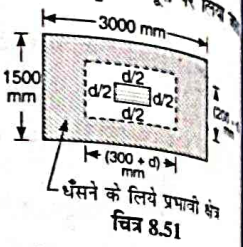
(i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$269325 - 199{\cdot}5d = 690\,d$$

∴ $d =$ **303 mm**

(c) द्वि-दिशा कर्तन (अथवा धँसन) के आधार पर पाद की गहरायी—

धँसन बल ज्ञात करने के लिये, क्रान्तिक-काट स्तम्भ को फलकों से $\frac{d}{2}$ की दूरी पर लिये हुये है। क्रान्तिक-काट पर कर्तन-बल, चित्र 8.51 में छायांकित क्षेत्र पर लिया जाता है।



चित्र 8.51

$$V_u = p'[(3000 \times 1500) - (300 + d \times 200 + d)]$$
$$= p'[45 \times 10^5 - (d^2 + 500\,d + 60000)]$$
$$= 0{\cdot}133\,[4440000 - d^2 - 500\,d]$$
$$= 0{\cdot}133\,d^2 + 66{\cdot}5d - 590520 \quad ...(iii)$$

क्रान्तिक-काट पर धँसन (कर्तन) बल (Punching Force)—

अधिकतम अनुमत धँसन (कर्तन) प्रतिबल, $\tau_c = 0{\cdot}25\sqrt{f_{ck}}$

$$= 0{\cdot}25\sqrt{15} = 0{\cdot}97\ \text{N/mm}^2$$

क्रान्तिक-काट का घेरा (Perimeter) $= 2[(300 + d) + (200 + d)]$

अतः रोधित कर्तन बल, $V = \tau_v \times b_0 \times d$

जहाँ $b_0 = 2(200 + d + 300 + d)$

$\therefore$ $V = 0{\cdot}97 \times 2\,(200 + d + 300 + d) \times d$

$= 3{\cdot}88\,d^2 + 970\,d$ ...(iv)

(iii) व (iv) को तुल्य रखते हुये—

$$0{\cdot}133d^2 + 66{\cdot}5\,d - 590520 = 3{\cdot}88\,d^2 + 970\,d$$
$$3{\cdot}75\,d^2 + 903{\cdot}5\,d + 590520 = 0$$
$$d^2 + 241\,d + 157472 = 0$$
$$d = \frac{-241 \pm \sqrt{(241)^2 - (4 \times 157274)}}{2}$$

$\therefore$ $d = \frac{-241 \pm 756}{2} = 258$ mm

उपरोक्त (a), (b) व (c) में पाद की अधिकतम गहरायी, एकल-दिशा कर्तन के आधार पर 303 mm आती है अर्थात् प्रभावी $d = 310$ mm और 40 mm का आवरण रखने पर, कुल गहरायी, $D = 310 + 40 = 350$ mm।

पाद-स्लैब के किनारे (Edge) पर यह मोटाई 250 mm रखी जायेगी।

(5) प्रबलन इस्पात—

(i) 20 cm फलक के लिये इस्पात का क्षेत्रफल—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{A_{st} \times f_y}{b \times d \times f_{ck}}\right] \quad ...(सूत्र)$$

$$129610000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} \times 310 \left[1 - \frac{415 A_{st}}{1500 \times 310 \times 15}\right]$$

$$A_{st}^2 - 16705\,A_{st} + 19344776 = 0$$

$$A_{st} = \frac{16705 \pm \sqrt{(-16705)^2 - (4 \times 19344776)}}{2}$$

$$= \frac{16705 \pm 14201}{2} = 1252\ \text{mm}^2 \quad ...(A_{st_1})$$

12 mm व्यास की छड़ें डालने पर, संख्या $= \frac{1252}{113} = 11$ छड़ें

ये छड़ें पाद-स्लैब की लम्बाई के समान्तर डाली जायेगी।

(ii) 30 cm फलक के लिये इस्पात का क्षेत्रफल—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{A_{st} \times f_y}{b \times d \times f_{ck}}\right] \quad ...(सूत्र)$$

(चूँकि छड़ों की यह पंक्ति ऊपर ज्ञात छड़ों के ऊपर रखी, जायेंगी, अतः इनके लिये प्रभावी गहरायी, d_1 छड़ का एक व्यास-अर्थात् 10 mm – घटा कर ली जायेगी)

ज्ञात मान रखने पर—

$$59160000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} \times 300 \left[1 - \frac{415 A_{st}}{3000 \times 300 \times 15}\right]$$

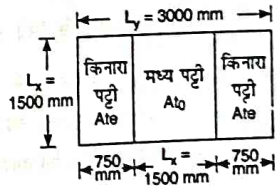
$$A_{st}^2 - 32527\,A_{st} + 17765766 = 0$$

यह एक द्विघातीय समीकरण है, हल करने पर, $A_{st} = 556\ \text{mm}^2$ $\quad ...(A_{st_2})$

8 mm व्यास की छड़ें डालने पर, संख्या $= \frac{556}{50} = 12$ छड़ें

$$\text{छड़ों का अन्तराल} = \frac{3000}{12 - 1} = 272\ \text{mm}$$

यह अन्तराल (Spacing) 300 mm से अधिक नहीं है। अतः 8 mm व्यास की छड़ें पाद-स्लैब की चौड़ाई के समान्तर, चित्र 8.52 में दर्शायी गयी पट्टियों के लिये वर्णित व्यवस्था के अनुरूप डाली जायेगी।



चित्र 8.52

ऊपर अभिकल्पित प्रबलन इस्पात चित्र 8.52 में दिखायी गयी पट्टियों में निम्न प्रकार से डाला जायेगा—

(a) **मध्य पट्टी में इस्पात—** $A_{t_0} = \dfrac{2A_{st_2}}{1+\dfrac{L_y}{L_x}} = \dfrac{2\times 556}{\left[1+\dfrac{3000}{1500}\right]} = 371 \text{ mm}^2$

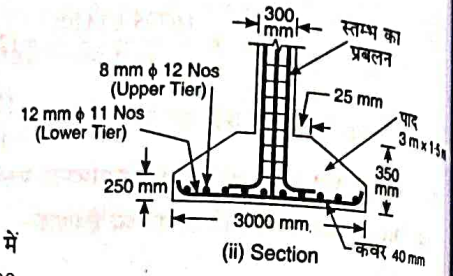
8 mm व्यास की छड़ों की संख्या $= \dfrac{371}{50} = 7{\cdot}4$ say 7 छड़ें

(b) **किनारा पट्टियों में इस्पात—**

$$A_{te} = \frac{A_{st_2} - A_{st_0}}{2}$$

$$= \frac{556-371}{2}$$

$$= 92{\cdot}5 \text{ mm}^2$$



चित्र 8.53

I.S. कोड के अनुसार स्लैब में मुख्य छड़ों का अन्तराल 300 mm से अधिक नहीं होगा। अत: $\dfrac{3000}{300} = 10$ छड़ें अवश्य डाली जायें। अत: मध्य पट्टी में 8 और किनारा पट्टी में दो-दो छड़ें 8 mm ϕ की डालने पर कोड की शर्त पूरी हो जाती है।

प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 8.53 में दिखायी गयी है।

(6) **विकास लम्बाई** (Development Length) **में जाँच—**

$$L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4\tau_{bd}} = \frac{0{\cdot}87\times 415\times 8}{4\times 1{\cdot}6}, \quad (\tau_{bd} \text{ का मान सारणी 4.4 से})$$

$$= 452 \text{ mm}$$

छोटी दिशा में छड़ों के लिये उपलब्ध लम्बाई $= \dfrac{1500-200}{2} = 650$ mm

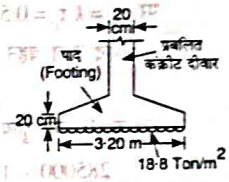
यह 452 mm से अधिक है, अत: ठीक है, फिर भी सुरक्षा की दृष्टि से छड़ों को, इनके सिरों पर 90° का बैंड (Bend) देकर ऊपर को मोड़ दें, जिसका स्थिरण-मान (Anchorage Value) 8ϕ अर्थात् $8\times 8 = 64$ mm होगा।

(C) दीवार नींव (WALL FOUNDATION)

दीवार के नीचे डाली गयी नींव, पट्टी-नींव (Strip Footing) के अन्तर्गत आती है। दीवार की कुर्सी के बाहर (दोनों तरफ) निकली पट्टी को प्रास (Cantilever) की भाँति माना जाता है। ईंट की दीवार के लिये बंकन आघूर्ण की गणना के लिये क्रान्तिक-काट, दीवार की मध्य रेखा से $\frac{b}{4}$ की दूरी पर लिया जाता है। यहाँ b = दीवार की चौड़ाई है। **चिनाई की दीवार** में अधिकतम बंकन आघूर्ण, दीवार की फलक और दीवार की केन्द्र-रेखा, दोनों के मध्य भाग (Section midway between the edge of the wall and the centre of the wall) में, जबकि **कंक्रीट की दीवार** में, अधिकतम बंकन आघूर्ण इसकी फलक पर उपजती है।

दीवार की पाद में तनन प्रबलन, दीवार की चौड़ाई के समान्तर डाला जाता है और वितरण इस्पात दीवार की लम्बाई की दिशा में दिया जाता है। वितरण प्रबलन इस्पात का प्रतिशत, खण्ड का 0·12% (टोर छड़ों के लिये) लिया जाता है। कर्तन (Shear Force) की जाँच एकल-दिशा कर्तन (One Way Shear) की जाती है और क्रान्तिक-काट दीवार की फलक से 'd' दूरी पर लिया जाता है (यहाँ d पाद की प्रभावी गहरायी है)।

उदाहरण 8.21 : एक प्रबलित सीमेंट कंक्रीट की दीवार की पाद-नींव (Footing) सम्मुख चित्र (8.54) में दिखायी गयी है। पाद पर अवमृदा का 18·8 टन/मी^{2} का उत्थापक दाब ऊपर को लग रहा है। दीवार-पाद का अभिकल्पन करें। कर्तन के लिये भी जाँच करें। पाद के लिये अभिकल्पित प्रबलन इस्पात का विवरण चित्र द्वारा दर्शायें। M-15 की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात मान लें। [B.T.E.]



चित्र 8.54

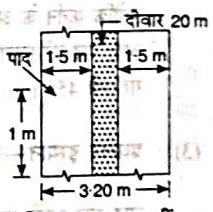
हल : (1) प्रश्नानुसार—

दीवार की पाद की चौड़ाई = 3·20 m

पाद पर अव:मृदा का उत्थापक दाब = 18·8 t/m^2

(2) **पाद की गहराई—**

अभिकल्पन के लिये पाद की अनुलम्ब दिशा में एक मी० लम्बाई लेते हैं। पाद की गहराई बंकन आघूर्ण और कर्तन के आधार पर निर्धारित की जायेगी।



चित्र 8.55—पाद नींव (प्लान) (Plan)

(a) **अधिकतम बंकन आघूर्ण के आधार पर पाद की गहराई—**

अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये क्रान्तिक काट, कंक्रीट-दीवार की फलक पर लिया जायेगा।

$$M_u = (1{\cdot}5\times 1\times 18{\cdot}8)\times\frac{1{\cdot}50}{2} = 21{\cdot}15 \text{ t-m} = 21{\cdot}15\times 10^7 \text{ N-mm}$$

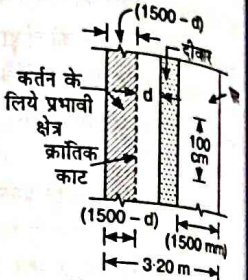
प्रश्न में दिये गये प्रतिबलों के लिये— $M_u = 0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck}$ —(सारणी 3.5 से)

अत: पाद की गहराई, $d = \sqrt{\dfrac{M_u}{0{\cdot}138 b f_{ck}}}$, $d = \sqrt{\dfrac{21{\cdot}15 \times 10^7}{0{\cdot}138 \times 1000 \times 15}}$

$\therefore \quad d = 320$ mm

(b) कर्तन के आधार पर पाद की गहराई—

कर्तन बल ज्ञात करने के लिये, क्रान्तिक काट कंक्रीट-दीवार की फलक से d दूरी पर लिया जाता है। दीवार-पाद में नमन एक ही दिशा में होता है।



चित्र 8.56—Plan

$\therefore$ कर्तन बल = रेखाच्छादित क्षेत्रफल × दाब तीव्रता

$V_u = (1500 - d) \times 1000 \times 0{\cdot}19$

(यहाँ पर दाब-तीव्रता $18{\cdot}8$ t/m^2 अथवा $0{\cdot}19$ N/mm^2)

$\therefore \quad V_u = 285000 - 190d$ ...(i)

खण्ड को सन्तुलित मानते हुये अर्थात् 0·72% प्रबलन इस्पात लेते हुये सारणी 4.1 से खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य = $0{\cdot}53$ N/mm^2 (इस पर k लगाने पर, ठोस स्लैब के लिये, $k = 1$ रखने पर, $\tau_c = k\tau_c = 0{\cdot}53$ N/mm^2

पाद द्वारा वहन कर्तन बल, $V_u = \tau_c \times b \times d$

$= 0{\cdot}53 \times 1000 \times d$ ...(ii)

(i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$285000 - 190d = 0{\cdot}53 \times 1000 \times d$

$720\, d = 285000$

$\therefore \quad d = 396$ mm say $d = 400$ mm

क्योंकि कर्तन के आधार पर पाद की गहरायी अधिक आती है, अत: यही मान अपनाया जायेगा। अत: पाद की गहरायी, $d = 400$ mm और इसमें 50 mm का कंक्रीट-आवरण जोड़ते हुये, कुल गहरायी 450 mm रखते हैं।

(3) प्रबलन इस्पात—तनन इस्पात का क्षेत्रफल—$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d \left[1 - \dfrac{A_{st} f_y}{b \times d \times f_{ck}}\right]$

ज्ञात मान रखने पर—

$21{\cdot}15 \times 10000000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times 400\, A_{st} \left[1 - \dfrac{415 A_{st}}{15 \times 1000 \times 400}\right]$

$0{\cdot}00007 A_{st}^2 - A_{st} + 1465 = 0$ —यह एक द्विघातीय समीकरण है।

$A_{st}^2 - 14458 + 21173060 = 0$

$$= \frac{-(-14458) \pm \sqrt{(-14458)^2 - 4 \times 21173060}}{2}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{14458 \pm 11151}{2} = 1654 \text{ mm}^2$$

16 mm व्यास की छड़ें डालने पर, छड़ों की संख्या = $\dfrac{1654}{201} = 8{\cdot}2$ छड़ें।

छड़ों का अन्तराल, पार्श्व में कंक्रीट-आवरण 50 mm लेने पर, 300 mm से अधिक नहीं होगा।

अत: $\dfrac{3200 - (2 \times 50)}{300} = 11$ अन्तराल (Spacings)। अत: 16 mm व्यास की न्यूनतम 12 छड़ें डाली जायेगी और छड़ों का अन्तराल 290 mm c/c होगा।

पाद में इस्पात का प्रतिशत, $p_t = \dfrac{100\, A_{st}}{b \times d} = \dfrac{100 \times 201 \times 12}{1000 \times 320} = 0{\cdot}75\%$

यह मान ऊपर माने गये इस्पात के प्रतिशत् 0·72% से अधिक है। अत: सही है।

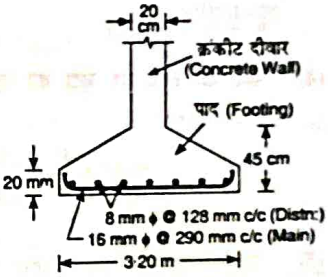
(4) वितरण इस्पात—इसकी मात्रा खण्ड के क्षेत्रफल का 0·12% ली जायेगी। वितरण इस्पात दीवार की लम्बाई के समान्तर डाला जायेगा।

$$A_{sd} = \frac{0{\cdot}12}{100}\left[\frac{450 + 200}{2} \times 1000\right]$$

$= 390$ mm^2

8 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल $= \dfrac{50 \times 1000}{390} = 128$ mm c/c

अत: 8 mm व्यास की छड़ें 128 mm c/c पर डाली जायेंगी।



चित्र 8.57—दीवार की पाद (Wall Footing)

उदाहरण 8.22 : एक 30 cm मोटी ईंट-चिनाई की दीवार पर इसके स्वयं के भार सहित 10 टन प्रति मी० लम्बाई की दर से भार आ रहा है। इसके लिये Fe 415 ग्रेड का इस्पात तथा M-20 श्रेणी की कंक्रीट की नींव-पट्टिया का अभिकल्पन कीजिये। मृदा की भार वहन क्षमता 15000 kg/m^2 तथा विश्राम कोण 30° है। मृदा का इकाई भार 1600 kg/m^3 है।

हल : (1) रैन्किन सूत्र के अनुसार नींव, की गहराई—

$$D = \frac{p}{\gamma}\left[\frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}\right]^2$$

यहाँ p = प्रति मी० लम्बाई पर भार

γ = मृदा की भार-वहन क्षमता

भार-गुणक 1·5 लेने पर, दीवार पर प्रति मी० लम्बाई पर फैक्टर भार—

$$= 1{\cdot}5 \times 10 = 15 \text{ टन}$$

$$\therefore \quad D = \frac{15000}{1600}\left[\frac{1-\sin 30°}{1+\sin 30°}\right]^2 = \frac{15000}{1600}\left[\frac{1-0{\cdot}5}{1+0{\cdot}5}\right]^2$$

$$= \frac{150}{16} \times \frac{1}{9} = 1{\cdot}04 \text{ m say } 1{\cdot}05 \text{ m}$$

(2) **भार**—दीवार की प्रति मी० लम्बाई के लिये—

दीवार द्वारा संचारित भार (भार गुणक 1·5 लेते हुये), $P = 15$ t

पाद का स्वयं का भार, संचारित भार का 10% मानते हुये, $w = 1{\cdot}5$ t

कुल भार, $W_u = 16{\cdot}5$ t

(3) **पाद का क्षेत्रफल**—$A = \frac{W_u}{\gamma} = \frac{16{\cdot}5 \times 1000}{15000} = 1{\cdot}10 \text{ m}^2$

चूँकि अधिकल्पन के लिये दीवार की लम्बाई एक मी० ली जाती है, अत: दीवार की चौड़ाई

$= \frac{1{\cdot}10}{1} = 1{\cdot}10$ m

(4) **पाद की तली पर मृदा का शुद्ध उत्थापित दाब** (Net Upward Pressure)—

$$p' = \frac{P}{A} = \frac{150000}{1{\cdot}10 \times 1} = 136370 \text{ N/m}^2$$

$$= 0{\cdot}136370 \text{ N/mm}^2$$



चित्र 8.58

(5) **पाद की गहराई**—पाद की गहराई बंकन आघूर्ण तथा कर्तन के आधार पर निर्धारित की जायेगी। सरलता की दृष्टि से हम पाद की ऊपरी सतह समतल रखते हैं।

(a) **अधिकतम बंकन आघूर्ण के आधार पर पाद की गहरायी**—बंकन आघूर्ण के लिये क्रान्तिक काट दीवार के केन्द्र तथा फलक के मध्य लिया जायेगा, अर्थात् यह दीवार की फलक से $\frac{1}{4}$ पर होगा। यहाँ t दीवार की मोटाई है। अत:—

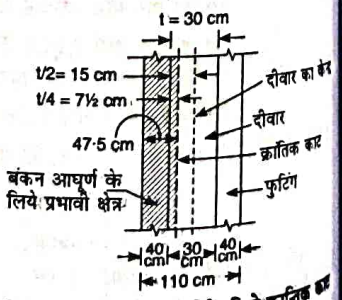
$$M_u = (1 \times 0{\cdot}475) \times 136370 \times \frac{0{\cdot}475}{2}$$

$$= 15384{\cdot}3 \text{ N.m}$$

$$= 15384300 \text{ N-mm}$$

Fe 415 ग्रेड के इस्पात व M-20 ग्रेड की कंक्रीट के लिये प्रतिरोध आघूर्ण—

$$M_u = 0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck}$$



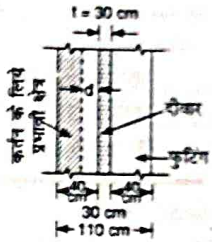
चित्र 8.59—बंकन आघूर्ण के लिये क्रान्तिक काट

बंकन आघूर्ण को प्रतिरोध आघूर्ण के तुल्य रखने पर—

$$0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck} = 15384300$$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{15384300}{0{\cdot}138 \times 1000 \times 20}} = 75 \text{ mm}$$

(b) **एकल-दिशा कर्तन के आधार पर पाद की गहराई**—कर्तन बल ज्ञात करने के लिये, क्रान्तिक काट चिनाई-दीवार के लिये, इसकी फलक से d दूरी पर लिया जाता है। (चित्र 8.60)



चित्र 8.60—कर्तन के लिये क्रान्तिक काट

दीवार की पाद में बंकन एक ही दिशा में होगा।

कर्तन बल = रेखाच्छादित क्षेत्रफल × दाब तीव्रता

(i) $V_u = 1{\cdot}0 \times (0{\cdot}40 - d) \times 136370$

$= 54548 - 136370d$ ...(i)

खण्ड में 0·50% इस्पात लेते हुये, सारणी 4.1 व 4.2 से खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य—

$$= \tau_c \times k = 0{\cdot}48 \times 1{\cdot}10 = 0{\cdot}53 \text{ N/mm}^2$$

$\therefore$ (ii) $V = \tau_c \times b \times d$

$36140 = 0{\cdot}31 \times 1000 \times d = 0{\cdot}53 \times 1000 \times d$ ...(ii)

(i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$54548 - 136370d = 0{\cdot}53 \times 1000 \times d$

$\therefore \quad d = 0{\cdot}40 \text{ m} = 400 \text{ mm}$

क्योंकि कर्तन के आधार पर पाद की गहराई अधिक आती है, अत: यही मान अपनाया जायेगा।

$\therefore$ पाद की प्रभावी गहराई = 400 mm

50 mm का प्रभावी आवरण लेते हुये, कुल गहराई = 400 + 50 = 450 mm

(6) **प्रबलन इस्पात**—तनन इस्पात के क्षेत्रफल के लिये—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{f_y A_{st}}{f_{ck} \times b \times d}\right] \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$15384300 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} \times 75 \left[1 - \frac{415 \times A_{st}}{20 \times 1000 \times 75}\right]$$

हल करने पर, $A_{st} = 653 \text{ mm}^2$

12 mm ϕ की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल $= \frac{113 \times 1000}{653} = 173$ mm c/c

say 170 mm c/c

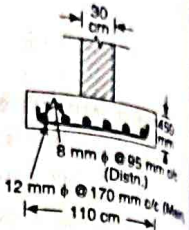
(7) **वितरण इस्पात**—
इस की मात्रा खण्ड के क्षेत्रफल का 0·12% (टोर छड़ों के लिये) लेते हुये—

$$= \frac{0.12}{100} \times (1000 \times 450) = 540 \text{ mm}^2$$

8 mm व्यास की छड़ों का अन्तराल—

$$= \frac{50 \times 1000}{540} = 93 \text{ mm c/c}$$

अत: 8 mm व्यास की छड़े 95 mm c/c पर डाली जायेंगी। छड़ों का उपरोक्त अन्तराल 300 mm से कम है, अत: कोड के अनुरूप है।



चित्र 8.61

प्रश्नावली–8

(I) स्तम्भ (COLUMNS)—

1. निम्नलिखित स्तम्भों मे प्रत्येक मे कम से कम कितनी अनुदैर्ध्य (खड़ी) प्रबलन छड़े प्रयोग करेंगे?
   (i) चौकोर स्तम्भ, (ii) गोल स्तम्भ, (iii) षटभुज स्तम्भ, (iv) अष्टभुज स्तम्भ। [*B.T.E.*]
2. I.S. Code के अनुसार प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ मे अनुदैर्ध्य प्रबलन की न्यूनतम तथा अधिकतम मात्रा कितनी ली जाती है, लिखिये। [*B.T.E.*]
3. प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ मे, लाम्बिका छड़ों पर कितना न्यूनतम आवरण दिया जाता है, लिखिये।
4. (i) आर० सी० सी० के दीर्घ (Long) और लघु (Short) स्तम्भों में आप किस प्रकार भिन्नता ज्ञात करेंगे? [*B.T.E.*]
   (ii) आर० सी० सी० स्तम्भो में पार्श्व प्रबलन (Ties) क्यों दिया जाता है, लिखिये।
5. (i) पार्श्व स्वतन्त्र टाई के लिये छड़ का व्यास कैसे निर्धारित किया जाता है, स्पष्ट वर्णन करो।
   (ii) सर्पिल प्रबलन के लिये न्यूनतम तथा अधिकतम अन्तराल (Pitch) कैसे ज्ञात किया जाता है, बताइये।
6. एक लघु वर्गाकार आर० सी० स्तम्भ, जिसका माप 400 mm × 400 mm है, में 20 mm की 4 छड़ें छड़ो डाली गयी है। स्तम्भ द्वारा वहन किये जाने वाला अधिकतम भार ज्ञात कीजिये। M-20 की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात मान लें। न्यूनतम उत्केन्द्रता $e_{min.} < 0{\cdot}05D$ मान लें।
7. 140 टन (14×10^4 न्यूटन) का अक्षीय भार वहन करने वाले एक लघु वर्गाकार प्रबलित स्तम्भ का अभिकल्पन करें। M-20 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग करें। इस्पात में प्रतिबल 415 N/mm² मान लें। [*B.T.E.*]
8. एक वर्गाकार प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ की फल्क 400 mm है। इसमें 25 mm ϕ की 4 छड़े मुख्य प्रबलन के रूप मे डाली गयी है। स्तम्भ की चरम भार वहन क्षमता ज्ञात करें। $f_{ck} = 20$ N/mm² और Fe 415 मान ले। $e_{min.} < 0{\cdot}05D$ मान लें। [*B.T.E.*]
   (**उत्तर** : 180 टन)

9. सम्मुख चित्र (8.62) में दिखाये गये वृत्ताकार लघु स्तम्भ की भार धारण क्षमता ज्ञात कीजिये। स्तम्भ में 22 mm ϕ की 6 छड़ें लाम्बिक प्रबलन के रूप में डाली गयी हैं। सर्पिल प्रबलन 6 mm व्यास का प्रयोग किया गया है, जिसका पिच 60 mm है। [*B.T.E.*]



चित्र 8.62

10. एक प्रबलित कंक्रीट लघु स्तम्भ का माप 400 mm × 500 mm है। इस पर 400 टन फैक्टर भार पड़ रहा है। न्यूनतम उत्केन्द्रता $e_{min} < 0{\cdot}05\ D$ मान कर M-25 व Fe 415 अपनाते हुये, स्तम्भ का अभिकल्पन करें।
   (**संकेत**—$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$)
   (**उत्तर** : लम्ब छड़े 25 mm ϕ 8 Nos. टाई 8 mm ϕ 300 mm c/c)
11. 80 टन अक्षीय भार के लिये एक लघु प्रबलित कंक्रीट आयताकार स्तम्भ का अभिकल्पन करें, यदि इसमे अनुदैर्ध्य इस्पात की मात्रा 1% रखी गयी है। पार्श्व टाई का व्यास तथा अन्तराल भी ज्ञात करे। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का इस्पात मान लें।
12. एक लघु स्तम्भ का अभिकल्पन 150 टन अक्षीय भार के लिये करें, जबकि इसका परिच्छेद 400 mm × 600 mm हो। M-20 ग्रेड की सीमेन्ट कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का इस्पात प्रयोग करें। उत्केन्द्रता $e_{min.} < 0{\cdot}05D$ मान ले। [*B.T.E.*]
13. एक प्रबलित कंक्रीट वर्गाकार लघु स्तम्भ पर 2400 kN का फैक्टर भार आ रहा है। Fe 415 और M-20 की कंक्रीट प्रयोग करते हुये, स्तम्भ का अभिकल्पन करें।
   (**उत्तर:** परिच्छेद 500 mm × 500 mm, लाम्बिका छड़ें 20 mm ϕ, 8 No. टाई 6 mm ϕ 300 mm c/c)
14. एक लघु आर०सी०सी० गोलाकार स्तम्भ पर 150 टन का अक्षीय भार आ रहा है M-25 और Fe 415 का मैटीरियल मान कर, स्तम्भ का अभिकल्पन करें। [*B.T.E.D.*]
   (**उत्तर:** D = 480 mm, 16 mm ϕ छड़ें 10 Nos.)
15. वर्गाकार परिच्छेद वाले एक लघु आर० सी० सी० स्तम्भ का डिजाइन कीजिये, यदि इसमें एक प्रतिलत ऊर्ध्वाधर प्रबलन इस्पात प्रयोग किया जाना है और इसने 400 टन का चरम भार सम्भालना है। स्तम्भ के लिये पार्श्व प्रबलन का भी डिजाइन कीजिये। M-20 और Fe 415 मैटीरियल मान लें।[*B.T.E.*]
16. एक गोलाकार लघु स्तम्भ का व्यास 450 mm है। इसमें 16 mm व्यास की 8 छड़े डाली गयी है, जिन पर 40 mm का शुद्ध आवरण दिया गया है। M-20 की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात प्रयोग करते हुये, स्तम्भ की चरम भार क्षमता ज्ञात कीजिए। (**उत्तर:** 1707 kN)
17. 300 mm व्यास पर रचे गये एक षटभुजाकार लघु स्तम्भ में 16 mm व्यास की 6 छड़े मुख्य इस्पात के रूप में डाली गयी है, जिनको 8 mm व्यास की स्वतन्त्र टाई से 250 mm के पिच पर बाँधा गया है। यदि कंक्रीट तथा इस्पात में M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात डाला गया हो, तो स्तम्भ की सुरक्षित भार-धारण क्षमता ज्ञात कीजिये।
   (Hint : क्षेत्रफल = $0{\cdot}649\ D^2$, भुजा = $1{\cdot}0 \times R$, कोण = 120° यहाँ D = व्यास, R = त्रिज्या)
18. 4 मी० ऊँचे, पूर्णत: आबद्ध सिरो वाले एक प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ का अभिकल्पन कीजिये, यदि इस पर 160 टन का अक्षीय भार पड़ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेणी का इस्पात मान लें। [*B.T.E. HR*]
   (**उत्तर :** 500 mm × 500 mm, 20 mm ϕ 8, टाई 6 mm ϕ 300 mm c/c)

19. एक वर्गाकार लघु स्तम्भ की फलक 400 mm है। इसमें 20 mm ϕ की 4 छड़ें लाम्बिका प्रबलन के रूप मे डाली गयी है, जिनको उपयुक्त ऊँचाई पर अनुप्रस्थ टाई से बाँध दिया गया है। यदि कंक्रीट तथा इस्पात मे चरम प्रतिबल 20 N/mm² तथा 415 N/mm² हो, तो स्तम्भ की भार वहन क्षमता ज्ञात कीजिये।

20. 300 mm × 300 mm वर्गाकार स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 3 मी० है। इसमें 20 mm व्यास की 6 छड़े लाम्बिका प्रबलन के रूप मे डाली गयी है। यदि M = 20 N/mm² तथा Fe 415 हो, तो स्तम्भ की भार वहन क्षमता ज्ञात करे। यदि इस स्तम्भ की ऊँचाई 4·5 m तक बढ़ा दी जाये तो बताइये इसकी भार-वहन क्षमता पर क्या प्रभाव पड़ेगा। [B.T.E.D.]

21. षट्भुजाकार परिच्छेद वाले एक प्रबलित कंक्रीट लघु स्तम्भ के ऊपर 400 टन का भार आ रहा है। यदि इसमे सम्पीडन इस्पात की मात्रा 4% हो तो स्तम्भ की भुजा का माप ज्ञात कीजिये। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का प्रबलन इस्पात प्रयोग करें।

(**Hint :** क्षेत्रफल = 2·598 × S^2, यहाँ S = एक भुजा का माप है) (**उत्तर :** 350 mm)

22. एक 400 mm × 400 mm × 6 m ऊँचे आबद्ध प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ पर 93·80 टन का अक्षीय भार आ रहा है। स्तम्भ मे आवश्यक इस्पात का अभिकल्पन करें। स्तम्भ के लिये पार्श्व इस्पात (टाई) का भी अभिकल्पन करे। M-20 कंक्रीट और Fe 415 मैटीरियल का प्रयोग किया गया है। [B.T.E.]

23. (i) दीर्घ स्तम्भो की भार-वहन क्षमता कैसे प्रभावित होती है, लिखिये। [B.T.E.]
(ii) एक वर्गाकार प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ, जिसकी प्रभावी लम्बाई 6 मी० है, पर 200 टन का अक्षीय भार आ रहा है। स्तम्भ को दीर्घ मानकर अभिकल्पन करें। M-20 और Fe 415 के मैटीरियल लें।

(**Hint :** दीर्घ स्तम्भ— $\frac{l_{ef}}{D} \geq 12$)

24. एक वृत्ताकार प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ का व्यास 350 है। इसमें 22 mm ϕ की 6 छड़ें मुख्य इस्पात के रूप मे प्रयोग की गयी है। पार्श्व टाई का व्यास 8 mm तथा पिच 300 mm केन्द्र से केन्द्र है। यदि स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 8 मी० हो तो स्तम्भ की सुरक्षित भार-वहन क्षमता ज्ञात कीजिये।

25. 70 टन अक्षीय भार के लिये एक प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ का अभिकल्पन कीजिये, जिसका अनुप्रस्थ काट 300 mm × 300 mm तथा ऊँचाई 8 मी० है। स्तम्भ के दोनों सिरे अपनी स्थिति तथा दशा में आबद्ध है। कंक्रीट तथा इस्पात मे प्रतिबल 20 N/mm² तथा 415 N/mm² मान लें। चित्र खींचकर उसमे प्रबलित इस्पात की स्थिति स्पष्ट दर्शायें।

26. 500 mm व्यास वाले एक प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ, जिसकी प्रभावी लम्बाई 6·5 m है, की सुरक्षित भार-वहन क्षमता ज्ञात कीजिये। स्तम्भ में प्रयुक्त प्रबलन का विवरण निम्न है—
(i) मुख्य छड़े = 25 mm ϕ, 8Nos. (ii) सर्पिल छड़ें = 10 mm ϕ, पिच 50 mm
(iii) शुद्ध आवरण = 40 mm
कंक्रीट तथा इस्पात में चरम प्रतिबल क्रमशः 20 N/mm² तथा 415 N/mm² मान लें।

(II) स्तम्भ नींव (COLUMN FOUNDATIONS)—

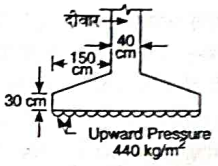
27. (i) एकांकी स्तम्भ मे नींव कितने प्रकार की हो सकती है, चित्र देकर वर्णन करें।
(ii) एक एकांकी वर्गाकार स्तम्भ-पाद की अभिकल्पन प्रक्रिया लिखें। [B.T.E.]
(iii) अधिकतम बंकन आघूर्ण (B.M.) एकल फलक व द्वि-फलक अपरुपण बल (Shear) ज्ञात करने के लिये, एक वर्गाकार पाद (Square Footing) के क्रान्तिक-काट की स्थिति, चित्र देकर स्पष्ट करे।

28. एक वर्गाकार स्तम्भ, जिसकी एक भुजा 400 mm है, के लिये उपयुक्त प्रबलित कंक्रीट पाद का अभिकल्पन करें। स्तम्भ पर 80 टन का अक्षीय भार आ रहा है। मृदा की धारण क्षमता 15 t/m² मान लें। M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात अपनायें। भार गुणंक 1·5 मान लें।

29. 400 mm भुजा वाले एक वर्गाकार स्तम्भ पर 900 kN (90 टन) का अक्षीय चरम भार (Ultimate Load) आ रहा है। स्तम्भ के लिये वर्गाकार नींव का अभिकल्पन करें। मृदा की सुरक्षित भार-धारण क्षमता 100 kN/mm² (10 टन/मी²) मान लें। कंक्रीट M-15 ग्रेड की है और इस्पात Fe 415 है। [B.T.E.]

30. एक 300 mm × 300 mm वर्गाकार स्तम्भ के लिये उपयुक्त पाद का अभिकल्पन कीजिये। स्तम्भ पर 60 टन का अक्षीय भार आ रहा है। मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता 12 t/m² मान लें। M-15 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग करें। इस्पात में चरम प्रतिबल 415 N/mm² लें। चित्र खींच कर प्रबलन इस्पात की स्थिति दर्शायें तथा स्तम्भ की छड़ों का संगम स्पष्ट दें। भार गुणंक 1·5 मान लें।

31. एक दीवार की नींव के नीचे मृदा का शुद्ध उत्थापित दाब-वितरण चित्र 8.63 में दिखाया गया है। दीवार के फलक पर नींव की गहराई ज्ञात कीजिये और आवश्यक प्रबलन का डिजाइन भी कीजिये। [B.T.E.]



चित्र 8.63

32. 400 mm × 600 mm माप वाले आयताकार स्तम्भ पर 120 टन का अक्षीय भार आ रहा है। मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता 10 t/m² है। पाद की भुजा जो स्तम्भ के 400 mm वाले फलक के समानान्तर है, की चौड़ाई 2 मी० सीमित है। पाद की गहराई तथा प्रबलन इस्पात की मात्रा ज्ञात कीजिये। Fe 415 ग्रेड का इस्पात तथा M-15 ग्रेड की कंक्रीट का प्रयोग करें। भार गुणंक 1·5 मान लें।

33. एक प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ का माप 250 mm × 400 mm है। इसके ऊपर 80 टन का अक्षीय चरम भार आ रहा है। स्तम्भ के लिये उपयुक्त आयताकार पाद अभिकल्पन कीजिये, जब कि पाद का फैलाव स्तम्भ की दोनों फलकों से समान है। मृदा की भार धारण क्षमता 16 टन/मी² मान लें। f_{ck} = 15 N/mm², f_y = 415 N/mm² अपनायें। प्रबलन इस्पात की स्थिति स्पष्ट चित्र खींच कर दर्शायें।

34. एक वर्गाकार प्रबलित स्तम्भ, जिसका माप 600 mm × 600 mm है, पर 2 × 10⁶ N का अक्षीय चरम भार आ रहा है। स्तम्भ के लिये भूमि तल से एक मीटर गहरी नींव डालनी है। मृदा की भार धारण क्षमता 22 t/m² मानते हुये, नींव स्लैब की आवश्यक गहराई तथा इस्पात की मात्रा ज्ञात कीजिये। [B.T.E.]

35. 40 cm मोटी ईंट-चिनाई की दीवार के लिये प्रबलित कंक्रीट पाद (Footings) का अभिकल्पन कीजिये, दीवार की प्रति मी० लम्बाई पर 20 टन का चरम भार आ रहा है। मृदा की सुरक्षित भार-धारण क्षमता 10 टन/m² मान लें। f_{ck} = 15 N/mm², f_y = 415 N/mm² अपनायें। [B.T.E.]

36. 75 टन का अक्षीय भार वहन करने वाले एक 300 mm व्यास के स्तम्भ के लिये पाद का अभिकल्पन करें। मृदा की भार धारण क्षमता 18 टन/m² मान लें। नींव के लिये M-15 श्रेणी की कंक्रीट का प्रयोग करें। इस्पात में चरम प्रतिबल 415 N/mm² अपनायें। भार गुणक 1·5 मान लें।

37. एक 100 टन का भार वहन करने वाले 500 mm × 500 mm वर्गाकार प्रबलित सीमेंट कंक्रीट स्तम्भ के लिये उपयुक्त प्रबलित कंक्रीट पाद (Footings) का अभिकल्पन करें। मृदा की धारण क्षमता 20 टन/मी² मान लें और M-15 श्रेणी की सीमेंट कंक्रीट और Fe 415 इस्पात का प्रयोग करें। भार गुणंक 1·5 मान लें। [B.T.E.]

38. एक गोलाकार स्तम्भ जिसका व्यास 400 mm है, पर 800 kN का चरम भार आ रहा है। स्तम्भ के लिये उपयुक्त पाद का अभिकल्पन करें। मृदा की सुरक्षित धारण क्षमता 100 kN/m² मान लें। M-15 श्रेणी की कंक्रीट और इस्पात में चरम प्रतिबल 415 N/mm² अपनायें। चित्र खींचकर प्रबलन इस्पात की स्थिति दर्शायें।

9 प्रबलित कंक्रीट सोपान (ज़ीना) (R.C.C. STAIRS)

§ 9.1. ज़ीना (Stairs) :

पग-गमन वालों के लिये, भवनो में एक तल से दूसरे तल पर जाने/उतरने/चढ़ने के लिये, ढालू कदमचे-दार सीढ़ीनुमा रचना खड़ी की जाती है, उसे जीना (सोपान) के नाम से जाना जाता है। जीना का एक ही विकल्प है, प्रवेणी (Ramp), परन्तु प्रवेणी बहुत अधिक स्थान घेरती है। अत: भवनों मे जीना ही उत्तम माना जाता है। जीना में मुख्यत: दो भाग होते हैं-कदमचे (Steps) तथा चौकी (Landing)। ज़ीना उपलब्ध स्थान (फर्श-क्षेत्रफल) को देखते हुये, अनेक प्रकार का हो सकता है, जैसे सीधा सोपान, समकोण-मोड़ सोपान, कुत्ता-टाँग सोपान, खुला-कूपक सोपान सर्पिल सोपान इत्यादि।

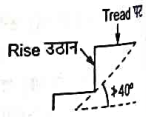
कदमचों (Steps), चौकी (Landing), हस्त-धरनी (Hand-rail) इत्यादि को व्यवस्थित ढंग से क्रमण में पंक्ति में लगाकर जीना बनाया जाता है। कदमचे या तो सीधे पार्श्व दीवारों पर आलम्बित रहते हैं अथवा इनके नीचे ढालू आबन्धक धरन (Stringer Beam) लगाये जाते हैं।

एक जीने के लिये, निम्न बातें ध्यान में रखी जाती है—

(a) **चौड़ाई**—आवासीय भवनों में जीने की चौड़ाई 75 cm तथा सार्वजनिक भवनों में 1·25 m से कम नहीं होनी चाहिये।

(b) **सोपान पंक्ति** (Flight)— एक सोपान पंक्ति में 12–16 कदमचों से अधिक नहीं होने चाहिये। दो पंक्तियों के मध्य एक पूरी अथवा आधी चौकी (Landing) देना आवश्यक है। जहाँ ज़ीना मोड़ (Turn) लेता है, वहाँ पर पूरी चौकी अथवा पतंगी (Kite) कदमचे दें।

(c) **उठान** (Rise) **तथा पट** (Tread or Going)—एक पंक्ति में सभी उठान अथवा पट के माप **समान** रहने चाहिये अन्यथा चढ़ते/उतरते झटके का अनुभव होता है। पट (T) तथा उठान (R) का अनुपात निम्न प्रकार रखा जा सकता है। ज़ीना की ढ़ाल 40° से अधिक नहीं होनी चाहिये।



$$T + 2R = 55 \text{ से } 65 \text{ cm}$$

$$T \times R = 375 \text{ से } 450 \text{ cm}^2$$

सामान्यत: पट तथा उठान के माप निम्न लिये जा सकते हैं—

भवन	पट (Tread)	उठान (Riser)
(i) आवासीय भवन	20 से 25 cm	15 से 20 cm
(ii) सार्वजनिक भवन	25 से 30 cm	12 से 15 cm

(d) **रेलिंग या आलम्बन** (Balustrade)—रेलिंग (बैलस्टरेड) की ऊँचाई 60 cm से 90 cm रखी जाती है। इसका भार, भीतरी जीने के लिये 35 kg/m और बाहर स्थित जीने के लिये 75 kg/m पंक्ति की लम्बाई के अनुसार लिया जा सकता है।

(e) **निर्बाध ऊँचाई** (Head Room)—यह 2 मी० से कम नहीं होनी चाहिये ताकि व्यक्ति बिना सर झुकाये जीने पर चढ़-उतर सके, विशेष तौर पर ऐसे क्षेत्रों में जहाँ लोग सिर पर पगड़ी रखते हैं।

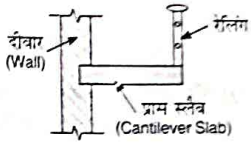
(2) जीने के प्रकार—

जीने के संरचनात्मक आधार पर दो मुख्य घटक होते हैं—

(i) त्रिभुजाकार कदमचे (ii) तिरछी स्लैब या वैस्ट स्लैब (Waist Slab)।

कदमचे तिरछी स्लैब पर आधारित होते हैं। स्लैब सिरों पर अगल-बगल की दीवार या धरनों पर टिकी रहती है अथवा पार्श्व किनारों पर इसके नीचे आबन्धक धरन (Stringer Beams) दिये जाते हैं। अत: आलम्बन की दृष्टि से सीढ़ियाँ निम्न तीन प्रकार से जानी जाती हैं—

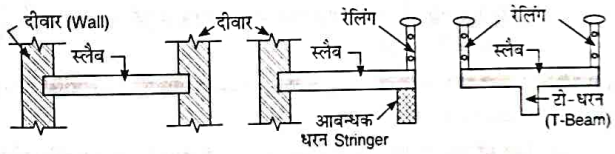
(i) **प्रास सीढ़ियाँ** (Cantilever Stairs)—इस जीने के कदमचे प्रास धरन की भाँति केवल एक सिरे पर आलम्बित रहते हैं और दूसरा सिरा हवा में लटका (Free) रहता है। लटकते हुये सिरे पर रेलिंग या पैरापिट दिया जाता है ताकि चढ़ते-उतरते समय पार्श्व में गिरने का भय न रहे। (चित्र 9.1)



चित्र 9.1—प्रास सीढ़ियाँ

इस जीना में प्रत्येक कदमचा एक प्रास पट्टी मान कर अभिकल्पित किया जाता है।

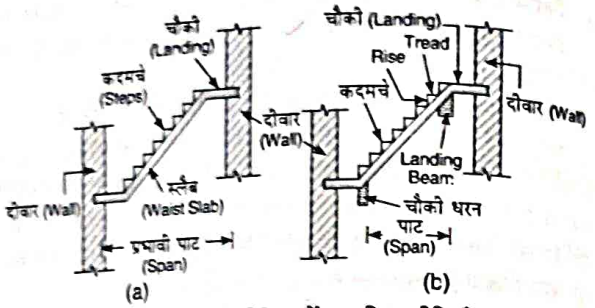
(ii) **अनुप्रस्थ दिशा में आलम्बित सीढ़ियाँ** (Stair-Slab Spanning Horizontally)—इस प्रकार के ज़ीने में कदमचे पार्श्व (अगल-बगल की) दीवारों अथवा आबन्धक धरनों (Stringer), जो पंक्ति के समानान्तर होते हैं, पर टिकाये जाते हैं। आलम्बन के लिये एक ओर दीवार तथा दूसरी ओर आबन्धक धरन भी हो सकता है। (चित्र 9.2)। इस जीने का प्रभावी पाट 'l' दोनों आलम्बों की c/c दूरी लिया जाता है।



चित्र 9.2—अनुप्रस्थ दिशा में आलम्बित सीढ़ियाँ

प्रत्येक कदमचे को एक शुद्धालम्बित पट्टी मानकर अभिकल्पित किया जाता है, जिसकी चौड़ाई b तथा प्रभावी गहराई $d = D/2$ ली जाती है। (चित्र 9.7)

(iii) **अनुदैर्ध्य दिशा में आलम्बित सीढ़ियाँ** (Stair-Slab Spanning Longitudinally)—इस प्रकार के जीने में आबन्धक धरन (Stringer) नहीं होते हैं बल्कि पंक्ति-स्लैब अनुदैर्ध्य दिशा में, अपने **ऊपरी तथा निचले सिरों** पर दीवार, धरन अथवा चौकियों पर आलम्बित रहती है। पंक्ति के पार्श्व में कोई आलम्ब नहीं दिया जाता है। (चित्र 9.3)। खुला कूपक, कुत्ता-टांग तथा चौथाई-मोड़ (Quarter Turn) जीने इसी वर्ग मे आते हैं।



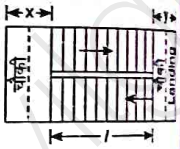
चित्र 9.3—अनुदैर्ध्य दिशा में आलम्बित सीढ़ियाँ

(3) जीने का प्रभावी पाट (Effective Span)—I.S. Code 456–2000 (धारा 33) के अनुसार प्रभावी पाट निम्न प्रकार से लिया जायेगा—

(i) जब चौकी तथा पंक्ति एक ही दिशा में विस्तृत हो तो प्रभावी पाट के लिये चौकी के सिरे पर दिये गये आलम्बों (दीवारों) के मध्य से मध्य **क्षैतिज** दूरी ली जाती है। [चित्र 9.3 (a)]

(ii) जहाँ ऊपरी तथा निचली चौकी के नीचे धरन दिये गये हैं तो पंक्ति का प्रभावी पाट धरनों के मध्य से मध्य सीधी दूरी ली जाती है। [चित्र 9.3 (b)]

(iii) जब किसी पंक्ति (Flight) के ऊपरी तथा निचले सिरे पर (अथवा किसी एक सिरे पर) सामान्य चौकी दी गयी हो, जिसका पाट पंक्ति के लम्बवत् हो तो प्रभावी पाट = पंक्ति का पाट + दोनों सिरों पर प्रत्येक चौकी की आधी-आधी चौड़ाई **अथवा** एक मीटर, इनमें से जो भी **न्यूनतम** हो। (चित्र 9.4)



चित्र 9.4

(4) जीने पर चल भार (Live Loads on Stairs)—भारतीय मानक कोड के अनुसार ज़ीना पर चल भार का मान निम्न लिया जाता है—

(i) जिन सीढ़ियों पर भीड़ (Over-crowding) नहीं होती है तथा आवासीय ज़ीना = 300 kg/m²

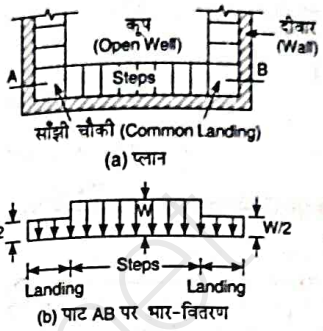
(ii) जिन सीढ़ियों पर भीड़ होने की सम्भावना है = 500 kg/m²

प्रास प्रकार के जीने पर न्यूनतम (विन्दु) भार 130 kg लेना चाहिये।

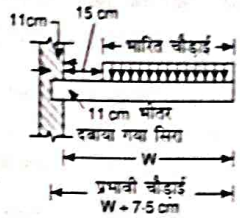
चल भार का वितरण—

(a) कूपक सीढ़ियों की दो लम्बवत् पंक्तियों (Flights) के मध्य साँझी चौकी पर दोनों पंक्तियों का आधा-आधा भार आता हुआ माना जाता है। (देखें चित्र 9.5)

(b) जहाँ पंक्ति या चौकी के किनारे कम-से-कम 11 cm अगल-बगल की दीवारों के अन्दर दबाये गये हैं और जीना पंक्ति (Flight) अनुदैर्ध्य दिशा में अभिकल्पित की जाती है तो दीवार से सटी हुई 15 cm की पट्टी पर कोई भार आता नहीं माना जाता है और खण्ड की प्रभावी चौड़ाई 7·5 cm बढ़ा ली जाती है। (चित्र 9.6)



चित्र 9.5—कूपक जीने पर चल भार वितरण



चित्र 9.6

(5) अचल भार की गणना—जीने पर अचल भार की गणना निम्न प्रकार से की जाती है—

(i) त्रिभुजाकार कदमचे की विकर्ण की लम्बाई—$b = \sqrt{R^2 + T^2}$

यहाँ R = उठान, T = पट

(ii) त्रिभुज की लम्ब—ऊँचाई, $x = \dfrac{R \times T}{b}$

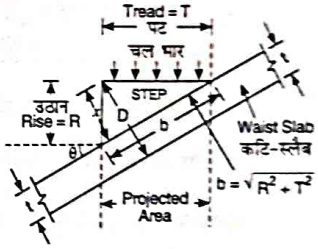
(iii) त्रिभुजाकार कदमचे का भार

$$= \left(\frac{R \times T}{2}\right) \times 1 \times 2500 \text{ kg}$$

(iv) कदमचा तथा वैस्ट एकल-पट्टी मान ली जाती है, जिसकी प्रभावी चौड़ाई b तथा प्रभावी गहराई, $d = \dfrac{D}{2}$ है,

यहाँ $D = x + t$

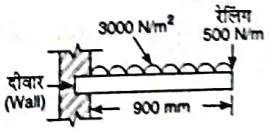
और t = वैस्ट स्लैब की मोटाई। यह न्यूनतम 8 cm ली जाती है।



चित्र 9.7

§9.2. प्रास जीने का अभिकल्पन (Design of Cantilever Stairs) :

उदाहरण 9.1 : निम्नलिखित आंकड़ों के आधार पर एक प्रास प्रकार के जीने का अभिकल्पन करें—जीने की चौड़ाई = 90 cm, पट = 25 cm, उठान = 15 cm, जीने पर चल भार = 3000 N/m², रेलिंग का भार = 500 N/m, कंक्रीट की श्रेणी M–20, इस्पात Fe 415 श्रेणी का लें।



चित्र 9.8

हल : (1) प्रश्नानुसार—पट, $T = 25$ cm

उठान, $R = 15$ cm

जीने पर चल भार = 3000 N/m²

रेलिंग का भार = 500 N/m

माना कदमचे के नीचे वैस्ट स्लैब की मोटाई, $t = 8$ cm है,

अत: विकर्ण की लम्बाई, $b = \sqrt{T^2 + R^2} = \sqrt{25^2 + 15^2} = 29{\cdot}15$ cm

(2) **भार तथा बंकन आघूर्ण—**

(a) कदमचे पर समवितरित भार—

(i) कदमचे पर चल भार ($3000\ N/m^2$ की दर से) $= 1 \times \frac{25}{100} \times 3000 = 750\ N$

(ii) त्रिभुजाकार कदमचे का स्वयं का भार $= 1 \times \frac{0{\cdot}25 \times 0{\cdot}15}{2} \times 25000 = 470\ N$

(iii) वैस्ट (Waist) पट्टी का भार $= 1 \times b \times t \times 25000$

यहाँ $b = 29{\cdot}15$ cm, $t = 8$ cm

$\therefore$ भार $= 1 \times 0{\cdot}2915 \times 0{\cdot}08 \times 25000 = 580\ N$

प्रति मी० कुल समवितरित भार, $w = 1800\ N/m$

अभिकल्प (Factored) भार $= 1800 \times 1{\cdot}5 = 2700\ N/m$

बंकन आघूर्ण $= \frac{wl^2}{2} = \frac{2700 \times 0{\cdot}9 \times 0{\cdot}9}{2} = 1093{\cdot}5$ N.m ...(i)

यहाँ $l = 0{\cdot}90$ m (कदमचे की लम्बाई)

(b) रेलिंग का बिन्दु भार—रेलिंग का प्रति कदमचा भार, $W = \frac{29{\cdot}15}{100} \times 500 = 150\ N$

अभिकल्प (Factored) भार $= 150 \times 1{\cdot}5 = 225$ N

बंकन आघूर्ण $= W \times l = 225 \times 0{\cdot}9 = 202{\cdot}5$ N.m ...(ii)

कुल बंकन आघूर्ण, M_u = (i) + (ii) = $1093{\cdot}5 + 202{\cdot}5$

$= 1296$ N.m $= 1296000$ N.mm

(3) **कदमचे की प्रभावी गहराई—**

M-20 व Fe 415 के लिये सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण, $M_u = 0{\cdot}138\, f_{ck}\, bd^2$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर—

$$1296000 = 0{\cdot}138 \times 20 \times 291{\cdot}5 \times d^2$$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{1296000}{0{\cdot}138 \times 20 \times 291{\cdot}5}} = 40 \text{ mm}$$

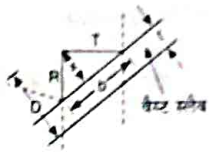
परन्तु कदमचे की उपलब्ध गहराई $d = \frac{D'}{2}$ ली जाती है। वैस्ट स्लैब तथा कदमचे को D गहराई वाला एक समतुल्य धरन मान लिया जाता है।

यहाँ $D = x + t$ और $x = \frac{R \times T}{b}$

$\therefore \quad x = \frac{15 \times 25}{29{\cdot}15} = 12{\cdot}87$ cm

$\therefore \quad D = 12{\cdot}87 + 8 = 20{\cdot}87$ cm

तथा $d = \frac{20{\cdot}87}{2} = 10{\cdot}44$ cm say 105 mm



चित्र 9.9

चूँकि उपलब्ध प्रभावी गहराई, अभिकल्पित प्रभावी गहराई से पर्याप्त अधिक है। अत: सही है।

(4) **प्रबलन इस्पात**—तनन इस्पात के क्षेत्रफल A_{st} के लिये—

$$M_u = 0{\cdot}87\, f_y\, A_{st}\, d \left[1 - \frac{A_{st}\, f_y}{b \times d \times f_{ck}}\right] \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$1296000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times 105 \times A_{st} \left[1 - \frac{415\, A_{st}}{291{\cdot}5 \times 105 \times 20}\right]$$

यह एक द्विघातीय समीकरण है, हल करने पर, $A_{st} = 35\ mm^2$

यह प्रबलन क्षेत्रफल वैस्ट की 291·5 mm चौड़ाई में डाला जाता है।

$\therefore$ प्रति मीटर लम्बाई में इस्पात का क्षेत्रफल $= \frac{35 \times 1000}{291{\cdot}5} = 120\ mm^2$

8 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल $= \frac{50 \times 1000}{120} = 416$ mm, परन्तु छड़ों की दूरी 300 mm से अधिक नहीं होगी।

अत: 8 mm व्यास की छड़ें 300 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(5) **वितरण इस्पात**—इस इस्पात का क्षेत्रफल, खण्ड का 0·12% लेते हैं।

खण्ड का क्षेत्रफल $= 29{\cdot}15 \times \left(8 + \frac{12{\cdot}87}{2}\right) = 421\ cm^2 = 42100\ mm^2$

$\therefore \quad A_{sd} = \frac{42100 \times 0{\cdot}12}{100} = 51\ mm^2$

6 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल $= \frac{28 \times 1000}{51} = 549$ mm c/c

यह दूरी 500 mm से अधिक नहीं होगी।

अत: 6 mm व्यास की छड़ें 450 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(6) **कर्तन में जाँच—**

कुल कर्तन बल, $V_u = (2700 \times 0{\cdot}9) + 225 = 2655$ N

civilguru.net

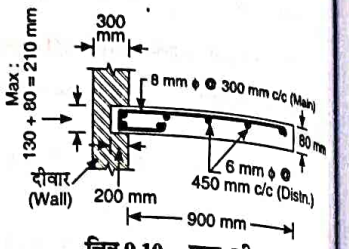
कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{2655}{291{\cdot}5 \times 105} = 0{\cdot}09 \text{ N/mm}^2$

खण्ड मे इस्पात का प्रतिशत—

$$= \frac{35 \times 100}{291{\cdot}5\left(80 + \frac{128.7}{2}\right)} = \frac{35 \times 100}{291{\cdot}5 \times 144{\cdot}4} = 0{\cdot}08\%$$

खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से)
$\tau_c = 0{\cdot}28 \text{ N/mm}^2$
चूँकि $\tau_c > \tau_v$ अत: खण्ड कर्तन में सुरक्षित है।

(7) **विकास लम्बाई में जाँच**—स्थिरण लम्बाई
$= 47 \times d = 47 \times 8 = 376$ mm
say 48 cm
अत: मुख्य छड़ों को कम-से-कम 380 cm तक आलम्ब के भीतर ले जाया जायेगा।



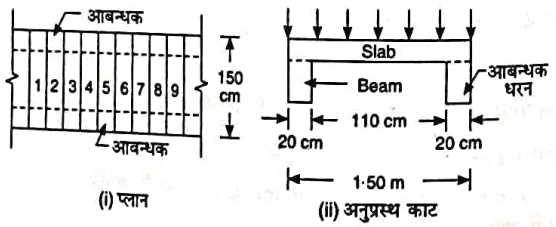
चित्र 9.10—प्रास-जीना

§ 9.3. अनुप्रस्थ दिशा में आलम्बित जीने का अभिकल्पन (Design of Stairs Spanning Horizontally) :

उदाहरण 9.2 : एक जीना 1·5 मी० चौड़ा है जिसका पट 25 cm तथा उठान 15 cm है। जीने के दोनों किनारों के नीचे एक-एक आबन्धक धरन (Stringer) दिया गया है। यदि जीने पर 5000 N/m² का चल भार आ रहा हो तो जीने की स्लैब तथा आबन्धक धरनों का अभिकल्पन कीजिये। पंक्ति (Flight) में 12 कदमचे मान लें। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयोग करें।

हल : जीने का अभिकल्पन दो चरणों में किया जायेगा—
(i) कदमचों तथा वैस्ट स्लैब का अभिकल्पन
(ii) आबन्धक धरन (2 nos) का अभिकल्पन।

(A) आबन्धकों पर टिकी जीने की स्लैब का अभिकल्पन—



चित्र 9.11—अनुप्रस्थ-आलम्बित जीना

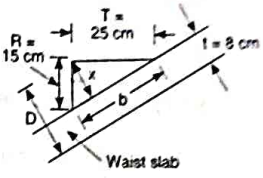
(1) **प्रश्नानुसार**—जीने की चौड़ाई = 150 cm (पट), T = 25 cm (उठान), R = 15 cm, चल भार = 5000 N/m² है।

(2) माना आबन्धक धरन की चौड़ाई 20 cm और कुल गहराई 30 cm है।

कदमचे का प्रभावी पाट $= 1{\cdot}50 - \left[\frac{0{\cdot}20}{2} + \frac{0{\cdot}20}{2}\right] = 1{\cdot}30$ m

कदमचे की विकर्ण की लम्बाई, $b = \sqrt{R^2 + T^2} = \sqrt{15^2 + 25^2} = 29{\cdot}15$ cm
माना वैस्ट स्लैब की मोटाई 8 cm है,

$$x = \frac{R \times T}{b} = \frac{15 \times 25}{29{\cdot}15} = 12{\cdot}87 \text{ cm}$$



चित्र 9.12

समतुल्य धरन (वैस्ट + कदमचा) की कुल गहराई—
$D = x + t = 12{\cdot}87 + 8$
$= 20{\cdot}87$ cm
समतुल्य धरन की प्रभावी गहराई,

$$d = \frac{D}{2} = \frac{20{\cdot}87}{2} = 10{\cdot}44 \text{ cm say } 105 \text{ mm}$$

(3) **कदमचों पर भार तथा बंकन आघूर्ण—**

(i) चल भार (5000 N/m² की दर से) $= 1 \times \frac{25}{100} \times 5000 = 1250$ N/m

(ii) त्रिभुजाकार कदमचे का स्वयं का भार—

$$= \left(\frac{1 \times 0{\cdot}25 \times 0{\cdot}15}{8}\right) \times 25000 = 470 \text{ N/m}$$

(iii) वैस्ट पट्टी का भार—
$= 1 \times 0{\cdot}2915 \times 0{\cdot}08 \times 25000 = 580$ N/m
प्रति मी० कुल समवितरित भार = 2300 N
जीना पर फैक्टर (Factored) भार = 2300 × 1·5 = 3450 N/m

अधिकतम बंकन आघूर्ण $M_u = \frac{wl^2}{8} = \frac{3450 \times 1{\cdot}30^2}{2} = 2915$ N-m
$= 2915000$ N-mm

(4) **कदमचे (वैस्ट स्लैब सहित) की प्रभावी गहराई—**
$M_u = 0{\cdot}138 f_{ck} bd^2$ (M-20 कंक्रीट व Fe 415 इस्पात के लिये)
ज्ञात मान रखने पर—

$$2915000 = 0{\cdot}138 \times 20 \times 291{\cdot}5 \times d^2$$

$\therefore \quad d = 60$ mm

परन्तु यह बहुत कम है अत: कदमचे की उपरोक्त प्रभावी गहराई d = 105 mm रखी जायेगी।

(5) **मुख्य इस्पात**—$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{A_{st} f_y}{b \times d \times f_{ck}}\right]$, ज्ञात मान रखने पर—

$$2915000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times 105 A_{st} \left[1 - \frac{415 A_{st}}{105 \times 20 \times 291{\cdot}5}\right]$$

हल करने पर, $A_{st} = 82 \text{ mm}^2$

यह इस्पात वैस्ट-स्लैब की 291·5 mm चौड़ाई में डालना है। अत: प्रति मी० लम्बाई में इस्पात का क्षेत्रफल = $\frac{82 \times 1000}{291{\cdot}5} = 282 \text{ mm}^2$ प्रति मी० लम्बाई

8 mm व्यास की 2 छड़ें प्रयोग करने पर,

छड़ों का अन्तराल $\frac{50 \times 1000}{282} = 177 \text{ mm say } 175 \text{ mm c/c}$

(6) **वितरण इस्पात**—टोर छड़ों के लिये इसका क्षेत्रफल 0·12% लिया जाता है।

खण्ड का क्षेत्रफल = $29{\cdot}15 \times \left[8 + \frac{12{\cdot}87}{2}\right] = 421 \text{ cm}^2 = 42100 \text{ mm}^2$

$\therefore \quad A_{sd} = \frac{42100 \times 0{\cdot}12}{100} = 51 \text{ mm}^2$

6 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल = $\frac{28 \times 1000}{51} = 549 \text{ mm c/c}$

अत: 6 mm व्यास की छड़, 450 mm c/c पर डाली जायेगी।

(7) **कर्तन में जाँच**—

कुल कर्तन बल, $V_u = \frac{3450 \times 1{\cdot}10}{2} = 1898 \text{ N}$

कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{1898}{291{\cdot}5 \times 104{\cdot}4} = 0{\cdot}06 \text{ N/mm}^2$

खण्ड में इस्पात का प्रतिशत = $\frac{82 \times 100}{291{\cdot}5 \times \left[80 + \frac{128{\cdot}7}{2}\right]} = 0{\cdot}20\%$

खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}32 \text{ N/mm}^2$

चूँकि $\tau_c > \tau_v$ अत: खण्ड कर्तन में **सुरक्षित** है।

(8) **विकास लम्बाई**—मुख्य छड़ें $47d$ तक आलम्बों के भीतर जानी चाहिये, अर्थात् $47 \times 8 = 376$ mm तक आलम्बों के भीतर जायेगी।

(B) **आवश्यक धरन (Stringer) का अभिकल्पन**—

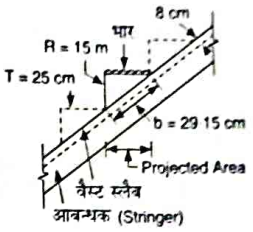
(1) प्रत्येक कदमचे पर चल व अचल भार

$= 2300 \times 1{\cdot}50 = 3450 \text{ N}$

यह भार 25 cm चौड़ी पट्टी (Tread) पर कार्यरत है।

$\therefore$ धरनों की प्रति मी० लम्बाई पर अध्यारोपित भार—

$$\frac{3450}{25} \times 100 = 13800 \text{ N/m}$$



चित्र 9.13

प्रत्येक धरन पर अध्यारोपित भार = $\frac{13800}{2} = 6900 \text{ N/m}$

धरन का स्वयं का भार (20 cm × 22 cm रिब लेते हुये)

$= 1 \times 0{\cdot}20 \times 0{\cdot}22 \times 25000 = 1100 \text{ N}$

कुल भार = 8000 N/m

भार गुणक 1·5 लेने पर, फैक्टर (Factored) भार = 8000 × 1·5 = 12000 N/m

एक पंक्ति (Flight) में 12 कदमचे हैं। अत: धरन की क्षैतिज लम्बाई = 12 × 0·25 = 3 मी०।

प्रभावी लम्बाई, 20 cm का चढ़ाव मानकर = 3 + 0·10 + 0·10 = 3·20 मी०

(2) **अधिकतम बंकन आघूर्ण तथा प्रभावी गहरायी**—

$$M_u = \frac{wl^2}{8} = \frac{12000 \times 3{\cdot}20^2}{8} = 15360 \text{ N-m} = 15360000 \text{ N.mm.}$$

$M_u = 0{\cdot}138 f_{ck} b d^2$ —(सारणी 3·5 से, Fe 415 के लिये)

ज्ञात मान रखने पर, $15360000 = 0{\cdot}138 \times 20 \times 200 \times d^2$

$$d^2 = \frac{15360000}{0{\cdot}138 \times 20 \times 200}$$

$\therefore \quad d = 167 \text{ mm}$

परन्तु उपलब्ध गहराई 220 + 80 = 300 mm है। अत: प्रभावी गहराई 280 mm और आवरण 20 mm अपनाते हुये धरन की कुल गहराई 300 mm सही है।

(3) **तनन इस्पात**— $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{f_y A_{st}}{b \times d \times f_{ck}}\right]$ ...(सूत्र)

$$15360000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times 280 \times A_{st} \left[1 - \frac{415 A_{st}}{20 \times 200 \times 280}\right]$$

cmgurunet

$$15360000 = 101094\, A_{st} - 37{\cdot}5\, A_{st}^2$$

$$\therefore \quad A_{st} = 162 \text{ mm}^2$$

10 mm व्यास की 3 छड़ें प्रयोग करने पर, क्षेत्रफल = $3 \times 79 = 237 \text{ mm}^2$ अत: ठीक है।

(4) **कर्तन में जाँचा—**

कुल कर्तन बल, $V_u = \frac{WL}{2} = \frac{12000 \times 3}{2} = 18000 \text{ N}$

कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{18000}{200 \times 280} = 0{\cdot}32 \text{ N/mm}^2$

खण्ड में इस्पात का प्रतिशत, $p = \frac{100 \times A_{st}}{b \times d} = \frac{237}{200 \times 300} \times 100 = 0{\cdot}40\%$

खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}44 \text{ N/mm}^2$

चूँकि $\tau_c > \tau_v$, अत: खण्ड कर्तन में सुरक्षित है। अत: कर्तन प्रबलन आवश्यक नहीं है, फिर भी अतिरिक्त सुरक्षा के लिये 6 mm व्यास के दो-टाँगों वाले छल्ले 300 mm c/c पर प्रयोग करो।

(5) **विकास लम्बाई** (Development Length) **में जाँच—**

विकास लम्बाई, $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4\tau_{bd}}$

M-20 कंक्रीट व Fe 415 इस्पात के लिये, $\tau_{bd} = 1{\cdot}92$ लिया जाता है (सारणी 4.4)।

$$\therefore \quad L_d = \frac{0{\cdot}87 \times 415\phi}{4 \times 1{\cdot}92} = 47\phi$$

स्थिरण लम्बाई, $L_0 = 12\,\phi$ या d, जो भी अधिक है

$= 12 \times 10 = 120$ mm या 280 mm (जो भी अधिक है)।

अत: $L_0 = 280$ mm

$$M_1 = 0{\cdot}87 f_y A_{st} \times 0{\cdot}9\, d \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$M_1 = 0{\cdot}87 \times 415 \times 237 \times (0{\cdot}9 \times 280)$$

$$= 21563350 \text{ N.mm}$$

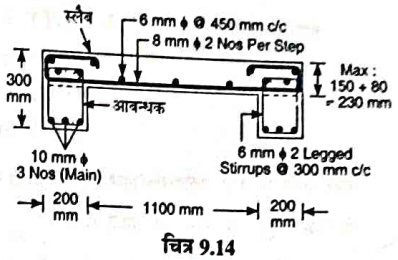
$$L_d \le \frac{1{\cdot}3 M_1}{V_u} + L_0$$

$$47\phi \le \left[\frac{1{\cdot}3 \times 21563350}{18000}\right] + 280$$

$$47\phi \le (1557 + 280)$$

$$\phi = \frac{1837}{47} = 39 \text{ mm}$$

परन्तु छड़ का व्यास 10 mm है। अत: छड़ें स्थिरण (Anchorage) में सुरक्षित है।

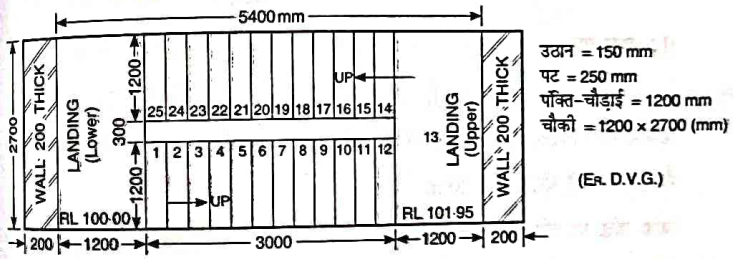


चित्र 9.14

(6) **चित्र**—जीना में प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 9.14 में दर्शायी गयी है।

§ 9.4. अनुदैर्ध्य दिशा में आलम्बित जीना का अभिकल्पन (Design of Stairs Spanning Longitudinally) :

उदाहरण 9.3 : चित्र 9.15 में एक प्रतिवर्ति जीना (Dog-Logged Staircase) दर्शाया गया है। जीना का पट (Tread) 25 cm, उठान (Riser) = 15 cm, चौड़ाई (Width) = 1·20 m और चौकी (Landing) की चौड़ाई 1·20 m है। चौकी अगल-बगल की चिनाई-दीवारों पर आलम्बित है। जीना पर 3000 N/m² का चल भार (रेलिंग सहित) आ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयोग करते हुये, जीना की एक पंक्ति (Flight) का अभिकल्पन कीजिए।



चित्र 9.15—प्रतिवर्ति जीना (Dog-Legged Stairs)
(सभी माप mm में)

हल : जीना का अभिकल्पन वैस्ट-स्लैब तथा ऊपर-नीचे की चौकियों को एकल-दिशा (अनुदैर्ध्य दिशा) में आलम्बित मानते हुये किया जायेगा। चूँकि दोनों उड़ान-पंक्ति (Flights) एक-समान हैं, अत: एक पंक्ति की स्लैब का अभिकल्पन किया जायेगा, जो दूसरी पंक्ति के लिये भी मान्य होगा।

(1) **प्रश्नानुसार—** जीना की चौड़ाई = 1·20 m

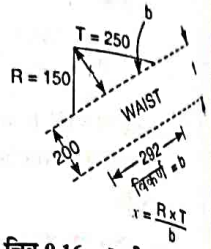
पट (T) = 250 mm, उठान (R) = 150 mm

चल भार = 3000 N/m²

कदमचे की विकर्ण लम्बाई, $b = \sqrt{(T)^2 + (R)^2}$

$= \sqrt{(250)^2 + (150)^2}$

$= 291{\cdot}5$ say 292 mm



माना जीना की कटि-स्लैब (Waist) की मोटाई, $t = 200$ mm

है (यह $\frac{\text{पाट}}{20}$ से $\frac{\text{पाट}}{30}$ ले सकते हैं)।

चित्र 9.16—सभी माप mm में

(i) कदमचों/वैस्ट स्लैब पर भार—

(a) अचल भार — त्रिभुजाकार कदमचा $= \frac{R \times T}{2} = \frac{0{\cdot}15 \times 0{\cdot}25}{2} = 0{\cdot}0188$ m²

वैस्ट-स्लैब $= b \times t = 0{\cdot}292 \times 0{\cdot}200 = 0{\cdot}0584$ m²

क्षेत्रफल $= 0{\cdot}0772$ m²

एक कदमचे का वैस्ट-स्लैब सहित भार $= 0{\cdot}0772 \times 25$ kN

यह भार कदमचे की 250 mm चौड़ाई पर कार्यरत है। अत: प्रति वर्ग मी० प्लान पर भार की दर $= 0{\cdot}0772 \times 25 \times \frac{1000}{250} = 7{\cdot}72$ kN/m²

(b) चल भार $= 3{\cdot}00$ kN/m²

कुल भार $= 10{\cdot}72$ kN/m²

फैक्टर भार (Factor Load), गुणांक 1·5 लेते हुये $= 10{\cdot}72 \times 1{\cdot}5 = 16{\cdot}08$ kN/m²

वैस्ट-स्लैब की चौड़ाई = 1·20 m

जीना-पंक्ति पर प्रति मी० लम्बाई में भार $= 1{\cdot}20 \times 16{\cdot}08 = 19{\cdot}3$ kN/m ...(W_1)

(ii) चौकी (Landing) पर भार—माना चौकी की स्लैब की मोटाई 300 mm है—

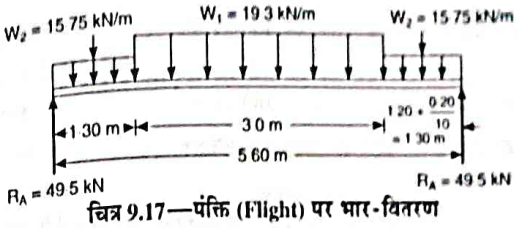
चौकी का स्वयं का भार $= 1 \times 1 \times 0{\cdot}30 \times 25 = 7{\cdot}5$ kN/m²

चाल भार $= 3{\cdot}0$ kN/m²

कुल भार $= 10{\cdot}5$ kN/m²

1·5 भार-गुणक लेने पर, चौकी पर फैक्टर भार $= 1{\cdot}5 \times 10{\cdot}5 = 15{\cdot}75$ kN/m² ...(W_2)

जीना-पंक्ति पर भार-वितरण चित्र 9.17 में दर्शाया गया है।



चित्र 9.17—पंक्ति (Flight) पर भार-वितरण

(2) बंकन आघूर्ण (B.M.)—

आलम्बों पर भारण प्रतिक्रिया (Reaction), $R_A = R_B$

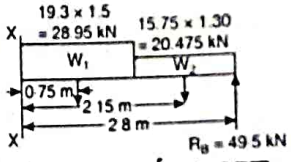
$= \frac{(15{\cdot}75 \times 1{\cdot}30) + (19{\cdot}3 \times 3{\cdot}0) + (15{\cdot}75 \times 1{\cdot}30)}{2} = 49{\cdot}425$ kN say 49·5 kN

अधिकतम बंकन आघूर्ण (मध्य-पाट पर)—

$M_u = (49{\cdot}5 \times 2{\cdot}8) - [(20{\cdot}475 \times 2{\cdot}15) + (28{\cdot}95 \times 0{\cdot}75)]$

$M_u = 138{\cdot}6 - [44{\cdot}02 + 21{\cdot}71]$

$= 72{\cdot}87$ kN.m $= 72{\cdot}87 \times 10^6$ N.mm



चित्र 9.18—कार्यरत-भार तथा बंकन आघूर्ण

एकल-प्रबलित खण्ड के लिये सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण, Fe 415 इस्पात लेने पर,

$M_{u\,\text{Lim}} = 0{\cdot}138 f_{ck} b d^2$ N.mm

अथवा $M_{u\,\text{Lim}} = R_u b d^2$

यहाँ R_u सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक है। M-20 और Fe 415 के लिये इसका मान 2·76 होता है (देखें सारणी 3.6)।

$= 0{\cdot}138 \times 20 \times 1000 \times d^2$

$M_u = M_{u\,\text{Lim}}$ रखने पर—

$72{\cdot}87 \times 1000000 = 0{\cdot}138 \times 20 \times 1000\, d^2$

$\therefore \quad d^2 = \frac{72{\cdot}87 \times 1000000}{0{\cdot}138 \times 20 \times 1000}$

$\therefore d = 163$ mm say 180 mm और 20 mm का आवरण रखने पर, कुल मोटाई,

$D = 180 + 20 = 200$ mm

(3) तनन इस्पात (Tension Reinforcement)—

तनन इस्पात क्षेत्रफल के लिये—

$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} [d - 0{\cdot}42 x_{\max}]$, —(यहाँ $x_{\max} = 0{\cdot}48d$)

ज्ञात मान रखने पर—

$72870000 = 0{\cdot}87 \times 415 \times A_{st} [180 - 0{\cdot}42\,(0{\cdot}48 \times 180)]$

$72870000 = 361{\cdot}05\, A_{st}\,(180 - 36{\cdot}29)$

$$72870000 = 361{\cdot}05 \times 143{\cdot}71\, A_{st}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{72870000}{361{\cdot}05 \times 143{\cdot}71} = 1405 \text{ mm}^2$$

20 mm की छड़े प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल,

$$s = \frac{314 \times 1000}{1405} = 224 \text{ mm c/c say } 220 \text{ mm c/c}$$

ये छड़े पंक्ति (Flight) के समान्तर डाली जायेगी।

(4) **वितरण इस्पात** (Distribution Steel)—इसका क्षेत्रफल, खण्ड का 0·12% (टोर छड़ों के लिये) लेने पर, $= \frac{0{\cdot}12}{100} \times 200 \times 1000 = 240 \text{ mm}^2$

8 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल

$$= \frac{50 \times 1000}{240} = 208 \text{ mm say } 200 \text{ mm c/c}$$

(5) **जाँच** (Check)—

(i) **कर्तन में जाँच**—कर्तन बल $V_u = 49{\cdot}5 \text{ kN} = 49{\cdot}5 \times 1000 \text{ N}$

नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{49500}{1000 \times 180} = 0{\cdot}28 \text{ N/mm}^2$

खण्ड में इस्पात का प्रतिशत्, $p = \frac{A_{st} \times 100}{1000 \times 200} = \frac{1405 \times 100}{1000 \times 200} = 0{\cdot}70\%$

सारणी 4.1 से $\tau_c = 0{\cdot}54 \text{ N/mm}^2$

चूँकि $\tau_c > \tau_v$, अत: स्लैब कर्तन (Shear) में सुरक्षित है।

(ii) **विकास लम्बाई में जाँच** (Development Length Check)—

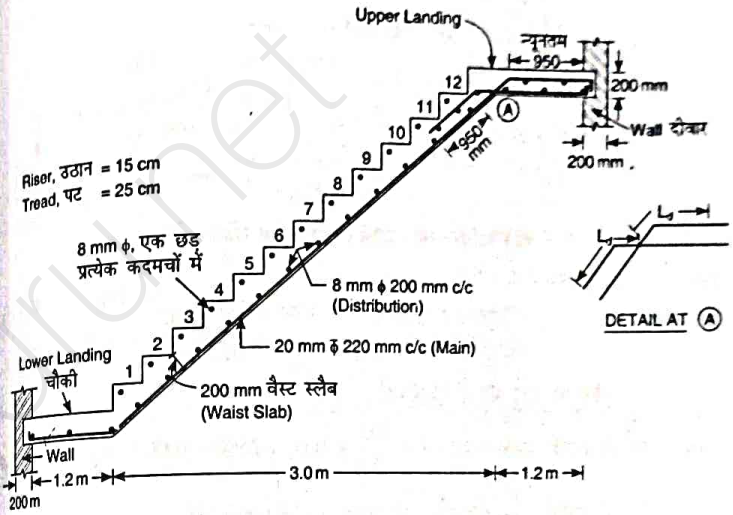
विकास लम्बाई, $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4 \tau_{bd}} = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 20}{4 \times (1{\cdot}2 \times 1{\cdot}6)} = 940 \text{ mm}$

जैसा चित्र 9.19 में दर्शाया गया है, तनन छड़ों को 950 mm (say) तक (विकास लम्बाई) बढ़ा कर डालें।

तनन इस्पात वैस्ट स्लैब (जो तिरछी है) की तली पर डाला जाता है, परन्तु यह छड़ें यदि चौकी तथा वैस्ट स्लैब के संगम (कोण) पर भी तली पर रहती हैं तो प्रतिबलित होने पर सीधी होने की चेष्टा करेगी (Try to Straighten up) और कंक्रीट आवरण को फाड़ देगी। अत: चौकी के पास तनन छड़ें सीधी सम्पीडन क्षेत्र (स्लैब के ऊपरी भाग) में ले जायी जाती हैं और चौकी के लिये अलग से तनन

छड़ें डाली जाती हैं। (चित्र 9.19-A)। चूँकि चौकी के पास बंकन आघूर्ण का मान काफी कम हो जाता है अत: चौकी की छड़ों की संख्या घटाई जा सकती है।

विकास लम्बाई की दृष्टि से यह छड़ें कोण बिन्दु (A) से $47d$ आगे तक बढ़ायी जायें। ज़ीने में प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 9.19 में दर्शायी गयी है।

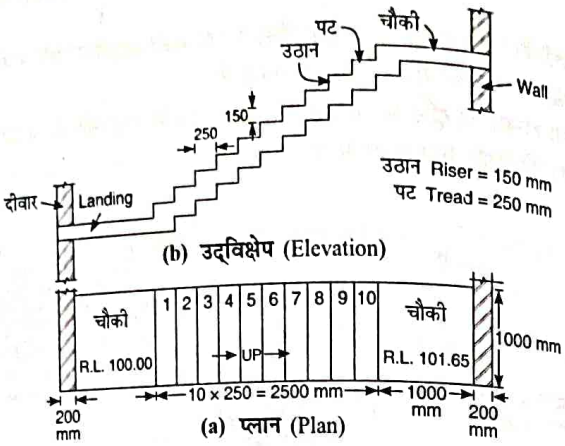


चित्र 9.19—अनुदैर्ध्य-दिशा में आलम्बित ज़ीना
(Stairs Spanning Longitudinally)

§ 9.5. पट-उठान (कटि-स्लैब रहित) प्रकार जीना का अभिकल्पन (Design of Tread-Riser Type Staircase) :

इस प्रकार के जीना में कटि-स्लैब (Waist-Slab) नहीं होती है और जीना पट-उठान पर ही टिका रहता है। यह जीना ऊपर-नीचे से देखने में आकर्षक लगता है और वास्तुकला की दृष्टि से आधुनिक भवनों में अपनाया जा रहा है। पट-उठान प्रकार के जीना को अभिकल्पन-प्रक्रिया प्रतिवर्ति जीना (Dog-Logged Staircase) की भांति ही है, परन्तु प्रबलन इस्पात, पट-उठान की स्थिति/टेक को दृष्टि में रखते हुये, अलग पद्धति से डाला जाता है।

उदाहरण 9.4 : चित्र 9.20 में दर्शाये गये एक पट-उठान (Tread-Riser) प्रकार के जीना की एक उड़ान (Flight) का अभिकल्पन कीजिये। निर्माण में M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात प्रयोग किया जाना है। जीना पर 3 kN/m² का चल भार आ रहा है और यह अगल-बगल की दीवारों पर आलम्बित है।



चित्र 9.20—पट-उठान (कटि-स्लैब रहित) जीना

हल : (i) प्रश्नानुसार—

पट = 250 mm, उठान = 150 mm,

$f_y = 415\ \text{N/mm}^2$, $f_{ck} = 20\ \text{N/mm}^2$

जीना पर चल भार = $3\ \text{kN/m}^2$

(ii) जीना की प्रभावी लम्बाई (पाट), $l = \frac{200}{2} + 1000 + 2500 + 1000 + \frac{200}{2} = 4700\ \text{mm}$

जीना की मोटाई, $\frac{l}{25}$ लेते हुये, 188 mm say 180 mm (d)

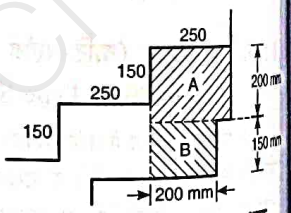
20 mm का आवरण लेने पर, $D = 180 + 20 = 200$ mm

जीना के एक कदमचा का स्वयं का भार-क्षेत्रफल

($A + B$) चित्र 9.21 में दर्शाया गया है।

($A + B$) का भार = $[(0{\cdot}25 \times 0{\cdot}20) + (0{\cdot}20 \times 0{\cdot}15)] \times 1 \times 25$

$= 0{\cdot}08 \times 1 \times 25 = 2\ \text{kN}$



चित्र 9.21—कदमचा का भार

एक कदमचे का प्रति मी० लम्बाई भार

(per meter Run) $= \frac{2{\cdot}0 \times 1}{0{\cdot}25} = 8\ \text{kN/m}$

(iii) **भार** (Loads)—

(a) कदमचे का भार प्रति मी०—

अचल भार = 8·0 kN/m

चल भार = 3·0 kN/m

कुल भार = 11·0 kN/m फैक्टर भार = $1{\cdot}5 \times 11 = 16{\cdot}5\ \text{kN/m}$

(b) चौकी (Landing) पर भार, प्रति मी०—

स्वयं का भार $1 \times 1 \times 0{\cdot}20 \times 25 = 5{\cdot}0\ \text{kN/m}^2$, चौकी की मोटाई = 200 mm

चल भार = $3{\cdot}0\ \text{kN/m}^2$

कुल भार = $8{\cdot}0\ \text{kN/m}^2$, फैक्टर भार = $1{\cdot}5 \times 8 = 12{\cdot}0\ \text{kN/m}$

कुल भार = $(12 \times 1{\cdot}1 \times 2) + 16{\cdot}5 \times 2{\cdot}5$

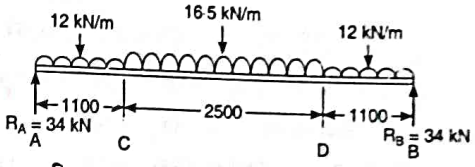
$= 26{\cdot}4 + 41{\cdot}25$

$= 67{\cdot}65\ \text{kN}$

आलम्ब A व B पर प्रतिक्रियात्मक भार, R_A अथवा R_B

$= \frac{67{\cdot}65}{2}$

$= 33{\cdot}82$ say 34 kN (चित्र 9.22)।



चित्र 9.22—भार-व्यवस्था तथा बंकन-आघूर्ण

(iv) **बंकन आघूर्ण** (M_u)—

(a) अधिकतम M_u उड़ान (Flight) के मध्य-भाग में होगी—

$$M_u = 34 \times 2{\cdot}35 - \left[(12 \times 1{\cdot}1 \times 1{\cdot}8) + \left(16{\cdot}5 \times 1{\cdot}25 \times \frac{1{\cdot}25}{2}\right)\right]$$

$$= 79{\cdot}90 - 23{\cdot}76 - 12{\cdot}89$$

$$= \mathbf{43{\cdot}25\ kN.m}$$

(b) चौकी (Landing Slab) में अधिकतम बंकन-आघूर्ण। यह आलम्बों से 1·10 m की दूरी पर, अर्थात् बिन्दु, C अथवा D (चित्र 9.22) पर होगी।

$$M_u = (34 \times 1{\cdot}10) - \left(12 \times 1{\cdot}1 \times \frac{1{\cdot}1}{2}\right)$$

$$= 37{\cdot}4 - 7{\cdot}26 = \mathbf{30{\cdot}14\ kN.m}$$

(v) (a) **कदमचों में प्रबलन इस्पात**— $M_{u\,\text{Lim}} = R_u \times b \times d^2$,

यहाँ R_u = सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक है।

M-20 व Fe 415 के लिये 2·76 (देखे सारणी 3.6)

अत: $43{\cdot}25 \times 10^6 = 2{\cdot}76 \times 1000 \times d^2$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{43250000}{1000 \times 2{\cdot}76}} = 125\ \text{mm}$$

यह मोटाई ऊपर 180 mm ली गयी है, जो सुरक्षित व स्वीकार्य है।

civilguru.net

तनन इस्पात— $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} [d - 0{\cdot}42 x_{u\,max}]$, — $x_{u\,max} = 0{\cdot}48 d$

$$43250000 = 0{\cdot}87 \times 415\, A_{st} [180 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}48 \times 180]$$

$$\therefore \quad 43250000 = 361{\cdot}05 \times 143{\cdot}71\, A_{st}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{43250000}{361{\cdot}05 \times 143{\cdot}71} = 834 \text{ mm}^2$$

12 mm व्यास की छड़े प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

$$= \frac{113 \times 1000}{834} = 135 \text{ mm c/c}$$

यह छड़ें बन्द छल्लों (Closed Loops) की शक्ल में होगी (चित्र 9.23)।

(b) **चौकी** (Landing) **में प्रबलन इस्पात**— $M_u = 30{\cdot}14$ kN.m

मुख्य प्रबलन, $M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} [d - 0{\cdot}42 x_{u\,max}]$

$$30140000 = 0{\cdot}87 \times 415 [180 - 0{\cdot}42 \times 0{\cdot}48 \times 180] A_{st}$$

$$30140000 = 361{\cdot}05 \times 143{\cdot}71\, A_{st}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{30140000}{361{\cdot}05 \times 143{\cdot}71} = 581 \text{ mm}^2$$

12 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, अन्तराल $= \frac{113 \times 1000}{581} = 194$ mm c/c

say 190 mm c/c। ये छड़ें पाट के समान्तर डाली जायेंगी।

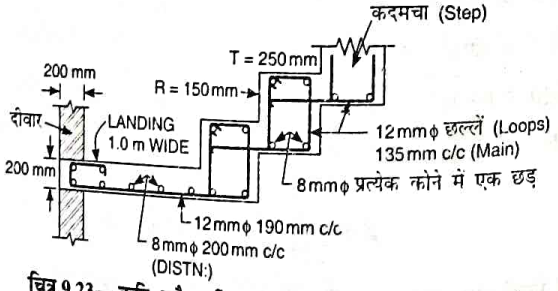
वितरण इस्पात (Distribution Reinforcement)—यह खण्ड के क्षेत्रफल का 0·12% लिया जायेगा (टोर छड़ों के लिये), $A_{sd} = \frac{0{\cdot}12}{100} \times 1000 \times 200 = 240 \text{ mm}^2$

8 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ो का अन्तराल (Spacings)—

$$s = \frac{50 \times 1000}{240} = 208 \text{ mm c/c} \quad \text{Say } 200 \text{ mm c/c}$$

अत: 8 mm व्यास की छड़ें 200 mm c/c पर डाली जायेंगी।

जीना में प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 9.23 में दर्शायी गयी है।



चित्र 9.23—कटि-स्लैब रहित जीना (Tread-Riser Staircase)

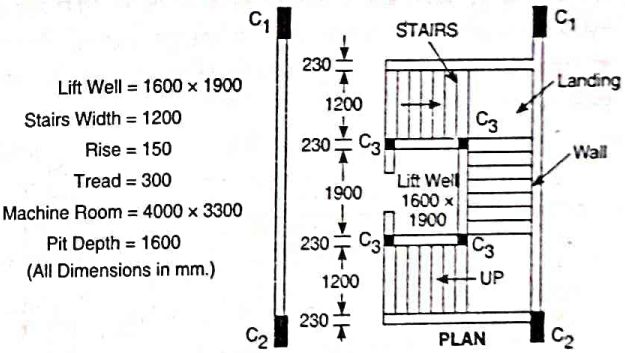
9.6. लिफ्ट (Lift) :

बहुतली भवनों में, विभिन्न तलों पर शीघ्रता से, बगैर थकान के, पहुँचने के लिये लिफ्ट (उत्थापक) लगायी जाती है। यह आवश्यक रूप से मोटर-चालित होती है। लिफ्ट कार (यान) स्वचालित अथवा प्रचालक (Attendant) वाली होती है। चार मन्जिल से ऊँचे भवनों के लिये अब लिफ्ट-स्थापन अनिवार्य है। किसी कक्ष से लिफ्ट की दूरी (उसी तल पर) 45 मी० से अधिक नहीं होनी चाहिये। लिफ्ट के तीन संरचनात्मक घटक होते हैं—

(i) लिफ्ट कुआँ (Lift Well), (ii) लिफ्ट गड्ढा (Lift Pit). (iii) मशीन कक्ष (Machine Room)

लिफ्ट गड्ढा भूतल से नीचे अथवा तहखाने (Basement) में स्थित होता है और मशीन कक्ष सबसे ऊपरी मन्जिल (छत) पर बनाया जाता है। लिफ्ट कुएँ की दीवारें व लिफ्ट गड्ढा पूर्णत: जल व अभिरोधक होने चाहिये। मशीन कक्ष व लिफ्ट गड्ढे के फर्श न्यूनतम 500 kg/m^2 के भार के लिये अभिकल्पित किये जाने चाहिये। लिफ्ट कुएँ की दीवारें 15 cm मोटी प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट की बनानी चाहिये। मशीन कक्ष की ऊँचाई 2 मीटर से कम नहीं होनी चाहिये।

जहाँ तक सम्भव हो लिफ्ट भवन के मुख्य प्रवेश से सटी हुई और जीना कक्ष के पास स्थापित करनी चाहिये।



Columns	Main Bars	Ties
C_1 300 × 600	16 ϕ 10 No.	8 ϕ @200 c/c
C_2 300 × 450	16 ϕ 8 No.	8 ϕ @200 c/c
C_3 230 × 230	16 ϕ 4 No.	8 ϕ @200 c/c

Beams

Size 230 × 450
Reinforcement
Top 12 ϕ 2 No.
Bottom 16 ϕ 2 No.
Tie 8 ϕ 175 c/c

Lift-Pit

Walls 230 Thick (Retaining)
Main Bars 10 ϕ 150 c/c (Both Ways), Distn. Bars 8 ϕ 150 c/c (Both Ways)

Floor 350 Thick (Base Slab)
Main Bars 12 ϕ 125 c/c, Distn. Bars 10 ϕ 125 c/c.
Depth of Pit = 1600

सभी माप mm में।

चित्र 9.24—आवासीय लिफ्ट (Lift)

5/10 यात्रियों के क्षमता वाली लिफ्ट के लिये निम्न माप अपनाये जा सकते हैं—

(i) लिफ्ट कुआँ का माप = 1·90 m × 2·10 m (अथवा 1·6 m × 1·9 m)

(ii) मशीन कक्ष = 3·4 m × 4·6 m

(iii) लिफ्ट गड्ढे की गहरायी = 1·6 m से 2·6 m

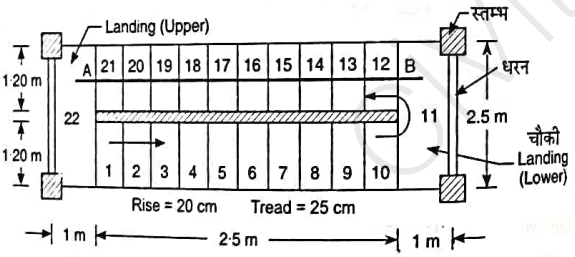
एक चार/सात तली आवासीय भवन के लिये एक लिफ्ट के परिमाप व प्लान चित्र 9.24 में दर्शाये गये है।

§ 9.7. चलसीढ़ी (Escalator) :

इस सीढ़ी के कदमचे अपनी निर्धारित ढ़ाल पर, ऊपर को/नीचे को लगातार चलते रहते हैं। व्यक्ति एक कदमचे (Step) पर सीधा खड़ा रहता है और वह कदमचा/कदमचे ऊपर/नीचे को गतिमान होते है और उसे गन्तव्य फर्श तक पहुँचा देते हैं। एस्केलेटर की चौड़ाई 60 cm से 1·20 m तक हो सकती है। सीढ़ी की ढ़ाल 30°-35° रखी जाती है। चल सीढ़ी को विद्युत शक्ति से चलायमान किया जाता है।

प्रश्नावली–9

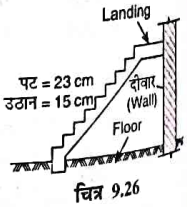
1. चित्र 9.25 में एक सोपान कक्ष की व्यवस्था चित्रित की गई है। इसकी सोपान पंक्ति *AB* के लिये प्रबलित कंक्रीट स्लैब डिजाइन कीजिये। सोपान पर चल भार 3 kN/m² है। सोपान की प्रत्येक पैड़ी की उठान 20 सेमी० है और चौड़ाई 25 सेमी० है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान ले। [*B.T.E.*]



चित्र 9.25

2. चित्र 9.26 में एक प्रबलित कंक्रीट जीने की प्रथम उड़ान (Flight) का अनुदैर्ध्य काट दिखाया गया है। यदि इसका अभिकल्पन एक ढालू स्लैब मानकर किया गया हो तो इसमें प्रबलन इस्पात की स्थिति स्पष्टता से दर्शायें। आवश्यक माप स्वयम् मान लें।

3. एक सार्वजनिक भवन के दो फर्शों के तल में 3·50 मी० का अन्तर है। भवन का सोपान कक्ष 2·5 m × 4·5 mm है। उपयुक्त सोपान का अभिकल्पन कीजिये। [*B.T.E.*]



चित्र 9.26

4. पद (Tread) व उठान (Riser) में सम्बन्ध रखना क्यों आवश्यक है? कुछ कार्यकर पद-उठान के अनुपात लिखें।

5. जीना-पंक्ति (Flight) में चौकी (Landing) कब और कहाँ दी जाती है? चित्र देकर स्पष्ट करें। चौकी की न्यूनतम चौड़ाई का कदमचे की चौड़ाई (Width) में क्या सम्बन्ध है? उत्तर दें।

6. निम्नलिखित डेटा के आधार पर एक प्रास प्रकार के सोपान का अभिकल्पन कीजिये—
जीने की चौड़ाई = 1 m, पट = 18 cm, उठान = 15 cm, जीने पर चल भार = 3 kN/m², रेलिंग का भार = 600 N/m, कंक्रीट की श्रेणी M–20 प्रयोग करें, Fe = 415 N/mm² मान लें।

7. एक जीना 1·20 मी० चौड़ा है, जिसका पट 25 cm तथा उठान 15 cm है। जीने के दोनों किनारे पार्श्व दीवारों के अन्दर 10 cm तक दबाये गये है। यदि जीने पर 3 kN/m² का चल भार आ रहा हो तो जीने की स्लैब का अभिकल्पन कीजिये। f_{ck} = 20 N/mm², f_y = 415 N/mm² मान लें।

8. एक कार्यालय भवन के लिये 1·20 मी० चौड़े जीने का अभिकल्पन करें जिस पर 5 kN/m² का चल भार आ रहा है। जीने के नीचे एक ओर दीवार तथा दूसरी ओर आवश्यक धरन दी गयी है। जीना सीधा रखा जाना है तथा दोनों तलों का अन्तर 4 मी० है।

9. एक दो मंजिले आवासीय भवन के लिये प्रतिवर्ती जीने का अभिकल्पन निम्न डेटा के आधार पर करें— जीना कक्ष का माप = 2·0 m × 5·0 m, फर्शों के तलों मे अन्तर = 3·6 m, जीने की चौड़ाई = 90 cm, चल भार = 3 kN/m², f_{ck} = 20 N/mm², f_y = 415 N/mm² मान ले। एक चित्र खींचकर प्रबलन इस्पात की स्थिति स्पष्ट दर्शायें।

10. (i) बहुतली भवनों में लिफ्ट की आवश्ययकता पर प्रकाश डालें।

(ii) संक्षिप्त टिप्पणी लिखें—(a) लिफ्ट कुआँ (b) लिफ्ट गड्ढा (c) चल सीढ़ी (Escalator)

10 प्रास प्रतिधारक दीवार (RETAINING WALL–CANTILEVER TYPE)

§ 10.1. प्रतिधारक दीवारें (Retaining Walls) :

(1) परिभाषा—प्रतिधारक दीवार ऐसी दीवार को कहते हैं जो जल, ढीली मिट्टी, बालू अथवा इसी प्रकार के अन्य भराव (Loose Material) को, जो अपने बल पर भूमि पर सीधा टिके रहने में असमर्थ होते हैं, रोके रखने के लिये बनायी जाती है।

(2) उपयोग—प्रतिधारक दीवारें भराव वाली सड़कों, रेल मार्गों के निर्माण स्तर को मूलस्थिति में बनाये रखने के लिये, इनके किनारों के साथ-साथ बनायी जाती हैं। पुलों के अन्त्याधार (Abutments), पक्ष-भित्ति (Wing-walls) इत्यादि, जो अपने पीछे मृदा-भराव को रोके रखती है, प्रतिधारक दीवार के रूप में कार्य करती हैं। पहाड़ी सड़कों में घाटी की ओर जो रोक दीवार खड़ी की जाती है, वह भी प्रतिधारक दीवार कहलाती है। भवनों के तहखानों (Basements) की बाहरी भार-वाहक दीवारें (जहाँ पड़ोस की अगल-बगल की अवमृदा का दाब पड़ता है, भी प्रतिधारक दीवारें कहलाती हैं। जब पानी को रोकने और एकत्र करने के लिये नदी के आर-पार यह दीवार खड़ी की जाती है, तो इसे बाँध (Dam) का नाम दिया जाता है। मैटीरियल, जिसे प्रतिधारक दीवार रोके रखती है, पश्च भराव (Back Fill) कहलाता है।

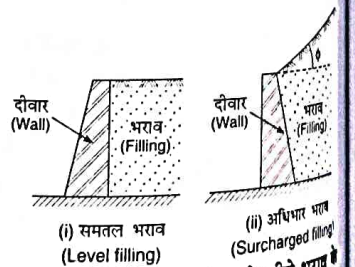
(3) रचना—प्रतिधारक दीवारें ईंट, पत्थर, कंक्रीट अथवा प्रबलित सीमेंट कंक्रीट की बनायी जाती हैं। प्रबलित कंक्रीट की दीवार अन्य पदार्थों से निर्मित दीवार से अधिक सामर्थ्यवान होती है और कम स्थान घेरती है।

(4) स्थिरता—प्रतिधारक दीवार पर, इसकी तली की तरफ भराव पदार्थ की बढ़ती गहराई के अनुरूप पार्श्व-दाब बढ़ता जाता है, इसलिये यह दीवारें तली पर, शीर्ष की तुलना में अधिक मोटी रखी जाती हैं। दीवार की भराव की ओर की फलक सामान्यत: ऊर्ध्वाधर तथा बाहरी फलक ढालू रखी जाती हैं। प्रतिधारक दीवार पर मुख्य दो प्रकार के दाब कार्य करते हैं, (i) अपने भार के कारण उत्पन्न दाब जो ठीक ऊर्ध्वाधर कार्य करता है और (ii) दूसरा पार्श्व दाब जो भराव पदार्थ के कारण क्षैतिज लगता है। दीवार की स्थिरता के लिये यह आवश्यक है कि इन दोनों का परिणामी दीवार की आधार-चौड़ाई से पारित होना चाहिये और तली पर तनन प्रतिबलों को उपजने से रोकने के लिये, यह भी आवश्यक है कि परिणामी आधार (Base-width) की **मध्य तिहाई** से पारित हो।

(5) भराव—प्रतिधारक दीवारों के पीछे भराव दो प्रकार का हो सकता है।—

(i) **समतल भराव** (Level Filling)—इसमें भराव का तल दीवार के शीर्ष तक ही रखा जाता है।

(ii) **अधिभार भराव** (Sur-charged Fillings)—जब भराव का तल **दीवार के शीर्ष** से ऊपर उठा हो तो इसे अधिभार



चित्र 10.1—प्रतिधारक दीवार के पीछे भराव के प्रकार (Filling along Retaining Wall)

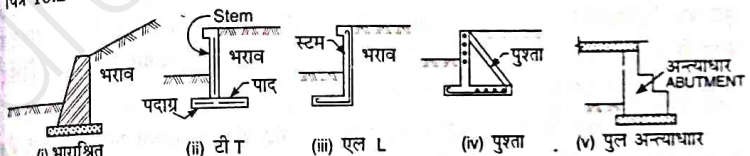
भराव वाली दीवार कहते हैं। अधि-भराव का कोण, इसके विश्राम कोण (Angle of Repose) से कम होना चाहिये, अन्यथा भराव दीवार के ऊपर से होकर फिसलने लगता है: दोनों प्रकार के भराव चित्र 10.1 में दर्शाये गये हैं।

§ 10.2. प्रतिधारक दीवार के प्रकार (Types of Retaining Wall) :

प्रतिधारक दीवारें सामान्यत: निम्न प्रकार की होती हैं—

(i) भाराश्रित प्रतिधारक दीवार (Gravity Retaining Wall)
(ii) T-आकार की प्रतिधारक दीवार (T-shaped Cantilever Retaining Wall)
(iii) L-आकार की प्रतिधारक दीवार (L-shaped Cantilever Retaining Wall)
(iv) पुश्ता प्रतिधारक दीवार (Counterfort Retaining Wall)
(v) पुल अन्त्याधार (Bridge Abutment)

T तथा L आकार की दीवारों को प्रास प्रतिधारक दीवार (Cantilever Retaining Wall) भी कहते हैं क्योंकि इसके बाहर बढ़े हुए भाग प्रास स्लैब की भाँति कार्य करते हैं। प्रतिधारक दीवारें चित्र 10.2 में दिखायी गयी हैं।



चित्र 10.2—प्रतिधारक दीवारें (Retaining Walls)

भाराश्रित प्रतिधारक दीवार चिनाई अथवा सादा सीमेंट कंक्रीट की बनायी जाती हैं। अन्य प्रकार की दीवारों में उपयुक्त प्रबलन इस्पात दिया जाता है।

6 मीटर के भराव तक, टी (T) अथवा एल (L) प्रकार की दीवार उपयुक्त है। अधिक भराव के लिये T या L दीवार मितव्ययी नहीं रहती है, तब **पुश्ता प्रतिधारक दीवार** का निर्माण किया जाता है। पुश्ता प्रतिधारक दीवार में पश्च भराव की तरफ उदग्र स्लैब तथा क्षैतिज पाद को उचित अन्तराल पर पुश्तों (आड़ी दीवार) द्वारा जोड़ दिया जाता है। ये पुश्ते पश्च भराव में दबे (Concealed) रहते हैं।

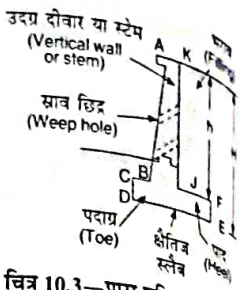
पाठ्यक्रम के अनुसार हम अगले पृष्ठों में प्रास प्रकार की प्रतिधारक दीवार पर ही विचार करेंगे।

§ 10.3. प्रास प्रतिधारक दीवार के घटक तथा उनका प्रकार्य (Components of Cantilever Retaining Wall and their Functions) :

प्रास प्रतिधारक दीवार के मुख्य घटक इस प्रकार हैं—(i) उदग्र दीवार (Stem), (ii) पादाग्र (Toe), (iii) पाद (Heel) तथा (iv) स्राव छिद्र (Weep Holes)। क्योंकि इस दीवार के तीनों घटक प्रास (Cantilever) की भान्ति कार्य करते हैं, अत: इसे प्रास प्रतिधारक दीवार कहा जाता है। यह दीवार उल्टी टी (⊥) अथवा एल (L) प्रकार की हो सकती है।

चित्र 10.3 में एक प्रतिधारक दीवार का अनुप्रस्थ काट दिखाया गया है। घटकों का विवरण निम्नलिखित है—

(1) उदग्र दीवार या स्टम (Stem)—यह दीवार का खड़ा भाग है जो अपनी फलक पर भराव-पदार्थ को रोके रखता है। स्टम का निचला भाग आधार स्लैब मे आबद्ध रहता है। आधार स्लैब नीचे भूमि पर टिकी रहती है। स्टम का अभिकल्पन एक प्रास स्लैब की भाँति किया जाता है। क्योंकि स्टम पर पार्श्व-भार गहरायी की दर से बढ़ता जाता है, अत: स्टम का परिच्छेद समलम्बाकार (Trapezoidal) रखना मितव्ययी रहता है।



चित्र 10.3—प्रास प्रतिधारक दीवार (Cantilever Retaining Wall)

(2) पादाग्र (Toe)—यह आधार स्लैब का सामने वाला भाग होता है, जो स्टम से कुछ आगे तक बढ़ा रहता है और स्टम को अवमृदा मे घँसने से बचाता है। इस पर नीचे से अव-मृदा का उत्थापक दाब (Up-ward Pressure) लगता है। अत: इसका अभिकल्पन एक (उल्टी) प्रास स्लैब की भाँति किया जाता है।

(3) पाद (Heel)—यह आधार स्लैब का पिछला भाग (भराव की ओर) होता है जो स्टम के निचले भाग से जुड़ा रहता है। इस पर ऊपर से भराव का भार (Down-ward Pressure) तथा तली से अव-मृदा का प्रतिक्रियात्मक (Upward Pressure) दाब पड़ता है। प्राय: दोनों बलों का शुद्ध परिणामी दाब ऊपर से नीचे की ओर होता है अत: इसका भी एक प्रास की भाँति अभिकल्पन किया जाता है। पाद भराव के भार को अधिक बड़े क्षेत्रफल पर फैलाता है।

चूँकि टी-प्रकार के तीनों घटकों, स्टम, पादाग्र तथा पाद का अभिकल्पन प्रास स्लैब की भाँति किया जाता है, अत: इसे प्रास प्रकार की (Cantilever Type) टी-प्रतिधारक दीवार कहते हैं।

(4) स्राव-छिद्र (Weep Holes)—प्रतिधारक दीवार के पीछे मृदा भराव में पानी (वर्षा जल आदि) नहीं घुसना चाहिये। घुसा हुआ यह जल प्रतिधारक दीवार पर अतिरिक्त क्षैतिज-दाब डालता है। इससे दीवार की सामर्थ्य प्रभावित होती है। घुसे हुए पानी की निकासी के लिये स्टम-दीवार में **स्राव-छिद्र** रखे जाते हैं। यह छिद्र दीवार की क्षैतिज लम्बाई में 5 मी० तथा उदग्र दूरी में 2 मी० के अन्तराल पर बनाये जाते हैं। छिद्रों के पीछे फिल्टर माध्यम-बालू, बजरी-गिट्टी आदि भर दी जाती है ताकि यह चोक न हो और भराव में घुसे पानी की निकासी होती रहे। स्राव छिद्र चित्र 10.3 में दिखाये गये हैं।

(5) अन्य घटक :

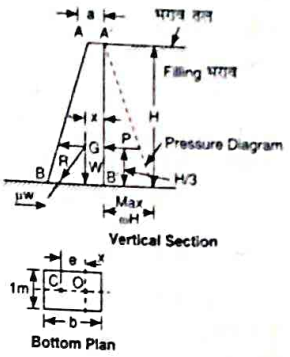
(a) प्रसार जोड़ (Expansion Joints)—प्रबलित कंक्रीट प्रतिधारक दीवार में ताप परिवर्तन के कारण होने वाले प्रसार के लिये उचित दूरी पर क्षैतिज तथा ऊर्ध्वाधर जोड़ दिये जाते हैं। क्षैतिज जोड़ स्टम की तली के निकट तथा उदग्र जोड़ दीवार की लम्बाई की दिशा में 10 से 15 मी० की दूरी पर रखे जाते हैं। जल-सह बनाने के लिये इन जोड़ों में मास्टिक-एस्फाल्ट भर दिया जाता है।

(b) कंक्रीट आवरण (Cover)—प्रतिधारक दीवार की उदग्र स्लैब (स्टम) पर कंक्रीट का 50 mm आवरण देना चाहिये। आधार स्लैब पर जो नींव की अवमृदा तथा नमी के सम्पर्क में रहती है, यह आवरण 70 mm तक रखा जा सकता है।

§ 10.4. प्रतिधारक दीवार पर कार्यरत बल तथा उनका प्रभाव (Forces Acting on a Retaining Wall) :

एक प्रतिधारक दीवार पर कार्यरत मुख्य बल, इस पर लगने वाला पार्श्व बल (Lateral Force) होता है, जो भराव-मैटीरियल के कारण कार्यरत माना जाता है। यह बल क्षैतिज दिशा मे दीवार पर लगता है।

चित्र 10.4 मे एक सामान्य प्रतिधारक दीवार दिखायी गयी है, जिसके पीछे दीवार के शीर्ष तक (H ऊँचाई तक) मृदा भराव है। दीवार की भीतरी फलक सामान्यत: ऊर्ध्वाधर रखी जाती है। लम्बाई की दिशा में, दीवार एक मी० लेते हुये, विचार करें। दीवार पर निम्नलिखित बल कार्य कर रहे हैं।



चित्र 10.4—प्रास प्रतिधारक दीवार पर कार्यरत बल

(i) मृदा भराव के कारण क्षैतिज दाब—यह दाब दीवार के शीर्ष तले पर शून्य होता है और रेखीय नियम से बढ़ता हुआ दीवार के आधार पर अधिकतम होता है। इसका मान रैन्किन सिद्धान्त के अनुसार, $wH\left(\dfrac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$ होता है।

यहाँ w मृदा का प्रति इकाई भार तथा ϕ मृदा का विश्राम कोण है। (जल के लिये ϕ का मान शून्य होता है)।

इस प्रकार दाब आरेख एक त्रिभुज बनती है, जिसका क्षेत्रफल दीवार पर, प्रति मीटर लम्बाई पर, पड़ने वाले कुल दाब को प्रदर्शित करता है।

अत: कुल दाब $$P = wH\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)\times\frac{H}{2}\times 1$$

$$\therefore \quad P = \frac{wH^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right) \qquad ...(10.1)$$

इस दाब का परिणामी P दीवार के आधार से $H/3$ की ऊँचाई पर कार्य करता है। समतल भराव के लिये यह क्षैतिज होता है। यह परिणामी दीवार को बिन्दु B पर पलटने की चेष्टा करता है तथा दीवार को आगे की ओर सरकाने की भी चेष्टा करता है।

(ii) दीवार का स्वयं का भार—यह भार दीवार के गुरुत्व केन्द्र (G) से होता हुआ नीचे को (ऊर्ध्वाधर) कार्य करता है। यह बल दीवार को पलटने तथा आगे सरकने से रोकता है और इसे स्थिरता प्रदान करता है। इसे W से प्रदर्शित करते हैं। दीवार के भीतरी फलक से भार के गुरुत्व केन्द्र तक की दूरी निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात की जा सकती है। $$\bar{x} = \frac{a^2+ab+b^2}{3(a+b)} \qquad ...(10.2)$$

यहाँ a तथा b क्रमश: दीवार की शीर्ष तथा आधार पर चौड़ाई है।

(iii) उपरोक्त दोनों बलों P तथा W का परिणामी R होगा। दीवार की स्थिरता के लिये आवश्यक है कि यह परिणामी दीवार की आधार चौड़ाई से होकर पारित हो। दीवार की तली पर किसी प्रकार का भी प्रतिबल उत्पन्न न हो, इसके लिये पुनः यह आवश्यक है कि **परिणामी आधार के मध्य तिहाई** (Middle Third) **से ही निकले।**

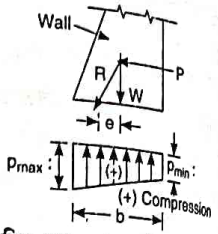
माना परिणामी R दीवार के गुरुत्व केन्द्र O से न निकल कर बिन्दु C से पारित होता है (चित्र 10.4)। अतः दूरी OC परिणामी बल R की उत्केन्द्रता (Eccentricity) कहलायेगी। इसे e से प्रदर्शित करते हैं। उत्केन्द्रता के कारण दीवार की तली पर दाब तीव्रता समान नहीं रहेगी। दीवार के बाहरी किनारे की तरफ दाब की तीव्रता अधिकतम होगी जबकि भराव वाले किनारे की ओर न्यूनतम होगी।

Case I—जब $e < \frac{b}{6}$

जब उत्केन्द्रता आधार चौड़ाई का 1/6 से कम होती है अर्थात् $e < b/6$, तब पूरी आधार चौड़ाई पर सम्पीडन दाब लगता है, जिसकी तीव्रता निम्न है—

$$p_{max} = \frac{W}{b}\left[1 + \frac{6e}{b}\right] \quad ...(10.3)$$

$$p_{min} = \frac{W}{b}\left[1 - \frac{6e}{b}\right] \quad ...(10.4)$$

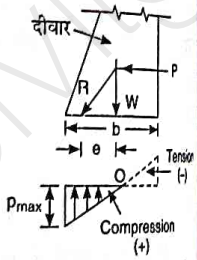


चित्र 10.5—दाब तीव्रता आरेख (when $e < \frac{b}{6}$)

यहाँ b आधार चौड़ाई है। यह दाब तीव्रता चित्र 10.5 में दिखाई गयी है।

Case II—जब $e > \frac{b}{6}$

जब उत्केन्द्रता e, आधार चौड़ाई का 1/6 से अधिक होती है तब p_{min} का मान ऋणात्मक चला जाता है (चित्र 10.6)। इसका अर्थ यह है, कि आधार के भीतरी किनारे पर तनन प्रतिबल उत्पन्न होते हैं। चूँकि दीवार अवमृदा पर साधारण रूप से टिकी होती है, इसलिये आधार और अवमृदा के मध्य केवल सम्पीडन प्रतिबल ही रह सकता है। मृदा चूँकि आधार को नीचे की ओर नहीं खींच पाती है, अतः तनन प्रतिबल सम्भव नहीं हो पाते हैं। अधिकल्पन के समय नींव भाग पर कोई ऋणात्मक प्रतिबल नहीं लिया जाता है।



चित्र 10.6—दाब तीव्रता आरेख (when $e > \frac{b}{6}$)

§ 10.5. प्रतिधारक दीवार के विफल होने के कारण तथा रोक उपाय : (Failure of Retaining Wall and Checks)

एक प्रतिधारक दीवार के विफल होने के निम्नलिखित कारण हो सकते हैं—

(i) दीवार का पलट जाना, (ii) दीवार का आगे को सरक जाना, (iii) नींव-मृदा का अत्यधिक दाब के कारण विफल होना, (iv) आधार पर तनन उत्पन्न होना, (v) दीवार के घटकों का अवधंजित होना। विस्तृत चर्चा निम्न है—

(1) पार्श्व दाब के कारण दीवार का पलट जाना (Over Turning of Wall)—भराव का पार्श्व दाब दीवार को इसके पदाग्र के प्रति पलटने की चेष्टा करता है, जबकि दीवार का भार इसे स्थिरता प्रदान करता है। दीवार को पलटने से रोकने के लिये क्षैतिज तथा ऊर्ध्वाधर बलों का परिणामी, आधार (Base) चौड़ाई से पारित होना चाहिये। अतिरिक्त सुरक्षा की दृष्टि से सुरक्षा कारक (Factor of Safety) = 1·55 से कम नहीं होना चाहिये।

अतः दीवार को पलटने वाला आघूर्ण $= P \times \frac{H}{3}$ ...(10.5)

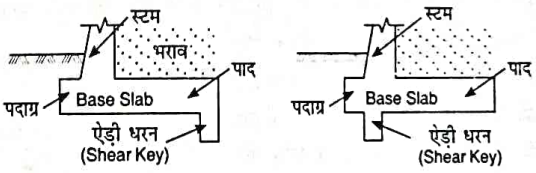
तथा दीवार की परिस्थापन आघूर्ण $= W \times (b - \bar{x})$ ...(10.6)

तब $\frac{W(b-\bar{x})}{P \times H/3} \geq 1{\cdot}55$ होना चाहिये। ...(10.7)

(2) पार्श्व दाब के कारण दीवार का आगे को सरक जाना (Sliding of Wall)—भराव का पार्श्व दाब P, दीवार को आगे को सरकाने की चेष्टा करता है जबकि आधार की कंक्रीट तथा अवमृदा के बीच उत्पन्न घर्षण बल $F = \mu W$ इसका प्रतिरोध करता है। यहाँ μ घर्षण गुणक है।

दीवार को सरकने से रोकने के लिये $\mu W > P$ होना चाहिये। अतिरिक्त सुरक्षा के लिये सुरक्षा कारक 1·40 से कम नहीं होना चाहिये। अर्थात् $\frac{\mu W}{P} \geq 1{\cdot}40$ (I.S. 456-2000) ...(10.8)

अवमृदा की घर्षण सामर्थ्य बढ़ाने के लिये पदाग्र के आगे अतिरिक्त मिट्टी का भराव किया जा सकता है। आधार स्लैब के नीचे **ऐड़ी धरन** (Heel Beam or Shear Key) लगाकर भी दीवार का आगे को सरकना रोका जा सकता है (चित्र 10.7)



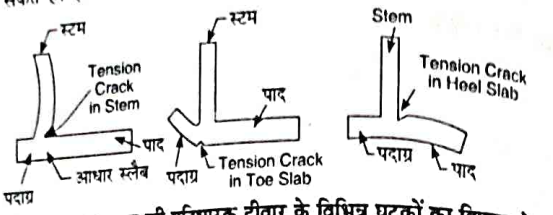
चित्र 10.7—ऐड़ी धरन (Shear Key or Heel Beam)

(3) आधार मृदा पर सुरक्षित धारण क्षमता से अधिक दाब आना (Soil Pressure Exceeding Safe Limit)—दीवार की तली पर उत्पन्न अधिकतम सम्पीडन प्रतिबल, मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता से अधिक नहीं होने चाहियें, अन्यथा दीवार नीचे को धँस जायेगी। इसके लिये नींव में दीवार की पर्याप्त चौड़ाई रखनी चाहिये।

(4) आधार पर तनन प्रतिबल उत्पन्न होना (Tension at Bottom)—दीवार की तली पर तनन प्रतिबल नहीं आने चाहियें। इसके लिये आवश्यक है कि सभी प्रकार के बलों का परिणामी R, दीवार के आधार की मध्य तिहाई से पारित हो, अर्थात् उत्केन्द्रता $e \leq b/6$ होनी चाहिये।

चिनाई की प्रतिधारक दीवारों के किसी भी क्षैतिज भाग में तनन प्रतिबल उत्पन्न नहीं होने चाहिये।

(5) प्रतिधारक दीवार के विभिन्न घटकों का अवभंजित हो जाना—प्रबलित कंक्रीट की प्रतिधारक दीवार के सभी घटक अपनी-अपनी जगह पर्याप्त दृढ़ होने चाहियें और अधिकतम बंकन तथा कर्तन बलों के प्रति सुरक्षित होने चाहिये। एक प्रबलित कंक्रीट प्रतिधारक दीवार के घटक तनन के कारण निम्न प्रकार से विफल हो सकते हैं। (चित्र 10.8)



चित्र 10.8—प्रास प्रकार की प्रतिधारक दीवार के विभिन्न घटकों का विफल होना
(Failure of Different Parts of a Cantilever Retaining Wall)

§ 10.6. प्रास प्रतिधारक दीवार के घटकों के माप निर्धारित करने के हस्तगुर (Thumb Rules for Fixing Sizes of Various Parts) :

हस्तगुर के आधार पर प्रास प्रतिधारक दीवार के विभिन्न घटकों के माप निम्न अपनाये जा सकते हैं। यह माप समतल भराव वाली प्रतिधारक दीवार के लिये हैं।

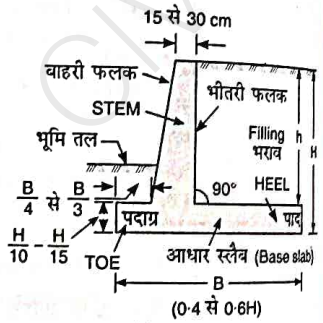
(1) **दीवार की कुल ऊँचाई**—यह भूमितल से ऊपर, दीवार की ऊँचाई तथा नींव की गहराई, दोनों का योगफल ली जाती है। इसे H से प्रदर्शित करते हैं (चित्र 10.9)।

(2) **उदग्र स्लैब या स्टम** (Vertical Slab or Stem)—

(i) शीर्ष पर चौड़ाई = 15 से 30 cm (यह 10 cm से कम नहीं होनी चाहिये)।

(ii) आधार पर चौड़ाई (उदग्र तथा क्षैतिज स्लैब के संगम पर)—यह बंकन आघूर्ण से ज्ञात की जाती है। मोटे तौर पर यह चौड़ाई (4 cm प्रति मी० ऊँचाई + शीर्ष पर चौड़ाई) के बराबर रखी जाती है।

(iii) स्टम की ऊँचाई, H में से आधार स्लैब की मोटाई घटाने से प्राप्त होती है। आधार स्लैब की मोटाई (3) के अनुसार ली जाती है।



चित्र 10.9

(3) **आधार स्लैब** (Base slab)—

(i) चौड़ाई, $B = 0{\cdot}4$ से $0{\cdot}6\,H$

(ii) मोटाई = $\frac{H}{10}$ से $\frac{H}{15}$, परन्तु न्यूनतम मोटाई 30 cm होनी चाहियें, यहाँ H = आधार मृदा के ऊपर दीवार की **कुल** ऊँचाई है।

(4) **पदाग्र का बढ़ाव (प्रोजक्शन)**—$B/4$ से $B/3$ तक, यहाँ B = आधार स्लैब की चौड़ाई है।

(5) **दीवार की भूमितल से गहरायी (नींव)**—यह रैन्किन सूत्र से ज्ञात की जाती है—

$$D = \frac{p}{\gamma}\left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]^2 \qquad \ldots(10.9)$$

यहाँ D = नींव की गहराई, मी० में

p = मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता, kg/m^2 में

γ = मृदा का घनत्व kg/m^3 में (Unit Weight of the Soil)

ϕ = मृदा का विश्राम कोण (Angle of Repose)

सामान्यत: नींव की गहराई 50 सेमी० से 100 सेमी० रखी जाती है।

(6) **भराव मृदा का दीवार पर पार्श्व दाब**—यह भराव वाली मृदा की प्रकार तथा इसके विश्राम कोण पर निर्भर करता है। समतल भराव के लिये यह क्षैतिज लिया जाता है।

यह दाब रैन्किन के निम्न सूत्र से ज्ञात किया जा सकता है—

समतल भराव के लिये पार्श्व दाब— $P = \frac{wh^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$ ...(सूत्र)

इस दाब का परिणामी आधार स्लैब से $h/3$ की ऊँचाई पर कार्यरत होगा।

यहाँ— w = भराव मृदा का घनत्व (kg/m^3)

ϕ = भराव मृदा का विश्राम कोण

h = भराव की गहराई (अथवा ऊँचाई), मी० में।

§ 10.7. प्रास प्रतिधारक दीवार के घटकों के अभिकल्पन सम्बन्धी बातें (Design Concept for Various Part) :

(1) **उदग्र स्लैब या स्टम**—

(i) स्टम के ऊपरी सिरा मुक्त होता है तथा निचला सिरा आधार स्लैब से आबद्ध होता है। इस पर भराव का पार्श्व दाब कार्य करता है। अत: इसका अभिकल्पन प्रास-स्लैब की भाँति किया जा सकता है। लम्बाई की दिशा में स्लैब की 1 m (1000 mm) चौड़ी पट्टी ली जाती है।

अधिकतम बंकन आघूर्ण स्टम के आबद्ध सिरे पर लिया जाता है और आधार पर मोटाई ज्ञात कर ली जाती है।

(ii) **प्रबलन**—तनन (मुख्य) इस्पात स्टम की भीतरी फलक (भराव वाली फलक) पर डाला जाता है। **यह खड़ी छड़ों के रूप में** होता है। छड़ों का अन्तराल $3D$ अथवा 450 mm, जो भी न्यूनतम हो, से अधिक नहीं होना चाहिये। यहाँ D, स्लैब की कुल मोटाई है। खड़ी छड़ों का न्यूनतम क्षेत्रफल, सकल खण्ड के क्षेत्रफल का, Fe 250 इस्पात के लिये 0·15% तथा Fe 415 इस्पात के लिये 0·12% होना चाहिये (I.S. Code, धारा 32·5)।

(iii) स्टम के मुक्त सिरे (शीर्ष) की ओर, बंकन आघूर्ण का मान घटता चला जाता है। यह h' की दर से घटता है। जब स्टम समान चौड़ाइं का होता है तो स्टम की तली से $0.79h'$ पर बंकन आघूर्ण का मान आधा रह जाता है (यहाँ h स्टम की ऊँचाई है)।

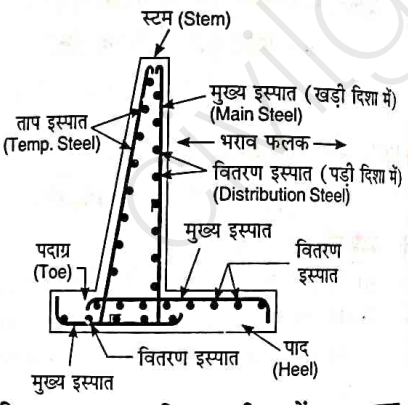
इसलिये तनन इस्पात की छड़ों को शीर्ष (Top) की ओर कम किया जा सकता है। परन्तु स्टम की तली में L_d = विकास लम्बाई तक कोई छड़ कम न की जाये।

(iv) जब किसी बिन्दु पर तनन छड़ को कम करना हो तो इसे उस बिन्दु से 12ϕ अथवा d जो भी मान अधिक हो, तक आगे बढ़ा कर ही समाप्त करना चाहिये।

(v) विकास लम्बाई प्राप्त करने के लिये, उदग्र छड़ों को मोड़ (Bend) देकर पदाग्र की चौड़ाई में ले जाना चाहिये। यदि ऐसा करना सम्भव न हो तो उसी व्यास की गुज्झी छड़ें (Dowels) जो L_d दूरी तक स्टम के भीतर रहें, डालनी चाहियें। इन गुज्झी छड़ों का दूसरा सिरा पदाग्र में दबा रहना चाहिये।

(vi) **वितरण इस्पात**—यह तनन इस्पात के लम्बवत् डाला जाता है अर्थात् पड़ी दिशा (क्षैतिज) में होता है। इसकी मात्रा Fe 250 इस्पात के लिये $0.25 \times$ सकल खण्ड क्षेत्रफल और Fe 415 टोर छड़ों के लिये $0.20 \times$ सकल खण्ड क्षेत्रफल से कम नहीं होगी (I.S.Code 456–2000]। वितरण छड़ों का अन्तराल ऊपर वर्णित (ii) के अनुसार होगा।

(vii) **ताप प्रबलन (Temperature Steel)**—स्टम की बाहरी फलक पर ताप प्रबलन डाला जाता है, ताकि यह फलक पर दरारें तथा संकुचन को रोक सके। इसका क्षेत्रफल भी वितरण इस्पात के बराबर रखा जाता है। ताप प्रबलन उदग्र तथा क्षैतिज छड़ों के जाल के रूप में डाला जाता है।



चित्र 10.10—प्रास प्रतिधारक दीवार में प्रबलन इस्पात (Reinforcement in C.R.W.)

(viii) जब दीवार 200 mm से अधिक मोटी है, तब इसकी दोनों फलकों पर खड़ा व पड़ा प्रबलन दिया जायेगा (I.S. Code धारा 32.5.1)। प्रास प्रतिधारक दीवार में प्रबलन की स्थिति चित्र 10.10 में दिखायी गयी है।

(2) **आधार स्लैब**—इसका अभिकल्पन दो भागों में किया जाता है—(a) पदाग्र (Toe) तथा (b) पाद (Heel) का अभिकल्पन।

आधार स्लैब पर दाब की प्रवृत्ति चित्र 10.11 में दर्शायी गयी है।

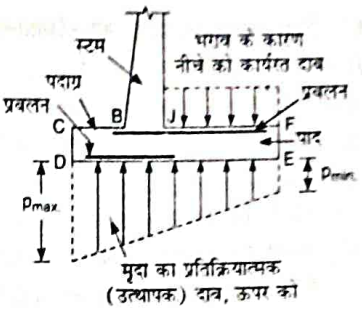
(a) **पदाग्र (Toe)**—

(i) पदाग्र पर नीचे से मृदा का उत्थापक दाब (Upward Pressure) पड़ता है। अत: यह उल्टी प्रास स्लैब की भाँति अभिकल्पित की जाती है और अधिकतम आघूर्ण के लिये पदाग्र के आबद्ध सिरे B पर मोटाई ज्ञात की जाती है।

(ii) गणनायें करते समय पदाग्र का स्वयम् का भार छोड़ दिया जाता है।

(iii) तनन इस्पात पदाग्र की निचली फलक पर डाला जाता है, क्योंकि इसी फलक पर तनन उपजता है।

तनन इस्पात की स्थिति चित्र 10.11 में दिखायी गयी है।



चित्र 10.11

(iv) **कर्तन में जाँच**—कर्तन के लिये क्रान्तिक काट, स्टम के संगम से d की दूरी पर लिया जायेगा। कर्तन प्रतिबल τ_v का मान, कंक्रीट की कर्तन सामर्थ्य τ_c से अधिक नहीं होना चाहिये।

(b) **पाद** (Heel)—पाद स्लैब पर निम्न बल कार्य करते हैं—

(i) पाद स्लैब के ऊपर भराव (Filling) का भार जो नीचे को कार्य करता है।

(ii) अवमृदा का प्रतिक्रियात्मक दाब जो ऊपर को (Up-ward) कार्य करता है।

उपरोक्त बलों का शुद्ध परिणामी सामान्यत: नीचे को ↓ कार्य करता है। अत: पाद एक प्रास स्लैब की भाँति अभिकल्पित किया जाता है जो J-बिन्दु पर आबद्ध मानी जाती है। तनन इस्पात इसके ऊपरी फलक पर डाला जाता है।

तनन इस्पात की स्थिति चित्र 10.11 में दिखायी गयी है।

(c) **वितरण इस्पात**—इसकी मात्रा स्लैब खण्ड के क्षेत्रफल का 0·20% (Fe 415 के लिये) या 0·25% (Fe 250 के लिये) ली जाती है।

§ 10.8. प्रास प्रतिधारक दीवार के अभिकल्पन के चरण (Design Steps for Cantilever Retaining Wall) :

प्रास प्रतिधारक दीवार के अभिकल्पन के चरण निम्न दिये जा रहे हैं—

(A) **घटकों के माप** (Dimensions of Various Parts)—

(1) भराव की ऊँचाई के अनुसार हस्त-गुर की सहायता से स्टम तथा आधार स्लैब के सभी माप मान लें।

(B) **दीवार की स्थिरता की जाँच** (Stability of Wall)—

(2) भराव की मिट्टी का क्षैतिज दाब निम्न रैन्किन सूत्र से ज्ञात करें—

$$P = \frac{wh^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right) \quad \text{...(सूत्र)}$$

(3) दीवार की एक मी० लम्बाई लेते हुये, इसकी पलटने, सरकने तथा नींव पर अधिकतम दाब की जाँच करें। इसके लिये दाब-आरेख खींचें, जो पदाग्र तथा पाद के अभिकल्पन के लिये आवश्यक है।

(C) दीवार के विभिन्न घटकों का अभिकल्पन—

(i) स्टम का अभिकल्पन—

(4) स्टम के आधार (Bottom) पर अधिकतम बंकन आघूर्ण ज्ञात करें और इसकी मोटाई निर्धारित करें।

(5) तनन (मुख्य) इस्पात का क्षेत्रफल ज्ञात करें और छड़ों का व्यास एवं अन्तराल निर्धारित करें।

(6) मुख्य इस्पात की मात्रा को स्टम-ऊँचाई में उपयुक्त बिन्दु पर कम करें। तनन इस्पात स्टम की भीतरी फलक (भराव वाला भाग) पर डाला जाता है।

(7) भीतरी तथा बाहरी फलक के लिये वितरण इस्पात (Fe 415) की मात्रा 0·12% × खण्ड क्षेत्रफल के अनुसार ज्ञात करें। छड़ों का व्यास तथा अन्तराल निर्धारित करें।

(ii) पदाग्र (Toe)—

(8) पदाग्र पर दाब आरेख की सहायता से कुल दाब ज्ञात करें तथा इसका आबद्ध सिरे से गुरुत्व केन्द्र ज्ञात करें। मृदा के दाब में से पदाग्र का स्वयम् का भार, जो नीचे की ओर कार्य करता है, घटाकर शुद्ध दाब गणना में लें।

(9) पदाग्र के लिये बंकन आघूर्ण ज्ञात करें और इससे खण्ड की गहराई तथा तनन इस्पात की मात्रा निकाल लें। तनन प्रबलन पदाग्र की तली में डाला जायेगा।

(10) वितरण इस्पात (Fe 415) 0·20% की दर से ज्ञात करके, छड़ों का व्यास तथा अन्तराल निर्धारित करें।

(11) कर्तन में खण्ड की जाँच करें। कर्तन के लिये क्रान्तिक काट आबद्ध सिरे से d (प्रभावी गहराई) दूरी पर लिया जाता है।

(iii) पाद (Heel)—

(12) पाद पर कार्यरत कुल दाब तथा इसके गुरुत्व केन्द्र की दूरी स्टम के संगम बिन्दु से ज्ञात करें।

(13) बंकन आघूर्ण का मान ज्ञात कर, इस्पात की मात्रा निर्धारित करें तथा छड़ों का व्यास तथा अन्तराल निकाल लें। यह प्रबलन पाद के **ऊपरी** फलक में डाला जायेगा।

(14) वितरण इस्पात का क्षेत्रफल, छड़ों का व्यास तथा अन्तराल ज्ञात करें।

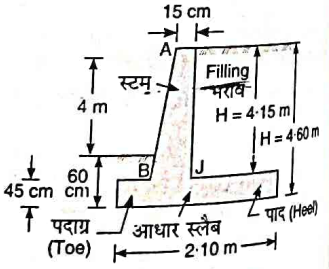
(15) खण्ड की कर्तन में जाँच करें। क्रान्तिक खण्ड के लिये, क्रान्तिक-काट पाद व स्टम के संगम बिन्दु पर लिया जायेगा।

(D) चित्र—

(16) दीवार-काट का चित्र खींच कर, विभिन्न घटकों में प्रबलन इस्पात की स्थिति दर्शायें।

उदाहरण 10.1 : चित्र 10.12 में प्रबलित कंक्रीट की टी-प्रकार की प्रतिधारक दीवार दिखायी गयी है। इसके स्टम (Stem) में निम्न प्रबलन डाला गया है–

(i) मुख्य छड़ें = 16 mm ϕ 200 mm c/c, शीर्ष से 2 मी० की गहराई तक। इसके नीचे 16 mm ϕ @ 100 mm c/c



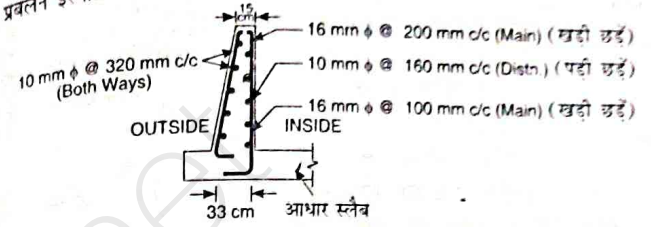
चित्र 10.12

(ii) वितरण छड़ें = 10 mm ϕ @ 160 mm c/c

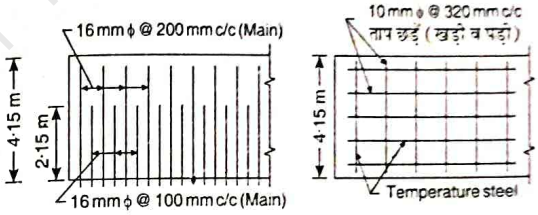
(iii) ताप प्रबलन = 10 mm ϕ @ 320 mm c/c, दोनों दिशाओं में (बाहरी फलक पर)।

स्टम की तली पर मोटाई 35 mm मान लें। स्टम में उपरोक्त प्रबलन छड़ों की स्थिति दर्शायें।

हल : प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 10.13 में दिखायी गयी है।



(i) X-Section of Retaining Wall

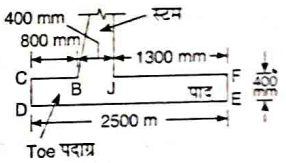


(ii) Elevation (Inner View) (iii) Elevation (Outer View)

(भीतरी एलीवेशन में वितरण प्रबलन, जो पड़ी-दिशा में है, स्थानाभाव के कारण चित्र में नहीं दिखाया गया है)

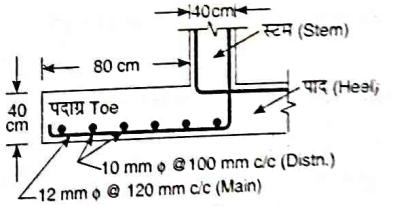
चित्र 10.13—स्टम (Stem) में प्रबलन इस्पात की स्थिति

उदाहरण 10.2 : चित्र 10.14 में एक प्रतिधारक दीवार की प्रास प्रकार की पदाग्र (Toe) दिखायी गयी है। इसमें मुख्य प्रबलन के रूप में 12 mm व्यास की छड़ें 120 mm c/c पर डाली गयी हैं। वितरण इस्पात 10 mm व्यास का, 100 mm c/c पर डाला गया है। पदाग्र का स्वच्छ चित्र खींच कर प्रबलन छड़ों की स्थिति दर्शायें।



चित्र 10.14

हल : पदाग्र में प्रबलन इस्पात चित्र 10.15 में दर्शाया गया है।



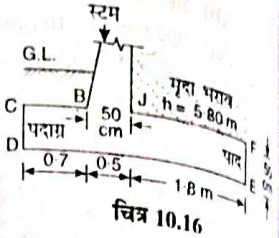
चित्र 10.15—पदाग्र में प्रबलन इस्पात

उदाहरण 10.3 : चित्र 10.16 में एक टी-प्रकार की प्रतिधारक दीवार की आधार स्लैब दिखायी गयी है। इसमें प्रबलन इस्पात का विवरण निम्न है—

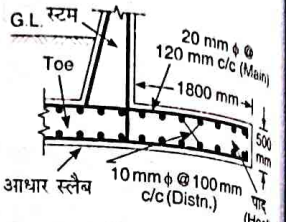
(i) मुख्य इस्पात = 20 mm ϕ @ 120 mm c/c

(ii) वितरण इस्पात = 10 mm ϕ @ 100 mm c/c

पाद में प्रबलन छड़ों की स्थिति दर्शायें। पाद का अभिकल्पन प्रास स्लैब की भाँति किया गया है।



चित्र 10.16



चित्र 10.17

हल : प्रबलन छड़ों की स्थिति चित्र 10.17 में दर्शायी गयी है—अतिरिक्त सुरक्षा के लिये पाद की तली पर भी मुख्य व वितरण छड़े दे।

उदाहरण 10.4 : 5 मी० ऊँचे मृदा-भराव के लिये टी-प्रकार की प्रबलित कंक्रीट की प्रतिधारक दीवार का पूर्ण अभिकल्पन करें। मृदा का भार 1760 kg/m², सुरक्षी भार धारण क्षमता 18 टन/m², और विश्राम कोण 30° है। दीवार के लिये M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी के इस्पात का प्रयोग कीजिए। घर्षण गुणक = 0·6 मान लें।

हल : प्रतिधारक दीवार की लम्बाई की दिशा में एक मी० चौड़ी पट्टी लेते हुये अभिकल्पन किया जायेगा।

(1) भूमि तल से प्रतिधारक दीवार की नींव की गहराई—

$$D = \frac{p}{\gamma}\left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]^2 \quad \text{...(सूत्र)}$$

उपरोक्त में p = मृदा की सुरक्षित भार-धारण क्षमता, 18 टन/m²

γ = मृदा का घनत्व, 1760 kg/m²

ϕ = विश्राम कोण 30°

$$\therefore \quad D = \frac{18\times1000}{1760}\left[\frac{1-\sin 30°}{1+\sin 30°}\right]^2 = \frac{18\times1000}{1760}\times\frac{1}{9} = 1{\cdot}1 \text{ m say } 1 \text{ m}$$

(2) प्रतिरोधक दीवार के लिये निम्न माप, हस्त-गुर के आधार पर मान लिये गये हैं, जिनकी उपयुक्तता की आगे चलकर जाँच की जायेगी।

(i) दीवार की नींव सहित कुल ऊँचाई $H = 5 + 1 = 6$ m

(ii) स्टम की शीर्ष पर चौड़ाई = 20 cm

(iii) स्टम की तली पर चौड़ाई = $20 + (6 \times 4) = 44$ cm

(iv) आधार स्लैब की चौड़ाई, $0{\cdot}5\,H$ रखने पर,

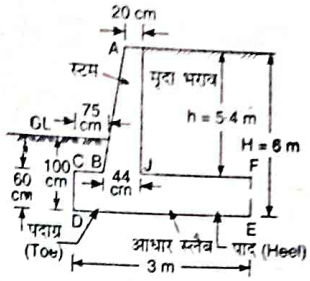
$B = 0{\cdot}5 \times 6 = 3$ m

(यहाँ H = दीवार की कुल गहराई है)

(v) आधार स्लैब की मोटाई

$$= \frac{H}{10} = \frac{6}{10} = 0{\cdot}6 \text{ m}$$

(vi) पदाग्र की लम्बाई $\frac{B}{4} = \frac{3{\cdot}0}{4} = 0{\cdot}75$ m



चित्र 10.18

यह सभी माप चित्र 10.18 में दिखाये गये हैं।

अपनाये गये उपरोक्त मापों के लिये अब प्रतिधारक दीवार की स्थिरता की जाँच की जायेगी।

(3) दीवार की स्थिरता की जाँच—स्थिरता के लिये निम्न जाँच की जायेगी—

(i) **पलटने**, (ii) **रारकने** (iii) **अवमृदा पर अधिकतम दाब** की जाँच।

(a) **दीवार की पलटने** (Over Turning) **में जाँच**—भराव की मृदा का क्षैतिज बल, दीवार को पलटने की चेष्टा करता है, जबकि दीवार का स्वयं का भार तथा इसकी पाद पर पड़ी मृदा का भार, जो दोनों ऊर्ध्वाधर नीचे को कार्यरत हैं, दीवार को पलटने से रोकते हैं। अत: इन दोनों विपरीत प्रकार के बलों का पदाग्र की फलक C–D के सापेक्ष आघूर्ण लेकर दीवार की स्थिरता की जाँच करते हैं।

(i) दीवार की कुल ऊँचाई पर कार्यरत क्षैतिज दाब जो इसे पलटने में लगा है—

$$P = \frac{1}{2} w H^2 \left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right] \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= \frac{1}{2}\times1760\times6^2\times\left[\frac{1-\sin 30°}{1+\sin 30°}\right]$$

$$= \frac{1}{2}\times1760\times36\times\frac{1}{3} = 10560 \text{ kg} \leftarrow$$

यह बल तली से $\frac{H}{3}$ की ऊँचाई पर कार्यरत है। फलक CD के सापेक्ष आघूर्ण लेने पर— पलटन आघूर्ण = $10560 \times \frac{6}{3} = 21120$ kg-m ...(i)

(ii) दीवार को स्थिर रखने में कार्यरत भार तथा इसका फलक CD के प्रति आघूर्ण बल ज्ञात करने के लिये दीवार के विभिन्न घटकों तथा पाद की मृदा का भार तथा आघूर्ण निम्न सारणी के रूप में दिये गये हैं।

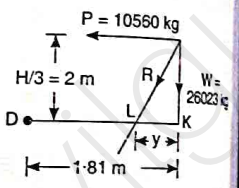
सारणी 10.1–प्रतिस्थापन आघूर्ण

विवरण	भार (kg) प्रति मी० लम्बाई में	बिन्दु D के प्रति आघूर्ण (kg-m)
(1) स्टेम स्लैब	$W_1 = 1 \times \left(\frac{0.2+0.44}{2}\right) \times 5.4 \times 2500$ = 4320 kg	4320 × [0·75 + $\bar{x}$] (यहाँ $\bar{x}$ = 0·273) ∴ 4320 × [0·75 + 0·273] = 4420 kg-m
(2) आधार स्लैब	$W_2 = 1 \times 3 \times 0.6 \times 2500$ = 4500 kg	4500 × 3/2 = 6750 kg-m
(3) मृदा-भराव	$W_3 = 1 \times 1.81 \times 5.4 \times 1760$ = 17203 kg	$17203 \times \left[0.75 + 0.44 + \frac{1.81}{2}\right]$ = 36041 kg-m
योग	26023 kg	47211 kg-m

अतः परिस्थापन आघूर्ण 47211 kg-m ...(i)

फलक CD से कुल भार का गुरुत्व केन्द्र— $= \frac{47211}{26023} = 1.814$ m say 1·81 m

पलटन तथा प्रतिस्थापन बल तथा इनकी फलक CD से दूरी चित्र 10.19 में स्पष्ट की गयी है।



चित्र 10.19

$$\text{सुरक्षा कारक} = \frac{\text{प्रतिस्थान}}{\text{पलटन आघूर्ण}}$$

$$= \frac{47211}{21120} = 2.24$$

नये कोड के अनुसार यह मान **1·55** से कम नहीं होना चाहिये। **अतः दीवार पलटने से सुरक्षित है।**

(b) **दीवार की सरकने** (Sliding) **में जाँच**—मृदा-भराव के क्षैतिज दाब के कारण दीवार आधार को सरकने की चेष्टा में रहती है, जबकि आधार स्लैब की कंक्रीट तथा नीचे की मृदा के मध्य उत्पन्न घर्षण प्रतिरोध इसे ऐसा करने से रोकता है।

मृदा का कुल क्षैतिज दाब = 10560 kg

घर्षण बल, घर्षण गुणांक 0·60 लेते हुये— $\mu W = 26023 \times 0.6 = 15614$ kg

$$\therefore \quad \text{सुरक्षा कारक} = \frac{\mu W}{P} = \frac{15614}{10560} = 1.48$$

नये कोड के अनुसार यह मान **1·4** से कम नहीं होना चाहिये। **अतः दीवार सरकन प्रतिरोध में सुरक्षित है।**

सरकन प्रतिरोध बढ़ाने के लिये पाद के नीचे ऐड़ी (Shear Key) लगायी जा सकती है।

(c) **अव-मृदा पर अधिकतम दाब की जाँच**—ऊपर दिये गये चित्र 10.19 पर पुनः ध्यान दें। माना P और W का परिणामी आधार स्लैब को बिन्दु L पर काटता हुआ निकलता है।

बिन्दु L के प्रति उपरोक्त बलों का आघूर्ण लेने पर—

$$10560 \times 2 = 26023 \times (\text{दूरी } L - K)$$

$$\therefore \quad L - K \text{ दूरी} = \frac{10560 \times 2}{26023} = 0.81$$

$$\therefore \quad D - L \text{ दूरी} = 1.81 - 0.81 = 1 \text{ m}$$

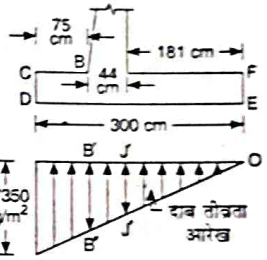
अतः परिणामी पदाग्र की फलक से 1 m भीतर से निकलता है।

परिणामी बल की उत्केन्द्रता (Eccentricity),

$$e = \frac{3.0}{2} - 1 = 0.5 \text{ m}$$

परिणामी बल आधार स्लैब के मध्य तिहाई से निकलना चाहिये और उत्केन्द्रता, $e = \frac{\text{आधार चौड़ाई}}{6}$ से अधिक नहीं होनी चाहिये।

$$= \frac{300}{6} = 50 \text{ cm}$$ अतः सुरक्षित है।



चित्र 10.20—दाब तीव्रता आरेख

आधार स्लैब पर अधिकतम तथा न्यूनतम दाब तीव्रता

$$= \frac{W}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

यहाँ $W = 26023$ kg

A = आधार का क्षेत्रफल = $3 \times 1 = 3$ m²

$M = W \times e = 26023 \times 0.5 = 13012$

$$Z = \frac{1}{y} = \frac{bd^3}{12} \times \frac{2}{d} = \frac{b \times d^2}{6}, \text{ यहाँ } b \text{ दीवार की लम्बाई है।}$$

$$= \frac{1 \times (3)^2}{6} = 1.5$$

$$\therefore \text{ दाब तीव्रता, } \quad p = \frac{26023}{3} \pm \frac{13012}{1.5}$$

$$p = 8675 \pm 8675$$

$$\therefore \quad \text{अधिकतम दाब तीव्रता } p_{max} = 8675 + 8675 = 17350 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{न्यूनतम दाब तीव्रता } p_{min} = 8675 - 8675 = 0$$

मृदा पर अधिकतम दाब 17350 kg/m² है जो इसकी सुरक्षित भार धारण क्षमता, 18000 kg/m² से कम है अतः **नींव अधिकतम भार के प्रति सुरक्षित है।**

civilguruji.net

(4) स्टम स्लैब का अभिकल्पन—(i) दीवार की एक मी० लम्बाई लेते हुये—दीवार पर कार्यरत पृथ्वी का कुल दाब, $P = \frac{1}{2} w h^2 \left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]$

$$= \frac{1}{2} \times 1760 \times 5{\cdot}4^2 \left[\frac{1-\sin 30^\circ}{1+\sin 30^\circ}\right]$$

$$= \frac{1}{2} \times 1760 \times 5{\cdot}4^2 \times \frac{1}{3} = 8554 \text{ kg.}$$ यह दाब तली से $\frac{h}{3}$ ऊँचाई पर कार्यरत है।

(ii) *B–J* पर बंकन आघूर्ण, $M = P \times \frac{h}{3}$

$$= 8554 \times \frac{5{\cdot}4}{3}$$

$$= 15398 \text{ kg-m} = 15398 \times 10^4 \text{ N-mm}$$

(iii) फैक्टर (Factored) आघूर्ण, भार-गुणक 1·5 लेने पर,

$$M_u = 1{\cdot}5 \times 15398 \times 10^4$$

$$= 23097 \times 10^4 \text{ N.mm say } 231 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_u = 0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck} \qquad \text{(For Fe 415)}$$

$$231 \times 10^6 = 0{\cdot}138 \times 1000 \times 15d^2$$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{231 \times 1000000}{0{\cdot}138 \times 1000 \times 15}} = 334 \text{ mm}$$

Say 340 mm और 60 mm का आवरण रखने पर, कुल गहरायी = 400 mm

यह मोटाई शीर्ष (Top) पर समरूपी घटाते हुये, 200 mm रखी जायेगी।

(iv) तनन इस्पात-का क्षेत्रफल—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_{u\,max}) \quad \text{(अल्प-प्रबलित खण्ड के लिये)}$$

इस समीकरण को इस रूप में भी लिखा जाता है—

$$M_u = 0{\cdot}695 f_y A_{st} d \qquad \text{...(A.K. Jain)}$$

अथवा $$A_{st} = \frac{M_u}{0{\cdot}695 f_y d}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{231000000}{0{\cdot}695 \times 415 \times 340} = 2356 \text{ mm}^2$$

20 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

$$s = \frac{a_1 \times 1000}{A_{st}} = \frac{314 \times 1000}{2356} = 134 \text{ mm}$$

अत: 20 mm ϕ की छड़ें 140 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(v) छड़ों को कम करना—चूँकि स्टम के मुक्त सिरे की तरफ बंकन आघूर्ण का मान घटता जाता है, अत: तनन इस्पात का क्षेत्रफल कम किया जा सकता है।

माना छड़ों को स्टम शीर्ष से 2·5 मी० तथा 1·5 मी० की दूरी (तली की ओर) पर कम करना है। इन बिन्दुओं पर बंकन आघूर्ण निम्न प्रकार से ज्ञात होगा—

$$M_r = \frac{1}{2} w h^2 \left[\frac{1-\sin 30^\circ}{1+\sin 30^\circ}\right] \times \frac{h}{3} = \frac{w h^3}{18} \text{ kg-m}$$

(a) स्टम-शीर्ष से 2·5 मी० की दूरी (गहराई) पर बंकन आघूर्ण—

$$M = \frac{1760 \times (2{\cdot}5)^3}{18} = 1528 \text{ kg-m}$$

फैक्टर बंकन आघूर्ण = 1·5 × 1528 = 2292 kg.m

स्टम के शीर्ष से 2·5 मी० की दूरी (गहरायी) पर प्रभावी मोटाई,

$$d = 20 + \left(\frac{34-20}{5{\cdot}4} \times 2{\cdot}5\right) = 26{\cdot}48 \text{ cm} = 265 \text{ mm}$$

$$M_u = 0{\cdot}695 f_y A_{st} d \qquad \text{...(सूत्र)}$$

$$\therefore \quad A_{st_1} = \frac{22920000}{0{\cdot}695 \times 415 \times 265} = 300 \text{ mm}^2$$

यह मान स्टम की तली पर डाले गये तनन इस्पात के आधे से कम है अत: 20 mm व्यास की छड़ों का अन्तराल दो गुना किया जा सकता है अर्थात् 280 mm c/c रखा जायेगा।

(b) स्टम शीर्ष से 1·5 मी० की दूरी (गहरायी) पर बंकन आघूर्ण—

$$M = \frac{1760 \times (1{\cdot}5)^3}{18} = 330 \text{ kg-m}$$

फैक्टर बंकन आघूर्ण = 330 × 1·5 = 495 kg.m = 4950000 N.mm

स्टम के शीर्ष से 1·5 मी० की दूरी (गहरायी) पर प्रभावी मोटाई,

$$d = 20 + \left(\frac{34-20}{5{\cdot}4} \times 1{\cdot}5\right) = 23{\cdot}9 \text{ cm say } 240 \text{ mm}$$

$$A_{st_2} = \frac{M_u}{0{\cdot}695 f_y \times d} = \frac{4950000}{0{\cdot}695 \times 415 \times 240} = 72 \text{ mm}^2$$

civilguru.net

यह क्षेत्रफल उपरोक्त का एक चौथाई से भी कम रह जाता है अत: 20 mm व्यास के छड़ों का अन्तराल पुन: दो गुना अर्थात् तली पर डाली गयी छड़ों का चार गुना किया जाता है। अत: 20 mm व्यास की छड़े 560 mm c/c पर डाली जायेंगी।

परन्तु I. S. कोड के अनुसार यह अन्तराल $3 \times D$ अथवा 300 mm जो भी न्यूनतम हो, से अधिक नही होना चाहिये। अत: स्टम शीर्ष से 2·5 मी० की दूरी पर जो व्यवस्था अपनायी गयी है, उसी को स्टम के शीर्ष (Top) तक बढ़ाते हैं, अर्थात् 280 mm c/c.

(vi) वितरण एवं ताप इस्पात— $A_{st} = \frac{0{\cdot}20}{100} \times$ खण्ड के काट का क्षेत्रफल

$$= \frac{0{\cdot}20}{100} \times \left(\frac{200+340}{2}\right) \times 1000 = 540 \text{ mm}^2$$

10 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

$$= \frac{79 \times 1000}{690} = 146 \text{ mm say } 140 \text{ mm c/c}$$

यह इस्पात स्टम स्लैब की **भीतरी फलक पर क्षैतिज स्थिति** (लम्बाई की दिशा) में डाला जायेगा।

स्टम की बाहरी फलक पर ताप प्रबलन के लिये छड़ें जाल के रूप में डाली जायेंगी

10 mm व्यास की छड़ों का अन्तराल $2 \times 140 = 280$ mm c/c रखा जायेगा।

(vii) कर्तन में जाँच—

कर्तन बल, $V_u = 8554$ kg

फैक्टर कर्तन बल $= 1{\cdot}5 \times 8554 = 12831$ kg

नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{12831}{1000 \times 340} = 0{\cdot}38 \text{ N/mm}^2$

सन्तुलित खण्ड के लिये प्रबलन इस्पात 0·72% (Fe 415 टोर छड़ों के लिये) लेते हुये, सन्तुलित खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य (सारिणी 4.1 से) $\tau_c = 0{\cdot}54 \text{ N/mm}^2$

$\because \tau_c > \tau_v$, अत: स्टम स्लैब कर्तन में सुरक्षित है।

(5) आधार स्लैब का अभिकल्पन—आधार स्लैब का अभिकल्पन दो भागों में किया जाता है—

(a) पदाग्र (Toe) का अभिकल्पन।

(b) पाद (Heel) का अभिकल्पन।

5(a) पदाग्र स्लैब (Toe) का अभिकल्पन–दाब तीव्रता आरेख (चित्र 10.20) पर पुन: ध्यान देने पर—

(i) पदाग्र पर अधिकतम दाब तीव्रता = 17350 kg

पाद पर न्यूनतम दाब तीव्रता = 0

उपरोक्त (4) के अनुसार स्टम की तली पर मोटाई 400 mm अपनायी गयी है

काट $B'B''$ पर दाब तीव्रता $= \frac{17350}{300} \times 225$

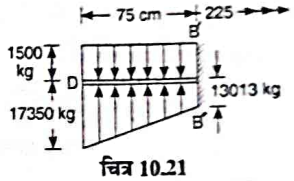
$= 13013 \text{ kg/m}^2$

अभिकल्पन के लिये लम्बाई की दिशा में एक मी० चौड़ी पट्टी लेते हैं।

पदाग्र एक प्राम-स्लैब की भाँति कार्य करता है जो 75 cm बाहर निकला हुआ है। इसके ऊपर की मृदा के भार को (जो बहुत ही कम होता है) छोड़ दिया जाता है। अत: पदाग्र का अवमृदा के प्रतिक्रियात्मक दाब जो इसकी तली पर ऊपर को कार्यरत है, मे पदाग्र का स्वयं का भार जो नीचे को पड़ता है, घटाकर इसे शुद्ध दाब के लिये अभिकल्पित किया जायेगा।

पदाग्र का प्रति मी० स्वयं का भार $= 1 \times 1 \times 0{\cdot}60 \times 2500 = 1500 \text{ kg/m}^2$

शुद्ध दाब आरेख चित्र 10.21 के अनुसार होगा।



चित्र 10.21

प्राम के मुक्त सिरे पर शुद्ध दाब

$= 17350 - 1500 = 15850$ kg

प्राम के आबद्ध सिरे पर शुद्ध दाब

$= 13013 - 1500 = 11513$ kg

(ii) अधिकतम बंकन आघूर्ण—दाब चतुर्भुज का क्षेत्रफल $\times B'B''$ से गुरुत्व केन्द्र की दूरी,

$$= 1 \times \left(\frac{15850+11513}{2} \times 0{\cdot}75\right) \times \left(\frac{11513+2\times15850}{11513+15850}\right) \times \frac{0{\cdot}75}{3}$$

$= 1 \times 10261 \times 0{\cdot}40 = 4104{\cdot}4 \text{ kg m} = 41044000 \text{ N-mm}$

फैक्टर बंकन आघूर्ण $= 1{\cdot}5 \times 41044000 = 61566000$ N.mm

(iii) पदाग्र की प्रभावी मोटाई—$M_u = 0{\cdot}138\, bd^2 f_{ck}$, ज्ञात मान रखने पर,

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{61566000}{0{\cdot}138 \times 1000 \times 15}} = 173 \text{ mm} = 17{\cdot}3 \text{ cm}$$

परन्तु पदाग्र की मोटाई 60 cm तथा प्रभावी मोटाई 60 – 7 = 53 cm रखी गयी है, जो व्यवहारिक दृष्टि से अपनायी गयी है।

(iv) तनन इस्पात का क्षेत्रफल—

$$M_u = 0{\cdot}695\, f_y A_{st}\, d$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{61566000}{0{\cdot}695 \times 415 \times 530} = 403 \text{ mm}^2$$

12 mm ϕ की छड़ प्रयोग करते हुये, छड़ों का अन्तराल, $= \frac{113 \times 1000}{403} = 280$ mm

अत: 12 mm ϕ की छड़ें 280 mm c/c पर डाली जायेंगी। यह छड़ें पदाग्र की तली, पर 70 mm का आवरण देकर डाली जायेंगी।

civilguru.net

(v) **वितरण इस्पात**—अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल का 0·20% लेते हुये,

$$\frac{0\cdot20}{100}\times600\times1000=1200\ \text{mm}^2$$

12 mm ϕ की छड़ का प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल, $\frac{113\times1000}{1200}=94$ mm

अत: 12 mm व्यास की छड़े 100 mm c/c पर प्रयोग की जायेगी।

(vi) **कर्तन में जाँच**—कर्तन के लिये क्रान्तिक काट B बिन्दु से d अर्थात् 53 cm की दूरी पर लिया जायेगा। काट पर कर्तन बल की तीव्रता—

$$=11513+\left(\frac{15850-11513}{75}\right)\times53=11513+3065=14578\ \text{kg}$$

$$\therefore \text{कर्तन बल, } V_u=\left(\frac{15850-14578}{2}\right)\times(0\cdot75-0\cdot53)=3347\ \text{kg}=33470\ \text{N}$$

फैक्टर कर्तन बल, $V_u=1\cdot5\times33470\ \text{N}=50205\ \text{N}$

नामन कर्तन बल, $\tau_v=\frac{V_u}{b\times d}\times\frac{50205}{1000\times530}=0\cdot10\ \text{N/mm}^2$

खण्ड में तनन इस्पात का प्रतिशत $=\frac{403}{1000\times530}\times100=0\cdot08\%$

खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c=0\cdot28\ \text{N/mm}^2$

चूँकि $\tau_c>\tau_v$, अत: पदाग्र कर्तन में सुरक्षित हैं।

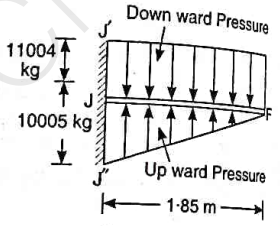
5(b) **पाद स्लैब** (Heel) **का अभिकल्पन**—पाद स्लैब एक ब्रैकेट की भाति कार्य करेगी। अभिकल्पन के लिये पाद स्लैब की लम्बाई की दिशा में एक मी० चौड़ी पट्टी ली जाती है।

(i) **भार**—पाद स्लैब पर दो विपरीत प्रकृति के दाब कार्य करते हैं।

(a) पाद स्लैब पर नीचे से कार्यरत दाब। पाद के बाहरी किनारे F पर यह दाब शून्य तथा स्टम व पाद के संगम J पर—

$\frac{17350}{3}\times1\cdot85=10699\ \text{kg/m}^2$ होगा।

यह दाब त्रिभुज के गुरुत्व केन्द्र पर कार्यरत माना जायेगा।



चित्र 10.22

(b) पाद स्लैब पर ऊपर से मृदा-भराव तथा स्लैब का स्वयं का भार पड़ रहा है, जो नीचे को कार्यरत है।

मृदा-भराव का भार $=1\times1\times5\cdot4\times1760=9504\ \text{kg/m}^2$

पाद स्लैब का स्वयं का भार $=1\times1\times0\cdot6\times2500=1500\ \text{kg/m}^2$

कुल भार $=11004\ \text{kg/m}^2$

(ii) **बिन्दु J पर शुद्ध बंकन आघूर्ण** = ऊपर से कार्यरत भार के कारण बंकन आघूर्ण—नीचे से कार्यरत भार के कारण बंकन आघूर्ण

(a) ऊपरी दाब के कारण बंकन आघूर्ण $=\frac{wl^2}{2}$

$$=11004\times\left(\frac{1\cdot85\times1\cdot85}{2}\right)=18831\ \text{kg-m}$$

(b) निचले प्रतिक्रियात्मक दाब के कारण बंकन आघूर्ण

$$=\left(\frac{10699+0}{2}\right)\times1\cdot85\times[\text{गुरुत्व केन्द्र की दूरी}]$$

$$=\left(\frac{10699\times1\cdot85}{2}\right)\times\frac{1\cdot85}{3}=6103\ \text{kg-m}$$

शुद्ध बंकन आघूर्ण $=18831-6103=12728\ \text{kg-m}=12728\times10^4\ \text{N-mm}$

फैक्टर बंकन आघूर्ण $=1\cdot5\times12728\times10^4=19092\times10^4\ \text{N.mm}$

(iii) **पाद स्लैब की मोटाई**—

$$M_u=0\cdot138\,b\,d^2f_{ck} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

$$\therefore\quad d=\sqrt{\frac{190920000}{0\cdot138\times1000\times15}}=304\ \text{mm}=30\cdot4\ \text{cm}$$

परन्तु उपलब्ध प्रभावी गहराई $=60-7=53$ cm, अत: सुरक्षित है।

(iv) **तनन इस्पात का क्षेत्रफल**—

$$M_u=0\cdot695\,f_y\,A_{st}\,d \qquad \text{...(सूत्र)}$$

$$\therefore\quad A_{st}=\frac{M_u}{0\cdot695\,f_y\,d}=\frac{190920000}{0\cdot695\times415\times530}=1245\ \text{mm}^2$$

20 mm ϕ की छड़ का प्रयोग करते हुये, छड़ों का अन्तराल $=\frac{314\times1000}{1245}=252$ mm say 250 mm अत: 20 mm ϕ की छड़ें 250 mm c/c पर डाली जायेंगी। यह छड़ें पाद स्लैब के ऊपरी फलक पर डाली जायेंगी, क्योंकि शुद्ध बंकन आघूर्ण की प्रकृति नीचे को है।

(v) **वितरण इस्पात**—यह स्लैब खण्ड का 0·20% लिया जाता है,

$$=\frac{0\cdot20}{100}\times600\times1000=1200\ \text{mm}^2$$

12 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल $=\frac{113\times1000}{1200}=94$ mm.

अत: 12 mm व्यास की छड़ 100 mm c/c पर प्रयोग की जायेगी।

(vi) कर्तन में जाँच—कर्तन की जाँच के लिये क्रान्तिक काट नये कोड के अनुसार [illegible] पाद के संगम पर लिया जायेगा।

शुद्ध कर्तन बल, $V_u = (11004 \times 1{\cdot}85) - \left[\left(\frac{10005+0}{2}\right) \times 1.85\right]$

$V_u = 20357 - 9255 = 11102 \text{ kg} = 111020 \text{ N}$

फैक्टर कर्तन बल = $1{\cdot}5 \times 111020 = 166530$ N

नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{166530}{1000 \times 530} = 0{\cdot}31 \text{ N/mm}^2$

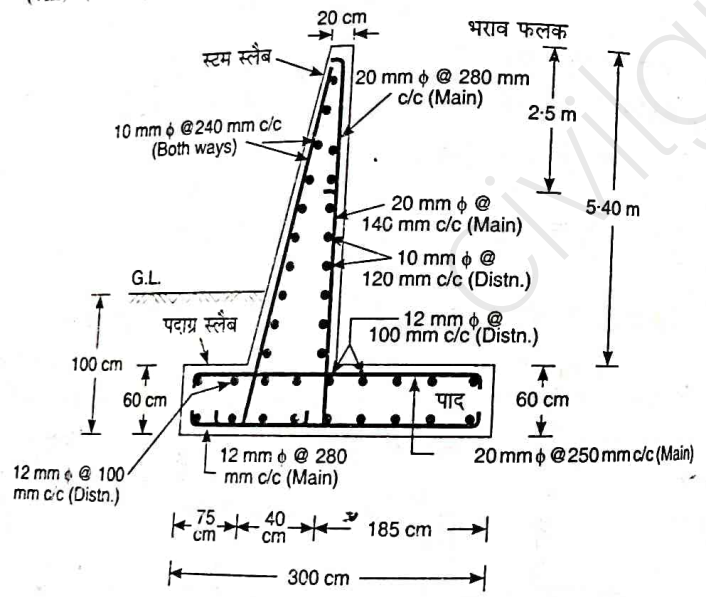
खण्ड में इस्पात का प्रतिशत, $p = \left(\frac{1245}{1000 \times 530}\right) \times 100 = 0{\cdot}24\%$

खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}35 \text{ N/mm}^2$

चूँकि $\tau_c > \tau_v$ अत: खण्ड कर्तन में सुरक्षित है।

(vii) ताप प्रबलन—स्टम की बाहरी फलक पर ताप प्रबलन के लिये 10 mm ϕ छड़ें 240 mm c/c पर जाल के रूप में (खड़ी व पड़ी) डाली जायेगी।

(viii) इस्पात का विवरण–यह चित्र 10.23 में दिखाया गया है।



चित्र 10.23—6·0 मी० ऊँची प्रास प्रतिधारक दीवार (प्रबलन इस्पात का विवरण)

प्रश्नावली–10

1. प्रतिधारक दीवार का प्रकार्य लिखिये। एक टी-प्रकार की प्रतिधारक दीवार का हस्तमुक्त चित्र देकर उसके घटकों के नाम दर्शाये।
2. प्रतिधारक दीवार कितने प्रकार की होती है, लिखिये तथा किसी एक का रेखाचित्र दीजिये।
3. एक प्रास प्रकार की प्रतिधारक दीवार का चित्र खींचकर उसके घटकों के नाम लिखिये तथा उनका प्रकार्य स्पष्ट करें।
4. प्रतिधारक दीवार के विफल होने के कारण बताइये तथा उपाय सुझाइये।
5. एक प्रतिधारक दीवार पर कार्यरत बलों की समीक्षा कीजिये।
6. संक्षिप्त टिप्पणी लिखें—
   (i) प्रास प्रकार की टी-प्रतिधारक दीवार, (ii) पुश्ता प्रतिधारक दीवार,
   (iii) ऐड़ी (Shear Key), (iv) स्राव छिद्र (Weep Holes)
7. एक प्रतिधारक दीवार के निम्न घटकों के माप निर्धारित करने के हस्तगुर लिखिये—
   (i) स्टम की शीर्ष मोटाई, (ii) स्टम की तली पर मोटाई,
   (iii) पदाग्र (Toe) की चौड़ाई, (iv) आधार स्लैब की मोटाई।
8. एक प्रतिधारक दीवार के स्टम में कितने प्रकार का प्रबलन देना आवश्यक है, चित्र की सहायता से स्पष्ट करें।
9. स्पष्ट उत्तर दें—
   (i) स्टम की बाहरी फलक पर प्रबलन इस्पात क्यों देते हैं?
   (ii) पदाग्र की कौन फलक पर तनन प्रबलन देना आवश्यक है?
   (iii) स्टम की तनन छड़ों का स्थिरण किस प्रकार किया जाता है?
   (iv) प्रतिधारक दीवार की आधार स्लैब में तनन इस्पात कहाँ पर और कैसे दिया जाता है?
10. एक प्रबलित कंक्रीट की प्रास प्रतिधारक दीवार के मुख्य आँकड़े निम्न हैं—
   (i) नींव स्लैब सहित कुल ऊँचाई = 4·50 मी०
   (ii) स्टम—ऊँचाई 4·0 मी०, शीर्ष चौड़ाई = 200 mm, तली पर चौड़ाई = 400 mm
   (iii) आधार स्लैब—चौड़ाई = 2·5 मी०, मोटाई = 400 mm.
   (iv) प्रबलन—

   (a) स्टम में— मुख्य छड़ें = 20 mm ϕ @ 200 mm c/c, तली भाग में, 20 mm @ 400 mm c/c शी से 2·0 मी० नीचे तक।

   वितरण इस्पात = 10 mm ϕ @ 140 mm c/c.

   ताप इस्पात = 10 mm ϕ @ 240 mm c/c (both ways)

   (b) पाद में— मुख्य छड़ें = 20 mm ϕ @ 140 mm c/c

   वितरण इस्पात = 12 mm ϕ @ 100 mm c/c

   (c) पदाग्र में—मुख्य छड़ें = 14 mm ϕ @ 150 mm c/c

   वितरण इस्पात = 12 mm ϕ @ 100 mm c/c

civilguruji.net

प्रतिधारक दीवार का स्वच्छ चित्र खींचकर, उसमे उपरोक्त प्रबलन की स्थिति दर्शाये। यदि कोई अन्य आँकड़े आवश्यक हों, स्वयं मान लीजिये।

11. एक कैन्टीलीवर पुश्ता दीवार के पीछे दीवार की समस्त 6 मी० की ऊँचाई तक मृदा भरी हुई है। यह दीवार के समतल है। यदि मृदा का भार 1600 kg/m^3 तथा विश्राम कोण 30° है तो दीवार के आधार भाग पर मोटाई ज्ञात कीजिये तथा प्रबलन इस्पात की मात्रा भी निकाले। दीवार के अनुप्रस्थ काट का चित्र भी खींचे। M 15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात मान ले।

12. एक टी प्रकार की प्रतिधारक दीवार के पीछे भराव मृदा की ऊँचाई 4·5 मी० है। यह भराव दीवार के शीर्ष के समतल है। मृदा का घनत्व 1600 kg/cu m और विश्राम कोण 30° मानकर इस दीवार का अभिकल्पन करे। मृदा की सुरक्षित धारण क्षमता 15 t/m^2 मान लें। f_{ck} = 15 N/mm^2, f_y = 415 N/mm^2 मान ले। चित्र की सहायता से अभिकल्पित इस्पात की स्थिति स्पष्ट करें।

13. प्रबलित कंक्रीट की एक प्राय प्रकार की प्रतिधारक दीवार के स्टम (Stem) की ऊँचाई 5 मी० है। पृष्ठ इसके ऊपरी छोर (किनारे) तक भरी हुई है। मृदा का इकाई भार 19 × 10^3 N/m^3 तथा विश्राम-कोण 30° है। स्टम की शीर्ष पर चौड़ाई 200 mm है। स्टम का अभिकल्पन करें। M-15 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 ग्रेड का टोर इस्पात प्रयोग करे।

(उत्तर : स्टम की तली पर मोटाई = 400 mm
मुख्य इस्पात = 14 mm ϕ ,100 mm c/c
ताप व वितरण इस्पात = 10 mm ϕ, 120 mm c/c)

11 जल भण्डारण टंकियाँ (WATER STORAGE TANKS)

§ 11.1. भण्डारण टंकियाँ (Storage Tanks) :

जल तथा अन्य द्रवों का भण्डारण करने के लिये टंकियों का निर्माण किया जाता है। यह टंकियाँ भूमि-गत, भूमि पर अथवा भूमि से कुछ ऊँचाई (Elevated of Overhead) पर स्थापित की जाती हैं। नगरों में आधुनिक पद्धति पर जल-आपूर्ति व्यवस्था कायम करने के लिये भण्डारण टंकियों का विशेष स्थान है। पिछली शताब्दी तक जल भण्डारण के लिये अधिकतर ईंट चिनाई अथवा इस्पात की टंकियाँ बनाई जाती थीं, परन्तु सीमेन्ट कंक्रीट के हर प्रकार से अधिक उपयोगी सिद्ध होने के कारण, अब जल भण्डारण के लिये प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट की टंकियाँ ही उत्तम समझी जाती हैं। प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट टंकियों के अत्यधिक प्रचलन के कुछ **मुख्य कारक** निम्नलिखित हैं—

(i) प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट की टंकियाँ जोड़ रहित होती हैं। अत: यह पूर्णत: जलाभेद्य होती हैं। लोहे की टंकियों में जोड़ होते हैं, जिनसे रिसन होने लगती है।

(ii) प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट की टंकियों का, कठोर पानी के कारण संक्षारण नहीं होता है।

(iii) इनकी आयु बहुत अधिक होती है।

(iv) वायुमण्डलीय कुप्रभावों जैसे धूप, वर्षा, ठण्ड से यह कम प्रभावित होती हैं। प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट आग से शीघ्र प्रभावित नहीं होती है।

(v) प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट की टंकियाँ किसी भी धारिता तथा परिमाप में आसानी से निर्माण की जा सकती हैं।

(vi) यह भूमि के ऊपर, भूमि पर तथा भूमिगत किसी भी तल पर निर्माण की जा सकती है।

(vii) यह धातु की टंकियों से सस्ती पड़ती है।

(viii) यह किसी भी ज्यामितीय शक्ल में निर्मित की जा सकती है। भीमकाय तथा गगन-चुम्बी होते हुये भी यह आकर्षक लगती है और सिविल इन्जीनियरी तथा आधुनिक वास्तुकला का कमाल दर्शाती है।

उपरोक्त विशेषतायें होते हुये भी, प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट टंकियों में **कुछ दोष** हैं, जैसे—

(i) इसका अभिकल्पन तथा निर्माण एक सूझ-बूझ तथा व्यावहारिक ज्ञान का विषय है। दोष पूर्ण अभिकल्पन अथवा निर्माण काल में तनिक लापरवाही से इनके धराशायी होने पर गम्भीर दुर्घटनायें होती हैं।

(ii) यह एक स्थायी स्थान ग्रहण करती है। इस्पात की टंकियों की भाँति, आवश्यक होने पर इसे एक स्थान से दूसरे स्थान पर स्थानान्तरित नहीं किया जा सकता है।

(iii) एक बार निर्माण हो चुकने पर इसके परिमापो तथा मचान (Staging) की ऊँचाई में फेर-बदल सम्भव नहीं है।

जल भण्डारण टंकियाँ ऊपर से खुली अथवा ढकी हुई हो सकती हैं। उपचारित जल का भण्डारण करने वाली टंकियाँ सदा ऊपर से ढकी (Covered) रहनी चाहियें और इनमें ताजी वायु के संचारण के लिये, छत स्लैब में रोशनदान (Lantern) रखे जाने चाहियें।

§ 11.2. द्रव-भण्डारण टंकियों सम्बन्धी विचारणीय बातें (Points Considered):

(i) टंकी से रिसन नहीं होने के लिये, कंक्रीट में दरारें (Cracks) नहीं पड़नी चाहिये। अत: कंक्रीट की तनन सामर्थ्य, अनुज्ञेय सीमा में बनी रहनी चाहिये।

(ii) टंकी के लिये कंक्रीट-मिक्स M-30 से कम नहीं होना चाहिये। उच्च-मिक्स प्रयोग करने पर संरचना में दरारें (Cracks) कम पड़ती हैं।

(iii) कंक्रीट-मिक्स में सीमेन्ट की मात्रा 400 kg/m^3 से अधिक न हो। सीमेन्ट में धूम-भस्म (Fly Ash) व धातुमल (Furnace Slag) नहीं होना चाहिये।

(iv) टंकी अत्य-प्रभावन स्थिति (Severe Exposure) के लिये अभिकल्पित की जानी चाहिये, क्योंकि ये खुले में बनी होती है और ताप, ठण्ड, धूप, वर्षा, आँधी-तुफान, हिमपात के सामने डट कर खड़ा रहना होता है। बंकन तथा तनन के कारण उत्पन्न दरारें 0·2 mm (जब उपयुक्त आवरण (Concrete Cover) दिया गया है), से बड़ी नहीं होनी चाहिये।

(v) संरचना में दरारें रोकने के लिये, कंक्रीट-उत्पादन में सुघट्यकारी (Plasticizers) का प्रयोग करना चाहिये।

(vi) प्रबलन छड़ों को उनकी अभिकल्पित संख्या तथा स्थिति में रखना चाहिये। प्रबलन के लिये ऐसे छड़ें प्रयोग करनी चाहिये। इस्पात छड़ों में प्रतिबल 130 N/mm^2 से अधिक नहीं होने चाहिये।

(vii) कंक्रीट कार्य की न्यूनतम 14 दिन तक तराई करनी चाहिये।

(viii) कंक्रीट निर्मित भण्डारण टंकियों का अभिकल्प I.S.-3370 के अनुसार करना होगा।

(ix) जल टंकी का अभिकल्पन कार्यकारी प्रतिबल विधि अथवा सीमान्त अवस्था विधि, किसी से भी किया जा सकता है।

§ 11.3. जल टंकियों के आकार (Shape of Water Tanks) :

जल भण्डारण टंकियाँ किसी भी आकार में बनायी जा सकती हैं। यह प्लान में अधिकतर गोल, वर्गाकार अथवा आयताकार होती हैं। परन्तु गोलाकार टंकियों का निर्माण अधिक होता है। इसके मुख्य कारण निम्न हैं—

(i) गोलाकार टंकी के निर्माण में अन्य शक्ल की टंकियों की तुलना में न्यूनतम मैटीरियल लगता है।

(ii) इसमें कोई कोना तथा जोड़ नहीं होता है। देखने में यह अन्य प्रकार की टंकियों से अधिक आकर्षक लगती है।

(iii) यह अधिक जलाभेद्य होती है।

परन्तु गोलाकार टंकियों के निर्माण के लिये फरमा-बन्दी की लागत अधिक आती है।

कम धारिता (Capacity) वाली टंकी आयताकार या वर्गाकार बनायी जा सकती है। परन्तु अधिक धारिता के लिये गोल टंकी उत्तम रहती है, विशेष तौर पर जब भण्डारण टंकी भूमितल से पर्याप्त ऊपर, भवन (स्टेजिंग) पर स्थापित करनी हो।

बड़ी गोलाकार टंकियों की छत-स्लैब गुम्बद नुमा (Dome Type) होती है। आधार स्लैब चपटी गोलाकार अथवा गुम्बदनुमा एवं शंकु छिन्नक की शक्ल में बनायी जाती है। क्योंकि बड़े पाटों के लिये सामान्य चपटी स्लैब की मोटाई बहुत अधिक रखनी पड़ती है, जो मितव्ययी नहीं होती है। गुम्बदनुमा स्लैब न्यूनतम मोटी होते हुये भी अत्यधिक सामर्थ्यवान होती है। इस प्रकार की छत तथा आधार स्लैब वाली टंकी को इंजे (Intze Type) टंकी कहते हैं (देखें चित्र 11.11)।

§ 11.4. जल टंकी का विश्लेषण (Analysis of Water Tank) :

जल-टंकियों का शुद्धता से विश्लेषण काफी कठिन व समय-लेवा है। B.I.S. ने इसका अभिकल्पन करने के लिये I.S. Code 3370 (चार भाग में) बनाया है, जिसमें आघूर्ण, हूप तनन तथा अपरूपण सम्बन्धी अभिकल्प-सारणियाँ दे रखी हैं। कठिन अभिकल्प प्रक्रिया से बचने के लिये, सामान्य टैंकों के लिये कुछ सरल सन्निकट (Approximate) प्रक्रिया/विधियाँ भी अपनायी जाती हैं, जो काफी सन्तोषजनक विमायें (Dimensions) देती हैं।

जल-टंकियों का अभिकल्पन कार्यकारी प्रतिबलों (Working Stresses) अथवा सीमांत अवस्था विधि (L.S.M.), किसी से भी जा सकता है।

§ 11.5. अनुज्ञेय प्रतिबल (Permissible Stresses) :

(I) **कंक्रीट में अनुज्ञेय प्रतिबल**—जल भण्डारण टंकी पूर्णत: जल रोधक होनी चाहिये। इसलिये टंकी की दीवारों तथा आधार स्लैब में सूक्ष्म दरारें जो प्राय: सामान्य प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट की रचनाओं में प्रकट हो जाती है, नहीं आनी चाहिये। इसलिये सीमेन्ट कंक्रीट तथा प्रबलन इस्पात में सामान्य अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान कुछ घटा कर निर्धारित किये जाते हैं। अतिरिक्त सावधानी के लिये उच्च श्रेणी की सीमेन्ट कंक्रीट का प्रयोग भी किया जाता है। टंकी की निर्माण लागत (जो समूचे भवन-समूह की लागत से बहुत ही कम होती है) की तुलना में, इसकी जलाभेद्यता तथा आयु पर ध्यान देना अधिक न्यायसंगत है।

विभिन्न श्रेणी की कंक्रीट के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल सारणी 11.1 से 11.3 में दिये गये हैं—

सारणी 11.1–दरार-रोधक गणनाओं के लिये कंक्रीट में अनुज्ञेय प्रतिबल (I.S. 3370)
(Permissible Concrete Stresses for Resisting to Cracking)

कंक्रीट की श्रेणी	तनन में अनुज्ञेय प्रतिबल		कर्तन प्रतिबल (N/mm^2)	मापांक अनुपात = m (W.S.M. के लिये)
	सीधे प्रतिबल (N/mm^2)	बंकन प्रतिबल (N/mm^2)		
M–20	1·2	1·7	1·7	11
M–25	1·3	1·8	1·9	13
M–30	1·5	2·0	2·2	18
M–35	1·6	2·2	2·5	19
M–40	1·8	2·4	2·8	20

सारणी 11.2—सामर्थ्य गणनाओं के लिये, कंक्रीट में अनुमत प्रतिबल
(Permissible Stresses in Concrete) (I.S. 3370)

कंक्रीट की श्रेणी	सम्पीडन सामर्थ्य		औसत अभिलाग प्रतिबल Plain Bars in Tension, (N/mm^2) (τ_{bd})	टिप्पणी—
	सीधे प्रतिबल (N/mm^2) σ_{cc}	बंकन प्रतिबल (N/mm^2) σ_{cbc}		
M-25	6·0	8·5	0·9	(i) सम्पीडन में अभिलाग प्रतिबल (Bond Stress) 25% बढ़ा दे।
M-30	8·0	10·0	1·0	
M-35	9·0	11·5	1·1	(ii) दोहर छड़ों के लिये अभिलाग प्रतिबल (Bond Stress) 60% बढ़ा दे।
M-40	10·0	13·0	1·2	

सारणी 11.3—सामर्थ्य गणनाओं के लिये, इस्पात में अनुमत प्रतिबल
(Permissible Stresses in Steel)

प्रबलन इस्पात में प्रतिबलों की प्रकार	अनुमत प्रतिबल	
	(HYS विरूपित (टोर) छड़ों के लिये)	सादा मृदु छड़ें के लिये
(i) तनन प्रतिबल	130 N/mm^2	115 N/mm^2
(ii) सम्पीडन प्रतिबल	140 N/mm^2	125 N/mm^2

नोट—जल भण्डारण टंकियों में प्रबलन इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल निम्न लें—
(i) पानी के स्पर्श वाली फलक के लिये = 130 N/mm^2
(ii) पानी की विपरीत फलक के लिये = 140 N/mm^2
जब अवयव की मोटाई 200 mm से कम हो, तब 130 N/mm^2 लें।
जब अवयव की मोटाई 200 mm से अधिक है, तब 140 N/mm^2

§ 11.6. न्यूनतम प्रबलन इस्पात (Minimum Reinforcement) :

(i) टंकी की दीवारों तथा आधार स्लैब में सिकुड़न के कारण उत्पन्न दरारों (Shrinkage Cracks) को रोकने के लिये, इनके परिच्छेद के क्षेत्रफल का कम से कम 0·35% प्रबलन इस्पात डाल जायेगा। यह इस्पात जाल के रूप में **दोनों** दिशाओं में (एक दूसरे के लम्बवत्) डाला जायेगा और **प्रत्येक दिशा** में इसकी मात्रा 0·35% (64% मृदु छड़ों के लिये) ली जायेगी। जब टंकी की फलक 150 mm से कम मोटी है, यह मात्रा 0·24% (40% मृदु छड़ों के लिये) रखी जा सकती है।

(ii) जब अवयव (दीवार/स्लैब) की मोटाई 200 mm या इससे अधिक है तो उपरोक्त प्रबलन इस्पात **दोनों** फलकों पर (अन्दर तथा बाहर दोनों ओर, दो पर्तों में) जाल के रूप में दिया जायेगा और प्रत्येक फलक पर इस्पात का क्षेत्रफल ऊपर वर्णित (i) के अनुसार होगा। जब मोटाई 200 mm से कम है, यह प्रबलन एक फलक पर ही डाला जायेगा।

(iii) जब अवयव की मोटाई 450 mm या इससे अधिक है तो वितरण इस्पात की मात्रा 0·24% ली जा सकती है।

(iv) जब टंकी के फर्श-स्लैब की मोटाई 300 mm से कम है, तब प्रबलन एक ही फलक (Face) पर, ऊपरी क्षेत्र में डालें।

(v) प्रबलन छड़ों की आपसी-दूरी 300 mm अथवा कंक्रीट-खण्ड की मोटाई (जो भी न्यूनतम है) से अधिक नहीं होगी।

(vi) जल-टंकी में प्रसार/संकुचन/सरकन जोड़ I.S. 3370 (भाग 1) के अनुसार दिये जायेंगे।

(I) भूमि पर आधारित टंकियाँ
(TANKS RESTING DIRECTLY ON GROUND)

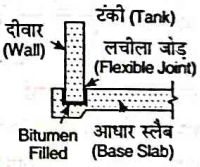
वाँछित तल तथा दृढ़ भूमि उपलब्ध होने पर, पानी की टंकी सीधी जमीन पर टिकायी जा सकती है। इसके लिये 150 mm मोटी आधार-स्लैब में, इसके परिच्छेद के क्षेत्रफल का 0·24% प्रबलन इस्पात डालना चाहिये।

आधार स्लैब के नीचे M–10 श्रेणी की 75 से 100 mm मोटी कंक्रीट (Lean Concrete) की परत डालकर अध:आधार समतल कर लेना चाहिये।

§ 11.7. गोलाकार टंकियाँ (Circular Tanks) :

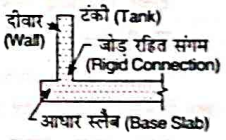
अभिकल्पन की दृष्टि से ये दो प्रकार की होती हैं—

(i) जब ऊर्ध्वाधर दीवार तथा आधार स्लैब के मध्य लचीला जोड़ (Flexible Joint) हो (चित्र 11.1)।



चित्र 11.1

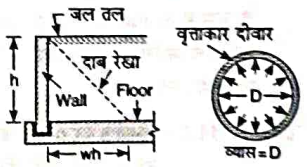
(ii) जब ऊर्ध्वाधर दीवार तथा आधार स्लैब पूर्णत: आबद्ध (जोड़ रहित) हो (चित्र 11.2)।



चित्र 11.2

11.7-1. लचीला जोड़ वाली टंकी का अभिकल्पन—मुख्य बातें निम्न हैं—

(1) पानी के क्षैतिज दाब के कारण, इस प्रकार की टंकी की ऊर्ध्वाधर दीवार बाहर की ओर सरकने (झुकने) में स्वतन्त्र होती है और इस परिधीय प्रसार के कारण जल दाब प्रतिरोधित होता है। टंकी के जोड़ पर कोई आघूर्ण नहीं उपजती है। इस प्रकार की टंकी की दीवारों में केवल हूप-तनन (Hoop Tension) उपजती है।



चित्र 11.3

(2) इस प्रकार की टंकी की दीवार एक खड़े सिलिण्डर की भाँति अभिकल्पित की जायेगी, जिसकी तली पर क्षैतिज दाब $p = wh$ होगा। ...(11.1)

यहाँ h = पानी की गहराई, मी० में,
w = पानी का भार, 1000 kg/cu m

(3) **तली पर हूप (पट्टा) तनन** (Hoop Tension), $T = \frac{wh \times D}{2}$ ...(11.2)

यहाँ D = टंकी का भीतरी व्यास है।

(4) **प्रति मीटर ऊँचाई में इस्पात का क्षेत्रफल**—क्योंकि कंक्रीट कोई तनन प्रतिबल नहीं लेती है, अत: कुल हूप तनन प्रबलन इस्पात ही वहन करेगा। $A_{st} = \frac{T}{130}$ mm^2 ...(11.3)

यहाँ 130 N/mm^2 इस्पात में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल है। यह इस्पात खण्ड के क्षेत्रफल का 0·35% से कम नहीं होना चाहिये। यह इस्पात क्षैतिज छल्लों (Rings) के रूप में डाला जायेगा।

(5) **दीवार की मोटाई**—सामान्यत: दीवार की मोटाई 150 mm से कम नहीं होनी चाहिये। यह निम्न सूत्र से ज्ञात की जाती है— $T = \sigma_c [A + (m-1) A_{st}]$ (W.S.M. सूत्र)

अथवा $= \sigma_c [(1000 \times t) + (m-1) A_{st}]$ ...(11.4)

यहाँ t = दीवार की मोटाई, mm में

σ_c = कंक्रीट में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल, (M–20 के लिये 1·2 N/mm^2)

A = कंक्रीट का क्षेत्रफल (प्रति मी० ऊँचाई) = $1000 \times t$

$A + (m-1) A_{st}$ = खण्ड का तुल्य क्षेत्रफल

T = हूप तनन N में

दीवार की मोटाई निम्न आनुभाविक सूत्र से ज्ञात की जा सकती है— $t = 3H + 5$ ...(11.5)

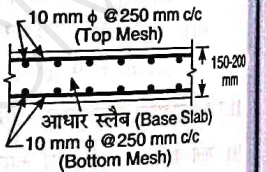
यहाँ H = टंकी में पानी की गहराई

(6) **वितरण इस्पात**—यह लाम्बिक (खड़ी) छड़ों के रूप में डाला जायेगा। इसका क्षेत्रफल, खण्ड के क्षेत्रफल का 0·35% लिया जाता है। यह छड़ें हूप इस्पात के छल्लों को अपनी स्थिति में भी रखेंगी।

(7) **आधार स्लैब (Bottom Slab)**—इसकी मोटाई 150 mm से 200 mm पर्याप्त रहती है। ऊपरी तथा तली क्षेत्र में जाल के रूप में 10 mm ϕ की छड़ें 250 mm c/c (अन्तराल) पर डाली जायेंगी। न्यूनतम इस्पात की मात्रा 0·35% (प्रत्येक दिशा में) लें।



चित्र 11.4—दीवार में प्रबलन



चित्र 11.5—आधार स्लैब में प्रबलन

उदाहरण 11.1 : भूमितल पर बनायी जाने वाली एक लाख मीटर धारिता की एक गोलाकार टंकी का अभिकल्पन करें, जिसकी दीवार तथा तली स्लैब के मध्य लचीला जोड़ है। M-25 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात लें। कंक्रीट में सीधे (Direct) तनन प्रतिबल 1·3 N/mm^2 और इस्पात में सीधे तनन प्रतिबल 130 N/mm^2 मान लें, $m = 11$ लें।

हल : (1) टंकी की धारिता = 100000 लीटर

$$\text{टंकी का आयतन} = \frac{100000}{1000} = 100 \text{ m}^3$$

टंकी में पानी की गहराई 3 m तथा मुक्तान्तर 20 cm रखते हुये—

$$\text{टंकी के फर्श का क्षेत्रफल} = \frac{100}{3} = 33{\cdot}4 \text{ m}^2$$

माना टंकी का व्यास D है,

$$\therefore \quad \frac{\pi D^2}{4} = 33{\cdot}4$$

$$D = \sqrt{\frac{33{\cdot}4 \times 4 \times 7}{22}} = 6{\cdot}51 \text{ m say } 6{\cdot}50 \text{ m}$$

(2) **तली पर अधिकतम हूप तनन** (Hoop Tension)—

$$T = \frac{wh \times D}{2} = \frac{1000 \times 3 \times 6{\cdot}5}{2}$$

$= 9750$ kg $= 97500$ N. प्रति मी० दीवार की ऊँचाई।

हूप तनन के लिये दीवार की प्रति मी० ऊँचाई के लिये प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल—

$$A_{st} = \frac{T}{\sigma_{st}} = \frac{T}{130} = \frac{97500}{130} = 750 \text{ mm}^2$$

14 mm ϕ की छड़ों का प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल $= \frac{154 \times 1000}{750} = 205$ mm

अत: 14 mm ϕ की रिंग (हूप) छड़ें 200 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(3) **दीवार की मोटाई**—माना दीवार की मोटाई t mm है। M–20 ग्रेड की कंक्रीट में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल = 1·3 N/mm^2। दीवार की प्रति मीटर ऊँचाई का क्षेत्रफल, $A = t \times 1000$

$$T = \sigma_c [A + (m-1) A_{st}] \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$97500 = 1{\cdot}3[t \times 1000 + (11-1)\, 750]$$

$$97500 = 1{\cdot}3\,[1000\, t + 7500]$$

$$1000\, t = 67500$$

$$\therefore \quad t = 67{\cdot}5 \text{ mm}$$

परन्तु यह मोटाई 150 mm रखते हैं। दीवार पर पानी का दाब, जैसे-जैसे गहराई कम होती है, घटता जाता है। अत: शीर्ष पर दीवार की मोटाई कम रखी जा सकती है।

(4) **वितरण इस्पात**—इसका क्षेत्रफल, खण्ड के क्षेत्रफल का 0·35% लेते हुये—

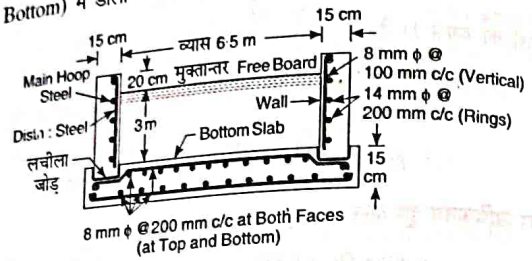
$$A_{sd} = \frac{150 \times 1000 \times 0{\cdot}35}{100} = 525 \text{ mm}^2$$

8 mm ϕ की छड़ों का अन्तराल $= \frac{50 \times 1000}{525} = 95$ mm c/c

अत: 8 mm ϕ की छड़ें 100 mm c/c पर डाली जायेंगी।

(5) **आधार स्लैब**—आधार स्लैब की मोटाई 150 mm रखते हैं। 0·35% की दर से इस्पात की मात्रा $= \frac{0{\cdot}35}{100} \times 150 \times 1000 = 525 \text{ mm}^2$ प्रत्येक दिशा में इस्पात की मात्रा $= \frac{525}{2} = 263 \text{ mm}^2$

अत: फर्श में 8 mm ϕ की छड़ें 200 mm के अन्तराल पर ऊपर तथा नीचे दोनों क्षेत्रों (Top and Bottom) में डाली जायेंगी।

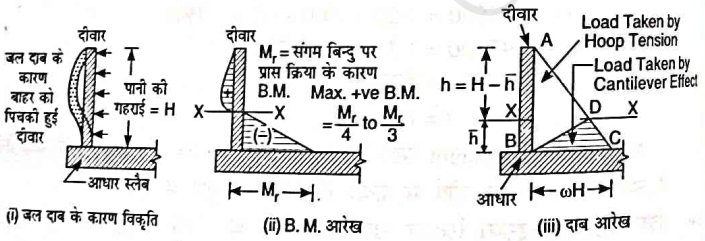


चित्र 11.6—भूमितल पर गोलाकार टंकी (लचील जोड़)

11.7-2. गोलाकार टंकियाँ, जिसकी ऊर्ध्व दीवार तथा आधार स्लैब पूर्णत: आबद्ध (जोड़ रहित) हों, का अभिकल्पन—मुख्य बातें निम्न हैं—

(1) पानी का क्षैतिज दाब पड़ने पर इसकी ऊर्ध्व दीवार, जो आधार स्लैब से पूर्णत: आबद्ध होती है, परिधीय प्रसार नहीं ले सकती है। ऐसा माना जाता है कि दीवार क्षैतिज जल दाब के कुछ अंश को **हूप क्रिया** तथा कुछ अंश को **प्रास क्रिया** द्वारा वहन करती है।

(2) भरी हुई टंकी में दीवार की विकृति (Deformation) पर ध्यान देने पर यह पता लगता है कि दीवार तथा आधार स्लैब के संगम पर प्रास क्रिया प्रधान है परन्तु ज्यों-ज्यों इस संगम बिन्दु से ऊपर जाते हैं, हूप क्रिया प्रधान होती जाती है। प्रास क्रिया तथा हूप क्रिया के क्षेत्र मोटे तौर पर चित्र 11.7 में दिखाये गये हैं। चित्र के अनुसार काट-रेखा XX के ऊपर हूप तनन तथा इससे नीचे प्रास क्रिया ली जाती है।



चित्र 11.7—पूर्णत आबद्ध टंकी का विश्लेषण

(3) टंकी का अभिकल्पन डॉ० रेजनर विधि (Reissner Method) द्वारा किया जाता है, जिसको सरल बनाने के लिये श्री एच० कार्पेन्टर (H. Carpenter) ने कुछ स्थिरांक सुझाये हैं, जो सारणी के रूप

में उपलब्ध है। पाठ्यक्रम को देखते हुये हम इनकी चर्चा में नहीं जा रहे हैं (इसके लिये स्नातक स्तर की किसी मानक पुस्तक को देखा जा सकता है)। हम यहाँ सरलता की दृष्टि से मोटी विधि से ऐसी टंकियों का अभिकल्पन करते हैं।

इस विधि के अनुसार काट-रेखा XX से ऊपर हूप तनन द्वारा जल दाब प्रतिरोधित होता है और XX से नीचे बंकन आघूर्ण लगती है। प्रास क्रिया के लिये दीवार की ऊँचाई, टंकी के माप तथा दीवार की गहराई पर निर्भर करती है। मोटे तौर पर यह $\frac{H}{3}$ ली जाती है। यहाँ H = टंकी में पानी की गहराई।

(4) हूप तनन के लिये प्रबलन इस्पात दीवार की दोनों फलकों पर दिया जाता है। दीवार के निचले भाग में, काट XX से नीचे जहाँ प्रास बंकन के लिये प्रबलन दिया जाता है, इसके अतिरिक्त हूप तनन के लिये भी प्रबलन इस्पात डाला जाता है।

उदाहरण 11.2 : भूमितल पर आधारित एक लाख लीटर क्षमता वाली एक गोलाकार टंकी का अभिकल्पन करें, जिसकी ऊर्ध्व दीवार तथा तली स्लैब पूर्णत: आबद्ध है। $\sigma_c = 1{\cdot}3 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{st} = 130 \text{ N/mm}^2$ तथा $m = 11$ लें। M-25 और Fe 415 लें।

हल : (1) टंकी की क्षमता = 100000 लीटर

$$\text{टंकी का आयतन} = \frac{100000}{1000} = 100 \text{ m}^3$$

टंकी में पानी की कुल गहराई 3 मी० तथा मुक्तान्तर 20 सेमी० रखते हुये—

$$\text{फर्श का क्षेत्रफल} = \frac{100}{3} = 33{\cdot}4 \text{ m}^2$$

माना फर्श का व्यास D मी० है।

$$\therefore \quad \frac{\pi D^2}{4} = 33{\cdot}4$$

$$D = \sqrt{\frac{33{\cdot}4 \times 4 \times 7}{22}} = 6{\cdot}51 \text{ m say } 6{\cdot}50 \text{ m}$$

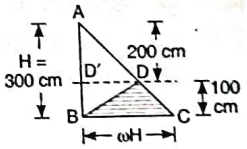
(2) **हूप प्रबलन**—टंकी की तली से $\frac{H}{3} = \frac{300}{3} = 100$ cm ऊँचाई तक प्रास क्रिया तथा शेष ऊँचाई $300 - 100 = 200$ cm में हूप क्रिया लेते हुये—

बिन्दु D पर अधिकतम हूप तनन बल,

$$T = \frac{wh \times D}{2}$$

$$= \frac{1000 \times 2{\cdot}0 \times 6{\cdot}50}{2}$$

$$= 6500 \text{ kg/m ऊँचाई} = 65000 \text{ N/m}$$



चित्र 11.8—दाब-आरेख

हूप तनन के लिये दीवार की प्रति मी० ऊँचाई के लिये प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल—

$$A_{st} = \frac{T}{100} = \frac{65000}{100} = 650 \text{ mm}^2$$

12 mm ϕ की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल $= \frac{113 \times 1000}{650} = 174$

अत: 12 mm ϕ की छड़ें 170 mm c/c पर डाली जायेंगी। यह छड़ें छल्ले (Ring) के रूप में होंगी।

(3) **बिन्दु B पर अधिकतम बंकन आघूर्ण—**

आधार पर दाब तीव्रता $p = w \cdot H$

$= 1000 \times 3 = 3000$ kg

बंकन आघूर्ण = दाब त्रिकोण (BCD) का क्षेत्रफल $\times$ BC से इसके गुरुत्व केन्द्र की दूरी

$$= \left(3000 \times 1{\cdot}0 \times \frac{1}{2}\right) \times \left(1{\cdot}0 \times \frac{1}{3}\right) = 500 \text{ kg-m} = 5000000 \text{ N-mm}$$

दीवार की मोटाई $d = \sqrt{\frac{Mr}{R_u \times b}}$ दिये गये प्रतिबलों के लिये R_u का मान 1·527 लेते हुये,

$$d = \sqrt{\frac{5000000}{1{\cdot}527 \times 1000}} = 57 \text{ mm}$$

यह मोटाई बहुत कम है। माना दीवार की कुल मोटाई 150 mm है और 40 mm का आवरण लेने पर, प्रभावी गहराई = 150 – 40 = 110 mm

इस्पात का क्षेत्रफल $A_{st} = \frac{M_r}{\sigma_{st} \times jd} = \frac{5000000}{130 \times 0{\cdot}86 \times 110} = 406 \text{ mm}^2$

10 mm ϕ की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल—

$$= \frac{79 \times 1000}{406} = 195 \text{ mm c/c}$$

यह छड़ें दीवार की भीतरी फलक (पानी वाली फलक) पर लाम्बिका (अथवा खड़ी) स्थिति में डाली जायेंगी।

(4) **हूप (पट्टा) तनन के आधार पर दीवार की मोटाई**—माना दीवार की मोटाई t mm है।

M-25 ग्रेड की कंक्रीट में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल = 1·3 N/mm²

दीवार की प्रति मी० ऊँचाई का क्षेत्रफल, $A = t \times 1000$

$$T = \sigma_c [A + (m-1) A_{st}] \quad \text{...(सूत्र)}$$

अथवा $$T = \sigma_c [(t \times 1000) + (m-1) A_{st}]$$

$$65000 = 1{\cdot}3 [(1000 \times t) + (13-1) \times 500]$$

$$\therefore \quad t = 44 \text{ mm}$$

परन्तु व्यावहारिकता की दृष्टि से यह मोटाई 150 mm रखते हैं। यह उपरोक्त ज्ञात बंकन आघूर्ण के लिये भी पर्याप्त है।

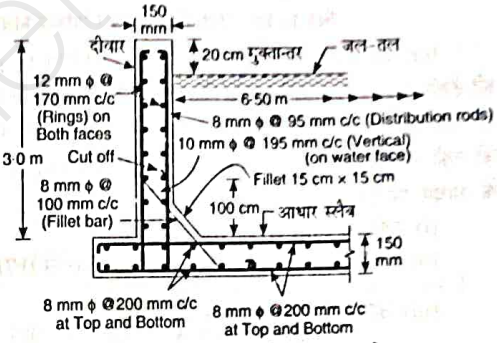
(5) **वितरण इस्पात**—इसका क्षेत्रफल, खण्ड के क्षेत्र का 0·35% लेते हुये—

$$A_{st} = \frac{150 \times 1000 \times 0{\cdot}35}{100} = 525 \text{ mm}^2$$

8 mm ϕ की छड़ों का अन्तराल $= \frac{50 \times 1000}{525} = 95$ mm c/c.

अत: 8 mm ϕ की छड़ें 95 mm c/c पर डाली जायेंगी। यह लाम्बिका इस्पात के रूप में होंगी।

(6) **आधार स्लैब**—चूँकि आधार स्लैब तथा ऊर्ध्वाधर दीवार पूर्णत: आबद्ध है, इसलिये जितनी बंकन आघूर्ण ऊर्ध्वाधर दीवार के आधार पर उत्पन्न होती है, उतनी ही बंकन आघूर्ण आधार स्लैब में, परिधि पर लगती है। परन्तु यह आघूर्ण बहुत ही कम है। अत: आधार स्लैब की मोटाई 150 mm ली जाती है। आधार स्लैब की दोनों फलकों पर 0·35% प्रबलन इस्पात डाला जायेगा।



चित्र 11.9—गोलाकार टंकी (आबद्ध जोड़)

इस्पात का क्षेत्रफल $= \frac{0{\cdot}35}{100} \times 150 \times 1000 = 525 \text{ mm}^2$, प्रत्येक दिशा में इस्पात $= \frac{525}{2} = 263 \text{ mm}^2$

8 mm ϕ की छड़ें 200 mm के अन्तराल पर, ऊपर तथा नीचे दोनों क्षेत्रों में तथा दोनों दिशाओं में जाल के रूप में डाली जायेंगी।

टंकी में अभिकल्पित प्रबलन इस्पात चित्र 11.9 में दिखाया गया है।

(II) शिरोपरि जल टंकियाँ (गुम्बद नुमा)
(OVER-HEAD WATER TANKS—DOME TYPE)

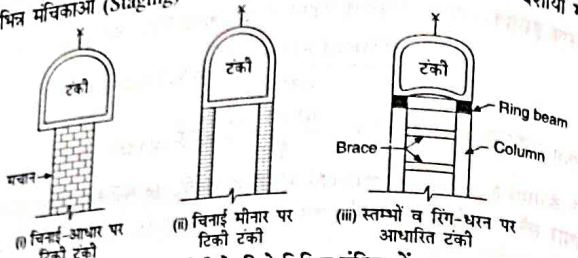
§ 11.8. गुम्बद-नुमा टंकियाँ (Dome Type Tanks) :

इस प्रकार की टंकियों की छत तथा फर्श-स्लैब गुम्बद-नुमा (Dome Shaped) होती है। बड़े पाटों तथा अत्यधिक भार के लिये गुम्बद-पटिया की मोटाई अन्य प्रकार की स्लैब से न्यूनतम होती है।

एक शिरोपरि जल टंकी से निम्नलिखित घटक होते हैं—

(1) गुम्बद-नुमा छत स्लैब (Dome Shaped Roof Slab)
(2) सिलिण्डरी-घेरा दीवार (Cylindrical Wall)
(3) रिंग धरन (Ring Beam)
(4) फर्श स्लैब (Floor Slab)
(5) मंचिका-स्तम्भ तथा बन्धक (Staging-Columns and Braces)
(6) नींव (Foundation)

विभिन्न मंचिकाओं (Staging) पर आलम्बित जल-टंकी चित्र 11.10 में दर्शायी गयी है।



चित्र 11.10—जल-टंकी के लिये विभिन्न मंचिकायें (Staging)

एक बहु-चर्चित गुम्बद-नुमा शिरोपरि जल टंकी चित्र 11.11 में दिखाई गयी है। इसे **इंजे प्रकार की टंकी** (Intze Type Tank) के नाम से भी जाना जाता है। इंज टंकी में ऊपरी गुम्बद गोलीय प्रकार का और तली पर गोलीय व शंक्वाकार गुम्बद होते हैं, जो तली पर रिंग-धरन पर टिके रहते हैं। इंजे प्रकार की टंकी अन्य टंकी से अधिक सामर्थ्यवान व मितव्ययी होती है। इंजे टंकी के घटकों के माप, हस्तगु के आधार पर निम्न रखे जा सकते हैं—

(i) टंकी का व्यास = D

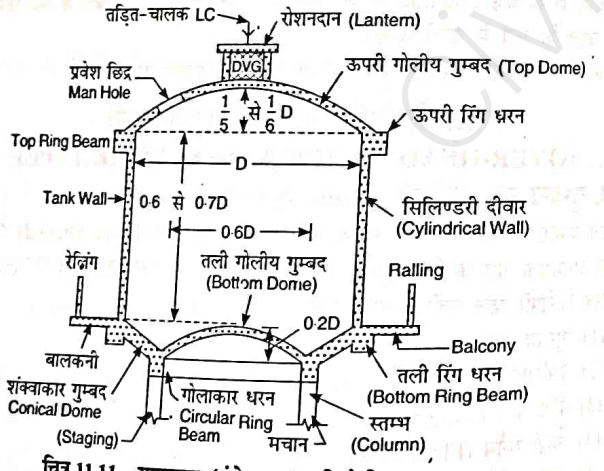
(ii) टंकी की सिलिण्डरी भाग की ऊँचाई = 0·6 से 0·7D

(iii) ऊपरी डोम की ऊँचाई = $\frac{D}{5}$ से $\frac{D}{6}$

(iv) तली डोम की ऊँचाई = $\frac{D}{5}$

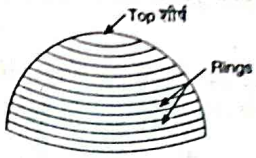
(v) तली वृत्ताकार धरन का व्यास = 0·6D

यहाँ D = टंकी का व्यास हैं।



चित्र 11.11—गुम्बदनुमा (इंजे प्रकार) की टंकी (Intze Tank)

(i) गुम्बद छत (Domed Roof)—गुम्बद एक ऐसी कोशीय (Shell) रचना है, जो परवलयिक, वर्तुल या दीर्घ वृत्तीय (Elliptical) वक्र को अपने एक अक्ष के प्रति परिक्रमण कराकर, प्राप्त की जाती है। गुम्बद झिल्ली-क्रिया (Membrane Action) द्वारा अपने ऊपर पड़ने वाले भार को वहन करता है। अत: **इस आकृति में बहुत ही कम बंकन आघूर्ण व कर्तन बल उपजते हैं।** बड़े-बड़े वृत्ताकार पाटों को ढाँपने के लिये गुम्बद छत, चपटी स्लैब व टी-धरनों वाले निर्माण से उत्तम रहती है और मैटीरियल भी कम लगता है। गुम्बद एक ऐसी रचना है, जो इसकी परिधि पर बनायी गयी अनेक डाटों (Arches), जिनका शीर्ष एक बिन्दु होता है, पर टिकी होती हैं।



चित्र 11.12—गुम्बद (Dome)

गुम्बद स्लैब की मोटाई इस पर पड़ने वाले भार के अनुसार 100 mm से 200 mm रखी जा सकती है परन्तु यह 75 mm से कम नहीं होनी चाहिये, ताकि इसमें प्रबलन छड़ें आसानी से डाली जा सकें। गुम्बद का उठान, इसके पाट का $\frac{1}{4}$ से $\frac{1}{6}$ तक लिया जाता है।

आकार की दृष्टि से गुम्बद दो प्रकार के होते हैं—

(i) गोलीय गुम्बद (Spherical Dome)

(ii) शंकुनुमा गुम्बद (Conical Dome)

गोलीय गुम्बद का निर्माण अधिक होता है। गोलीय गुम्बद पर निम्न प्रकार के बल लगते हैं—

(i) रेखांशिक या मेरीडोनल प्रणोद (Meridional Thrust)

(ii) पट्टा या हूप प्रतिबल (Hoop or Circumferential Stress)

मेरीडोनल प्रणोद रेखांशिक (Meridional) दिशा में और हूप तनन या सम्पीडन, गुम्बद की परिधीय दिशा में कार्यरत होती है। गोलीय गुम्बद का विश्लेषण करने के लिये इसे नीचे से ऊपर को घटते हुये व्यास के अनेक क्षैतिज व संकेन्द्रित छल्लों (Rings) का बना मान लिया जाता है। जब गुम्बद का भार इन छल्लों द्वारा वहन होता है तो प्रतिक्रिया से छल्ले एक-दूसरे को धक्का देते हैं। इसे **मेरीडोनल प्रणोद** (अथवा मेरीडोनल सम्पीडन) कहा जाता है। इसका मान निम्न लिया जाता है—

$$T = \frac{wR}{1+\cos\theta} \qquad ...(11.5)$$

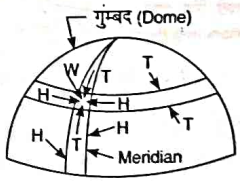
यहाँ T = मेरीडोनल प्रणोद

w = समवितरित भार (गुम्बद पर)

R = गुम्बद की त्रिज्या

θ = गुम्बद के ऊर्ध्व-अक्ष से काट तक बनने वाला कोण

इसी प्रकार गुम्बद को चित्र 11.13 के अनुसार क्षैतिज तथा उदग्र पट्टियों में बाँट लिया जाता है। अब एक पच्चड़ नुमा वास्सायर (Voussoir) नीचे की ओर न लुढ़क कर अपनी स्थिति में बना रहता है। इसे इस स्थिति में रखने के लिये इस पर हूप सम्पीडन (Hoop Compression) लगता है।



W = पच्चड़नुमा वास्सायर
T = मेरीडोनल प्रणोद (Meridional Thrust or Compression)
H = हूप सम्पीडन (Hoop Compression)

चित्र 11.13

$$H = wR\left[\frac{\cos^2 0 + \cos 0 - 1}{1 + \cos 0}\right] \quad \ldots(11.6)$$

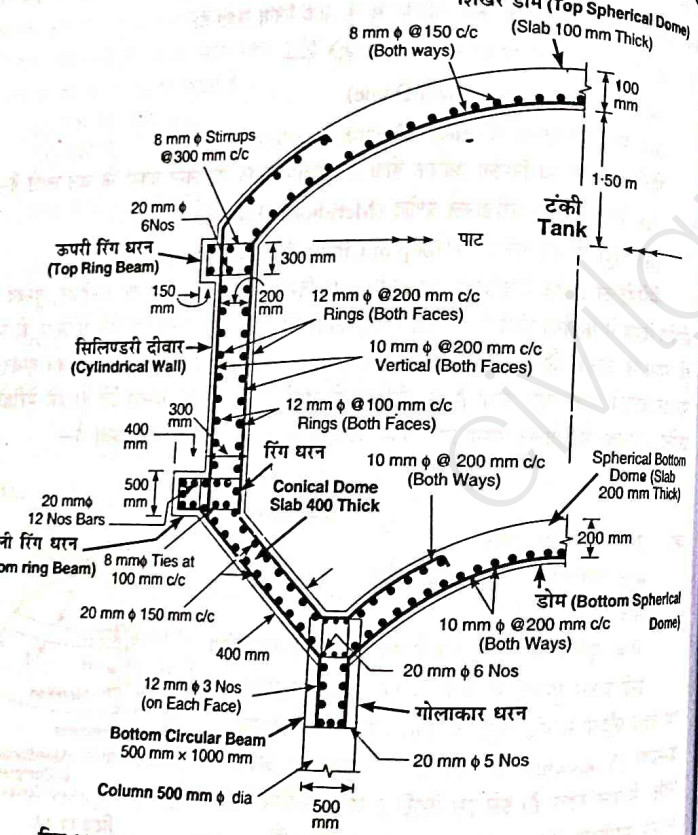
जब $\theta > 51°\text{-}49'$ हूप तनन उपजेगी

जब $\theta < 51°\text{-}49'$ हूप सम्पीडन कार्यरत होगी

(w, R व θ ऊपर स्पष्ट किये गये हैं)

गुम्बद ऊर्ध्व भार के लिये अभिकल्पित किये जाते हैं। ऊर्ध्व भार में उनका स्वयम् का भार तथा अन्य चल व अचल भार जोड़ लिये जाते हैं। सरलता की दृष्टि से वायु भार तथा ताप प्रतिबलों को छोड़ दिया जाता है, क्योंकि इनकी गणनायें कठिन होती हैं।

गुम्बद में दोनों दिशाओं मे प्रबलन इस्पात डाला जाता है। इसका क्षेत्रफल खण्ड के सकल क्षेत्रफल का 0·35% से कम नहीं होना चाहिये। गुम्बद में प्रबलन की स्थिति चित्र 11.14 में दर्शायी गयी है।



चित्र 11.14—गुम्बदनुमा (इंजे प्रकार की) टंकी में प्रबलन इस्पात का स्वरुप

(2) **ऊपरी रिंग धरन** (Top Ring Beam)—गुम्बद की तली पर रिंग प्रकार का धरन दी जाती है, जो गुम्बद के मेरीडोनल प्रणोद के क्षैतिज घटक को वहन करती है।

(3) **सिलिण्डरी दीवार** (Cylindrical Wall)—यह कूपक (Well Ring) की भाँति गोलाकार होती है, जिसके ऊपर रिंग धरन तथा गुम्बद-नुमा छत टिकी होती है। सिलिण्डर का व्यास तथा ऊँचाई, टंकी की धारिता के अनुसार निर्धारित की जाती है।

सिलिण्डरी दीवार का अभिकल्पन हूप तनन (Hoop Tension) के लिये किया जाता है। प्रबलन छड़ें क्षैतिज रिंग की भाँति डाली जाती हैं। चूँकि हूप तनन, टंकी की गहराई (जल की गहराई) के समानुपाती होती है, अत: दीवार के ऊपरी भाग में छड़ों का अन्तराल बढ़ाया जा सकता है। दीवार के कुल ऊँचाई को उपयुक्त खण्डों में मान कर, प्रत्येक खण्ड के लिये प्रबलन इस्पात की मात्रा ज्ञात कर ली जाती है।

वितरण इस्पात का क्षेत्रफल 0·35% लिया जाता है और यह खड़ी स्थिति में दीवार के दोनों फलकों पर डाला जाता है।

(4) **तली रिंग धरन** (Bottom Ring Beam)—यह धरन सिलिण्डरी दीवार तथा आधार स्लैब या शंकु-गुम्बद के संगम पर डाली जाती है। इस पर ऊपरी गुम्बद, रिंग धरन, सिलिण्डरी दीवार इत्यादि का भार आता है। इसके बाहरी ओर बॉलकानी की स्लैब निर्माण की जाती है।

रिंग धरन का अभिकल्पन बंकन आघूर्ण, मरोड़ (ऐंठन) आघूर्ण (Torsion Moment) तथा कर्तन के लिये किया जाता है। आघूर्ण के मान सारणियों से भी प्राप्त किये जाते हैं।

(5) **आधार गुम्बद** (Bottom Dome) **या तली स्लैब** (Bottom Slab)—तली गुम्बद का अभिकल्पन भी ऊपरी गुम्बद की भाँति किया जाता है। भार की गणनायें करते समय टंकी के भीतर के पानी का भार भी जोड़ दिया जाता है। सिलण्डरीनुमा टंकी के लिये चपटी-तल स्लैब सामान्यत: नहीं लगायी जाती है, क्योंकि इसकी मोटाई तथा प्रबलन इस्पात की मात्रा अधिक आती है, जो मितव्ययी नहीं होता है। अत: टंकी की तली पर गुम्बद-नुमा स्लैब डाली जाती है।

(6) **वृत्ताकार धरन** (Circular Beam)—टंकी के नीचे, आधार स्लैब अथवा तली गुम्बद को आलम्बित करने के लिये, वृत्ताकार धरन दी जाती है। यह धरन मचान के स्तम्भों के शीर्ष पर टिकी रहती है। टंकी का सम्पूर्ण भार वृत्ताकार धरन के द्वारा मंचिका पर स्थानान्तरित होता है। धरन पर शंकु-गुम्बद तथा तली गुम्बद के प्रणोद लगते हैं।

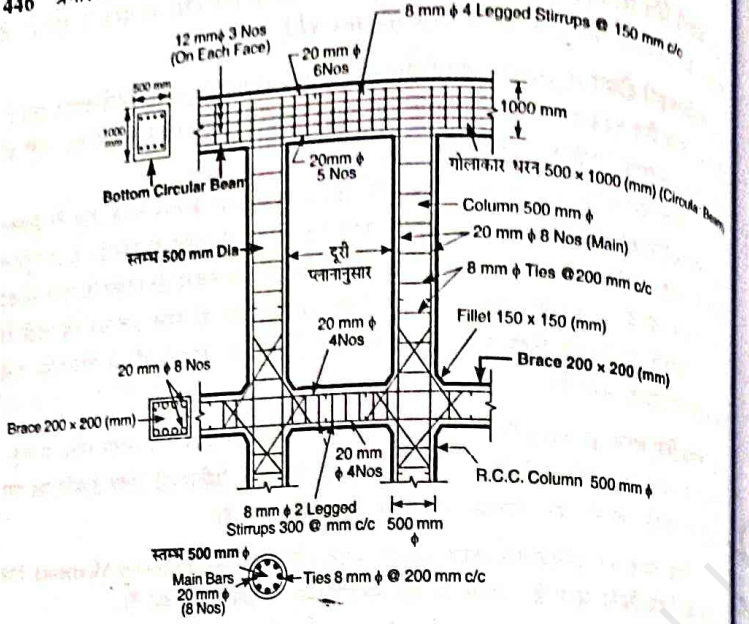
वृत्ताकार धरन का अभिकल्पन करते समय निम्न पर विचार किया जाता है—

(i) पाट के मध्य में अधिकतम बंकन आघूर्ण

(ii) आलम्ब पर कर्तन तथा बंकन आघूर्ण

(iii) प्रतिनमन बिन्दु पर अधिकतम मरोड़ (Torsion) आघूर्ण।

(7) **मंचिका** (Staging)—टंकी को आवश्यक ऊँचाई पर स्थापित करने के लिये, इसके नीचे चिनाई के पाये अथवा प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट के स्तम्भ दिये जाते हैं। स्तम्भ एक अथवा कई पंक्तियों में वृत्ताकार, वर्गाकार अथवा आयताकार खण्ड के हो सकते हैं। लम्बे स्तम्भों को पार्श्व स्थिरता प्रदान करने के लिये, ऊँचाई की दिशा में उचित अन्तराल पर बन्धक (Braces) लगाये जाते हैं, जो सभी स्तम्भों को आपस में आबद्ध कर देते हैं और इनकी सामर्थ्य बढ़ाते हैं। टंकी-आलम्ब चित्र 11.10 में दर्शाये गये हैं।



चित्र 11.15—वृत्ताकार धरन, स्तम्भ तथा बन्धकों में प्रबलन इस्पात

स्तम्भों की संख्या, टंकी के माप तथा आकार के अनुसार 4 से लेकर 8–12 कुछ भी हो सकती है। स्तम्भों पर टंकी का अचल भार आता है जो सभी स्तम्भों पर समान-रूप से बंट जाता है। इसके साथ-साथ, वायु दाब के कारण स्तम्भों पर सीधा वायु-बल तथा बंकन आघूर्ण भी लगता है।

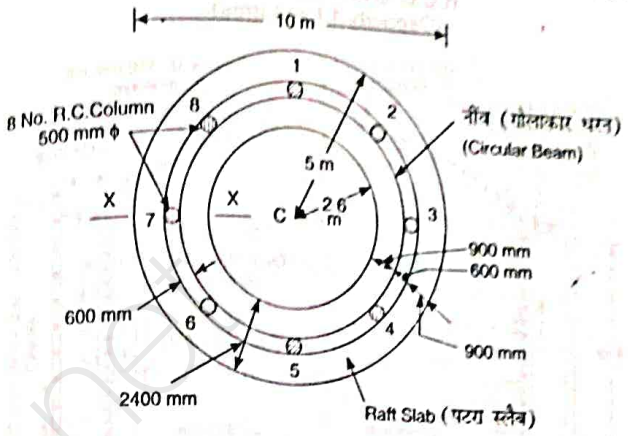
स्तम्भों का अभिकल्पन करते समय, टंकी तथा पानी का भार, स्तम्भ का स्वयं का भार तथा वायुदाब के कारण सीधे तथा बंकन आघूर्ण पर विचार किया जाता है।

(8) बन्धक (Braces)—यह मचान के स्तम्भों को स्थिति तथा दिशा में जकड़े रहते हैं और ऊँचाई में स्तम्भों को अनेक पाटों में विभाजित करते हैं और स्तम्भों में वायु दाब के कारण उत्पन्न बंकन आघूर्ण का मान घटाते हैं। बन्धक धरन सामान्यत: 2·5 से 3 मी० के ऊर्ध्व अन्तराल पर दिये जाते हैं। इसके ऊपरी तथा निचले, दोनों क्षेत्रों में बराबर का प्रबलन दिया जाता है ताकि वायु की दिशा पलट जाने पर, यह सुरक्षित रहे।

(9) नींव (Foundation)—यह स्तम्भों के नीचे, फुटिंग के रूप में दी जाती है। प्राय: सभी स्तम्भों के लिये संयुक्त वृत्ताकार राफ्ट स्लैब (Ring Type) तथा नींव धरन डाली जाती है। राफ्ट की फुटिंग धरन के दोनों ओर बढ़ी रहती है।

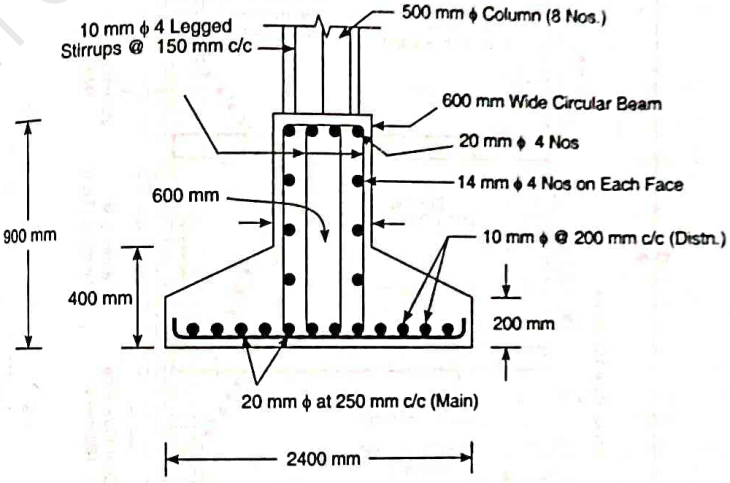
नींव धरन का अभिकल्पन बंकन आघूर्ण, मरोड़ (Torsion) आघूर्ण तथा कर्तन के लिये किया जाता है।

नींव की गहराई रैंकिन सूत्र से ज्ञात की जाती है। नींव में प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 11.16 व 11.17 में दर्शायी गयी है।



PLAN

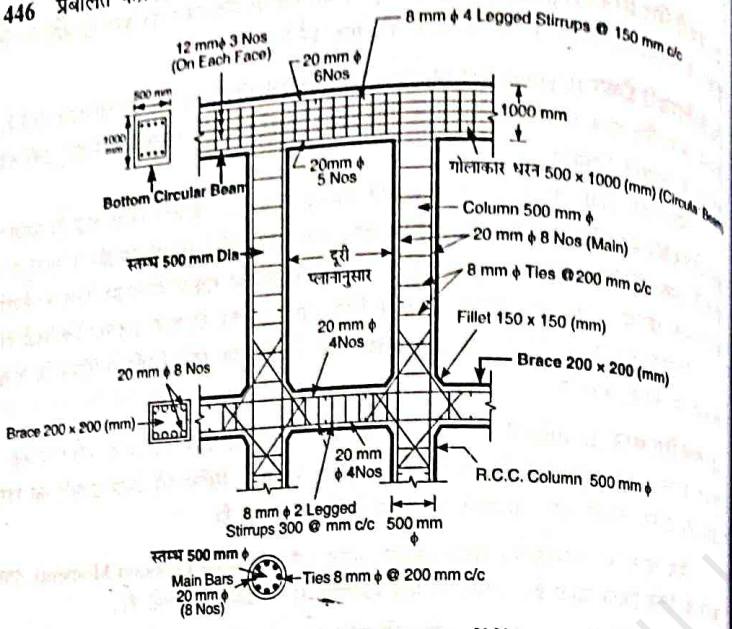
चित्र 11.16—वृत्ताकार राफ्ट नींव (Plan)



(SECTION AT X X)

चित्र 11.17—वृत्ताकार राफ्ट नींव

(पाठ्यक्रम की दृष्टि से उपरोक्त विवरण पर्याप्त समझा गया है। गुम्बद-रचना के अधिक विवरण/विश्लेषण के लिये डिग्री स्तर की पुस्तक देखें)



चित्र 11.15—वृत्ताकार धरन, स्तम्भ तथा बन्धकों में प्रबलन इस्पात

स्तम्भों की संख्या, टंकी के माप तथा आकार के अनुसार 4 से लेकर 8–12 कुछ भी हो सकती है। स्तम्भों पर टंकी का अचल भार आता है जो सभी स्तम्भों पर समान-रूप से बंट जाता है। इसके साथ-साथ, वायु दाब के कारण स्तम्भों पर सीधा वायु-बल तथा बंकन आघूर्ण भी लगता है।

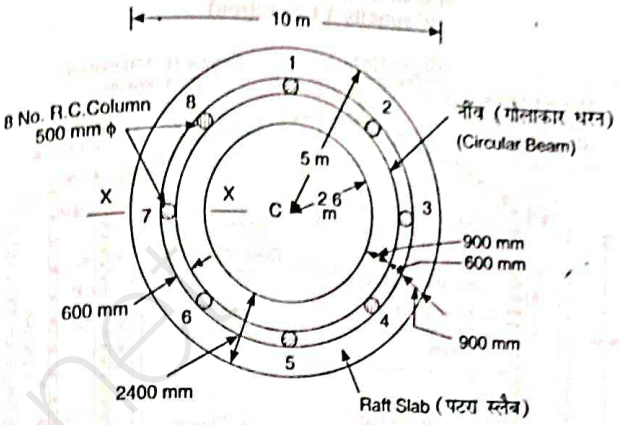
स्तम्भों का अभिकल्पन करते समय, टंकी तथा पानी का भार, स्तम्भ का स्वयं का भार तथा वायुदाब के कारण सीधे तथा बंकन आघूर्ण पर विचार किया जाता है।

(8) बन्धक (Braces)—यह मचान के स्तम्भों को स्थिति तथा दिशा में जकड़े रहते हैं और ऊँचाई में स्तम्भों को अनेक पाटों में विभाजित करते हैं और स्तम्भों में वायु दाब के कारण उत्पन्न बंकन आघूर्ण का मान घटाते हैं। बन्धक धरन सामान्यत: 2·5 से 3 मी० के ऊर्ध्व अन्तराल पर दिये जाते हैं। इसके ऊपरी तथा निचले, दोनों क्षेत्रों में बराबर का प्रबलन दिया जाता है ताकि वायु की दिशा पलट जाने पर, यह सुरक्षित रहे।

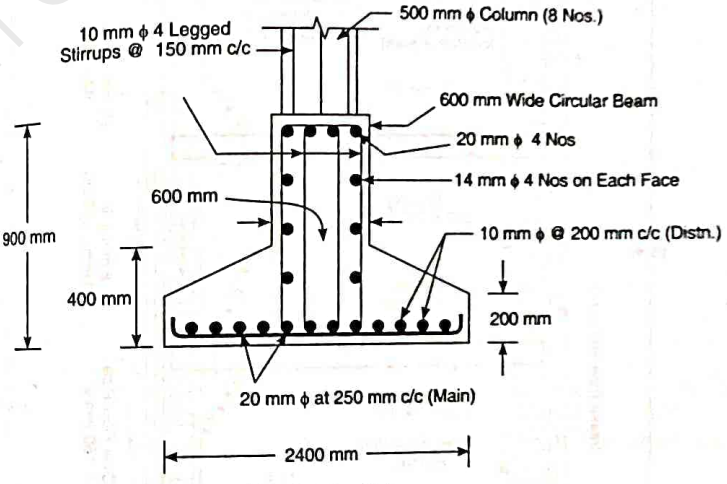
(9) नींव (Foundation)—यह स्तम्भों के नीचे, फुटिंग के रूप में दी जाती है। प्राय: सभी स्तम्भों के लिये संयुक्त वृत्ताकार राफ्ट स्लैब (Ring Type) तथा नींव धरन डाली जाती है। राफ्ट की फुटिंग धरन के दोनों ओर बढ़ी रहती है।

नींव धरन का अभिकल्पन बंकन आघूर्ण, मरोड़ (Torsion) आघूर्ण तथा कर्तन के लिये किया जाता है।

नींव की गहराई रैंकिन सूत्र से ज्ञात की जाती है। नींव में प्रबलन इस्पात की स्थिति चित्र 11.16 व 11.17 में दर्शायी गयी है।

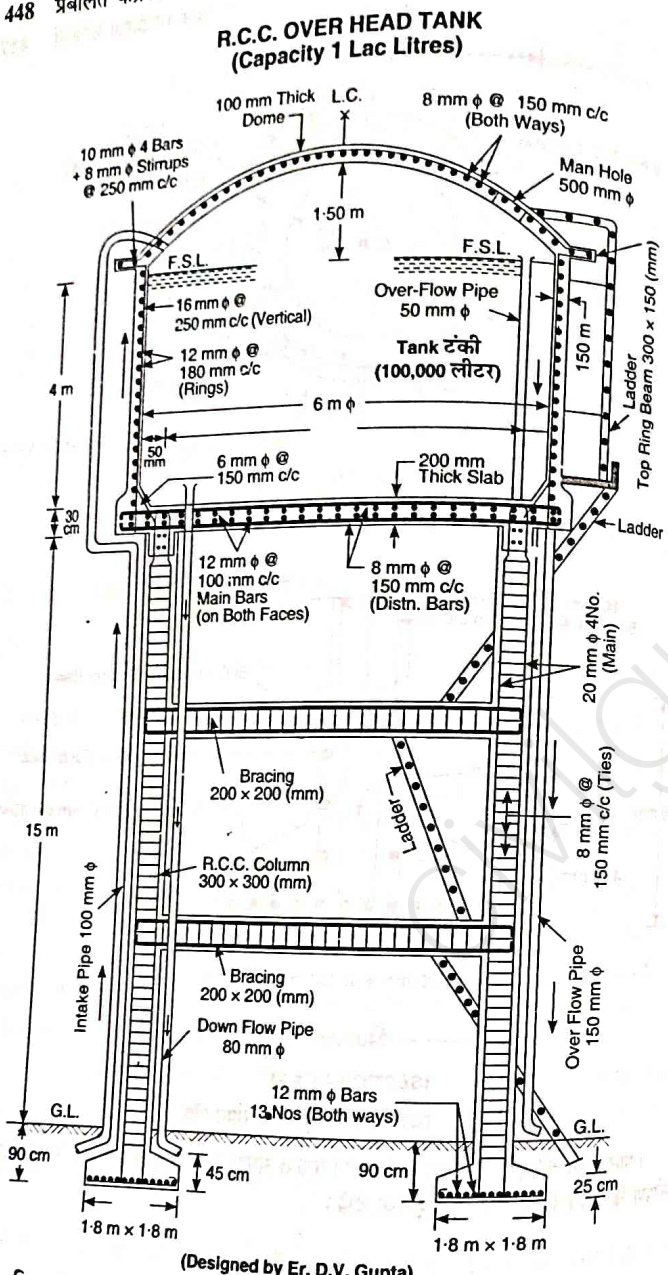


चित्र 11.16—वृत्ताकार राफ्ट नींव (Plan)



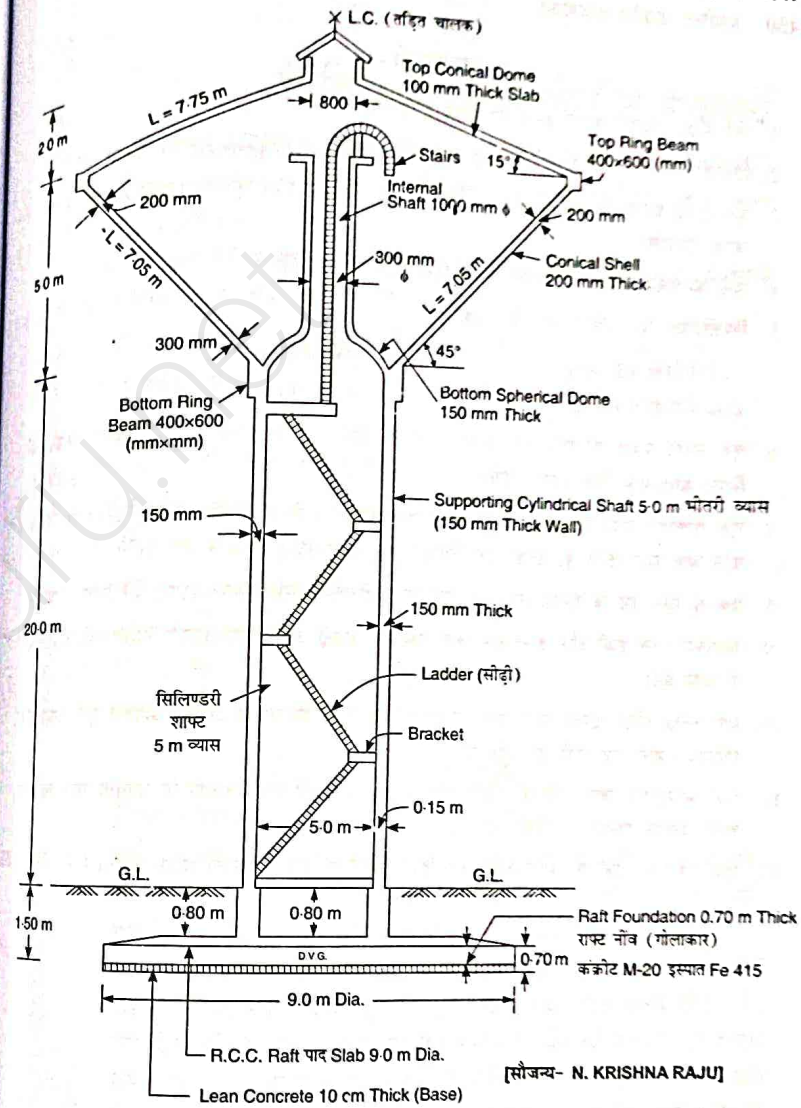
चित्र 11.17—वृत्ताकार राफ्ट नींव

(पाठ्यक्रम की दृष्टि से उपरोक्त विवरण पर्याप्त समझा गया है। गुम्बद-रचना के अधिक विवरण/विश्लेषण के लिये डिग्री स्तर की पुस्तक देखें)



(Designed by Er. D.V. Gupta)

चित्र 11.18—एक लाख लीटर क्षमता की आर० सी० सी० शिरोपरि टंकी



[सौजन्य- N. KRISHNA RAJU]

चित्र 11.19—शंक्वाराकार जल टंकी (20 मी० मंच पर)
(CONICAL OR FUNNEL SHAPED OVER-HEAD WATER TANK)

प्रश्नावली–11

1. जल संग्रह टंकियाँ कितने प्रकार की होती हैं, लिखिये।
2. शिरोपरि टंकी की विभिन्न आलम्बन-युक्तियें (Supporting Arrangement) पर प्रकाश डालें।
3. एक गुम्बद प्रकार की (Dome Type) शिरोपरि जल टंकी का हस्त-मुक्त चित्र खींचकर, उसके मुख्य घटक दर्शाइये।
4. पानी की टंकी मे वितरण इस्पात कितना दिया जाता है, लिखिये।
5. निम्नलिखित पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखें—
   (i) मंचिका (Staging) (ii) गुम्बद (Dome)
   (iii) रिंग धरन (Ring Beam) (iv) बन्धक (Braces)
6. एक गुम्बद प्रकार की पानी की शिरोपरि टंकी के डोम, रिंग धरन तथा फर्श में प्रबलन इस्पात की स्थिति हस्त-मुक्त चित्र देकर दर्शायें। [B.T.E.]
7. एक गोलाकार टंकी मे 4 मी० गहराई तक पानी भरा हुआ है। टंकी की ऊर्ध्वाधर दीवार पर कौन-कौन बल कार्य करते हैं, उनके नाम लिखिये तथा क्रिया-बिन्दु निर्धारित कीजिये।
8. एक 6 मी० पाट के गुम्बद का हस्त-मुक्त चित्र खींचकर उसमें प्रबलन इस्पात की स्थिति दर्शायें।
9. गोलाकार जल टंकी और शंक्वाकार जल टंकी की अपनी-अपनी संरचनात्मक विशेषताओं की संक्षेप मे चर्चा करें।
10. एक लाख लीटर क्षमता वाली एक गोलाकार जल टंकी का सरल आंकड़े अपनाते हुये आवश्यक परिमाप दर्शाये। यह टंकी दृढ़ भूमि पर टिकी है।
11. एक आयताकार जल टंकी की सीधी भूमि पर आधारित है। इसके घटको के उपयुक्त माप मानकर, इसमें प्रबलन इस्पात की स्थिति स्पष्ट करें।
12. एक इंजे जल टंकी का मुक्त-हस्त चित्र देकर इसके विभिन्न महत्वपूर्ण घटक दर्शाये।

12 विविध प्रबलित कंक्रीट रचनायें
(MISCELLANEOUS R.C.C. STRUCTURES)

§ 12.1. विविध रचनायें :

इस अध्याय में कुछ ऐसी प्रबलित कंक्रीट रचनाओं के अभिकल्पन दिये जा रहे हैं, जो भवनों तथा अन्य सिविल निर्माण के अन्तर्गत आती हैं। रचनाओं के नाम इस प्रकार है—

(1) बहुतली भवन की नींव (Foundation for Multi-Storeyed Building)
(2) टी-धरन छत (T-Beam Roof) (Upright/Inverted T-Beams)
(3) प्रबलित ईंट रचनायें (R.B. Structures) (प्रास/लिन्टल/स्लैब)
(4) बहुतली फ्रेम रचनायें (Multistoreyd Frame Structures)
(5) जालक फर्श (Waffle Floor)
(6) पाइप पुलिया (Pipe Culvert)
(7) टी-धरन पुल (T-Beam Bridge)
(8) पोर्टल (Portal)
(9) स्थूणा (Pile) नींव
(10) विद्युत संचरण खम्भा (Transmission Pole)

(I) बहुतली भवन की नींव
(Foundation for a Multi-Storeyed Building)

उदाहरण 12.1 : एक चार मंजिले आवासीय भवन के लिये उपयुक्त नींव का अभिकल्पन कीजिये। भवन की भार-वाही दीवारें 300 mm मोटी हैं और मुँडेर (पेरापिट) सहित, भूमि तल से कुल ऊँचाई 16 मीटर है। छत पर 120 mm मोटी आर० सी० सी० स्लैब और उस पर 80 mm मोटी चूना-कंक्रीट डाली गयी है। ऊपरी फर्शों के लिये प्रबलित कंक्रीट स्लैब की मोटाई 120 mm तथा इस पर 30 mm टेराजो फ्लेरिंग लगायी गयी है। कमरों का अधिकतम पाट 5 मी० है। नींव की मृदा की भार धारण क्षमता 15 t/m^2, घनत्व 1700 kg/m^3 तथा विश्राम कोण 30° है। नींव ब्लाक में सादा सीमेंट कंक्रीट M-7·5 (1 : 4 : 8) का प्रयोग करना है। फर्शों तथा छत पर 2000 N/m^2 का चल भार मान लें।

हल : (1) नींव की भूमितल से गहराई—यह रैन्किन सूत्र से ज्ञात की जायेगी—

$$D = \frac{p}{\gamma}\left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]^2 \qquad \ldots(12.1)$$

उपरोक्त में—

D = नींव की गहरायी p = मृदा की भारधारण क्षमता, 15 t/m²

γ = मृदा का घनत्व, 1700 kg/m³ ϕ = विश्राम कोण, 30°

ज्ञात मान रखने पर— $D = \frac{15 \times 1000}{1700}\left[\frac{1-\sin 30°}{1+\sin 30°}\right]^2$

$$D = \frac{15 \times 1000}{1700} \times \frac{1}{9} = 0{\cdot}98 \text{ m say } 1{\cdot}0 \text{ m}$$

(2) **कंक्रीट ब्लाक की मोटाई**—कंक्रीट ब्लाक में 1 : 4 : 8 की सादा सीमेंट कंक्रीट प्रयोग की गयी माना इसका खसका 15 cm का है। कंक्रीट ब्लाक की मोटाई निम्न सूत्र से ज्ञात की जाती है—

$$t = \sqrt{\frac{3pj^2}{m}} \quad \ldots(12.2)$$

यहाँ— t = कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई, mm में

p = मृदा की भार-धारण क्षमता, N/mm² में। 15 t/m² अथवा 0·15 N/mm²

j = कंक्रीट ब्लॉक का चिनाई से बाहर बढ़ा हुआ खसका या प्रक्षेप, mm में, उपरोक्त के अनुसार 150 mm

m = कंक्रीट का भंजन मापांक (Modulus of Rupture)

1 : 4 : 8 की कंक्रीट के लिये इसका मान 0·25 N/mm² लिया जाता है।

$$\therefore \quad t = \sqrt{\frac{3 \times 0{\cdot}15 \times (150)^2}{0{\cdot}25}} = 201 \text{ mm}$$

परन्तु यह दीवार की मोटाई से कम नहीं होनी चाहिये। अत: कंक्रीट ब्लाक की मोटाई 300 mm रखी जायेगी।

(3) **नींव की चौड़ाई**—दीवार की एक मी० लम्बाई लेते हुये, नींव पर भार निम्न प्रकार ज्ञात किया जाता है—

(a) **छत का भार (W_1)**—

(i) 12 cm मोटी आर० सी० सी० स्लैब का भार—

$$1 \times 1 \times 0{\cdot}12 \times 25000 = 3000 \text{ N/m}^2$$

(ii) 8 cm मोटी चूना कंक्रीट का भार—

$$1 \times 1 \times 0{\cdot}08 \times 19200 = 1540 \text{ N/m}^2$$

(iii) चल भार $= 2000 \text{ N/m}^2$

कुल $= 6540 \text{ N/m}^2$

दीवार पर कमरे के आधे पाट का भार $= \frac{6540 \times 5}{2} = 16350 \text{ N/meter}$

(b) **फर्शों का भार (W_2)**—फर्शों पर चल तथा अचल भार आता है। बहुतलीय भवन की छत से निचले फर्शों पर चल भार में 10% की दर से, प्रत्येक फर्श के लिये, कटौती की जाती है, परन्तु यह कटौती 50% से अधिक नहीं होगी (देखें सारणी 12.2)।

अत: अचल व चल भार की गणना अलग-अलग करते हैं।

(क) अचल भार—

(i) 12 cm मोटी आर० सी० स्लैब $1 \times 1 \times 0{\cdot}12 \times 25000 = 3000 \text{ N/m}^2$

(ii) 3 cm टैराजो फ्लोरिंग $1 \times 1 \times 0{\cdot}03 \times 24000 = 720 \text{ N/m}^2$

कुल $= 3720 \text{ N/m}^2$

दीवार पर कमरे के आधे पाट का भार $= 3720 \times 5/2 = 9300 \text{ N/m}$

भूमितल पर बने फर्श (Ground Floor) का भार दीवारों पर न आकर, सीधा भूमि पर चला जाता है। केवल ऊपरी फर्शों तथा छत का भार ही दीवार पर आयेगा (चित्र 12.1)। अत: भवनों के तीनों फर्शों का भार, $3 \times 9300 = 27900 \text{ N/m}$

(ख) चल भार—

(i) तृतीय फर्श पर चल भार

$$= \frac{2000 \times 90}{100} = 1800 \text{ N/m}^2$$

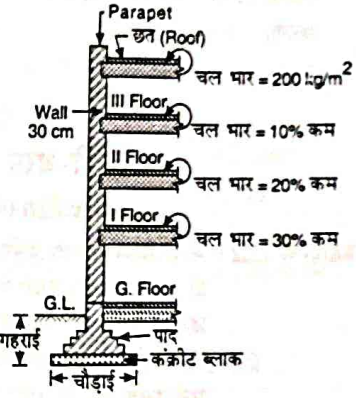
(ii) द्वितीय फर्श पर चल भार

$$= \frac{2000 \times 80}{100} = 1600 \text{ N/m}^2$$

(iii) प्रथम फर्श पर चल भार

$$= \frac{2000 \times 70}{100} = 1400 \text{ N/m}^2$$

कुल भार $= 4800 \text{ N/m}^2$



चित्र 12.1—चार-तली भवन

दीवार पर आधे पाट का भार $= \frac{4800 \times 5}{2} = 12000 \text{ N/m}$

अत: फर्शों का चल तथा अचल भार $= 12000 + 27900 = 39900 \text{ N/m}$ (ii)

(c) **दीवार का स्वयं का भार (W_3)**—भूमि तल से नीचे दीवार की पाद का भार 2 m ऊँची दीवार के बराबर मान लिया जाता है।

दीवार का कुल भार $= L \times B \times H \times$ चिनाई का घनत्व

$= 1 \times 0{\cdot}30 \times (16 + 2) \times 19200 = 103680 \text{ N/m}$ ...(iii)

(d) **कंक्रीट ब्लाक का भार (W_4)**—मोटे तौर पर ब्लाक की चौड़ाई $2T + 2J$ मान ली जाती है और मोटाई T के बराबर ली जाती है।

यहाँ T = दीवार की कुर्सी तल पर मोटाई

J = कंक्रीट का खसका (off set), 15 cm मान लो

अत: ब्लॉक की चौड़ाई $= 2 \times 30 + 2 \times 15 = 90 \text{ cm}$

ब्लॉक की मोटाई = 30 cm

ब्लॉक का भार $= 1 \times 0{\cdot}90 \times 0{\cdot}30 \times 24000 = 6480$ N/m

अत: दीवार की प्रति मी० लम्बाई पर आ रहा कुल भार, (i) + (ii) + (iii) + (iv)

$= W_1 + W_2 + W_3 + W_4$

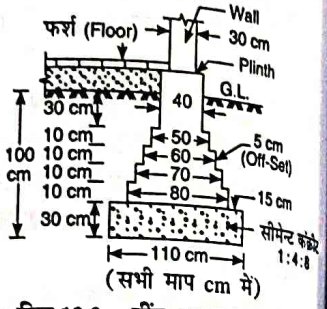
$= 16350 + 39900 + 103680 + 6480 = 166410$ N/m

$\therefore$ नींव की आवश्यक चौड़ाई $= \dfrac{166410}{150000} = 1{\cdot}11$ m²

$\because$ दीवार की लम्बाई 1 मी मानी गयी है, अत:

नींव की चौड़ाई = 1·11 m say 110 cm

(4) **चित्र**—ईंटों के मानक माप (20 cm × 10 cm × 10 cm) को ध्यान में रखते हुये, नींव में खसकों की व्यवस्था चित्र 12.2 के अनुसार रखी जायेगी।



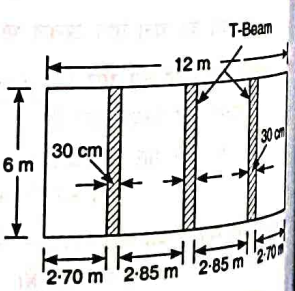
चित्र 12.2—नींव (Wall Foundation)

(II) टी-धरन छत का अभिकल्पन
(Design of T-Beam Roof)

उदाहरण 12.2 : पॉलीटेक्निक के एक ड्राईंग-हाल का माप 12 m × 6 m (भीतर से) है। इस पर टी-धरनों की छत डाली जानी है, जिस पर 4 kN/m² का चल भार आ रहा है। छत पर 2 cm मोटी कंक्रीट का फर्श (Flooring) भी डाला गया है। M-15 ग्रेड की कंक्रीट तथा प्रबलन के लिये Fe–415 ग्रेड के इस्पात का प्रयोग करते हुये छत-स्लैब तथा टी-धरन का पूर्ण अभिकल्पन करें।

हल : ड्राईंग हाल का प्लान चित्र 12.3 में दिया गया है। माना हम इसमें तीन टी-धरन डालते हैं, जिन पर स्लैब आधारित हैं।

यदि हम तीनों पाट बराबर रखते हैं, तब मध्य के पाटों में धनात्मक बंकन आघूर्ण, सिरे के पाट से कुछ कम होता है। इसलिये यह उचित रहता है कि सिरे का पाट थोड़ा कम रखा जाये ताकि सभी पाटों में बंकन आघूर्ण लगभग बराबर आ जाये और एक ही पाट के लिये स्लैब का अभिकल्पन करके, अन्य सभी पाटों के लिये भी वही मोटाई अपनायी जा सके। छत की पूरी स्लैब तथा सभी धरनों का एक समान माप रखना निर्माण की दृष्टि से सुविधाजनक रहता है और देखनें में अट-पटा नहीं लगता है।



चित्र 12.3

अत: इस आधार पर धरनों की व्यवस्था तथा स्लैब के पाट चित्र 12.3 में दर्शाये गये हैं।

धरने तथा स्लैब एकाश्मी डाली जायेगी। अत: यह छत टी-धरन के अन्तर्गत अभिकल्पित की जायेगी।

अभिकल्पन दो भागों पर सम्मिलित होगा—

(a) स्लैब का अभिकल्पन, (b) टी-धरन का अभिकल्पन।

(A) **पाटन-स्लैब का अभिकल्पन (Design of Slab)**—

चूँकि स्लैब की लम्बाई इसकी चौड़ाई से दो गुना से अधिक है, अत: यह एकल दैशिक स्लैब की भाँति (One Way Slab) अभिकल्पित की जायेगी।

(i) माना स्लैब की मोटाई, 4 cm प्रति मी० लम्बाई की दर से, $2{\cdot}70 \times 4 = 10{\cdot}8$

say 11 cm = 110 mm रखते हैं।

तथा प्रभावी गहराई, $d = 110 - 15 = 95$ mm

(ii) अन्तिम पाट की स्लैब का प्रभावी पाट = शुद्ध पाट $+ \dfrac{d}{2}$

$= 2{\cdot}70 + 0{\cdot}05 = 2{\cdot}75$ m

भीतरी पाट की स्लैब का प्रभावी पाट = शुद्ध पाट = 2·85 m

(iii) **भार**—स्लैब की एक मी० चौड़ी पट्टी लेते हुये—

2 cm मोटी फर्श-सम्पूर्ति का भार $= 1 \times 1 \times 0{\cdot}02 \times 2400 =$ 48 kg/m

स्लैब का स्वयम् का भार $= 1 \times 1 \times 0{\cdot}11 \times 2500 =$ 275 kg/m

कुल अचल भार = 323 kg/m (w_d)

छत पर चल भार $1 \times 1 \times 400 = 400$ kg/m (w_s)

(iv) **बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल**—

अन्तिम पाट के लिये	भीतरी पाट के लिये
(a) पाट के मध्य में **बंकन आघूर्ण**— $M = \dfrac{w_d l^2}{12} + \dfrac{w_s l^2}{10}$ $= \left(\dfrac{323}{12} + \dfrac{400}{10}\right) \times (2{\cdot}75)^2$ **= 506·06 kg.m**	(a) पाट के मध्य में **बंकन आघूर्ण** $M = \dfrac{w_d l^2}{24} + \dfrac{w_s l^2}{12}$ $= \left(\dfrac{323}{24} + \dfrac{400}{12}\right) \times (2{\cdot}85)^2$ **= 380·07 kg-m**
(b) अन्तिम से अगले आलम्ब पर **बंकन आघूर्ण**— $M = -\left[\dfrac{w_d l^2}{10} + \dfrac{w_s l^2}{9}\right]$ $= -\left(\dfrac{323}{10} + \dfrac{400}{9}\right) \times (2{\cdot}75)^2$ **= – 580·38 kg-m**	(b) भीतरी आलम्बों पर **बंकन आघूर्ण**— $M = -\left[\dfrac{w_d l^2}{12} + \dfrac{w_s l^2}{9}\right]$ $= -\left(\dfrac{323}{12} + \dfrac{400}{9}\right) \times (2{\cdot}85)^2$ **= – 579·63 kg-m**

(c) अन्तिम आलम्ब पर **कर्तन बल**— $V = 0{\cdot}4\ w_d\ l + 0{\cdot}45\ w_s\ l$ $= [(0{\cdot}4 \times 323) + (0{\cdot}45 \times 400)] \times 2{\cdot}75$ $= 850$ kg	(c) अन्तिम से अगले आलम्ब के भीतरी फलक पर **कर्तन बल**— $V = 0{\cdot}55\ w_d\ l + 0{\cdot}6\ w_s\ l$ $= [(0{\cdot}55 \times 323) + (0{\cdot}6 \times 400)] \times 2{\cdot}85$ $= 1190$ kg
(d) अन्तिम से अगले आलम्ब के बाहरी फलक पर **कर्तन बल**— $V = 0{\cdot}6\ w_d\ l + 0{\cdot}6\ w_s\ l$ $= [(0{\cdot}6 \times 323) + (0{\cdot}6 \times 400)] \times 2{\cdot}75$ $= 1193$ kg	(d) भीतरी आलम्बों पर **कर्तन बल**— $V = 0{\cdot}5\ w_d\ l + 0{\cdot}6\ w_s\ l$ $= [(0{\cdot}5 \times 323) + (0{\cdot}6 \times 400)] \times 2{\cdot}85$ $= 1144$ kg

टी-धरन ऊपर दी गयी अधिकतम बंकन-आघूर्ण (Max. B.M.) के लिये अभिकल्पित किया जायेगा। गणनाओ के आधार पर इसका मान 580·38 kg-m है, जो अन्तिम से अगले आलम्ब (Support) पर उपजती है। भार गुणक 1·5 लेते हुये—

अत: फैक्टर (Factored) बंकन आघूर्ण = 1·5 × 580·38 = 807·57 say 808 kg-m (–ve)।

M-15 और Fe 415 के लिये, $M_u = R_u\, b\, d^2$

यहाँ R_u = सीमांत बंकन आघूर्ण गुणक है। इसका मान 2·07 लिया जाता है (सारणी 3.6)

$$\therefore \quad M_d = M_u = 808 \times 10^4 \text{ N.mm}$$

$$2{\cdot}07\ bd^2 = 8080000$$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{8080000}{2{\cdot}07 \times 1000}} = 63 \text{ mm}$$

ऊपर मानी गयी यह गहराई 90 mm है, जो व्यवहारिक है।

अत: स्लैब की प्रभावी गहरायी, $d = 95$ mm और 15 mm का आवरण रखने पर,

$$D = 95 + 15 = 110 \text{ mm}$$

(v) **प्रबलन इस्पात**–अल्प प्रबलित खण्ड के लिये, $M_u = 0{\cdot}696 f_y A_{st} d$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर—

$$8080000 = 0{\cdot}696 \times 415 \times 95\, A_{st}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{8080000}{0{\cdot}696 \times 415 \times 95} = 295 \text{ mm}^2$$

अत: निर्माण में सरलता के लिये, सभी पाटों के लिये प्रबलन इस्पात का यही क्षेत्रफल अपनाया जायेगा।

10 mm व्यास की छड़ प्रयोग करते हुये,

$$\text{छड़ों का अन्तराल, } s = \frac{a_t \times 1000}{A_{st}} = \frac{79 \times 1000}{295} = 268 \text{ mm c/c}$$

अत: 10 mm व्यास की छड़ें 260 mm केन्द्र से केन्द्र की दूरी पर डाली जायेंगी। यह अन्तराल $3 \times d = 3 \times 95 = 285$ mm अथवा 300 mm, दोनों से ही कम है, अत: मान्य है।

कोड के अनुसार छड़ का व्यास $\frac{D}{8} = \frac{110}{8} = 14$ mm से अधिक नहीं होना चाहिये। क्योंकि नियोजित छड़ का व्यास 10 mm है, अत: स्वीकार्य है।

(vi) **खण्ड के लिये न्यूनतम प्रबलन इस्पात–**

$$A_{so} = \frac{0{\cdot}85 \times b \times d}{f_y} = \frac{0{\cdot}85 \times 1000 \times 95}{415} = 195 \text{ mm}^2$$

डाला गया प्रबलन इस्पात इससे अधिक है।

(vii) **वितरण इस्पात**—यह खण्ड के क्षेत्रफल का 0·12% (HYSD छड़ों के लिये) लिया जाता है।

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{0{\cdot}12}{100} \times b \times D = \frac{0{\cdot}12 \times 1000 \times 110}{100} = 132 \text{ mm}^2$$

8 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों का अन्तराल,

$$s = \frac{1000 \times a_t}{A_{st}} = \frac{1000 \times 50}{132} = 379 \text{ mm say } 370 \text{ mm}$$

यह अन्तराल 5 d अथवा 450 mm से कम है, अत: मान्य है।

अत: 8 mm व्यास की छड़ें 370 mm c/c पर प्रयोग की जायेंगी।

(viii) **अपरूपण (कर्तन) में जाँच—**

(a) अधिकतम कर्तन बल, अन्तिम से अगले आलम्ब पर कार्य कर रहा है। इसका मान 1193 kg है।

अत: फैक्टर (Factored) कर्तन बल = 1·5 × 1193 = 1790 kg

अत: कर्तन बल, $V_u = 17900$ N

(b) कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{17900}{1000 \times 95} = 0{\cdot}19 \text{ N/mm}^2$

(c) स्लैब में तनन इस्पात का प्रतिशत, $p = \frac{100 \times A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 295}{1000 \times 95} = 0{\cdot}31\%$.

(d) M–15 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन में सामर्थ्य, (सारणी 4.1 से)— $\tau_c = 0{\cdot}24 \text{ N/mm}^2$, 150 mm से कम मोटी ठोस स्लैब के लिये कर्तन सामर्थ्य = $k \times \tau_c$ ली जायेगी। k का मान 1·3 लिया जाता है। (देखें सारणी 4.2)। अत: $\tau_c = 1{\cdot}30 \times 0{\cdot}24 = 0{\cdot}31 \text{ N/mm}^2$

यह मान τ_v के मान से काफी अधिक है, अत: स्लैब कर्तन में सुरक्षित है।

(B) **T-धरन का अभिकल्पन (Design of T-Beam)—**

हम मध्य का टी-धरन अभिकल्पित करते हैं और यह अभिकल्पन अन्य दोनों धरनों पर भी लागू होगा।

माना रिब की गइराई 30 cm है। इसकी चौड़ाई 30 cm ऊपर दे रखी है।

(i) **धरन पर प्रति मी० लम्बाई में भार—**

(a) अध्यारोपित भार $= 1 \times (2{\cdot}85 + 0{\cdot}30) \times 4000 = 12600$ N

(b) स्लैब तथा फ्लोरिंग का भार $= 1 \times (2{\cdot}85 + 0{\cdot}30) \times 3230 = 10180$ N

(c) रिब का भार $= 0{\cdot}30 \times 0{\cdot}30 \times 1 \times 25000 = 2250$ N

कुल भार = 25030 N/m

(ii) **बंकन आघूर्ण (B.M.)—**

धरन का प्रभावी पाट = 6·0 + 0·30 = 6·30 m

बंकन आघूर्ण, $M = \frac{wl^2}{8} = \frac{25030 \times (6{\cdot}30)^2}{8} = 124180$ N.m

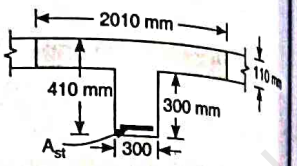
$= 124180000$ N.mm

फैक्टर बंकन आघूर्ण, $M_d = 124180000 \times 1{\cdot}5 = 186270000$ N.mm

(iii) **फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई**—यह निम्न का न्यूनतम ली जायेगी—

$$b_f = \frac{l_o}{6} + b_w + 6D_f$$

अथवा $b_f = b_w$ + दो धरनों के मध्य शुद्ध दूरी



चित्र 12.4—टी-धरन के माप

$\frac{6{\cdot}30}{6} + 0{\cdot}30 + (6 \times 0{\cdot}11)$ अथवा 0·30 + 2·85 cm

(201 cm अथवा 315 cm)। इनमें न्यूनतम 201 cm है।

अत: फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई 2010 mm ली जायेगी।

टी-धरन की चौड़ाई = 300 mm

रिब की गहरायी = 300 mm

टी-धरन की कुल गहरायी = 300 + 110 = 410 mm

20 mm तली-आवरण रखने पर, $d = 410 - 20 = 390$ mm

(iv) **टी-धरन की गहरायी की जांच—**

$$M_d = M_u = R_u b d^2$$

M-15 कंक्रीट व Fe 415 इस्पात के लिये $R_u = 2{\cdot}07$, यहाँ $b = b_f = 2010$ mm

$$186270000 = 2{\cdot}07 \times 2010 \times d^2$$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{186270000}{2{\cdot}07 \times 2010}} = 212 \text{ mm}$$

अत: ऊपर मानी गयी $d = 390$ mm इस से अधिक है, व्यवहारिक है, मान्य है।

(v) **प्रबलन इस्पात**—न्यून प्रबलित खण्ड के लिये—

$$M_u = 0{\cdot}696 f_y A_{st} d \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$186270000 = 0{\cdot}696 \times 415 \times 390 A_{st}$$

$$\therefore \quad A_{st} = \frac{186270000}{0{\cdot}696 \times 415 \times 390} = 1654 \text{ mm}^2$$

20 mm व्यास की छड़ें प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या $= \frac{1654}{314} = 5{\cdot}3$ say 6 छड़ें,

अत: 20 mm व्यास की 6 छड़े डाली जायेगी।

(vi) **कर्तन में जाँच**—अधिकतम कर्तन बल, आलम्बों के निकट होगा। इसका मान—

$$V = \frac{wL}{2} = \frac{25030 \times 6}{2} = 75090 \text{ N}$$

फैक्टर कर्तन बल, $V_u = 1{\cdot}5 \times 75090 = 112635$ N

कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{112635}{300 \times 390} = 0{\cdot}96$ N/mm^2

तनन प्रतिबल के लिये 20 mm ϕ की 6 छड़ें डाली गयी हैं, जिनमें दो छड़ों को आलम्बों से पाट/10 की दूरी पर समाप्त किया जाता है। अत: तली पर 4 छड़ें शेष रह जाती हैं।

तली में उपलब्ध छड़ों के अनुसार खण्ड में इस्पात का प्रतिशत,

$$p = \frac{100 \times A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 4 \times 314}{300 \times 390} = 1{\cdot}07\%$$

M–15 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}60$ N/mm^2

चूँकि $\tau_v > \tau_c$ अत: कर्तन प्रबलन की आवश्यकता है। यह कर्तन प्रबलन उदग्र छल्लों के रूप में दिया जायेगा।

(a) **कंक्रीट खण्ड की कर्तन सामर्थ्य**—$V_c = \tau_c bd = 0{\cdot}60 \times 390 \times 390 = 70200$ N

(b) शुद्ध कर्तन बल जिसके लिये कर्तन प्रबलन देना है (Net Shear Force)—

$$V_u = 112635 - 70200 = 42435 \text{ N}$$

(c) 8 mm व्यास के 4-टाँग वाले उदग्र छल्लों का अन्तराल (Spacing)—

$$s = \frac{\sigma_{sv} \times A_{sv} \times d}{V_u} = \frac{361 \times 4 \times 50 \times 390}{42435} = 663 \text{ mm}$$

(यहाँ $\sigma_{sv} = 0{\cdot}87 \times 415 = 361$ N/mm^2)

छल्लों का अन्तराल $0{\cdot}75 \times d$ अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से **अधिक** नहीं होगा, अर्थात् $0{\cdot}75 \times 390 = 292$ mm अथवा 300 mm। अत: 8 mm ϕ के 4-टांगों वाले छल्ले 290 mm c/c पर डाले जायेंगे।

civilguru.net

(d) न्यूनतम कर्तन प्रबलन के आधार पर 8 mm ϕ के 4-टाँगों वाले उदग्र छल्लों का अन्तराल—

$$s = \frac{A_{sv} \times 0{\cdot}87 f_y}{0{\cdot}4 \times b}$$

$$= \frac{4 \times 50 \times 415 \times 0{\cdot}87}{0{\cdot}4 \times 300} = 602 \text{ mm}$$

परन्तु यह अन्तराल 290 mm रखा गया है, जो उचित है।

(e) जिस क्षेत्र में सभी तनन छड़े विद्यमान हैं, कर्तन प्रबलन का अभिकल्पन—

आलम्बों से $\frac{\text{पाट}}{10} = \frac{630}{10} = 63$ cm की दूरी से आगे, तली पर पूर्ण संख्या में तनन छड़े उपलब्ध हैं, कर्तन बल की जाँच करते हैं। अत: इस क्षेत्र में इस्पात का प्रतिशत,

$$p = \frac{100 \times 6 \times 314}{300 \times 390} = 1{\cdot}61\%$$

M-15 ग्रेड की कंक्रीट की कर्तन में सामर्थ्य, (सारणी 4.1 से)—$\tau_c = 0{\cdot}70$ N/mm^2

कंक्रीट खण्ड द्वारा वहन कर्तन बल—$V_c = \tau_c \times b \times d = 0{\cdot}70 \times 300 \times 390 = 81900$ N

आलम्बों से 63 cm की दूरी पर कर्तन बल—

$$\frac{x}{2{\cdot}52} = \frac{112635}{3{\cdot}15}$$

अथवा $$x = \frac{2{\cdot}52 \times 112635}{3{\cdot}15} = 90108 \text{ N}$$

शेष कर्तन बल जिसके लिये उदग्र छल्ले अभिकल्पित करने हैं—

$$V_s = V - V_c$$

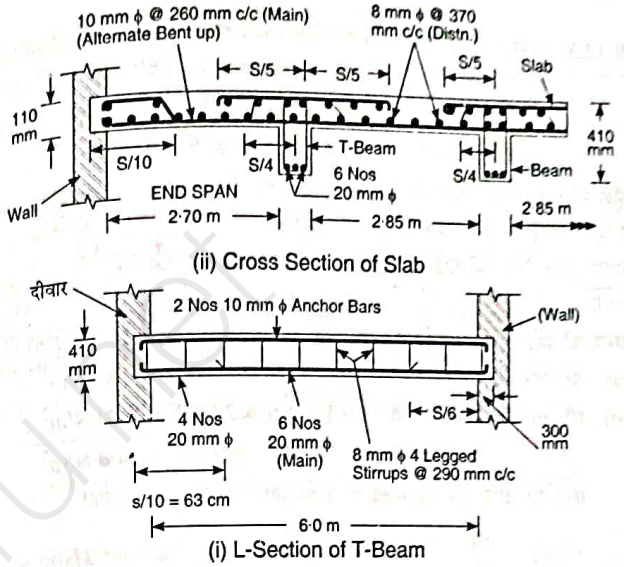
$$= 90108 - 81900 = 8208 \text{ N}$$

इस कर्तन बल के लिये 4 टाँगों वाले, 8 mm ϕ के उदग्र छल्ले लगाने होंगे।

∴ छल्लों का अन्तराल, $s = \frac{361 \times 4 \times 50 \times 390}{8208}$

$$= 3431 \text{ mm}$$

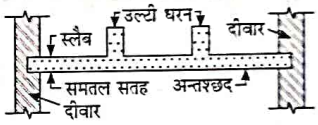
परन्तु I.S. code के अनुसार यह दूरी $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 390 = 293$ mm या 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से अधिक नहीं होगी। अत: 8 mm ϕ के 4 टाँग वाले छल्ले आलम्बों से 63 cm की दूरी के बाद, 290 mm c/c लगाये जायेंगे। अत: धरन की पूरी लम्बाई में 8 mm ϕ के 4 टांगों वाले छल्ले 290 mm c/c लगाये जायेंगे। स्लैब व टी-धरन में प्रबलन इस्पात की व्यवस्था चित्र 12.5 में दर्शायी गयी है।



चित्र 12.5—टी-धरन-प्रबलन इस्पात का विवरण

(III) उल्टी टी-धरन छत का अभिकल्पन
(Design of Inverted T-Beam Roof)

टी-धरन छत में, धरनों की रिब स्लैब से नीचे लटकी रहती हैं, जो देखने में अट-पटी लगती हैं, अत: समतल व फ्लश अन्तश्छद (Ceiling) प्राप्त करने के लिये धरनों की रिब स्लैब से ऊपर निकाल दी जाती हैं और स्लैब धरन के निचले सिरे से फ्लश करके डाली जाती है। इस प्रकार के निर्माण को **उल्टी टी-धरन छत कहते हैं।** (चित्र 12.6)



चित्र 12.6—उल्टी टी-धरन छत (Inverted T-Beam Roof)

उल्टी टी-धरन छत सम्बन्धी कुछ उल्लेखनीय बातें निम्न हैं—

(i) चूँकि स्लैब धरन की तली के साथ फ्लश करके डाली जाती है, जहाँ तनन प्रतिबल उत्पन्न होते हैं, अत: फ्लैंज (स्लैब का भाग) धरन की सम्पीडन प्रतिबलों के वहन करने में कोई सहयोग नहीं देता है। इस प्रकार यह निर्माण मितव्ययी नहीं होता है।

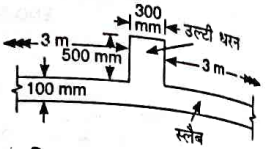
(ii) उल्टी टी-धरन व्यवस्था में धरन एक सामान्य धरन की भाँति कार्य करती है। इसे एकल अथवा दोहरी धरन अभिकल्पित किया जाता है।

(iii) स्लैब तथा धरन एकाश्मी निर्मित किये जाते हैं, तब भी स्लैब के भार को धरन पर समुचित ढंग पर स्थानान्तरण करने के लिये, धरन की लम्बाई में अतिरिक्त टाई या स्टीरपस लगाने की आवश्यकता रहती है।

civilguru.net

उदाहरण 12.3 : 6 मी० प्रभावी पाट वाले एक ऐसी उल्टी टी-धरन (छत) का अभिकल्पन कीजिये जिसके निचले सिरे पर फ्लश करती हुई 10 cm मोटी स्लैब डाली गयी है। स्लैब का शुद्ध पाट 3 मी० है और इस पर 2000 N/m² का चल भार आ रहा है। $f_{ck} = 20$ N/mm² तथा $f_y = 415$ N/mm² मान लें।

हल : चूँकि स्लैब धरन के निचले सिरे पर फ्लश डाली गयी है, अत: यह एक उल्टी टी-धरन अभिकल्पित की जायेगी।



चित्र 12.7—उल्टा टी-धरन

माना रिब की चौड़ाई 300 mm और गहराई 500 mm है।

(1) धरन की प्रति मी० लम्बाई पर भार—

(a) चल भार $1 \times 1 \times 2000 = 2000$ N/m²

(b) 10 cm मोटी स्लैब का भार $1 \times 1 \times 0{\cdot}10 \times 25000 = 2500$ N/m²

कुल भार = 4500 N/m²

धरन पर दोनों ओर की स्लैब के आधे-आधे पाट का भार आयेगा।

$$4500 \times \left(\frac{3}{2} + 0{\cdot}30 + \frac{3}{2}\right) = 14850 \text{ N/m}$$

(c) रिब का भार $1 \times 0{\cdot}30 \times 0{\cdot}50 \times 25000 = 3750$ N/m

कुल भार = 18600 N/m

(2) अधिकतम बंकन आघूर्ण— $M = \frac{wl^2}{8} = \frac{18600 \times 6^2}{8} = 83700$ N-m

$= 83700 \times 10^3$ N-mm,

भार गुणक 1·5 लेते हुये, फैक्टर बंकन आघूर्ण, $M_d = 1{\cdot}5 \times 83700000$

$= 125550000$ N.mm

(3) प्रभावी गहराई— $M_d = M_u = R_u bd^2$

(M-20 व Fe 415 के लिये $R_u = 2{\cdot}76$—सारणी 3.6)

$\therefore \quad M_d = 2{\cdot}76 \times 300 \times d^2$

$$d = \sqrt{\frac{125550000}{2{\cdot}76 \times 300}} = 390 \text{ mm}$$, अत: प्रभावी गहरायी,

$d = 390$ mm, और कुल गहराई 410 mm ली जाती है। चूँकि यह उपरोक्त मानी गई गहराई के लगभग बराबर आती है। अत: **गणनायें संशोधित करने की आवश्यकता नहीं है।**

(4) प्रबलन इस्पात—तनन इस्पात को क्षेत्रफल के लिये,

$$M_u = M_d = 0{\cdot}696 f_y A_{st} d \quad \text{...(सूत्र)}$$

$\therefore$

$$A_{st} = \frac{125550000}{0{\cdot}696 \times 415 \times 390} = 1115 \text{ mm}^2$$

20 mm व्यास की छड़ का प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या, $= \frac{1115}{314} = 3{\cdot}6$ say 4 छड़ें

अत: धरन में 20 mm व्यास की 4 छड़ें डाली जायेंगी।

तनन इस्पात का क्षेत्रफल $= 314 \times 4 = 1256$ mm²

(5) न्यूनतम तनन इस्पात की जाँच—

$$A_{so} = \frac{0{\cdot}85\, b \times d}{f_y} = \frac{0{\cdot}85 \times 300 \times 390}{415} = 240 \text{ mm}^2$$

यह 1256 mm² से कम है अत: अभिकल्पित तनन इस्पात की मात्रा सही है।

(6) कर्तन में जाँच—फैक्टर कर्तन बल $= 1{\cdot}5 \times 18600 = 27900$ N

कर्तन बल, $V_v = \frac{27900 \times 6}{2} = 83700$ N

नामन कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{83700}{300 \times 390} = 0{\cdot}72$ N/mm²

खण्ड में इस्पात का प्रतिशत, $p = \frac{A_{st}}{b \times d} \times 100 = \frac{1256 \times 100}{300 \times 390} = 1{\cdot}07\%$

खण्ड की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}63$ N/mm²।

चूँकि $\tau_v > \tau_c$ है, अत: धरन में कर्तन प्रबलन की आवश्यकता है। तनन प्रतिबलों के लिये 20 mm व्यास की 4 छड़ें तली पर डाली गयी हैं, जिनमें दो छड़ों को आलम्बों से $\frac{\text{पाट}}{10}$ की दूरी पर समाप्त किया जाता है। अत: आलम्बों के निकट तली पर 2 छड़ें शेष रह जाती हैं। अत: धरन में इस्पात का प्रतिशत्— $p = \frac{100 \times A_{st}}{b \times d} = \frac{100 \times 2 \times 314}{300 \times 390} = 0{\cdot}54\%$

M-20 की कंक्रीट की कर्तन में सामर्थ्य (सारणी 4.1 से), $\tau_c = 0{\cdot}50$ N/mm²

धरन की कर्तन में सामर्थ्य, $V_c = \tau\, bd$

$= 0{\cdot}50 \times 300 \times 390 = 58500$ N

शुद्ध (Net) कर्तन बल, जिसके लिये कर्तन प्रबलन देना है—

$83700 - 58500 = 25200$ N

8 mm व्यास के 2 टाँग वाले उदग्र छल्लों का अन्तराल—

$$s = \frac{0{\cdot}87 f_y \times A_{sv} \times d}{V_c}$$

$$= \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 2 \times 50 \times 390}{25200} = 559 \text{ mm c/c}$$

परन्तु छल्लों का अन्तराल $0{\cdot}75 \times d = 0{\cdot}75 \times 390 = 292$ अथवा 300 mm, जो भी

न्यूनतम है, इससे अधिक नहीं होगा। अत: 8 mm व्यास के छल्ले, 290 mm c/c की दूरी पर धरन की पूरी लम्बाई में डाले जायेंगे।

न्यूनतम कर्तन प्रबलन के लिये उदग्र छल्लों का अन्तराल, $s = \dfrac{f_y \times A_{sv}}{0{\cdot}4 \times b}$

$$= \frac{415 \times 2 \times 50}{0{\cdot}4 \times 300} = 346 \text{ mm}$$

अत: अन्तराल 290 mm ही लिया जायेगा।

ये उदग्र छल्लें स्लैब पर आने वाले भार को धरन पर स्थानान्तरित करने के लिये टाई का कार्य भी निभायेंगे।

(7) **टाई** (Ties)—धरन पर स्लैब से 22275 N/m का भार स्थानान्तरित हो रहा है। इसके लिये दोनों में टाई लगानी होगी।

$$\therefore \quad \text{टाई का क्षेत्रफल} = \frac{W}{f_y} = \frac{22275}{415} = 54 \text{ mm}^2$$

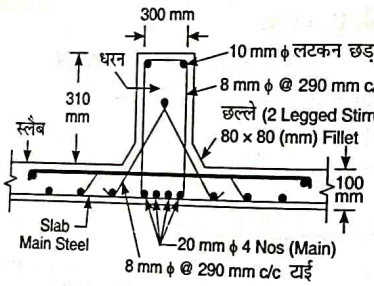
धरन की प्रति मी० लम्बाई में ऊपर अभिकल्पित उदग्र छल्लों का क्षेत्रफल $= \frac{\pi}{4} \times (8)^2 \times \frac{1000}{290}$

$= 174 \text{ mm}^2$ यह क्षेत्रफल 54 mm^2 से अधिक है। अत: ऊपर अभिकल्पित उदग्र छल्ले टाई का कार्य भली-भाँति निभायेंगे।

अतिरिक्त दृढ़ता के लिये स्लैब तथा रिब के मिलन बिन्दु पर 80 mm × 80 mm का कंक्रीट का गोला (Fillet) दिया जाता है, जिसमें 8 mm ϕ की एक तिरछी टाई 290 mm के अन्तराल पर अलग से दी जायेगी।

उदग्र छल्लों को धरन के ऊपरी भाग में अपनी स्थिति में बनाये रखने के लिये, प्रत्येक कोने पर 10 mm व्यास की एक-एक लटकन छड़ (Anchor Bar) दी जायेगी।

(8) **चित्र**—



चित्र 12.8—उल्टी टी-धरन में प्रबलन इस्पात का विवरण

(IV) प्रबलित ईंट रचनायें
(Reinforced Brick Structures)

§ 12.2. परिचय (Introduction) :

जब ईंट चिनाई के किसी अवयव में इस्पात की छड़ों का प्रबलन दिया जाता है तो इसे **प्रबलित ईंट रचना** कहते हैं।

प्रबलित कंक्रीट धरनों तथा स्लैब के अध्ययन से यह स्पष्ट है कि बल शून्य रेखा से नीचे स्थित सीमेन्ट कंक्रीट तनन छड़ों को अपनी स्थिति में बनाये रखने के अतिरिक्त, कोई विशेष प्रतिबल नहीं लेती है। अत: इस क्षेत्र में कंक्रीट के स्थान पर कोई अन्य सस्ता पदार्थ, जो कंक्रीट की भाँति सबल और टिकाऊ हो, प्रयोग किया जा सकता है। इस दृष्टि से प्रबलित ईंट निर्माण बड़ा सन्तोषजनक तथा मितव्ययी सिद्ध हुआ है।

ईंट चिनाई कंक्रीट की भाँति सम्पीडन में पर्याप्त सामर्थ्य रखती है (परन्तु कंक्रीट से कम सामर्थ्यवान है)। अत: इसको पूर्ण रूप से लाभदायक बनाने के लिये खण्ड के सम्पीडन क्षेत्र में ही इसका प्रयोग किया जाता है। अब सभी छोटे तथा मध्यम प्रकार के पाटों के लिये, जिन पर सामान्य या कम भार आते हैं, प्रबलित ईंट का प्रयोग अधिक किया जाने लगा है। साधारण पोर्टलैण्ड सीमेन्ट के वर्तमान मूल्य तथा उपलब्धता में कठिनाई को देखते हुये, द्वितीय श्रेणी के भवनों तथा सस्ते मकानों की छतों व लिन्टलों के लिये, प्रबलित ईंट कार्य ने अपना विशेष स्थान बना लिया है। फिर इस देश में बढ़िया किस्म की ईंट, हर जगह आसानी से उपलब्ध हो जाती हैं और सस्ती होती हैं।

परन्तु प्रबलित ईंट निर्माण में दोष भी हैं। मुख्य दोष यह है कि ईंट शीघ्र नमी ग्रहण कर लेती है और प्रबलन इस्पात इनके सीधे सम्पर्क में आने पर, शीघ्र जंग खा जाता है और गल जाता है, जिससे संरचना की आयु घट जाती है। प्रबलित ईंट कार्य की विकर्ण तनन (Diagonal Tension) प्रतिरोधित करने की क्षमता बहुत कम होती है। इसलिये इसका प्रयोग धरनों के लिये नहीं किया जाता है।

§ 12.3. प्रबलित ईंट निर्माण के गुण-दोष (Merits and Demerits of R.B. Work) :

(a) **गुण**—

(i) **लागत**—यह निर्माण प्रबलित कंक्रीट से सस्ता (50% तक) पड़ता है, विशेषतौर पर छोटे तथा न्यून भार वाले पाटों के लिये।

(ii) **निर्माण समय**—निर्माण कार्य शीघ्र सम्पन्न होता है।

(iii) **सीमेन्ट की बचत**—कंक्रीट की तुलना में, ईंट चिनाई में सीमेन्ट की खपत बहुत कम होती है।

(iv) **ताप चालकता**—प्रबलित ईंट निर्माण ताप परिवर्तन से कम प्रभावित होता है। ईंट की ताप चालकता, कंक्रीट की तुलना में कम होती है। अत: कमरे ग्रीष्म ऋतु में ठण्डे रहते हैं।

(v) **निर्माण में सरलता**—छड़ों का अन्तराल, ईंटों (अथवा टाइलों) के मानक माप के कारण प्राय: पूर्व निश्चित रहता है, अत: एक साधारण राज-मिस्त्री भी आसानी से सन्तोषजनक निर्माण कर लेता है। स्लैब की मोटाई प्राप्त करने में कोई विशेष दिक्कत नहीं पड़ती है, क्योंकि ईंटों (टाइलों) की मानक मोटाई होती है।

(vi) **निरीक्षण**—निर्माण में, प्रबलित कंक्रीट की तुलना में कम निरीक्षण तथा जाँच की आवश्यकता रहती है।

(vii) **प्रचलन**—उत्तरी भारत मे जहाँ अच्छी ईंट आसानी से उपलब्ध है, प्रबलित ईंट निर्माण काफी प्रचलित है।

(b) **दोष**—

(i) **असमांगी निर्माण**—प्रबलित ईंट कार्य, प्रबलित कंक्रीट की तुलना में अधिक असमांगी है, अत: इस पर प्रत्यास्थता सिद्धान्त पूरी तरह से लागू नही होता है।

(ii) **विकर्ण तनन**—चूँकि यह निर्माण विकर्ण तनन में काफी कमजोर है, अत: धरनों के लिये इसका प्रयोग नहीं किया जा सकता है।

(iii) **छड़ अन्तराल**—क्योंकि ईंट का माप निर्धारित है, अत: प्रबलन छड़ों का अन्तराल (Spacings), ईंट के माप के आधार पर रखना पड़ता है।

(iv) **अवयव-मोटाई**—इसके अवयवों की मोटाई सामान्यत: 50 mm के गुणकों में रखनी पड़ती है।

(v) **सीलन प्रकोप**—यह निर्माण सीलन से शीघ्र प्रभावित होता है।

(vi) **आयु**—इसकी आयु प्रबलित कंक्रीट से कम होती है।

(vii) **सम्पूर्ति**—सपाट सतह प्राप्त करने के लिये, इस पर सीमेन्ट प्लास्टर करना पड़ता है, जो कुछ वर्षों के पश्चात् उखड़ने लगता है।

§ 12.4. प्रबलित ईंट कार्य का प्रयोग (Use of R. B. Work) :

छोटे पाटों तथा कम भार के लिये प्रबलित ईंट निर्माण मितव्ययी तथा सुविधाजनक रहता है साधारण आवास गृहों तथा द्वितीय श्रेणी के भवनों के लिये इसका प्रयोग अधिक लाभप्रद है। प्रबलित ईंट निर्माण स्लैब, लिन्टल, सनशैड, अलमारी, स्तम्भ, जीने,जल-भण्डारण की छोटी टंकियों इत्यादि के लिये अपनाया जा सकता है।

§ 12.5. प्रबलित ईंट कार्य की परिसीमायें (Limitations of R. B. Work) :

(1) प्रबलित ईंट कार्य हल्के भारण-क्रम के लिये ही अपनाया जा सकता है, क्योंकि इसकी सामर्थ्य काफी कम होती है।

(2) इसकी विकर्ण तनन (Diagonal Tension) में सामर्थ्य बहुत कम है, अत: धरनों व भारी लिन्टलों के लिये उपयुक्त नहीं है।

(3) इसका उपयोग 3·5 मी० पाट तक ही सीमित है।

(4) पानी/नमी के सम्पर्क में आने पर ईंटें प्रभावित होती हैं और प्रबलन इस्पात जंग खा जाता है।

(5) अवयवों की मोटाई ईंट/टाइल की मोटाई के गुणक (5 के गुणक) में रखनी पड़ती है, क्योंकि ईंटों को मोटाई में काटना कठिन पड़ता है। ईंट का मानक माप 20 cm × 10 cm × 10 cm और टाइल का माप 20 cm × 10 cm × 5 cm होता है।

कुछ दशक पूर्व, देश में सीमेन्ट की आपूर्ति/उपलब्धता मे कुछ दिक्कत थी। तब सस्ते भवनों के लिये प्रबलित-ईंट निर्माण अधिक अपनाया जाता था और बिल्डरों में यह धारणा भी थी कि यह निर्माण, प्रबलित-कंक्रीट निर्माण से सस्ता पड़ता है, परन्तु अब बाजार में सीमेन्ट प्रचुर मात्रा में और उचित दामों में उपलब्ध है, जबकि प्रथम श्रेणी की ईंट अब कठिनायी से मिलती है और काफी महंगी भी है। अत: द्वितीय श्रेणी के भवनों के लिये, कम पाट वाले दरवाजे-खिड़कियों के लिन्टलों को छोड़कर, अन्य अवयवों के लिये, प्रबलित-ईंट निर्माण का चलन बहुत घट गया है।

§ 12.6. प्रबलित ईंट कार्य के लिये सावधानियाँ (Precautions to be taken in R.B. Work) :

(1) **ईंट/टाइलें**—प्रबलित ईंट कार्य के लिये प्रथम श्रेणी की ईंट/टाइलें ही इस्तेमाल करनी चाहिये। प्रयोग से पहले इनको पानी डालकर भिगो लेना चाहिये ताकि यह मसाले का पानी न सोखें।

(2) **प्रबलन छड़ें**—मुख्य तथा वितरण छड़ें, जहाँ तक सम्भव हो टोर (Twisted) प्रकार की होनी चाहिये। टोर छड़ें 8 mm ϕ से कम व्यास की नहीं बनायी जाती है।

(3) **मसाला अनुपात**—प्रबलित ईंट कार्य के लिये सीमेंट मसाला 1 : 3 सन्तोषजनक रहता है।

(4) **जोड़-मोटाई**—मसाला जोड़ की मोटाई, प्रयुक्त मुख्य छड़ के व्यास का लगभग 3 गुना रखें। यह मोटाई 20–40 mm हो सकती हैं।

(5) **बिखड़े-जोड़**—एक ईंट से मोटी स्लैब/लिन्टल की ऊपरी परतों में बिछायी गयी ईंट/टाइलों के जोड़, निचली परत को ध्यान में रखते हुये, बिखरे (Staggered) रखें।

(6) **आवरण**—प्रबलन छड़ों पर शुद्ध आवरण (Cover) 12 mm से कम नहीं होना चाहिये।

(7) **आलम्ब-चढ़ाव**—किनारों वाली पंक्ति की ईंटों/टाइलों का पार्श्व दीवारों (End Supports) पर चढ़ाव आधी-ईंट (10 cm) से कम नहीं होना चाहिये।

(8) **सतह सम्पूर्ति**—स्लैब/लिन्टल के सभी जोड़ों में अच्छी तरह सीमेन्ट मसाला (अथवा सीमेन्ट कंक्रीट-यदि जोड़ बड़े है), तंली (Ceiling) पर सीमेंट प्लास्टर करना होगा ताकि समतल/चिकनी सतह उपलब्ध हो। अवयव की ऊपरी सतह (Top) पर समोचित जल-रोधी उपचार करना चाहिये।

(9) **कार्य-पूर्ण**—एक कमरे का पूर्ण स्लैब-कार्य/लिन्टल कार्य लगातार करते हुये पूर्ण कर लेना चाहिये।

(10) **तराई**—प्रबलित ईंट कार्य की मौसम अनुसार आवश्यक अवधि तक तराई करनी चाहिये।

§ 12.7. अभिकल्पन के सामान्य नियम (General Rules for Design of R.B. Work) :

प्रबलित ईंट कार्य सम्बन्धी मुख्य बातें निम्नलिखित हैं—

(1) **ईंटें**—प्रबलित ईंट कार्य के लिये, प्रथम श्रेणी की ईंटों (अथवा चपटी टाइलों) का इस्तेमाल करना चाहिये। प्रयोग से पूर्व, ईंटों को भली-भाँति पानी से भिगों लेना चाहिये। ईंटों को 1 : 3 के सीमेन्ट : बालू मसाले में लगाया जाता है।

(2) **जोड़**—प्रबलित ईंट चिनाई में जोड़ों की चौड़ाई, छड़ों के व्यास के अनुसार रखी जाती है। चौड़ाई इतनी अवश्य होनी चाहिये कि इसमें छड़ सीमेन्ट मसाले के साथ पूर्ण रूप से दबाई जा सके और यह ईंट के सीधे सम्पर्क में न आने पाये। सामान्यत: यह जोड़ 20 से 40 mm चौड़े रखे जाते है और उनमें

सीमेन्ट मसाला 1 : 3 भरा जाता है। जब यह जोड़ 40 mm या अधिक चौड़े हों तो इनमें सीमेन्ट कंक्रीट 1 : 2 : 4 भरी जाती हैं।

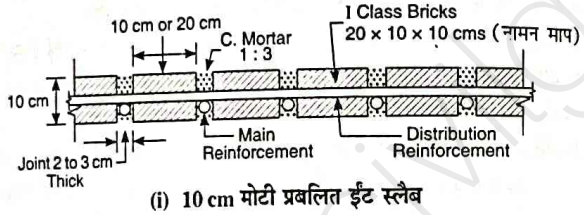
ईंटों को इस प्रकार बिछाना चाहिये कि प्रबलन छड़ों वाले जोड़ छोड़कर, अन्य जोड़ अपनत हो जायें, विशेष तौर पर जब ईंटें दो परतों में लगायी गयी हैं, तब ऊर्ध्वाधर जोड़ भी विछिन्नित होने चाहियें।

स्लैब के किनारे वाली ईंटें, अपनी आधी लम्बाई में दीवारों अथवा आलम्बों पर ठीक से टिकी रहनी चाहियें।

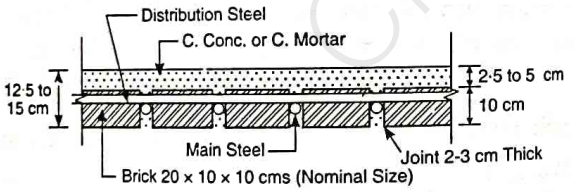
(3) स्लैब की मोटाई—स्लैब की मोटाई उपलब्ध ईंटों (या टाईल) की मोटाई के आधार पर निर्धारित की जाती है ताकि ईंट (या टाईल) को मोटाई में काटना न पड़े। सामान्यत: मानक ईंट 20 cm × 10 cm × 10 cm की होती है। स्लैब की मोटाई 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm अथवा 30 cm रखी जा सकती है। उपरोक्त मोटाई प्राप्त करने के लिये, ईंट की परत के ऊपर 20 cm × 10 cm × 5 cm माप की चपटी टाईलों का प्रयोग किया जा सकता है अथवा ईंटों के ऊपर सीमेंट कंक्रीट 1 : 2 : 4 की आवश्यक मोटी परत डाली जाती है।

प्रबलित कंक्रीट/ईंट स्लैब की मोटाई सामान्यत: 20 cm से अधिक नहीं रखी जाती है, क्योंकि इससे अधिक मोटी स्लैब आर्थिक दृष्टि से महँगी तथा अधिक भारी हो जाती है। इसलिये स्लैब के नीचे धरनों अथवा आलम्बों को इस प्रकार समन्जित किया जाता है कि स्लैब की मोटाई उपरोक्त से अधिक न बढ़ने पाये।

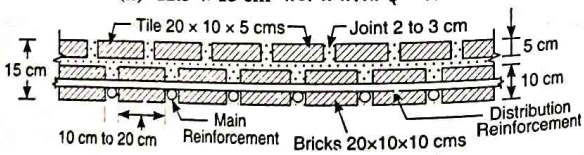
स्लैब की आवश्यक मोटाई प्राप्त करने के लिये, ईंटों की व्यवस्था चित्र 12.9 में स्पष्ट की गयी है।



(i) 10 cm मोटी प्रबलित ईंट स्लैब



(ii) 12.5 से 15 cm मोटी प्रबलित ईंट स्लैब



(iii) 15 cm मोटी प्रबलित ईंट/टाईल स्लैब

चित्र 12.9—प्रबलित-ईंट स्लैब (R.B. Slab)

(4) प्रबलन छड़ें—प्रबलित ईंट कार्य में जहाँ तक हो सके, छड़ों का व्यास कम रखना चाहिये, ताकि वह जोड़ों में अच्छी तरह दबायी जा सके। स्लैब में अधिकतम 12 mm ϕ की छड़ें प्रयोग की जानी चाहियें और लिन्टल के लिये छड़ का व्यास 25 mm से अधिक न हो।

स्लैब सामान्यत: कर्तन प्रतिबलों में सुरक्षित होती है, इसलिये किसी प्रकार का कर्तन प्रबलन देने की आवश्यकता नहीं पड़ती है। फिर भी एकान्तर पर आधी मुख्य छड़ों को पाट/ 10 से 45° पर ऊपर को नत कर देना उचित रहता है।

(5) वितरण इस्पात—यह मुख्य इस्पात के लम्बवत् तथा बड़े पाट के समानान्तर डाला जाता है। इसका क्षेत्रफल, मुख्य इस्पात का 20% अथवा खण्ड का 0·15% (टोर छड़ों के लिये 0·12%) लिया जाता है। सामान्यत: 6 mm अथवा 8 mm व्यास की छड़ें सन्तोषजनक रहती हैं। टोर छड़ें 8 mm से कम व्यास में बाजार में उपलब्ध नहीं हैं।

(6) आवरण—छड़ों पर कंक्रीट का शुद्ध आवरण, 12 mm अथवा छड़ का व्यास, जो भी अधिक हो, से कम नहीं होना चाहिये। सभी छड़ें, ईंटों के सीधे सम्पर्क में नहीं आनी चाहियें। प्रबलित ईंट कार्य के ऊपर (यदि छत है), उचित मोटाई में चूना कंक्रीट डालकर, इस में नमी के प्रवेश को रोकना चाहिये। समतल सतह प्राप्त करने के लिये, अन्तश्छद (सीलिंग) पर सीमेंट प्लास्टर करना आवश्यक होता है।

(7) अनुज्ञेय प्रतिबल—अभिकल्पन के लिये निम्नवर्णित अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल अपनाये जा सकते हैं—

(i) मृदु इस्पात में चरम प्रतिबल $f_y = 250$ N/mm², उच्च पराभव सामर्थ्य इस्पात (Fe 415) में तनन प्रतिबल, $f_y = 415$ N/mm²

(ii) ईंट कार्य के लिये सम्पीडन प्रतिबल, $\sigma_b = 2{\cdot}0$ से $3{\cdot}5$ N/mm², सामान्यत: $2{\cdot}5$ N/mm²

(iii) अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल $\tau_v = 0{\cdot}07$ से $0{\cdot}14$ N/mm², सामान्यत: $0{\cdot}1$ N/mm²

(iv) स्थानीय अभिलाग प्रतिबल, $\tau_{bd} = 1$ N/mm², औसत अभिलाग प्रतिबल = $0{\cdot}6$ N/mm²

(v) प्रबलित ईंट कार्य का भार = 2000 kg/m³

I.S. 456–2000 में प्रबलित ईंट कार्य की चर्चा नहीं की गयी है। अत: कर्तन व अभिलाग प्रतिबलों के लिये निम्न सूत्र प्रयोग करें—

$$\text{कर्तन प्रतिबल, } \tau_v = \frac{V}{b \times z} \qquad \text{...(12.3)}$$

$$\text{अभिलाग प्रतिबल, } \tau_{bd} = \frac{V}{\Sigma O \times z} \qquad \text{...(12.4)}$$

यहाँ

V = कुल कर्तन बल (Shear Force),

b = खण्ड की चौड़ाई (Width),

z = उत्तोलक भुजा (Lever Arm),

ΣO = प्रबलन छड़ों की कुल परिधि।

(8) अभिकल्प स्थिरांक (Design Coefficients)—

सारणी 12.1

		M–15, Fe 250	M–15, Fe 415
(i) क्रान्तिक बल शून्य रेखा,	x	$0{\cdot}42\,d$	$0{\cdot}30\,d$
(ii) उत्तोलक भुजा,	z	$0{\cdot}86\,d$	$0{\cdot}90\,d$
(iii) प्रतिरोध आघूर्ण	Mr	$0{\cdot}45\,bd^2$	$0{\cdot}34\,bd^2$

§ 12.8. प्रबलित ईंट रचनायें (R.B. Construction) :

प्रबलित ईंट से निर्मित कुछ अवयवों के नाम इस प्रकार हैं—

(1) प्रास-स्लैब (R.B. Cantilever) (2) लिन्टल (R.B. Lintel)

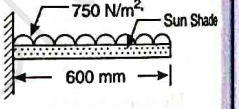
(3) स्लैब (R.B. Slab)

उपरोक्त की अभिकल्पन प्रक्रिया अगले पृष्ठों पर दी गयी है।

(A) प्रास स्लैब (R.B. CANTILEVER)

उदाहरण 12.4 : खिड़की से 60 cm बाहर बढ़े हुये, प्रबलित ईंट के एक सनशैड (छायावान) का अभिकल्पन करें, जिस पर 750 N/m² का चल भार आ रहा है। छायावान की छड़ों के स्थिरण के लिये इन्हे लिन्टल के भीतर ले जाने का प्रावधान है। $\sigma_b = 2{\cdot}5$ N/mm², $\sigma_{st} = 217$ N/mm² मान लें। प्रबलित ईंट कार्य का भार 20 kN/cu m लें। $\tau_v = 0{\cdot}1$ N/mm², $\tau_{bd} = 1$ N/mm² लें।

हल : (1) यह छज्जा प्रास स्लैब की भाँति अभिकल्पित किया जायेगा। माना छज्जे के लिये 20 × 10 × 5 (cms) माप की चपटी टाईलें लगायी जायेंगी।



चित्र 12.10

अत: छज्जे की गहराई = 5 cm = 50 mm

लम्ब दिशा में छज्जे की एक मी० चौड़ी पट्टी लेते हुये—

छज्जे पर भार—

(i) चल भार $= 1 \times 1 \times 750 = 750$ N/m²

(ii) स्वयं का भार $= 1 \times 1 \times \frac{5}{100} \times 20000 = 1000$ N/m²

कुल भार = 1750 N/m run

(2) अधिकतम बंकन आघूर्ण—

$$B.M = \frac{wl^2}{2} = \frac{1750 \times (0{\cdot}6)^2}{2} = 315 \text{ N.m} = 315 \times 10^3 \text{ N-mm}$$

(3) छज्जे की गहराई—

प्रश्न में दिये गये अनुमत प्रतिबलों के अनुसार प्रतिरोध आघूर्ण,

$M_r = 0{\cdot}45\,bd^2$ (See Design Coefficients)

अथवा $$d = \sqrt{\frac{M_r}{0{\cdot}45 \times b}} = \sqrt{\frac{315000}{0{\cdot}45 \times 1000}} = 27 \text{ mm} \quad \text{say } 30 \text{ mm}$$

20 mm का आवरण रखने पर, कुल गहराई = 50 mm। यह गहराई ऊपर मानी गयी गहराई के बराबर है, अत: गणनायें संशोधित करने की आवश्यकता नहीं है।

(4) प्रबलन इस्पात—

छज्जे की प्रति 1000 mm चौड़ी पट्टी में प्रबलन इस्पात का क्षेत्रफल—

$$A_{st} = \frac{M_r}{0{\cdot}87 f_y \times z} = \frac{315000}{217 \times 0{\cdot}90 \times 30} = 54 \text{ mm}^2$$

6 mm व्यास की छड़ों का प्रयोग करते हुये, अन्तराल—

$$= \frac{28 \times 1000}{54} = 519 \text{ mm}$$

टाईल के माप को देखते हुये, यह अन्तराल 220 mm c/c रखा जायेगा।

(5) वितरण इस्पात—

इसका क्षेत्रफल खण्ड-माप का 0·15% लिया जायेगा। यदि टोर-छड़ें ली जाती है, यह क्षेत्रफल 0·12% ले सकते हैं।

$$= \frac{1000 \times 50 \times 0{\cdot}15}{100} = 75 \text{ mm}^2$$

6 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, अन्तराल $= \frac{28 \times 1000}{75} = 373$ mm

अत: यह दूरी 300 mm c/c रखी जायेगी।

(6) कर्तन में जाँच—

अधिकतम कर्तन बल, $V = w\,l$

$= 1750 \times 0{\cdot}6 = 1050$ N

कर्तन प्रतिबल, $$\tau_v = \frac{V}{b \times z} = \frac{1050}{1000 \times 0{\cdot}86 \times 30} = 0{\cdot}04 \text{ N/mm}^2$$

यह मान 0·1 N/mm² से कम है, अत: कर्तन में प्रास स्लैब सुरक्षित है।

(7) अभिलाग में जाँच—

प्रबलित ईंट कार्य में अभिलाग प्रतिबलों की जाँच की जाती है, जबकि प्रबलित कंक्रीट में विकास लम्बाई की जाँच की जाती है।

$$\tau_{bd} = \frac{V}{\Sigma O \times z}$$

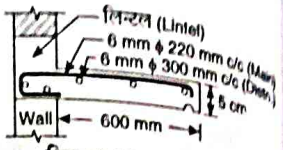
यहाँ ΣO = एक मीटर चौड़ी पट्टी में डाली गयी तनन छड़ों की परिधि

$$= \pi\phi \frac{1000}{s} = \frac{22}{7} \times 6 \times \frac{1000}{220} = 80 \text{ mm}$$

$$\therefore \quad \tau_{bd} = \frac{1050}{80 \times 0.86 \times 30}$$

$$= 0.51 \text{ N/mm}^2$$

यह मान 1 N/mm² से कम है अत: अभिलाग में प्रास स्लैब सुरक्षित है।



चित्र 12.11—प्रास छायावान (R.B. Sunshade)

(8) **प्रबलन का चित्रण**—देखें चित्र 12.11

(B) लिन्टल (R.B. LINTEL)

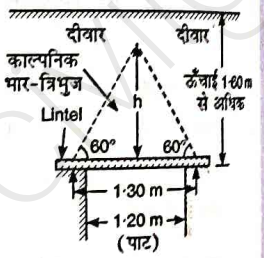
उदाहरण 12.5 : 1·20 मीटर चौड़े एक दरवाजे के लिये प्रबलित-ईंट लिन्टल का अभिकल्प कीजिये, यदि प्रवेश के ऊपर दीवार की ऊँचाई 1·60 मीटर से अधिक हो। दीवार की मोटाई 23 cm मान लें। अनुज्ञेय प्रतिबल निम्न मान लें : $\sigma_b = 2{\cdot}5$ N/mm², $\sigma_{st} = 217$ N/mm², ईंट चिनाई का भार = 19200 N/cu m, प्रबलित ईंट कार्य का भार = 20000 N/cu m.

हल : (1) माना प्रबलित ईंट लिन्टल की मोटाई 100 mm और प्रभावी मोटाई 100 – 12 = 88 mm है।

लिन्टन का प्रभावी पाट = 1·2 + 0·088 = 1·288 अर्थात् 1·30 m है।

(2) लिन्टन पर पड़ने वाला भार—

माना दीवार की चिनाई साधारण प्रकार की है और दीवार का भार लिन्टल पर 60° के कोण पर वितरित होता है। इस प्रकार यह एक समभुज भार-त्रिभुज बनती है (चित्र 12.12)।



चित्र 12.12

60° आधार वाली समबाहु त्रिभुज की ऊँचाई,

$$h = \frac{1{\cdot}30}{2} \tan 60° = 0{\cdot}65 \times 1{\cdot}732 = 1{\cdot}13 \text{ m}$$

डाट-क्रिया (Arch Action) सम्भव होने के लिये, लिन्टल के ऊपर चिनाई की ऊँचाई, त्रिभुज की ऊँचाई का 1·25 गुना से अधिक होनी चाहिये, अर्थात् $H = 1{\cdot}13 \times 1{\cdot}25 = 1{\cdot}41$ m से अधिक होनी चाहिये।

लिन्टल की मोटाई घटाने पर, दीवार की शुद्ध ऊँचाई = 1·60 – 0·10 = 1·50 m.

यह ऊँचाई 1·41 m से अधिक है, अत: लिन्टल के ऊपर डाट-क्रिया सम्भव है और अभिकल्प के लिये दीवार की सम्पूर्ण ऊँचाई का भार न लेकर, केवल त्रिभुज का भार लिया जायेगा।

लिन्टल पर कुल भार—

(i) त्रिभुजाकार दीवार का भार $= 1{\cdot}30 \times 1{\cdot}13 \times \frac{1}{2} \times 0{\cdot}23 \times 19200 = 3244$ N

(ii) लिन्टल का स्वयं का भार $= 1 \times 0{\cdot}23 \times 0{\cdot}10 \times 20000 = 460$ N

(3) बंकन आघूर्ण—

(i) त्रिभुजाकार दीवार के कारण,

$$M_1 = \frac{W \times l}{6} = \frac{3244 \times 1{\cdot}30}{6} = 703 \text{ N-m}$$

(ii) लिन्टल के भार के कारण,

$$M_2 = \frac{wl^2}{8} = \frac{460 \times 1{\cdot}30^2}{8} = 97 \text{ N-m}$$

कुल बंकन आघूर्ण $= M_1 + M_2 = 703 + 97 = 800$ N-m $= 800000$ N-mm

(4) लिन्टल की मोटाई (या गहराई)—

$\sigma_{cb} = 2{\cdot}5$ N/mm², $\sigma_{st} = 217$ N/mm² के लिये—

$$Mr = 0{\cdot}45\, b\, d^2$$

अत: $0{\cdot}45\, b\, d^2 = 800000$

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{800000}{0{\cdot}45 \times b}}$$ यहाँ $b = 230$ mm (दीवार की चौड़ाई)

$$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{800000}{0{\cdot}45 \times 230}} = 88 \text{ mm}$$

अत: कुल गहराई 115 mm तथा प्रभावी गहराई 100 mm रखी जायेगी।

(5) प्रबलन इस्पात—

तनन इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{st} = \frac{M_r}{\sigma_{st} \times z} = \frac{800000}{217 \times 0{\cdot}90 \times 100} = 41 \text{ mm}^2$

6 mm व्यास की छड़ प्रयोग करने पर, छड़ों की संख्या, $N = \frac{A_{st}}{a_t}$,

यहाँ A_{st} = कुल क्षेत्रफल तथा a_t = एक छड़ का क्षेत्रफल

$$= \frac{41}{28} = 1{\cdot}47 \text{ say } 2 \text{ Nos.}$$

अत: 6 mm व्यास की 2 छड़ें प्रयोग की जायेंगी।

(6) जाँच (Checks)—

(i) कर्तन में लिन्टल की जाँच—अधिकतम कर्तन बल,

$$V = \frac{W}{2} + \frac{wl}{2}$$

$$= \frac{3244}{2} + \frac{460 \times 1{\cdot}30}{2} = 1622 + 299 = 1921 \text{ N}$$

कर्तन प्रतिबल, $\tau_v = \frac{V}{b \times z} = \frac{1921}{230 \times 0{\cdot}9 \times 100} = 0{\cdot}093 \text{ N/mm}^2$

चूँकि यह मान, अनुज्ञेय मान 0·1 N/mm² से कम है, अत: लिन्टल कर्तन में सुरक्षित है।

(ii) **अभिलाग में लिन्टल की जाँच—**

$$\tau_{bd} = \frac{V}{\Sigma O \times z}$$

$$= \frac{1921}{2 \times \pi \times 6 \times 0{\cdot}9 \times 100}$$

$$= 0{\cdot}57 \text{ N/mm}^2$$

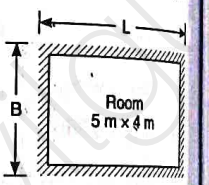
यह मान, अनुज्ञेय मान 1 N/mm² से कम है। अत: लिन्टल अभिलाग में सुरक्षित है।



चित्र 12.13—लिन्टल का अनुप्रस्थ काट

(C) द्वि-दैशिक स्लैब (TWO–WAY R.B. SLAB)

उदाहरण 12.6 : एक 5 m × 4 m प्रभावी माप के कमरे के लिये प्रबलित ईंट छत स्लैब का अभिकल्पन करें, जिस पर 2 kN/m² का चल भार आ रहा हो। फर्श सम्पूर्ति (Finishing) का भार 1·5 kN/sq m मान लें। अनुज्ञेय प्रतिबल निम्न लें— $\sigma_{st} = 361 \text{ N/mm}^2, \sigma_b = 2{\cdot}5 \text{ N/mm}^2$। स्लैब के कोने आबद्ध नहीं हैं। प्रबलित ईंट स्लैब का भार = 20 kN/cu m. लें।



चित्र 12.14

हल : (1) माना छत स्लैब की मोटाई = 20 cm (200 mm)

कमरे की प्रभावी लम्बाई = 5·0 m

कमरे की प्रभावी चौड़ाई = 4·0 m

पाटों में अनुपात $= \frac{5{\cdot}0}{4{\cdot}0} = 1{\cdot}25$

चूँकि यह 2 से कम है, अत: कमरे के लिये द्वि-दिशा स्लैब (Two-Way Slab) अभिकल्पित की जायेगी।

(2) भार—

छत के प्रति वर्ग मीटर क्षेत्र पर आने वाला भार—

(i) छत पर चल भार	= 2000 N
(ii) स्लैब पर फर्श सम्पूर्ति का भार	= 1500 N
(iii) 20 cm मोटी स्लैब का भार $1 \times 1 \times 0{\cdot}20 \times 20000$	= 4000 N
कुल भार, w = 7500 N/m run	

(a) छोटे पाट पर प्रति मीटर चौड़ाई पर आने वाला भार,

$$w_B = \left(\frac{L^4}{L^4 + B^4}\right) \times w = \left[\frac{(5)^4}{(5)^4 + (4)^4}\right] \times 7500 = 5320 \text{ N}$$

(b) लम्बे पाट पर प्रति मीटर चौड़ाई पर आने वाला भार, $w_L = w - w_B$

$$= 7500 - 5320 = 2180 \text{ N}$$

(3) अधिकतम बंकन आघूर्ण—

(a) छोटे पाट पर बंकन आघूर्ण, $M_B = \frac{w_b \times B^2}{8} = \frac{5320 \times (4)^2}{8}$

$$= 10640 \text{ N-m} = 10640000 \text{ N.mm}$$

(b) लम्बे पाट पर बंकन आघूर्ण, $M_L = \frac{w_L \times L^2}{8} = \frac{2180 \times (5)^2}{8}$

$$= 6813 \text{ N-m} = 6813000 \text{ N mm}$$

उपरोक्त में अधिकतम बंकन आघूर्ण 10640000 N-mm है, अत: स्लैब-खण्ड इसी के लिये अभिकल्पित किया जायेगा।

(4) स्लैब की मोटाई—

प्रश्न में दिये गये प्रतिबलों के लिये—

बल शून्य रेखा की गहराई, $x = 0{\cdot}30\, d$

उत्तोलक भुजा, $z = 0{\cdot}90\, d$

प्रतिरोध आघूर्ण, $M_r = 0{\cdot}34\, b\, d^2$ (सारणी 12.1)

∴ स्लैब की मोटाई, $d = \sqrt{\frac{M_r}{0{\cdot}34 \times b}} = \sqrt{\frac{10640000}{0{\cdot}34 \times 1000}}$

$$= 177 \text{ mm say } 180 \text{ mm}$$

ईंटों के मानक माप को दृष्टि में रखते हुये, स्लैब की कुल मोटाई 200 mm तथा आवरण 20 mm रखते हैं। तनन इस्पात के लिये 10 mm ϕ की छड़ों का प्रयोग करने पर—

छड़ों की निचली पंक्ति के लिये प्रभावी गहराई = 200 – 20 = 180 mm

छड़ों की ऊपरी पंक्ति के लिये प्रभावी गहराई = 200 – 20 – 5 – 5 = 170 mm

(5) प्रबलन इस्पात—

(a) **छोटे पाट के समानान्तर प्रबलन इस्पात,** $A_{st_1} = \frac{M_B}{\sigma_{st} \times z}$

$$= \frac{10640000}{361 \times 0{\cdot}90 \times 180} = 182 \text{ mm}^2$$

8 mm ϕ की छड़ों की केन्द्र से केन्द्र दूरी— $s = \frac{a_t \times 1000}{A_{st_1}}$

यहाँ a_t = एक छड़ का क्षेत्रफल, A_{st_1} = इस्पात का कुल क्षेत्रफल

$$s = \frac{50 \times 1000}{182} = 275 \text{ mm centre to centre}$$

परन्तु ईंटों के मानक माप को देखते हुये, यह अन्तराल 120 mm अथवा 220 mm ही रखा जा सकता है।

अत: 8 mm ϕ की छड़ें 220 mm के अन्तराल पर प्रयोग की जायेंगी।

(b) **बड़ें पाट के समानान्तर प्रबलन इस्पात**—लम्बे पाट के लिये छड़ें छोटे पाट की छड़ों के ऊपर तथा इनके लम्बवत् डाली जायेंगी। इनकी प्रभावी गहराई 170 mm (जो ऊपर ज्ञात की गयी है), रखी जायेगी।

$$\therefore \quad A_{st_2} = \frac{M_L}{\sigma_{st} \times z} = \frac{6813000}{361 \times 0{\cdot}90 \times 170} = 124 \text{ mm}^2$$

6 mm ϕ की छड़ों का अन्तराल, $s = \dfrac{a_1 \times 1000}{A_{st_2}} = \dfrac{28 \times 1000}{124} = 226$ mm

अत: 6 mm ϕ की छड़ें 220 mm के अन्तराल पर डाली जायेंगी।

(6) स्लैब की कर्तन में जाँच—

(a) छोटे पाट के लिये कर्तन बल $= \dfrac{1}{3} \times w \times B = \dfrac{1}{3} \times 7500 \times 4 = 10000$ N

(b) बड़े पाट के लिये कर्तन बल $= \left[\dfrac{L/B}{2 + L/B}\right] \times w \times B = \left[\dfrac{5/4}{2 + 5/4}\right] \times 7500 \times 4$

$= 11540$ N

अधिकतम कर्तन बल के लिये खण्ड की जाँच करते हुये—

$$\text{कर्तन प्रतिबल} = \frac{V}{b \times d} = \frac{11540}{1000 \times 180} = 0{\cdot}07 \text{ N/mm}^2$$

यह मान 0·1 N/mm^2 से कम है, अत: स्लैब कर्तन में सुरक्षित है।

(7) स्लैब की अभिलाग में जाँच—

यह जाँच नज़दीकी दूरी वाली छड़ों, अर्थात् बड़े पाट के समानान्तर डाली गयी छड़ों के लिये की जायेगी। $\tau_{bd} = \dfrac{V}{\Sigma O \times z}$

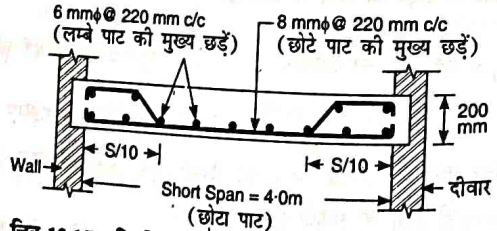
यहाँ ΣO = प्रति मी० चौड़ाई में कुल छड़ों की परिधि

$$= \frac{\pi\phi \times 1000}{220} = \frac{22 \times 6 \times 1000}{7 \times 220} = 85{\cdot}7$$

$$\therefore \quad \tau_{bd} = \frac{11540}{85{\cdot}7 \times 0{\cdot}90 \times 170} = 0{\cdot}88 \text{ N/mm}^2$$

यह मान 1 N/mm^2 से कम है, अत: स्लैब अभिलाग में सुरक्षित है।

(8) इस्पात का विवरण—



चित्र 12.15—द्वि-दिशा ईंट स्लैब (Two-Way Brick Slab)

(V) बहुतली फ्रेम संरचनायें
(Multi-Storeyed Frame Structures)

§ 12.9. परिचय (Introduction) :

भव्यता की दृष्टि से बहुतलीय भवनों का निर्माण पुराने समय से होता आ रहा है। नगरों में उपलब्ध सीमित भूमि को देखते हुये अब क्षैतिज प्रसार (Horizontal Expansion) के स्थान पर, ऊर्ध्वाधर प्रसार (Vertical Expansion) पर अधिक बल दिया जा रहा है। आधुनिक बहुतलीय भवनों के लिये आजकल प्रबलित सीमेंट कंक्रीट के फ्रेम (ढाँचे) निर्माण किये जाते हैं। तीन-चार मन्जिलों से अधिक ऊँचे भवन फ्रेम-रचना पद्धति पर अधिक उत्तम रहते हैं, क्योंकि इनके लिये अत्यधिक मोटी ईंट दीवारें बनाने की कोई आवश्यकता नहीं है। इसके स्थान पर प्रबलित कंक्रीट के स्तम्भ निर्माण किये जाते हैं, जो फर्श एवं धरातल का न्यूनतम भाग घेरते हैं और ऊपरी मन्जिलों का भार दक्षता से नीचे अवःमृदा पर अन्तरित कर देते हैं। भारत में अब बीसियों मन्जिल ऊँचे भवन इसी पद्धति पर निर्माण किये जा रहे हैं। यह गगन-चुम्बी भवन जहाँ बहुत कम भूमि घेरते हैं, वहाँ निर्माण लागत तथा अन्य सुख-सुविधाओं की दृष्टि से अधिक मितव्ययी तथा लाभप्रद सिद्ध हुये हैं।

बहुतलीय फ्रेम रचनाओं के निर्माण से सिविल इन्जीनियरी को एक नयी दिशा मिली है और इसका निर्माण-क्षेत्र और अधिक बढ़ गया है।

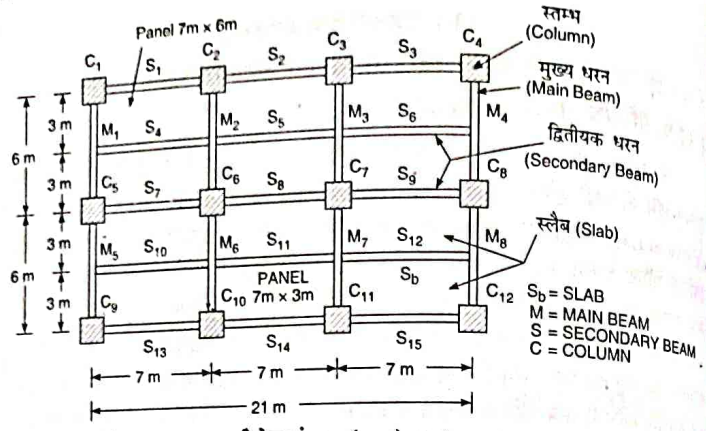
एक सामान्य भवन भार-धारी दीवारों तथा फर्शों का बना होता है। पाटन-फर्श के नीचे धरन दिये जाते हैं, जो अगल-बगल की दीवारों पर टिकाये जाते हैं। बहुतलीय फ्रेम रचना में पाटन-स्लैब, धरन, स्तम्भ तथा नींव, सभी का निर्माण एकाश्मी होता है, जो एक दृढ़ जाल (Grid) के रूप में कार्य करते हैं। छत-स्लैब तथा अन्य फर्शों का भार द्वितीयक (सहायक) धरनों (Secondary Beams) पर आता है, जिसके सिरे मुख्य धरनों (Main Beams) पर टिकायें जाते हैं। मुख्य धरन स्तम्भों पर टिके रहते हैं। संरचना का भार स्तम्भों से होकर नीचे नींव पर स्थानान्तरित हो जाता है। स्तम्भों की नींव एकाकी (Isolated), राफ्ट, पाइल अथवा अन्य उपयुक्त प्रकार की हो सकती है।

फ्रेम संरचनाओं में सभी भार स्तम्भों पर आता है, अत: इनका अभिकल्पन करते समय चल, अचल, वायु, भूकम्प इत्यादि सभी प्रकार के सम्भावित भारों की शुद्धता से गणना की जाती है।

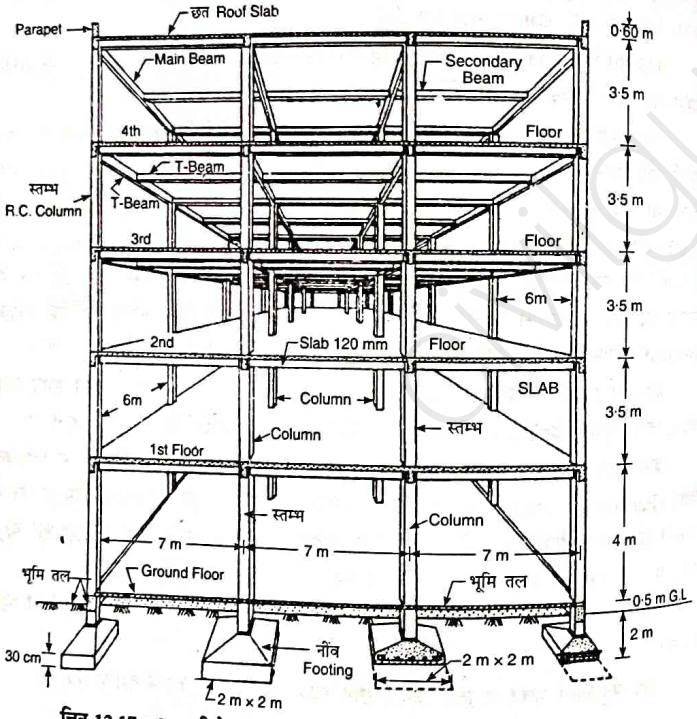
फ्रेम संरचना में ईंट या पत्थर की चिनाई का न्यूनतम प्रयोग किया जाता है, वह भी विभाजक दीवारों (Partition Walls) के रूप में। मुख्य दीवारों तथा बाहरी दीवारों का स्थान स्तम्भ ले लेते हैं, जो सभी मन्जिलों से होकर छत स्लैब तक जाते हैं। क्योंकि ऊपरी मन्जिलो की तरफ जाते हुये भार घटता चला जाता है, इसलिये स्तम्भों का अनुप्रस्थ खण्ड इसके अनुसार कम होता जाता है।

एक मन्जिल के लिये ढाँचेदार रचना पोर्टल (Portal) फ्रेम के नाम से जानी जाती है। पोर्टल बड़े-बड़े हाल कमरों के लिये निर्माण किये जाते हैं।

एक बहुतलीय भवन के लिये फ्रेम संरचना चित्र 12.16 व 12.17 में दर्शायी गयी है।



चित्र 12.16—बहुतली फ्रेम संरचना (प्लान) (A framed structure)



चित्र 12.17—बहुतली फ्रेम संरचना का त्रिसमलम्बाक्ष दृश्य (Isometric view)

§ 12.10. बहुतली फ्रेम (Multi-Storeyed Frame) :

बहुतलीय फ्रेम संरचनाओं का विश्लेषण काफी जटिल पड़ता है और पर्याप्त समय लेता है। सरलता की दृष्टि से फ्रेम का एक भाग लेकर उसका विश्लेषण तथा अभिकल्पन किया जाता है और पूरे फ्रेम के लिये वही मान अपनाये जाते हैं। इस भाग को प्रतिस्थापी फ्रेम (Substitute Frame) कहते हैं।

चूँकि विभिन्न तलों की स्लैब, धरन तथा स्तम्भ सभी आपस में आबद्ध होते हैं, अतः एक तल पर उपजे आघूर्ण (Moments) स्तम्भों द्वारा ऊपरी तथा निचले तलों पर पहुँच जाते हैं, परन्तु धरनों की आघूर्ण को देखते हुए यह मान बहुत कम होते हैं। इसलिये एक तल की आघूर्ण का अन्य तलों पर प्रभाव गण्य मान लिया जाता है। गणना के लिये, एक समय में एक फर्श को अपने ऊपरी तथा निचले एकाश्मी-र्मित स्तम्भों के साथ लिया जाता है और धरनों तथा स्तम्भों में आघूर्ण तथा कर्तन बल ज्ञात किये जाते हैं।

फ्रेम का विश्लेषण करने की अनेक विधियाँ हैं, जिनमें आघूर्ण-वितरण विधि (Moment Distribution Method) मुख्य है। विश्लेषण के लिये जी० कानी विधि (Kani's Rotation Contribution Method) का भी उपयोग किया जा सकता है—

(I) **कंक्रीट तथा प्रबलन इस्पात**—सामान्यतः धरनों तथा स्लैब के लिये M–15 श्रेणी (1 : 2 : 4) की कंक्रीट और स्तम्भों के लिये M–20 ग्रेड ($1 : 1\frac{1}{2} : 3$) अथवा उच्च सामर्थ्य की कंक्रीट इस्तेमाल की जाती है। प्रबलित कंक्रीट फुटिंग तथा नींव के लिये M–15 श्रेणी की कंक्रीट प्रयोग में आती है।

(i) **भार**—छत तथा फर्शों पर चल भार सारणी 5.2 के अनुसार लिये जा सकते हैं। बहुतली भवन के विभिन्न फर्शों के लिये चल भार में कटौती सारणी 12.2 के अनुसार की जाती है—

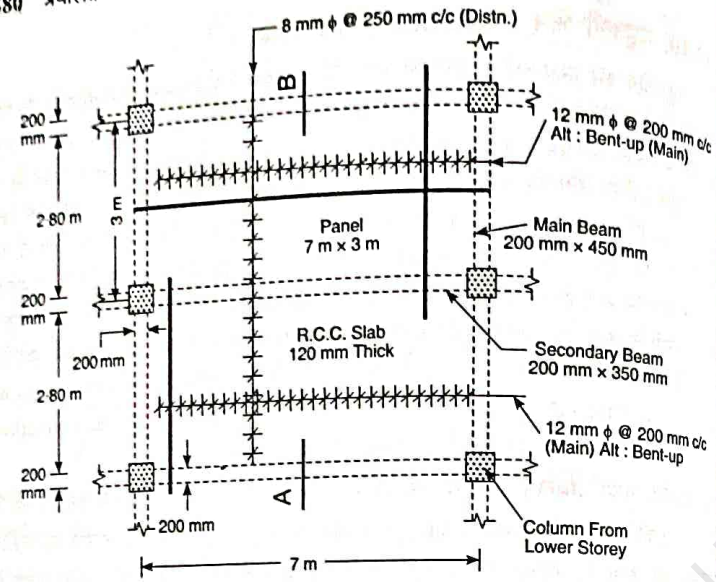
सारणी 12.2—फर्शों के लिये चल भार में कटौती

फर्श की स्थिति	चल भार में कटौती
(T) सबसे ऊपरी फर्श (Top Floor)	पूर्ण चल भार
(1) सबसे ऊपरी फर्श से निचला पहला फर्श	10%
(2) सबसे ऊपरी फर्श से निचला दूसरा फर्श	20%
(3) सबसे ऊपरी फर्श से निचला तीसरा फर्श	30%
(4) सबसे ऊपरी फर्श से निचला चौथा फर्श तथा इससे नीचे स्थित सभी फर्श	40%

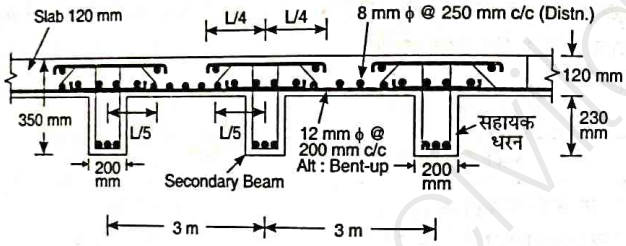
(ii) **अनुज्ञेय प्रतिबल**—विभिन्न प्रकार की कंक्रीट के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल इस पुस्तक की सारणी 2.1 से प्राप्त किये जा सकते हैं।

प्रबलन इस्पात के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल सारणी 2.2 में देखें जा सकते हैं।

(2) **स्लैब** (Slab)—स्लैब का अभिकल्पन एकल दिशी अथवा द्वि-दिशी आलम्बित मानकर किया जाता है, जिनके किनारे मुक्त अथवा जकड़े हुये लिये जाते हैं। चारों कोनों पर जकड़न (Corners Held Down) के लिये अतिरिक्त प्रबलन इस्पात I.S. Code के अनुसार दिया जाता है।



(i) Plan of Interior Panel (भीतरी पेनल)



(ii) Section of AT A-B

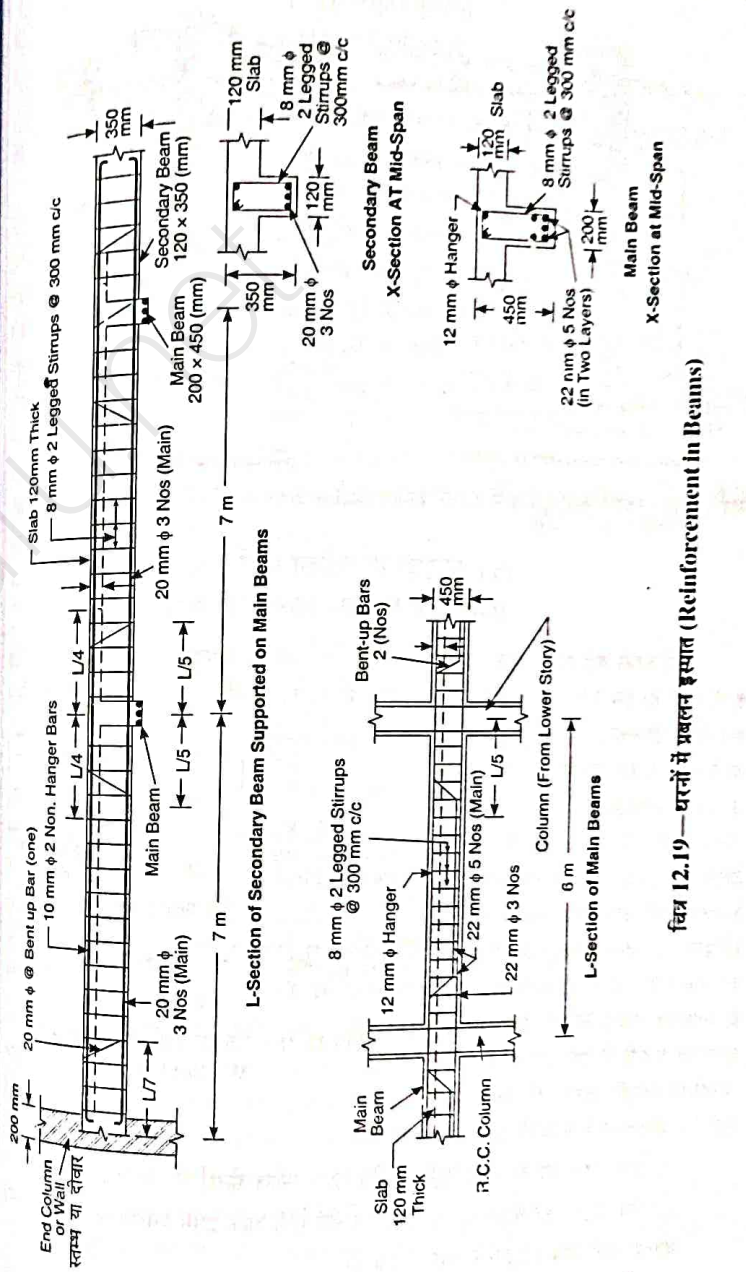
चित्र 12.18—स्लैब में प्रबलन इस्पात

(3) मुख्य तथा द्वितीयक धरन (Main and Secondary Beams)—पाट को कम करने के लिये, मुख्य धरनों के मध्य तथा इनके समकोणक दिशा में द्वितीयक धरन दिये जाते हैं। द्वितीयक धरनों के सिरे मुख्य धरनों पर टिके रहते हैं।

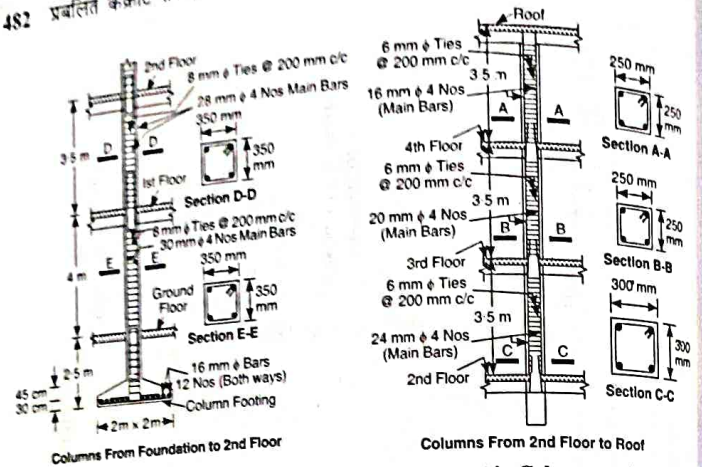
धरनों का अभिकल्पन T तथा L-धरन के रूप में किया जाता है।

(4) स्तम्भ तथा फुटिंग (Columns and Footings)—मुख्य धरनों के सिरे के नीचे स्तम्भ दिये जाते हैं। यह स्तम्भ वर्गाकार, आयताकार अथवा गोलाकार हो सकते हैं और सभी तलों से होते हुये नीचे नींव तक जाते हैं।

स्तम्भों के लिये एकाकी, संयुक्त अथवा राफ्ट प्रकार की नींव अपनायी जाती है। कमजोर मृदा में तथा अत्यधिक भार के लिये पाइल नींव (Pile Foundation) का प्रयोग किया जा सकता है।



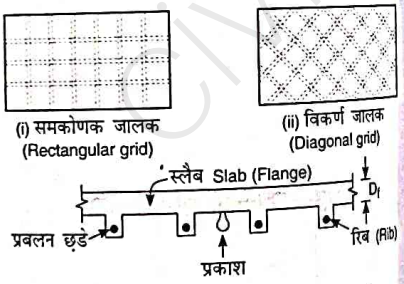
चित्र 12.19—धरनों में प्रबलन इस्पात (Reinforcement in Beams)



चित्र 12.20—स्तम्भों तथा फुटिंग में प्रबलन इस्पात (Reinforcement in Columns and Footing)

(VI) जालक या पेटीका फर्श
(Grid or Waffle Floor)

जहाँ काफी बड़े स्तम्भ-मुक्त क्षेत्रफल को ढाँपना हो, वहाँ पर जालक स्लैब (Grid Slab) छत डाली जाती है। इस छत मे दोनों पाटों पर टी-धरनों को जाल की भाँति, लम्बाई व चौड़ाई दिशाओं में पास-पास डालकर, उन पर सतत-स्लैब डाली जाती है। इस छत में टी-धरनों के रिब (Ribs). अन्तश्छद में, दोनों दिशाओं में लटके दिखायी पड़ते हैं। यह छत नीचे से देखने पर आकर्षक व सुन्दर लगती है। अन्तश्छद की आयताकार अथवा वर्गाकार खोखलों (Voids) में विद्युत प्रकाश लगाया जा सकता है। छत में टी-धरनें एक-दूसरी के लम्बवत् अथवा तिरछी (45° पर) भी ढाली जा सकती हैं। इस छत की अलग से अन्तश्छद-सम्पूर्ति करने की आवश्यकता नहीं है। जालक फर्श सम्बन्धी कुछ बातें निम्न हैं—



चित्र 12.21—जालक फर्श (Grid Floor or Waffle Slab)

(i) क्रास-धरनों का अन्तराल (Spacings) 12 × फ्लैंज मोटाई से अधिक नहीं होगा।

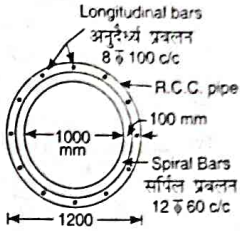
(ii) रिब (Rib) की चौड़ाई 65 mm से कम नहीं होगी ताकि इसमें प्रबलन-छड़ रखी जा सकें।

जालक फर्श चित्र 12.21 में दर्शाया गया है।

(VII) पाइप पुलिया
(Pipe Culvert)

पेयजल, सिंचाई पानी, अवजल, बरसाती पानी ले जाने के लिये कंक्रीट-पाइप बड़े पैमाने पर प्रयोग किए जाते हैं। कंक्रीट पाइप पुलियाँ बाढ़ का पानी सड़क/रेल एम्बैंकमेंट के उस पार ले जाने के लिये बनायी जाती हैं।

कंक्रीट पाइप दाब-पाइप (Pressure Pipe) व अदाब-पाइप (Non-Pressure Pipe), दो प्रकार के होते हैं। ये पाइप इस्पात-प्रबलन रहित अथवा प्रबलित हो सकते हैं। चक्रण-पद्धति (Spinning Process) से निर्मित पाइप उत्तम गुणता के होते हैं। उच्च दाब पर द्रव्य ले जाने के लिये पूर्व-प्रतिबलित पाइप (Pre-stressed Pipes) इस्तेमाल किये जाते हैं। दाब-पाइप 20 मी० से 60 मी० दाब (Water Head) तक बनाये जाते हैं। प्रबलित कंक्रीट पाइपों में परिधीय (Circumferential) तथा अनुदैर्ध्य (Longitudinal) प्रबलन दिया जाता है। परिधीय छड़ें छल्लों के रूप में होती है। प्रबलित कंक्रीट पाइप ह्यूम पाइप (Hume Pipe-Trade Name) के नाम से भी जाने जाते हैं।



नोट: सभी माप mm में, ϕ = टोर छड़ें
भारण = IRC Class AA (Non-Pressure

चित्र 12.22—सड़क के लिये प्रबलित कंक्रीट पाइप (पुलिया)

प्रबलित कंक्रीट अभिकल्प सम्बन्धी मुख्य आँकड़ें निम्न हैं—

(i) कंक्रीट तनन प्रतिबल = 2 N/mm^2 (σ_{st})

(ii) इस्पात में अनुमत प्रतिबल = 126 N/mm^2 (σ_{ct})

(iii) भीतरी जल दाब— (a) 20 मी० जल शीर्ष = 0·2 N/mm^2

(b) 40 मी० जल शीर्ष = 0·4 N/mm^2

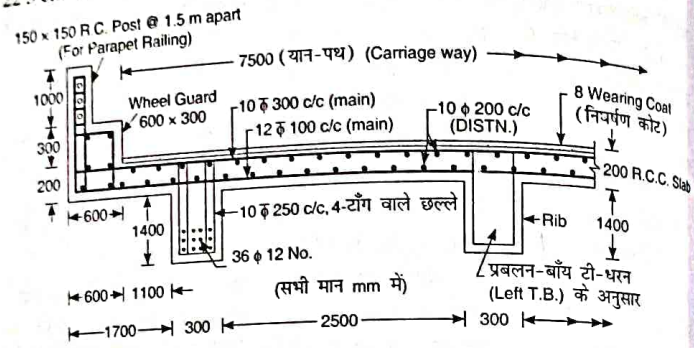
(iv) न्यूनतम प्रबलन— (a) सर्पिल (Spiral) प्रबलन (140 N/mm^2) = 44 kg/m, दूरी 100 m से अधिक नहीं

(b) अनुदैर्ध्य (Longitudinal) प्रबलन (126 N/mm^2) = 5·8 kg/m दूरी 300 mm से अधिक नहीं

(VIII) टी-धरन पुल
(T-Beam Bridge)

नदी-नालों को पार करने के लिये, उनके ऊपर पुल-पुलियाँ बनायी जाती हैं। कम पाट के लिये पुलिय और बड़े पाट के लिये पुल बनाये जाते हैं। 10 मी० से 25 मी० पाट तक टी-धरन (T-Beam) पु बनाया जाता है। बड़े पाटों के लिये पूर्व-प्रतिबलित पुल (Pre-stressed Concrete Bridges) उत्तम पितव्ययी रहते हैं। पुल की डेक-स्लैब (Deck) व धरन I.R.C. के 'AA' व 'A' भारण के लि अधिकल्पित किये जाने चाहिये। दो-धुरी वाले वाहनों का अधिकतम भार 40 टन निर्धारित है और व वाहनों के मध्य शुद्ध दूरी 18·5 मी० की बनी रहनी चाहिये। एकल-लेन (Single-Lane) पुल की चौड़ा 4·25 मी० (न्यूनतम) और दो-लेन (Two-Lane) पुल की चौड़ाई 7·5 मी० रखी जाती है। अतिरिक

लेने के लिये चौड़ाई (प्रति लेन) 3·5 मी० बढ़ा देनी चाहिये। पदातिपथ (Foot Path) की चौड़ाई 1·5 मी० से कम नहीं होनी चाहिये। कर्ब की चौड़ाई 22·5 cm (न्यूनतम) तथा सड़क कुट्टिम से ऊँचाई भी 22·5 cm रखनी चाहिये। टी-धरन पुल चित्र 12.23 में दर्शाया गया है।



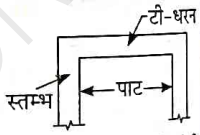
1. मुख्य आँकड़ें (i) यान-पथ = 7·5 मी०
(ii) पाट (Span) = 15·0 मी०
(iii) M-20 कंक्रीट, Fe 415 इस्पात
(iv) भारण (Loading) = IRC श्रेणी AA

2. प्रबलन (i) पेरापिट—खड़ी छड़ें 12 ϕ 4 No.
टाई 10 ϕ 150 c/c
(ii) व्हील गार्ड—मुख्य छड़ें 12 ϕ 4 No.
टाई 10 ϕ 150 c/c

चित्र 12.23—टी-धरन पुल (T-Beam Bridge)

(IX) प्रवेशी-ढाँचा (Portal Frame)

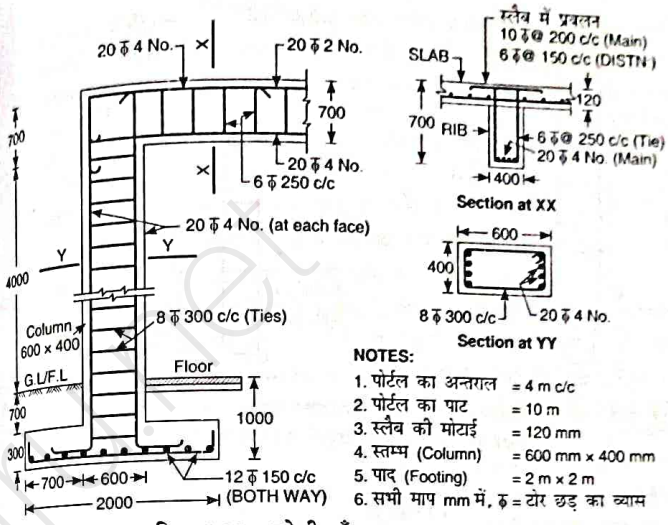
औद्योगिक संरचनाओं, भण्डारण-शैडों, पुलों आदि में R.C.C. के पोर्टल-फ्रेम निर्माण किये जाते हैं। ये बहुत कम स्थान घेरते हैं और इनका अनुरक्षण भी कम करना पड़ता है। प्रवेशी ढाँचा मूल रूप में स्तम्भों व धरनों से बना होता है, जिनके जोड़ एकाश्मी (Monolithic) होते हैं (चित्र 12.24)।



चित्र 12.24—एकल-वे पोर्टल (Single Bay Portal)

भवनों में पोर्टल-फ्रेम 3 से 4 मी० के अन्तराल पर खड़े किये जाते हैं और उन पर प्रबलित कंक्रीट की सतत स्लैब डाली जाती हैं। पोर्टल-फ्रेम का आधूर्ण-वितरण (Moment Distribution), ढाल-विक्षेप (Slope-deflection), स्तम्भ-अनुरूपता (Column Analogy) आदि विधियों से विश्लेषण किया जाता है। फ्रेम के शीर्ष पर डाली गयी प्रबलित कंक्रीट स्लैब, एक सतत-स्लैब मानकर अभिकल्पित की जाती है।

10 मी० पाट वाले एक प्रवेशी-ढाँचा में प्रबलन-छड़ों की स्थिति चित्र 12.25 में दर्शायी गयी है।



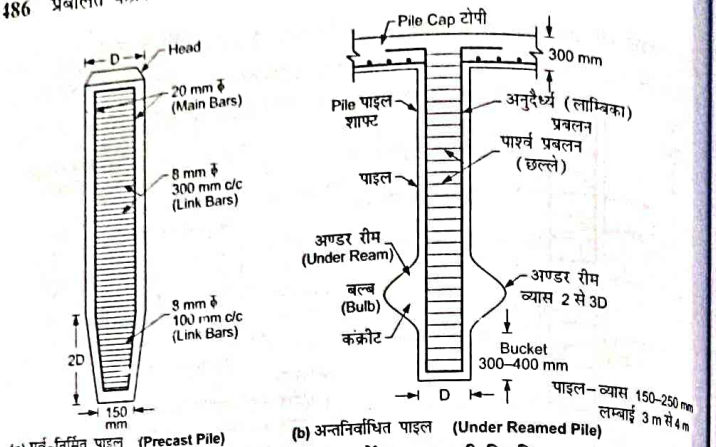
NOTES:
1. पोर्टल का अन्तराल = 4 m c/c
2. पोर्टल का पाट = 10 m
3. स्लैब की मोटाई = 120 mm
4. स्तम्भ (Column) = 600 mm × 400 mm
5. पाद (Footing) = 2 m × 2 m
6. सभी माप mm में, ϕ = टोर छड़ का व्यास

चित्र 12.25—प्रवेशी-ढाँचा (Portal Frame)

(X) स्थूणा (पाइल) नींव (Pile Foundation)

जब अव: मृदा सामान्य उथली नींव (Shallow Foundation) पर टिकी संरचना के भार को वहन करने में सक्षम नहीं होती है, तब संरचना के लिये स्थूणा नींव (Pile Foundation) अपनायी जा सकती है। पाइलें संरचना के भार को गहरायी में स्थित संहत मृदा-पिण्ड (Compact Soil) पर अन्तरित करती है। पाइलें भार-वितरण दृष्टि से धारक (Bearing) या घर्षण (Friction) प्रकार की होती हैं। सामान्यत: पाइलें धारक व घर्षण, दोनों प्रकार्य निभाती हैं। पाइलें काष्ठ, इस्पात अथवा कंक्रीट की होती हैं। कंक्रीट की पाइलें पुर्व-निर्मित (Precast) अथवा तत्स्थानिक (Cast-in-Situ) होती हैं। ये आकृति में वर्गाकार, अष्टभुजाकार या गोलाकार होती है। काली-कपास-रेतीली-भराव वाली कमजोर भूमि में अन्तर्निवेशित पाइल (Under Reamed Pile) उपयुक्त रहती है। अन्तर्निवेशित पाइलों में नींव को अधिक गहरायी तक ले जाने की आवश्यकता नहीं रहती है, क्योंकि इसकी तली के पास (एक अथवा दो) बल्ब (Bulb) की रचना की जाती है। पाइलों के शीर्ष पर दृढ़ प्लेटफार्म (Pile Cap) बनाकर, उसके ऊपर संरचना को दीवारें/प्रस्तम्भ खड़े किये जाते हैं। प्रबलित कंक्रीट पाइल चित्र 12.26 में दर्शायी गयी है।

प्रबलित कंक्रीट पाइल में अनुदैर्ध्य प्रबलन (Longitudinal Steel), इसकी लम्बाई/पार्श्व माप $\left(\frac{L}{D}\right)$ के अनुपात में (न्यूनतम) 1·25 से 2·0% (of Gross Volume) तक डाला जाता है। पार्श्व प्रबलन (Lateral Steel) इसके मध्य भाग में 0·2% और ऊपर/नीचे के सिरों पर 0·6% (न्यूनतम) डाला जाता है। लम्ब (खड़ी) छड़ों पर 40 mm शुद्ध आवरण (Net Cover) देना चाहिये।



(a) पूर्व-निर्मित पाइल (Precast Pile) (b) अन्तर्निवेशित पाइल (Under Reamed Pile)

चित्र 12.26—कंक्रीट पाइलें (प्रबलन की स्थिति)

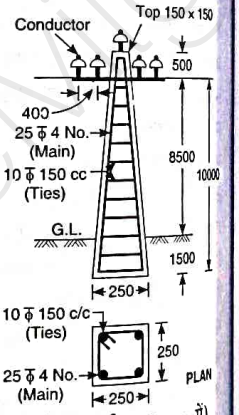
(XI) विद्युत संचरण खम्भा (Transmission Pole)

अब प्रकाष्ठ/इस्पात के खम्भों के स्थान पर, प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट के खम्भों को वरीयता दी जा रही है। रेलवे, विद्युत, दूर संचार लाइनों, सिग्नलों, सड़क-प्रकाश खम्भों के लिये प्रबलित कंक्रीट पोल का प्रयोग बढ़ रहा है। कंक्रीट पोल जंगली-आग, संक्षारण (Corrosion), ताप-परिवर्तन, वर्षा क्षारण से कम प्रभावित होते हैं और इनकी आयु प्रकाष्ठ-इस्पात के खम्भों से काफी अधिक होती है। कंक्रीट के खम्भे देखने में भी आकर्षक लगते हैं। इनकी देख-भाल कम करनी पड़ती है।

एक विद्युत पोल पर, इस पर लटकी (खींची गयी) केबिलों के कारण क्षैतिज वायु दाब, बंकन, ऐंठन (Torsion), हस्तन तथा खड़ा करते समय अनेक बल व आघूर्ण कार्य करती हैं।

संचारण-पोल 6 मी० से 17 मी० लम्बे (ऊँचे) हो सकते हैं। इनको सामान्यत: 1·2 m से 3 m तक अवभूमि में (कंक्रीट में) गाढ़ा जाता है। खम्भों की आपसी दूरी 50 m-60 m रखी जाती है। एक संचरण खम्भा चित्र 12.26 में दर्शाया गया है। इससे सम्बन्धित आँकड़े इस प्रकार है—

(i) लाइन वोल्टा (Voltage) = 3 phase, 400 V
(ii) वायु-दाब = 1 kN/m^2
(iii) भार-गुणक = 2·5
(iv) कंडक्टर में तनन (Tension) = 3 kN
(v) प्रबलन—M-20 कंक्रीट, Fe 415 इस्पात की छड़ें।



(नोट: सभी माप mm में)

चित्र 12.27—संचरण खम्भा (R.C.C. Transmission Pole)

प्रश्नावली–12

1. एक तीन मंजिले भवन की नींव के लिये सादा सीमेंट कंक्रीट ब्लाक (पाद) का माप निर्धारित कीजिये। भवन की भार-वाही दीवारें 20 cm मोटी है और मुंडेर सहित, भूमि तल से ऊँचाई 12 मी० है। छत तथा फर्शों के लिये 12 cm मोटी आर० सी० सी० स्लैब डाली गई है। कमरों का अधिकतम पाट 4·5 मी० है। नींव की मृदा की भार धारण क्षमता 16 t/m^2, घनत्व 1600 kg/m^3 तथा विश्राम कोण 30° है। फर्श तथा छत 2 kN/m^2 भार के लिये अभिकल्पित किये गये है। नींव में कंक्रीट का अनुपात 1 : 4 : 8 मान लें।
2. प्रबलित कंक्रीट स्लैब की तुलना में, प्रबलित ईंट स्लैब के लाभ बताइये। [B.T.E.]
3. प्रबलित ईंट निर्माण के लाभ तथा परिसीमाओं की व्याख्या कीजिये। [B.T.E.]
4. प्रबलित ईंट कार्य की मुख्य विशिष्टियों का ब्यौरा दें।
5. एक 4 m × 5 m भीतरी माप के कमरे के लिये द्वि-दैशिक प्रबलित ईंट स्लैब छत का अभिकल्पन करें। छत पर 2 kN/m^2 का चल भार आ रहा है और चूना-कंक्रीट सम्पूर्ति की परत 10 cm मोटी है।
6. एक कार्यालय के आगे 2·5 मीटर चौड़ा बरामदा डाला गया है। बरामदे के लिये, उपयुक्त प्रबलित ईंट स्लैब का अभिकल्पन करें। छत पर 8 cm मोटी चूना-कंक्रीट की परत डाली गयी है तथा इस पर 1500 N/m^2 का चल भार आ रहा है। चूना कंक्रीट का भार 19200 N/cu.m तथा प्रबलित ईंट कार्य का भार 20 kN/cu m मान लें। स्लैब का स्वच्छ चित्र खींचकर इसमें प्रबलन छड़ों की स्थिति दर्शायें।
7. एक प्रबलित कंक्रीट धरन तथा स्लैब का एकाश्मी निर्माण इस प्रकार किया गया है कि स्लैब धरन के निचले सिरे पर फ्लैश है। धरन का पाट 5 मी० है और इस पर स्लैब का चल तथा अचल भार 2 t/m की दर से आ रहा है। धरन का अभिकल्पन करें तथा स्लैब का भार धरन पर स्थानान्तरित करने के लिये उपयुक्त टाई का व्यास तथा अन्तराल भी ज्ञात करें। M-20 कंक्रीट और Fe 415 का प्रयोग करें।
8. प्रबलित ईंटों के एक लिन्टल का पूर्णरूप से अभिकल्पन करें, जिसे 1·50 मीटर चौड़ी खिड़की के ऊपर डाला जाना है। लिन्टल के ऊपर ईंट-चिनाई की ऊँचाई 3 मीटर है। दीवार की मोटाई 230 mm (एक ईंट) है। [B.T.E.]
9. एक बरामदे का प्रवेश 2·5 मीटर × 2·5 मीटर है तथा छत की ऊँचाई 3·5 मीटर है। दीवार की मोटाई 200 mm है। प्रवेश के लिये प्रबलित ईंट का लिन्टल अभिकल्पित कीजिये। प्रबलित ईंट तथा Fe 415 इस्पात के लिये सामान्य अनुज्ञेय प्रतिबल मान लें। स्वच्छ चित्र खींचकर प्रबलन इस्पात की स्थिति दर्शायें।
10. 1·20 मीटर चौड़े प्रवेश द्वार के लिये प्रबलित ईंट लिन्टल का अभिकल्पन करें। दीवारों की मोटाई 20 cm है और प्रवेश के ऊपर चिनाई की ऊँचाई 1·50 मी० है। निम्न अनुज्ञेय प्रतिबल मान लें। σ_b = 2·5 N/mm^2, σ_{st} = 217 N/mm^2, ईंट चिनाई का भार = 19200 N/cu m।
11. एक खिड़की पर 0·75 cm बाहर बढ़ा हुआ सन शैड (छायवान) लगाना है। यदि इस पर 750 N/m^2 का भार पड़ रहा हो तो प्रास-स्लैब का अभिकल्पन कीजिये। चित्र खींचकर प्रबलन इस्पात की स्थिति स्पष्ट दर्शायें।
12. प्रबलित ईंट स्लैब का एक 2·20 मीटर चौड़े बरामदे के लिये अभिकल्पन करें, जिस पर चल भार 2200 N प्रति वर्ग मीटर आ रहा है। निम्नलिखित मान अपनायें। प्रबलित ईंट में अनुज्ञेय बंकन सम्पीडन प्रतिबल = 2 N/mm^2। अभिकल्पित स्लैब का अनुप्रस्थ काट स्वच्छ चित्र द्वारा दिखायें। [B.T.E.]

13. एक कमरा जिसका भीतरी माप 3 m × 4 m है, की छत के लिये प्रबलित ईंट स्लैब का अभिकल्प करें। छत पर 80 mm मोटी चूना कंक्रीट सम्पूर्ति के रूप में डाली गयी है। चल भार 1500 N/m² है। स्लैब के कोने आबद्ध (Held down) नहीं हैं। प्रबलित ईंट कार्य का भार 19200 N/m³ मान लें। $\sigma_{st} = 217$ N/mm², $\sigma_b = 2{\cdot}5$ N/mm², $\tau_c = 0{\cdot}1$ N/mm² लें।

14. (i) फ्रेम संरचना के मुख्य घटको के नाम लिखें तथा उनकी स्थिति चित्र की सहायता से स्पष्ट करें।
(ii) फ्रेम संरचना मे प्रबलन इस्पात की स्थिति, चित्र देकर स्पष्ट करें। [B.T.E.]

15. एक स्पष्ट चित्र के द्वारा एक आर०सी०सी० धरन तथा स्तम्भ के संगम पर प्रबलन इस्पात की स्थिति दर्शाइये।

16. बहुतली फ्रेम भवन के लिये कोई एक प्रकार की नींव का चित्र खींचकर उसमें प्रबलन इस्पात की स्थिति दर्शायें।

17. चित्र दे कर संक्षिप्त टिप्पणी लिखें—
(i) जालक फर्श (ii) टी-धरन पुल (iii) पोर्टल (iv) संचरण पोल (v) पुलिया

18. पाइलो का प्रयोग कहाँ किया जाता है? एक अण्डररीम पाइल का हस्तमुक्त चित्र देकर, इसके बल्ब (Bulb) की स्थिति दर्शाये।

---

13 अभिकल्पन सहाय्य युक्तियाँ (DESIGN AIDS FOR R.C.C. MEMBERS)

§ 13.1. सहाय्य युक्तियों का प्रयोग (Use of Design Aids) :

अभिकल्पन सहाय्य युक्तियों द्वारा प्रबलित कंक्रीट अवयवों की डिजाइन-प्रक्रिया काफी सरल हो जाती है। इनके प्रयोग से अभिकल्पन में समय और श्रम कम लगता है और अभिकल्पक को डिजाइन-सम्बन्धी ढेर सारी गणनाओं तथा परेशान करने वाले लम्बे-जटिल (Complicated) सूत्रों से राहत मिल जाती है। ये सहाय्य युक्तियाँ तालिकाओं, चार्ट, आरेखों के रूप में होती है। परन्तु अभिकल्पन सहाय्य युक्तियों को समझने/प्रयोग करने के लिये, सर्वप्रथम डिजाइन के मूल तत्वों, सिद्धान्तों और मूल प्रक्रिया को जानना/समझना आवश्यक है।

भारतीय मानक ब्यूरो (Bureau of Indian Standards—B.I.S.) ने 'Design Aids For Reinforced Concrete to I.S. 456 (S.P. 16)'—हस्त पुस्तिका प्रकाशित की है। इस हस्त-पुस्तिका से प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट के विभिन्न अवयवों (धरन, स्लैब, टी-धरन, स्तम्भ आदि) को बंकन आघूर्ण के लिये प्रबलन इस्पात की मात्रा, विक्षेप, सम्पीडन/तनन बंकन आदि से सम्बन्धित आँकड़े उपलब्ध हो जाते हैं (चार्ट/आरेखों से सीधे पढ़े जा सकते हैं)। अभिकल्पन सहाय्य युक्तियों में नीचे दिये गये प्रबलित कंक्रीट अवयवों की चर्चा है। अगले पृष्ठों पर कुछ प्ररूपी चार्टों/तालिकाओं को दिया गया है और उदाहरण के साथ उनको पढ़ने/समझने की प्रक्रिया भी स्पष्ट की गयी है (इस पुस्तक में अभिकल्पन सहाय्य चार्ट/तालिकाएं भारतीय मानक ब्यूरो (B.I.S.) के सौजन्य से दी जा रही है)।

(1) **एकल प्रबलित कंक्रीट धरन**—इनकी $\frac{M_u}{b}$, $\frac{M_u}{bd^2}$, d और p_t (इस्पात का प्रतिशत्) के विभिन्न मान के आधार पर अभिकल्प चार्ट व सारणियाँ बनायी गयी हैं।

(a) चार्ट 1 से 18—$\frac{M_u}{b}$ व d के आधार पर खण्ड के लिये तनन इस्पात का प्रतिशत, p_t ज्ञात किया जा सकता है।

(b) सारणी 1 से 4—$\frac{M_u}{bd^2}$, f_y, f_{ck} के विभिन्न मान के लिये, p_t ज्ञात किया जा सकता है।

(2) **दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन**—सारणी 45 से 56 तक—इन सारणियों में कंक्रीट के ग्रेड (M-15, M-20, M-25, M-30) और इस्पात की श्रेणी (Fe 250, Fe 415, Fe 500) के लिये, $\frac{d'}{d}$ व $\frac{M_u}{bd^2}$ के आधार पर, खण्ड के लिये तनन प्रबलन, सम्पीडन प्रबलन की प्रतिशत् मात्रा ज्ञात की जा सकती है।

(3) **टी-धरन**—सारणी 57 से 59 टी-धरन के अभिकल्पन में सहायक होती है। सारणी में $\frac{b_f}{b_w}$ व $\frac{D_f}{d}$

के विभिन्न मान के लिये, $\frac{M_{u\,\text{lim}}}{f_{ck}\,b_w\,d^2}$ (प्रतिरोध आघूर्ण गुणक) के विभिन्न मान के लिये, प्रबलन इस्पात का प्रतिशत्, P, ज्ञात किया जा सकता है।

(4) **स्लैब**—सारणी 5 से 44—विभिन्न व्यास की प्रबलन छड़ों और इनका अन्तराल (Spacings) तथा विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट के लिये, स्लैब का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात किया जा सकता है। सारणियों में स्लैब की 100 mm से 250 mm तक की मोटाई पर विचार किया गया है। इन सारणियों से प्रतिरोध आघूर्ण के आधार पर, प्रबलन छड़ों का व्यास व अन्तराल भी ज्ञात किया जा सकता है।

(5) **अक्षीय भारित स्तम्भ**—चार्ट 24 से 26—इन चार्ट से चरम भार, (P_u) और सकल खण्ड-क्षेत्रफल (A_g) के आधार पर, प्रबलन इस्पात का प्रतिशत् पढ़ा जा सकता है। ये चार्ट विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट और विभिन्न श्रेणी के इस्पात के लिये तैयार किये गये हैं।

§ 13.2. महत्वपूर्ण सारणियाँ : इन सारणियों की चर्चा गत अध्यायों में भी की गयी है।

सारणी 13.1—$\frac{x_{u\,\text{max.}}}{d}$ के मान

f_y N/mm²	250	415	500
$\frac{x_{u\,\text{max.}}}{d}$	0·53	0·48	0·46

सारणी 13.2—सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक, $\frac{M_{u\,\text{Lim.}}}{bd^2}$
(एकल प्रबलित कंक्रीट खण्ड)
(Limiting Moment of Resistance Factor—R_u)

f_{ck} N/mm²	f_y N/mm²		
	250	415	500
15	2·24	2·07	2·00
20	2·98	2·76	2·66
25	3·73	3·45	3·33
30	4·47	4·14	3·99

सारणी 13.3—तनन प्रबलन का अधिकतम प्रतिशत्—$p_{t\,\text{Lim.}}$
(एकल प्रबलित कंक्रीट खण्ड)

f_{ck} N/mm²	f_y N/mm²		
	250	415	500
15	1·32	0·72	0·57
20	1·76	0·96	0·76
25	2·20	1·19	0·94
30	2·64	1·43	1·13

सारणी 13.4—सम्पीडन प्रबलन में प्रतिबल—f_{sc} N/mm²
(दोहरे प्रबलित कंक्रीट खण्ड)

f_y N/mm²	d'/d			
	0·05	0·10	0.15	0·20
250	217	217	217	217
415	355	353	342	329
500	424	412	395	370

सारणी 13.5—गुणन-अंक (Multiplying Factors)
(चार्ट 19 व 20, Design Aids के लिये)

f_y N/mm²	A_{st_2} के लिये गुणक	A_{sc} के लिये गुणक, d'/d के लिये			
		0·05	0·10	0·15	0·20
250	1·0	1·04	1·04	1·04	1·04
415	0·60	0·63	0·63	0·65	0·68
500	0·50	0·52	0·54	0·56	0·60

नोट—M_{u2} के विभिन्न मान के लिये, A_{st_2} व $(d-d')$ के लिये प्लाटिंग की गयी है (चार्ट 19 व 20–Design Aids)। यह चार्ट Fe 250 के लिये, $0{\cdot}87 f_y$ अर्थात् $0{\cdot}87 \times 250 = 217{\cdot}5$ N/mm² के लिये बनाये गये हैं। इस्पात की अन्य श्रेणी के लिये, A_{st_2} के लिये और A_{sc} के लिये, इन मानों को सारणी 13.5 में दिये गये आँकड़ों से गुना करें।

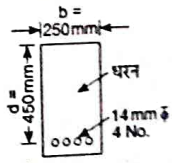
(I) एकल प्रबलित धरन का चरम प्रतिरोध आघूर्ण
(M_u for Singly Reinforced Beam)

उदाहरण 13.1 : एक एकल प्रबलित कंक्रीट आयताकार धरन की चौड़ाई 250 mm और प्रभावी गहरायी 450 mm है। इसके तनन क्षेत्र में 14 mm व्यास की 4 छड़ें डाली गयी हैं। धरन के लिये M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात प्रयोग करना है। धरन की चरम प्रतिरोध आघूर्ण, 'डिजाइन-एड' की सहायता से ज्ञात करें।

हल : प्रश्नानुसार— $b = 250$ mm, $d = 450$ mm

$A_{st} = 4 \times 154 = 616$ mm²

$f_{ck} = 20$ N/mm², $f_y = 415$ N/mm²



चित्र 13.1

धरन में इस्पात का प्रतिशत्, $p_t = \frac{A_{st}}{b \times d} \times 100$

$= \frac{616}{250 \times 450} \times 100 = 0{\cdot}55\%$

(A) चार्ट द्वारा चरम प्रतिरोध आघूर्ण, M_u—

चार्ट 1(14) (Page 504) —f_y 415 N/mm^2 व f_{ck} = 20 N/mm^2 का संदर्भ लेते हुये—p_t = 0·55% और d = 450 के लिये, प्रतिरोध आघूर्ण का मान प्रति मी० चौड़ाई = 360 kN/meter width पढ़ा गया है।

अत: $M_u = 360 \times 0{\cdot}25 = \mathbf{90\ kN\text{-}m}$ उत्तर

(B) सारणी द्वारा चरम प्रतिरोध आघूर्ण, M_u—Fe 415 और p_t = 0·55% के लिये **सारणी 2** (Page 509) से $\frac{M_u}{bd^2}$ का मान 1·75 N/mm^2 पढ़ा गया है। अत: $M_u = 1{\cdot}75\ b\ d^2$

$$\therefore \quad M_u = 1{\cdot}75 \times 250 \times (450)^2$$
$$= 88593750 \text{ N.mm अथवा } 88{\cdot}59 \text{ kN-m}$$

अत: स्पष्ट है कि खण्ड का चरम प्रतिरोध आघूर्ण चार्ट अथवा सारणी से सीधा ज्ञात किया जा सकता है (दोनों से मान लगभग समान आते हैं)।

चार्ट अथवा सारणी से खण्ड के किसी दो ज्ञात मान से, इसके तीसरे (अज्ञात) मान को ज्ञात किया जा सकता है।

(C) जाँच (Check)—चार्ट/सारणी द्वारा प्राप्त चरम M_u का मान पुष्टि के लिये, अभिकल्प-सूत्रों द्वारा निम्न ज्ञात किया गया है। इन सूत्रों की चर्चा गत अध्यायों में की गयी है।

(i) बलशून्य अक्ष की गहरायी, $x_u = \dfrac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b}$

$$x_u = \frac{0{\cdot}87 \times 415 \times 616}{0{\cdot}36 \times 20 \times 250} = 123{\cdot}6 \text{ mm}$$

$x_{u\ max.} = 0{\cdot}48d$ (M-20 कंक्रीट व Fe 415 इस्पात के लिये)

$= 0{\cdot}48 \times 450 = 216$ mm

चूँकि $x_{u\ max.} > x_u$, यह धरन अल्प प्रबलित (Under Reinforced) है।

(ii) खण्ड की चरम प्रतिरोध आघूर्ण, M_u—

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42\ x_u)$$
$$= 0{\cdot}87 \times 415 \times 616\ (450 - 0{\cdot}42 \times 123{\cdot}6)$$
$$= 222406{\cdot}8 \times 398{\cdot}1$$
$$= 88540147 \text{ N.mm} = 88{\cdot}54 \text{ kN-m}$$

चार्ट I(14) को पढ़ने पर, M_u = 90 kN-m और सारणी 2 (Page 509) को पढ़ने पर M_u = 88·59 kN-m आती हैं, जबकि सूत्रों द्वारा गणनायें करने पर, M_u = 88·54 kN-m आती है। यह अन्तर बहुत कम है और **ध्यान-न देने-योग्य** है। अत: M_u का मान चार्ट/सारणी से शीघ्र एवं सरलता से ज्ञात हो जाता है।

(II) अपरुपण (कर्तन) के लिये अभिकल्पन
(Design for Shear Reinforcement)

उदाहरण 13.2 : एक शुद्धालम्बित प्रबलित कंक्रीट धरन 250 mm चौड़ी और 400 mm गहरी (प्रभावी) है। इसमें 16 mm व्यास की 4 छड़ें डाली गयी हैं। धरन पर 120 kN का कार्यकर कर्तन बल लग रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मान कर, धरन के लिये अपरुपण प्रबलन (Shear Reinforcement) का अभिकल्पन कीजिए।

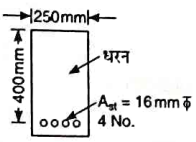
हल : (i) प्रश्नानुसार— $b = 250$ mm, $d = 400$ mm,

$A_{st} = 4 \times 201 = 804$ mm^2

$V = 120$ kN

M-20 = 20 N/mm^2,

Fe 415 = 415 N/mm^2



चित्र 13.2

(ii) भार-गुणक 1·5 लेते हुये, फैक्टर अपरुपण बल,

$$V_u = 1{\cdot}5 \times 120 = 180 \text{ kN} = 180000 \text{ N}$$

(iii) नामन अपरुपण प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V_u}{b \times d} = \dfrac{180000}{200 \times 400} = 2{\cdot}25$ N/mm^2

M-20 ग्रेड की कंक्रीट के लिये अधिकतम अनुमत अपरुपण प्रतिबल,

$$\tau_{c\ max.} = 2{\cdot}8 \text{ N/mm}^2 \qquad \text{(सारणी 4.3 से)}$$

चूँकि $\tau_v < \tau_{c\ max.}$ अत: धरन-खण्ड का माप बढ़ाने की आवश्यकता नहीं है। यही धरन-खण्ड सही है।

तनन इस्पात का प्रतिशत्, $p_t = \dfrac{A_{st} \times 100}{b \times d} = \dfrac{804 \times 100}{250 \times 400} = 0{\cdot}81\%$

M-20 कंक्रीट और p_t = 0·81% के लिये τ_c = 0·58 N/mm^2 ...(सारणी 4.1 से)

चूँकि $\tau_v > \tau_c$ अर्थात् 2·25 > 0·58, अत: खण्ड में अपरुपण प्रबलन डाला जायेगा। यह तनन छड़ों को मोड़कर (Bent-up at 45°) तथा 2-टांग के छल्लों (Stirrups) द्वारा दिया जायेगा।

(iv) माना आलम्बों से $\frac{L}{7}$ की दूरी पर 2 तनन छड़ें ऊपर को मोड़ दी गयी हैं। इन दो छड़ो (व्यास 16 mm) की अपरुपण सामर्थ्य—

डिजाइन-ऐड सारणी 4(63) (Page 510) से—ऊपर को Bent-up दो छड़ों की कर्तन-सामर्थ्य—

$$V = 2 \times 51{\cdot}33 = 102{\cdot}66 \text{ kN} = 102660 \text{ N}$$

परन्तु कोड के अनुसार नत छड़ें 50% से अधिक अपरुपण बल वहन नहीं करेंगी। अत: छल्लों के लिये अपरुपण बल $= \dfrac{180000}{2} = 90000$ N

अत: कुल 180000 N कर्तन बल में, नत छड़े केवल आधा, 90000 N कर्तन बल वहन करेंगी और शेष आधा, 90000 N के लिये छल्ले डाले जायेंगे।

(v) छल्लों द्वारा वहन अपरूपण बल, $V_{us} = V_u - \tau_c b \times d$

$= 90000 - (0{\cdot}58 \times 250 \times 400)$

$= 90000 - 58000 = 32000 \text{ N} = 32 \text{ kN}$

$\therefore \quad \frac{V_{us}}{d} = \frac{32}{40} = 0{\cdot}80 \text{ kN/cm}$

डिजाइन-ऐड सारणी 3(62) (Page 510) से— $f_y = 415 \text{ N/mm}^2$ तथा $\frac{V_{us}}{d} = 0{\cdot}80$ के लिये, धरन में 2-टांग वाले, 6 mm व्यास के छल्ले 250 mm c/c पर डाले जायेंगे।

(III) दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन
(Doubly Reinforced Concrete Beam)

मुख्य सूत्र—

(i) $x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - f_{sc} A_{sc}}{0{\cdot}36 f_{ck} b}$

(ii) $M_u = 0{\cdot}36 f_{ck} b x_u (d - 0{\cdot}42 x_u) + f_{sc} A_{sc} (d - d')$

(iii) सम्पीडन प्रबलन में प्रतिबल, f_{sc} के लिये सारणी 13.4 देखें।

(iv) डिजाइन-ऐड 19 व 20 में M_{u2} के लिये A_{st_2} को $(d - d')$ के विरूद्ध प्लाट किया गया है। यह चार्ट $f_y = 250 \text{ N/mm}^2$ के लिये हैं। अन्य ग्रेड के स्पात के लिये A_{st_2} व A_{sc} के मान, इस चार्ट से पढ़े गये मान को गुणक-अंक (Multiplying-Factor) से गुना करना होता है। ये गुणक-अंक सारणी 13.5 में दिये गये हैं।

(v) चरम प्रतिरोध आघूर्ण, $M_u = M_{u\,\text{Lim.}} + M_{u2}$

$= M_{u\,\text{Lim.}} + 0{\cdot}87 f_y A_{st_2} (d - d')$

$$\frac{M_u}{bd^2} = \frac{M_{u\,\text{Lim.}}}{bd^2} + 0{\cdot}87 f_y \frac{p_{t_2}}{100}\left(1 - \frac{d'}{d}\right)$$

(vi) तनन इस्पात का कुल प्रतिशत्, $p_t = p_{t\,\text{Lim.}} + p_{t_2}$

(vii) सम्पीडन इस्पात का प्रतिशत्, $p_c = p_{t_2}\left[\frac{0{\cdot}87 f_y}{f_{sc} - f_{cc}}\right]$

डिजाइन ऐड की सारणी 45 से 56, p_t व p_c का मान दर्शाती हैं। सारणी 5(50) (Page 511) को संदर्भ के लिये यहाँ दिया जा रहा है।

$A_{sc}(f_{sc} - f_{cc}) = A_{st_2} \times 0{\cdot}87 f_y$

$M_{u2} = A_{st_2} \times 0{\cdot}87 f_y (d - d') = A_{sc}(f_{sc} - f_{cc})(d - d')$

$A_{st} = p_{t\,\text{Lim.}} \frac{b \times d}{100} + A_{st_2}$

उदाहरण 13.3 : अभिकल्पन सहाय्य युक्तियों (Design Aids) का प्रयोग करते हुये एक दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन का अभिकल्पन कीजिये। धरन का माप 200 × 480 (mm) (प्रभावी) है और इस पर 180 kN-m की फैक्टर आघूर्ण लग रही हैं। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात प्रयोग करें।

हल : (A) सूत्रों के आधार पर धरन का अभिकल्पन—

प्रश्नानुसार— $b = 200 \text{ mm}$, $d = 480 \text{ mm}$, $M_u = 180 \text{ kN-m}$

$f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 415 \text{ N/mm}^2$

(i) दोहरे प्रबलित धरन के लिये, सम्पीडन छड़ों का आवरण 40 mm रखते हुये, $d' = 40 \text{ mm}$

$$\frac{d'}{d} = \frac{40}{480} = 0{\cdot}08$$

$\therefore$ सम्पीडन छड़ों में अनुमत प्रतिबल, $f_{sc} = 353 \text{ N/mm}^2$ ...(सारणी 13.4 से)

(ii) चरम प्रतिरोध आघूर्ण, $M_{u\,\text{Lim.}}$—

$M_{u\,\text{Lim.}} = 0{\cdot}36 f_{ck} b x_{u\,\text{max.}} (d - 0{\cdot}42 x_{u\,\text{max.}})$ ...(सूत्र)

$x_{u\,\text{max.}} = 0{\cdot}48 d$ ...(सारणी 13.1 से)

$= 0{\cdot}48 \times 480 = 230{\cdot}4 \text{ mm say } 230 \text{ mm}$

$\therefore \quad M_{u\,\text{Lim.}} = 0{\cdot}36 \times 20 \times 200 \times 230 [480 - 0{\cdot}42 \times 230]$

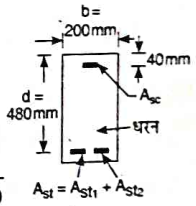
$= 126982080 \text{ N-mm}$

$M_{u2} = M_u - M_{u\,\text{Lim.}}$

$= 180 \times 1000000 - 126982080 = 53017920 \text{ N-mm}$

चूँकि $M_u > M_{u\,\text{Lim.}}$, खण्ड को दोहरा प्रबलित अभिकल्पित करना होगा।

(iii) तनन प्रबलन का कुल क्षेत्रफल, $A_{st} = A_{st_1} + A_{st_2}$



चित्र 13.3

$$A_{st_1} = \frac{M_{u\,\text{Lim.}}}{0{\cdot}87 f_y (d - 0{\cdot}42 x_{u\,\text{max.}})}$$

$$= \frac{126982080}{0{\cdot}87 \times 415 (480 - 0{\cdot}42 \times 230)}$$

$$= \frac{126982080}{0{\cdot}87 \times 415 \times 383{\cdot}4} = \mathbf{918 \text{ mm}^2}$$

$$A_{st_2} = \frac{M_{u2}}{0{\cdot}87 f_y (d - d')}$$

$$= \frac{53017920}{0{\cdot}87 \times 415 \times (480 - 40)} = \mathbf{334 \text{ mm}^2}$$

कुल तनन इस्पात $= A_{st_1} + A_{st_2} = 918 + 334 = \mathbf{1252 \text{ mm}^2}$

(iv) सम्पीडन इस्पात का क्षेत्रफल, $A_{sc} = \dfrac{M_{u2}}{f_{sc}(d-d')}$ (f_{sc} का मान सारणी 13.4 से)

$$= \frac{53017920}{353(480-40)} = \mathbf{342\ mm^2}$$

(B) Design Aids के द्वारा धरन का अभिकल्पन—

f_y 415 तथा $f_{ck} = 20$ के लिये, **एकल प्रबलित कंक्रीट धरन** के लिये चरम प्रतिरोध आघूर्ण गुणक $\dfrac{M_{u\,\text{Lim.}}}{b \times d^2}$ का मान (सारणी 13.2 (Page 490) से)—

$$R_u = \frac{M_{u\,\text{Lim.}}}{b\,d^2} = 2{\cdot}76, \quad \text{यहाँ } b = 200\text{ mm}, d = 480\text{ mm}$$

$\therefore$ $M_{u\,\text{Lim.}} = 2{\cdot}76 \times 200 \times (480)^2 = 127180800$ N-mm

तथा $\dfrac{d'}{d} = \dfrac{40}{480} = 0{\cdot}08$, अगला उच्च मान लें $= 0{\cdot}10$

...(सारणी 13.4 (Page 491) से)

(a) चार्ट द्वारा अभिकल्पन—

$d - d' = 480 - 40 = 440$ mm

$M_{u2} = M_u - M_{u\,\text{Lim.}}$, यहाँ $M_u = 180$ kN-m (प्रश्न में दे रखी है)।

$= 180 \times 1000000 - 127180800$

$= 52819200$ Nmm say 53 kN-m

$\because M_u > M_{u\,\text{Lim.}}$, यह खण्ड **दोहरा प्रबलित** होगा।

चूँकि Design Aids के चार्ट 2 (Page 506) 19 व 20 – f_y 250 के लिये बने हैं, अतः f_y 415 के लिये आशोधन गुणक (Modification Factor) लगाना होगा। सारणी 13.5 (Page 491) से इसका मान, $\dfrac{d'}{d} = 0{\cdot}10$ के लिये $= 0{\cdot}63$ (A_{sc} के लिये) और $0{\cdot}60$ (A_{st_2} के लिये) आता है। चार्ट 2(19) से $M_{u2} = 53$ kN-m और $d - d' = 480 - 40 = 440$ mm $= 44$ cm के लिये $A_{st_2} = 5{\cdot}6$ cm² (f_y 250 N/mm² इस्पात के लिये)। Fe 415 के लिये A_{st_2} आशोधन गुणक $= 0{\cdot}60$ लगाने पर,

$\therefore$ $A_{st_2} = 5{\cdot}6 \times 0{\cdot}60 = 3{\cdot}36\ \text{cm}^2 = \mathbf{336\ mm^2}$

सूत्रों से ज्ञात यह मान 334 mm² है। अतः दोनों मान लगभग बराबर है।

और सम्पीड़न प्रबलन, $A_{sc} = 5{\cdot}6 \times 0{\cdot}63 = 3{\cdot}53\ \text{cm}^2 = 353\ \text{mm}^2$

सूत्रों से ज्ञात यह मान 342 mm² है। ये मान लगभग समान है।

जाँच (Check)—तनन इस्पात का एकल-प्रबलित धरन के लिये, $p_{t\,\text{Lim.}} = 0{\cdot}96\%$

...(सारणी 13.3 से) (Page 490)

जब धरन एकल-प्रबलित है, $A_{st\,\text{Lim.}} = \dfrac{0{\cdot}96 \times 200 \times 480}{100} = 922\ \text{mm}^2$

जब धरन द्वि-प्रबलित है, $A_{st} = A_{st_1} + A_{st_2}$ (यहाँ $A_{st_1} = 922\ \text{mm}^2$)

$\therefore$ कुल तनन इस्पात, $A_{st} = 922 + 336 = \mathbf{1258\ mm^2}$

और कुल सम्पीडन इस्पात, $A_{sc} = \mathbf{353\ mm^2}$

(b) सारणी द्वारा अभिकल्पन—चूँकि $M_u > M_{u\,\text{Lim.}}$, यह खण्ड **दोहरा प्रबलित** होगा।

$$\frac{M_u}{bd^2} = \frac{180 \times 10^6}{200 \times (480)^2} = 3{\cdot}91\ \text{N/mm}^2$$

$\dfrac{d'}{d} = 0\,08$, परन्तु यह 0·10 लिया जायेगा

डिजाइन-ऐड की सारणी 5(50) — (Page 511) से—

$\dfrac{M_u}{bd^2} = 3{\cdot}91$ N/mm² और $\dfrac{d'}{d} = 0{\cdot}10$ के लिये, अंक पढ़ने पर, p_t व p_c के मान निम्न आते हैं— $p_t = 1{\cdot}306\%$, $p_c = 0{\cdot}369\%$

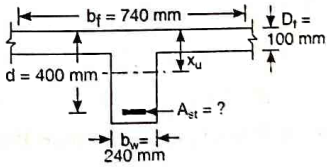
$\therefore$ तनन इस्पात, $A_{st} = \dfrac{1{\cdot}306 \times 200 \times 480}{100} = \mathbf{1254\ mm^2}$

सम्पीडन इस्पात, $A_{sc} = \dfrac{0{\cdot}369 \times 200 \times 480}{100} = \mathbf{354\ mm^2}$

प्रबलन इस्पात के मान उपरोक्त तीनों प्रक्रियाओं से समान (लगभग समान) आते हैं। **उत्तर**

(IV) प्रबलित कंक्रीट टी-धरन
(T-Beam–Singly Reinforced)

उदाहरण 13.4 : चित्र 13.4 में दर्शायी गयी एक टी-धरन की चरम प्रतिरोध आघूर्ण, 'डिजन ऐड' की सहायता से ज्ञात कीजिए। धरन में प्रबलन इस्पात की श्रेणी Fe 415 और कंक्रीट M-20 मान लें।



चित्र 13.4 टी-धरन

हल : प्रश्नानुसार—टी-धरन के लिये—

$b_f = 740$ mm, $D_f = 100$ mm

$d = 400$ mm, $b_w = 240$ mm

$$\frac{D_f}{d} = \frac{100}{400} = 0.25$$

$$\frac{b_f}{b_w} = \frac{740}{240} = 3.08$$

(A) चरम प्रतिरोध आघूर्ण-डिजाइन-ऐड द्वारा (सारणी 6(58) — (Page 512) से—

$\frac{D_f}{d} = 0.25$ व $\frac{b_f}{b_w} = 3.08$ के मानो के लिये—

सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (M_u Lim. Factor) $= \frac{M_{u\,\text{Lim.}}}{b_w\, d^2 f_{ck}} = 0.33$

अत: चरम प्रतिरोध आघूर्ण, $M_{u\,\text{Lim.}} = 0.33 \times b_w \times d^2 \times f_{ck}$

$= 0.33 \times 240 \times 400 \times 400 \times 20$

$= 253440000$ N-mm

$= 253.44$ kN-m उत्तर

(B) सूत्रों के आधार पर टी-धरन की चरम प्रतिरोध आघूर्ण (Singly Reinforced T-Beam)—प्रश्न के अनुसार— $\frac{D_f}{d} = \frac{100}{400} = 0.25 > 0.20$

अत: $M_{u\,\text{Lim.}} = 0.36 \frac{x_{u\,\max.}}{d}\left[1 - 0.42\frac{x_{u\,\max.}}{d}\right] f_{ck}\, b_w d^2$

$+ 0.45 f_{ck}(b_f - b_w) Y_f \left(d - \frac{Y_f}{2}\right)$ ...(सूत्र) (टी-धरन)

यहाँ $\frac{x_{u\,\max.}}{d} = 0.48$

तथा $Y_f = 0.15\, x_u + 0.65\, D_f$, परन्तु D_f से अधिक नहीं

$= 0.15 \times 0.48d + 0.65\, D_f$

$= (0.15 \times 0.48 \times 400) + (0.65 \times 100)$

$= 28.8 + 65.0 = 93.8$ mm < 100 mm

अत: $Y_f = 93.8$ लिया जायेगा

इन मान सूत्र में रखने पर—

$M_{u\,\text{Lim}} = 0.36 \times 0.48[1 - 0.42 \times 0.48] \times 20 \times 240 \times (400)^2$

$+ 0.45 \times 20\,(740 - 240) \times 93.8\left(400 - \frac{93.8}{2}\right)$

$= [0.1728 \times 0.7984 \times 768000000] + [4500 \times 33121]$

$= 105955983 + 149044500$

$= 255000483$ N-mm $= 255$ kN-m

यह मान 'डिजान-ऐड' से प्राप्त मान के लगभग बराबर है।

(V) प्रबलित कंक्रीट स्लैब
(R.C.C. Slab-One-Way)

एकल दिशा (One-Way), द्वि-दिशा (Two-Way) प्रबलित, कोने (Held Down/Not Held Down) सम्बन्धी अनेक चार्ट उपलब्ध हैं। स्लैब की भारण के आधार पर बंकन आघूर्ण (प्रति मीटर चौड़ाई) ज्ञात करके, चार्ट की सहायता से छड़ों की आपसी दूरी (Spacing) ज्ञात कर ली जाती है।

उदाहरण 13.5: **एक कक्ष जिसका भीतरी माप 3·50 m × 7·5 m है, पर प्रबलित कंक्रीट स्लैब डाली जानी है। स्लैब पर 5 kN/m² का अध्यारोपित भार आ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का प्रबलन इस्पात मान कर (डिजाइन-ऐड (Design Aids) की सहायता से) L.S.M. से स्लैब का अभिकल्पन कीजिये** *[B.T.E. DELHI]*

हल: माना L कक्ष की लम्बाई व B कक्ष की चौड़ाई है।

$\therefore \frac{L}{B} = \frac{7.5}{3.5} = 2.14 > 2$, अत: यह स्लैब **एक-तरफा** (One-Way) अभिकल्पित की जायेगी।

यह स्लैब अगल-बगल की 20 cm मोटी दीवारों पर टिकी है और इसकी कुल मोटाई, $D = 150$ mm और प्रभावी मोटाई, $d = 130$ mm है। अत: स्लैब का प्रभावी पाट $l = 3.50 + 0.10 + 0.10 = 3.70$ मी०।

(i) **स्लैब पर भार**— (a) अध्यारोपित भार प्रति मी० $= 5.0 \times 1.0$ $= 5$ kN/m

(b) स्वयम् का भार $= 0.15 \times 1.0 \times 25$ $= 3.75$ kN/m

कुल भार $= 8.75$ kN/m

(ii) भार गुणक 1·5 रखने पर, चरम (Factored) भार $= 8.75 \times 1.5 = 13.13$ kN/m

(iii) चरम बंकन आघूर्ण, $M_u = \frac{W_u \times l^2}{8}$

$= \frac{13.13 \times 3.70^2}{8} = 22.47$ kN-m

(iv) स्लैब की मोटाई = $\sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}}$, यहाँ R_u = सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक

M-20 व Fe 415 के लिये = 2·76

$\therefore \quad d = \sqrt{\frac{22{\cdot}47 \times 1000000}{2{\cdot}76 \times 1000}} = 90{\cdot}3 \text{ mm}$

अत: ऊपर मानी गयी गहरायी $d = 130$ mm सही है।

चूंकि $130 > 90{\cdot}3$ अत: यह खण्ड **अल्प प्रबलित** है।

(A) मुख्य इस्पात (Main Reinforcement)—

(a) चार्ट 1(13) पृष्ठ 503 से— $M_u = 22{\cdot}47$ kN-m तथा $d = 13$ cm के लिये—

इस्पात का % = 0·4

अथवा $A_{st} = \frac{p_t \times b \times d}{100}$

$= \frac{0{\cdot}4 \times 130 \times 1000}{100} = 520 \text{ mm}^2$

(b) सारणी 7(40) पृष्ठ 513 से—12 mm ϕ छड़े, 210 mm c/c

नोट: सूत्र $M_u = 0.87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{A_{st} f_y}{f_{ck} bd}\right]$ द्वारा भी मुख्य इस्पात का क्षेत्रफल लगभग इतना ही आता है।

छड़ों का अन्तराल $\frac{1000 \times 113}{520} = 217$ mm c/c

अत: **12 mm ϕ की छड़ें 210 mm c/c पर (Main Steel) डाली जायेंगी।**

(B) वितरण इस्पात (Distribution Steel)—

स्लैब-खण्ड का 0·12% की दर से— $\frac{p_t \times b \times D}{100} = \frac{0{\cdot}12}{100} \times 1000 \times 150$

$= 180 \text{ mm}^2$

8 mm ϕ की छड़ों की आपसी दूरी = $\frac{1000 \times 50}{180} = 278$ mm

अत: **8 mm ϕ की छड़ें 280 mm c/c पर डाली जायेंगी।**

(VI) प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ
(R.C.C. Column)

जब प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता, $e_{min} \not> 0{\cdot}05D$ है, $\left(e_{min.} = \frac{1}{500} + \frac{D}{30}\right)$, स्तम्भ की भार-वहन क्षमता ज्ञात करने के लिये निम्न सूत्र है—

$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$ ...(सूत्र)

इस समीकरण को निम्न प्रकार भी लिख सकते हैं—

$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} (A_g - A_{sc}) + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$

यहाँ A_g = स्तम्भ का सकल (gross) क्षेत्रफल

$A_{sc} = \frac{p A_g}{100}$ रखने पर— (सकल क्षेत्रफल A_g का प्रतिशत् A_{sc})

$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} \left[A_g - \frac{p A_g}{100}\right] + 0{\cdot}67 f_y \left(\frac{p A_g}{100}\right)$

$= A_g \left[0{\cdot}4 f_{ck} - \frac{0{\cdot}4 f_{ck} p}{100} + 0{\cdot}67 f_y \frac{p}{100}\right]$

$\therefore \quad \frac{P_u}{A_g} = 0{\cdot}4 f_{ck} + \frac{p}{100}(0{\cdot}67 f_y - 0{\cdot}4 f_{ck})$

P_u, A_g, f_{ck} व p के विभिन्न मानों और f_y के विभिन्न मान के आधार पर B.I.S. ने अनेक चार्ट तैयार किये गये हैं, जो **लघु अक्षीय-भारित स्तम्भों** के अभिकल्प में सहायक हैं। B.I.S. का चार्ट 3(25) –(Page 507) संलग्न है। चार्ट का प्रयोग और स्तम्भ का अभिकल्पन निम्न उदाहरण द्वारा स्पष्ट किया जा रहा है।

उदाहरण 13.6 : एक प्रबलित कंक्रीट अक्षीय भारित स्तम्भ का माप 400 mm × 400 mm है। इस पर 200 टन (2000 kN) का फैक्टर-भार (Factored Load) पड़ रहा है। स्तम्भ की $e_{min.} < 0{\cdot}05D$ मान लें। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात प्रयोग करते हुये, स्तम्भ का अभिकल्प सूत्रों तथा "डिजाइन-ऐड" द्वारा कीजिए।

हल : (A) सूत्रों के आधार पर स्तम्भ के लिये प्रबलन इस्पात—

प्रश्नानुसार—(i) स्तम्भ की माप = 400 mm × 400 mm, $A_g = 160000 \text{ mm}^2 = 1600 \text{ cm}^2$,

$P_u = 2000$ kN, $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 415 \text{ N/mm}^2$ ।

(ii) इस्पात का क्षेत्रफल, A_{sc}—

$P_u = 0{\cdot}4 f_{ck} A_c + 0{\cdot}67 f_y A_{sc}$ ...(सूत्र)

$A_c = A_g - A_{sc} = (400 \times 400) - A_{sc}$

ज्ञात मान रखने पर—

$2000 \times 10^3 = 0{\cdot}4 \times 20 (400 \times 400 - A_{sc}) + 0{\cdot}67 \times 415 \times A_{sc}$

$2000 \times 10^3 = 1280000 - 8 A_{sc} + 278{\cdot}05 A_{sc}$

$270{\cdot}05 A_{sc} = 720000$

$\therefore \quad A_{sc} = \mathbf{2666 \text{ mm}^2}$

civilguru.net

(B) **'डिजाइन ऐड' द्वारा स्तम्भ के लिये प्रबलन** (Reinforcement)—

$$\frac{P_u}{A_g} = \frac{2000000}{400 \times 400} = 12{\cdot}5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{तथा} \quad f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$$

के मिलन बिन्दु का मान. प्रबलन इस्पात के प्रतिशत् के लिये चार्ट 3(25) — (Page 507) से पढ़ें। इस बिन्दु का मान 1·65% आता है।

अत: स्तम्भ में प्रबलन इस्पात (खड़ी छड़ों) का प्रतिशत्, $1{\cdot}65 = \dfrac{100\,A_s}{A_g}$

अथवा $A_s = \dfrac{1{\cdot}65 \times A_g}{100}$

$\therefore \quad A_s = \dfrac{1{\cdot}65 \times 400 \times 400}{100}$

$= \mathbf{2640 \text{ mm}^2}$

यह मान सूत्रों द्वारा ज्ञात मान के लगभग बराबर है।

नोट—स्तम्भ के लिये टाई (Ties) का अभिकल्पन अध्याय 8 में वर्णित प्रक्रिया के अनुसार करें।

उदाहरण 13.7 : एक प्रबलित कंक्रीट लघु स्तम्भ का खण्ड 400 mm × 300 mm है। इसमें 20 mm व्यास की 4 छड़ें लाम्बिका प्रबलन के रूप में डाली गयी हैं। स्तम्भ की न्यूनतम उत्केन्द्रता 0·05*D* से कम है। स्तम्भ में M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात डाला जाना है। स्तम्भ की भार-वहन क्षमता ज्ञात कीजिए।

हल : स्तम्भ का सकल (Gross) क्षेत्रफल, $A_g = 400 \times 300 = 120000 \text{ mm}^2 = 1200 \text{ cm}^2$

प्रबलन छड़ों का क्षेत्रफल, $A_s = 4 \times 314 = 1256 \text{ mm}^2$

प्रबलन इस्पात का प्रतिशत्, $p = \dfrac{A_s \times 100}{A_g} = \dfrac{1256 \times 100}{120000} = 1{\cdot}05\%$

चार्ट 3(25) (Page 507) (Bottom Graph)—1·05% इस्पात और M-20 कंक्रीट के लिये, $\dfrac{P_u}{A_g} = 10{\cdot}75$

अत: $\dfrac{P_u}{A_g} = 10{\cdot}75$

तथा $P_u = A_g \times 10{\cdot}75$

$= 120000 \times 10{\cdot}75 = 1290000 \text{ N}$

अत: चरम भार = **129 टन उत्तर**

Chart 1(13) Flexure—Singly Reinforced Section (एकल प्रबलित खण्ड)

Moment of Resistance kN.m per Metre Width

$d = 5$–30 cm, $f_y = 415 \text{ N/mm}^2$, $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$

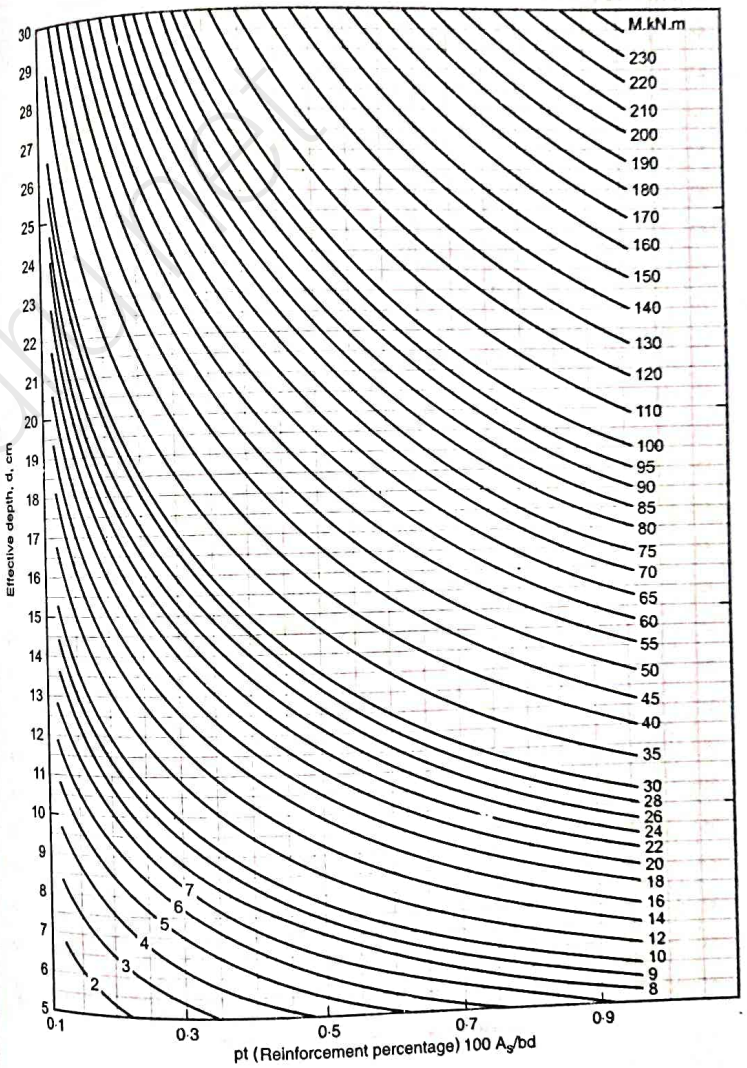


Chart 1(14)—Singly Reinforced Section (एकल प्रबलित खण्ड)

Moment of Resistance kN.m per Metre Width

d = 5–30 cm, f_y = 415 N/mm², f_{ck} = 20 N/mm²

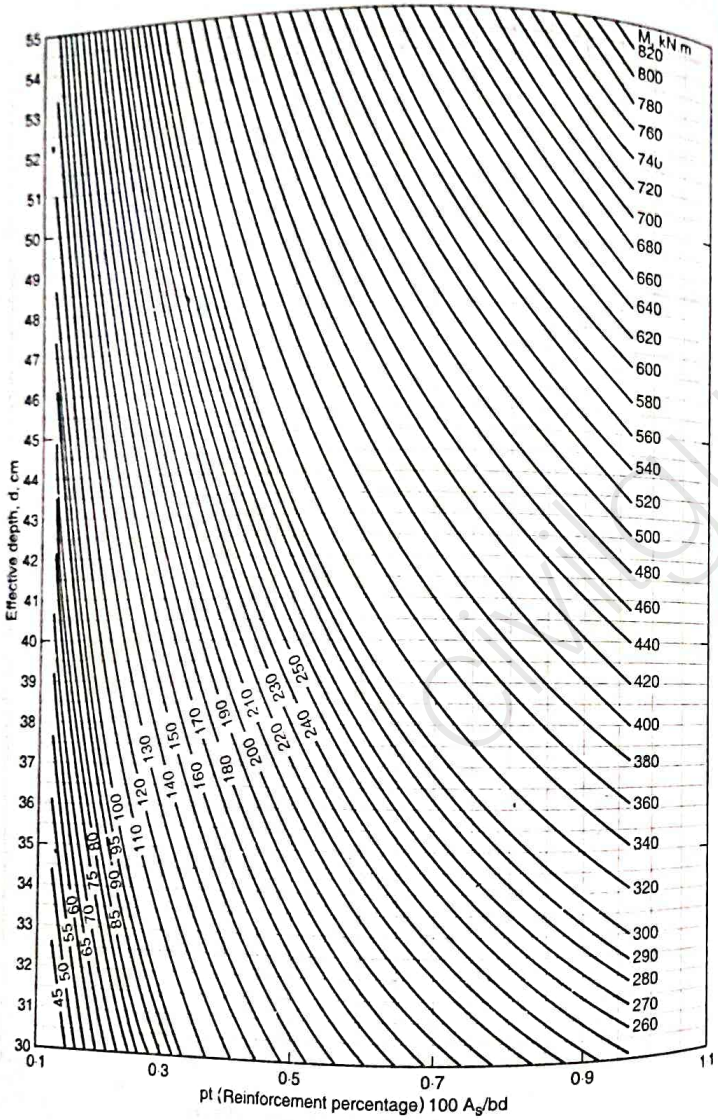


Chart 1(15)—Singly Reinforced Section (एकल प्रबलित खण्ड)

Moment of Resistance kN.m per Metre Width

d = 55–80 cm, f_y = 415 N/mm², f_{ck} = 20 N/mm²

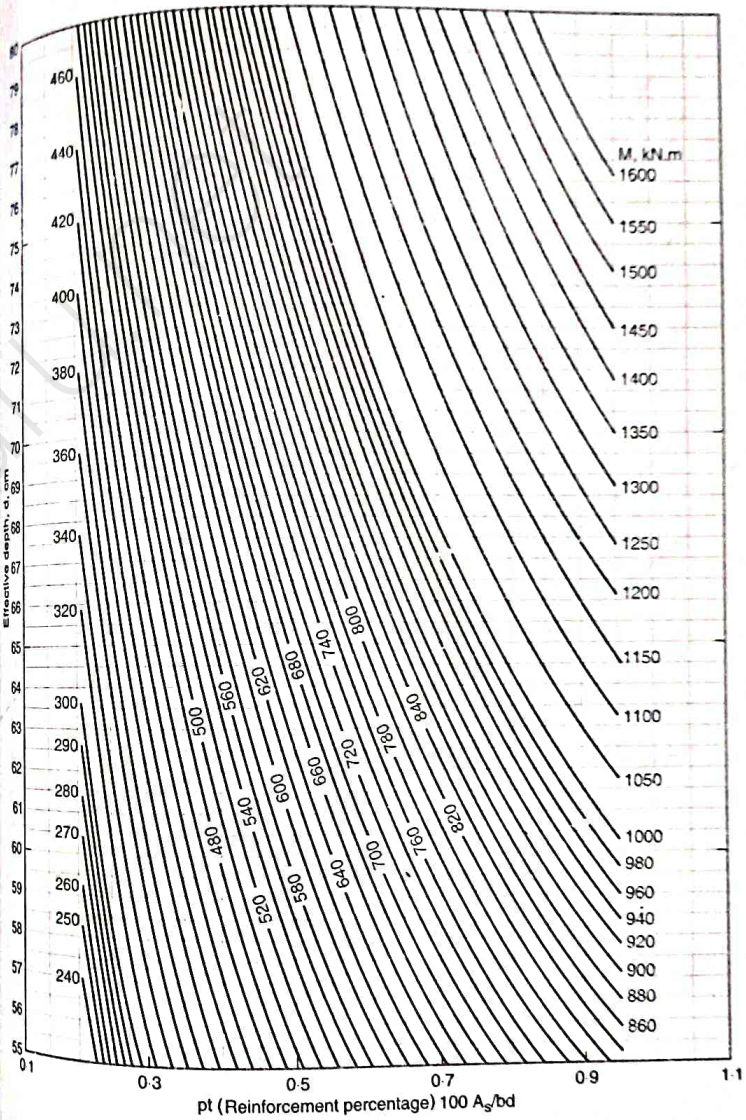


Chart 2(19)—Doubly Reinforced Section (दोहरे प्रबलित खण्ड)

$f_y = 250$ N/mm^2

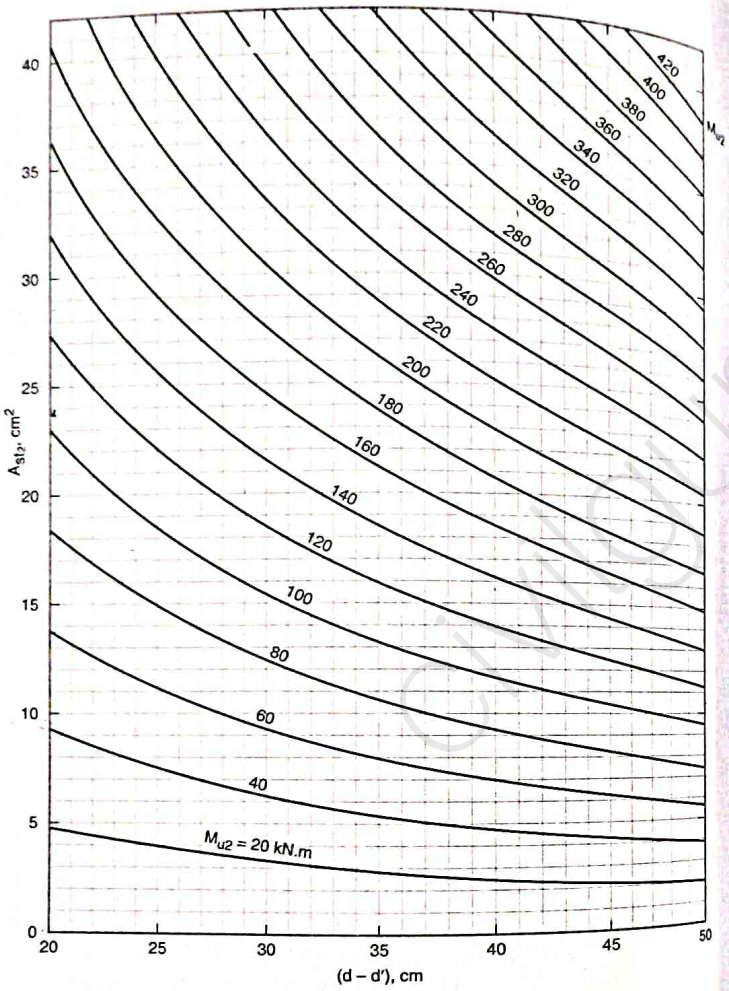


Chart 3(25)—Axial Compression (अक्षीय सम्पीडन)

प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ

$f_y = 415$ N/mm^2, $f_{ck} = 15, 20, 25, 30, 40$ N/mm^2

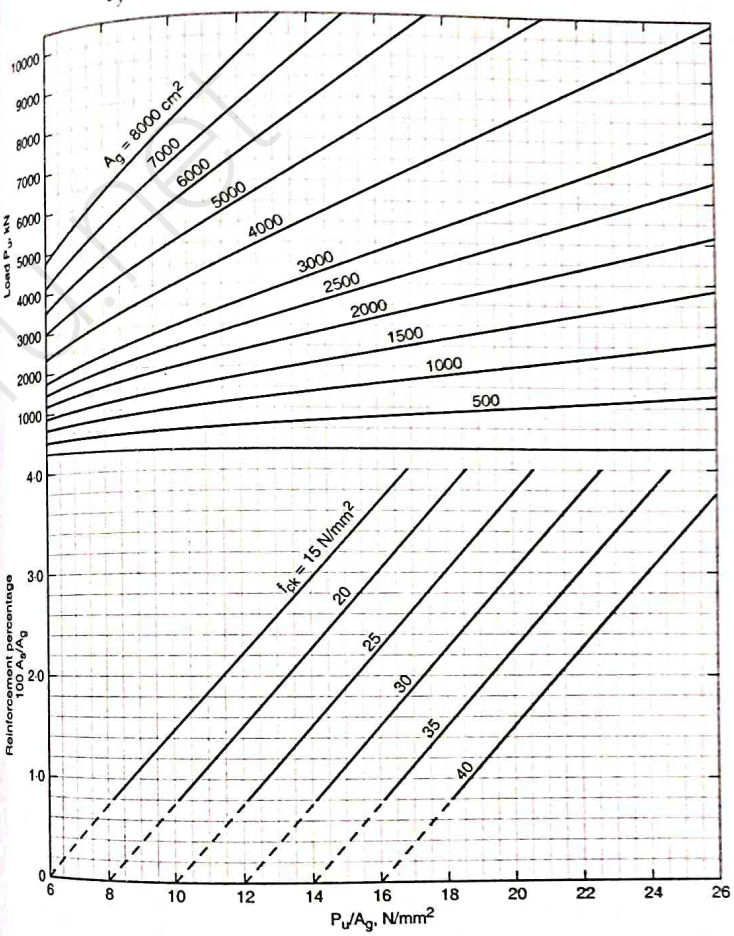


Table 1—Flexure—Reinforcement Percentage, p_t for Singly Reinforced Sections
एकल प्रबलित धरन-प्रबलन इस्पात का प्रतिशत्

f_y = 250, 415, 500 N/mm^2 f_{ck} = 15 N/mm^2

M_u/bd^2, N/mm^2	f_y, N/mm^2			M_u/bd^2, N/mm^2	f_y, N/mm^2		
	250	415	500		250	415	500
0·30	0·141	0·085	0·071	1·50	0·796	0·480	0·398
0·35	0·166	0·100	0·083	1·52	0·809	0·487	0·404
0·40	0·190	0·114	0·095	1·54	0·821	0·495	0·411
0·45	0·215	0·129	0·107	1·56	0·834	0·503	0·417
0·50	0·240	0·144	0·120	1·58	0·847	0·510	0·423
0·55	0·265	0·159	0·132	1·60	0·860	0·518	0·430
0·60	0·290	0·175	0·145	1·62	0·873	0·526	0·436
0·65	0·316	0·190	0·158	1·64	0·886	0·534	0·443
0·70	0·342	0·206	0·171	1·66	0·899	0·542	0·449
0·75	0·368	0·221	0·184	1·68	0·912	0·550	0·456
0·80	0·394	0·237	0·197	1·70	0·925	0·558	0·463
0·82	0·405	0·244	0·202	1·72	0·939	0·566	0·469
0·84	0·415	0·250	0·208	1·74	0·952	0·574	0·476
0·86	0·426	0·257	0·213	1·76	0·966	0·582	0·483
0·88	0·437	0·263	0·218	1·78	0·980	0·590	0·490
0·90	0·448	0·270	0·224	1·80	0·993	0·598	0·497
0·92	0·458	0·276	0·229	1·82	1·007	0·607	0·504
0·94	0·469	0·283	0 235	1·84	1·021	0·615	0·511
0·96	0·480	0·289	0·240	1·86	1·035	0·624	0·518
0·98	0·491	0·296	0·246	1·88	1·049	0·632	0·525
1·00	0·502	0·303	0·251	1·90	1·063	0·641	0·532
1·02	0·513	0·309	0·257	1·92	1·078	0·649	0·539
1·04	0·524	0·316	0·262	1·94	1·092	0·658	0·546
1·06	0·536	0·323	0·268	1·96	1·107	0·667	0·553
1·08	0·547	0·329	0·273	1·98	1·121	0·676	0·561
1·10	0·558	0·336	0·279	2·00	1·136	0·685	
1·12	0·570	0·343	0·285	2·02	1·151	0·693	
1·14	0·581	0·350	0·290	2·04	1·166	0·703	
1·16	0·592	0·357	0·296	2·06	1·181	0·712	
1·18	0·604	0·364	0·302	2·08	1·197		
1·20	0·615	0·371	0·308	2·10	1·212		
1·22	0·627	0·378	0·314	2·12	1·228		
1·24	0·639	0·385	0·319	2·14	1·243		
1·26	0·650	0·392	0·325	2·16	1·259		
1·28	0·662	0·399	0·331	2·18	1·275		
1·30	0·674	0·406	0·337	2·20	1·291		
1·32	0·686	0·413	0·343	2·22	1·308		
1·34	0·698	0·420	0·349	2·24			
1·36	0·710	0·428	0·355				
1·38	0·722	0·435	0·361				
1·40	0·734	0·442	0·367				
1·42	0·747	0·450	0·373				
1·44	0·759	0·457	0·379				
1·46	0·771	0·465	0·386				
1·48	0·784	0·472	0·392				

Table 2—Flexure—Reinforcement Percentage, p_t for Singly Reinforced Sections
एकल प्रबलित धरन-प्रबलन इस्पात का प्रतिशत्

f_y = 250, 415, 500 N/mm^2 f_{ck} = 20 N/mm^2

M_u/bd^2, N/mm^2	f_y, N/mm^2			M_u/bd^2, N/mm^2	f_y, N/mm^2		
	250	415	500		250	415	500
0·30	0·140	0·085	0·070	2·22	1·203	0·725	0·602
0·35	0·164	0·099	0·082	2·24	1·216	0·733	0·608
0·40	0·188	0·114	0·094	2·26	1·230	0·741	0·615
0·45	0·213	0·128	0·106	2·28	1·243	0·749	0·621
0·50	0·237	0·143	0·119	2·30	1·256	0·757	0·628
0·55	0·262	0·158	0·131	2·32	1·270	0·765	0·635
0·60	0·286	0·172	0·143	2·34	1·283	0·773	0·642
0·65	0·311	0·187	0·156	2·36	1·297	0·781	0·648
0·70	0·336	0·203	0·168	2·38	1·311	0·790	0·655
0·75	0·361	0·218	0·181	2·40	1·324	0·798	0·662
0·80	0·387	0·233	0·193	2·42	1·338	0·806	0·669
0·85	0·412	0·248	0·206	2·44	1·352	0·814	0·676
0·90	0·438	0·264	0·219	2·46	1·366	0·823	0·683
0·95	0·464	0·280	0·232	2·48	1·380	0·831	0·690
1·00	0·490	0·295	0·245	2·50	1·394	0·840	0·697
1·05	0·517	0·311	0·258	2·52	1·408	0·848	0·704
1·10	0·543	0·327	0·272	2·54	1·423	0·857	0·711
1·15	0·570	0·343	0·285	2·56	1·437	0·866	0·719
1·20	0·597	0·359	0·298	2·58	1·451	0·874	0·726
1·25	0·624	0·376	0·312	2·60	1·466	0·883	0·733
1·30	0·651	0·392	0·326	2·62	1·481	0·892	0·740
1·35	0·679	0·409	0·339	2·64	1·495	0·901	0·748
1·40	0·707	0·426	0·353	2·66	1·510	0·910	0·755
1·45	0·735	0·443	0·367	2·68	1·525	0·919	
1·50	0·763	0·460	0·382	2·70	1·540	0·928	
1·55	0·792	0·477	0·396	2·72	1·555	0·937	
1·60	0·821	0·494	0·410	2·74	1·570	0·946	
1·65	0·850	0·512	0·425	2·76	1·585	0·955	
1·70	0·879	0·530	0·440	2·78	1·601		
1·75	0·909	0·547	0·454	2·80	1·616		
1·80	0·939	0·565	0·469	2·82	1·632		
1·85	0·969	0·584	0·484	2·84	1·647		
1·90	1·000	0·602	0·500	2·86	1·663		
1·95	1·030	0·621	0·515	2·88	1·679		
2·00	1·062	0·640	0·531	2·90	1 695		
2·02	1·074	0·647	0·537	2·92	1·711		
2·04	1·087	0·655	0·543	2·94	1·727		
2·06	1·099	0·662	0·550	2·96	1·743		
2·08	1·112	0·670	0·556	2 98	1·760		
2·10	1·125	0·678	0·562				
2·12	1·138	0·685	0·569				
2·14	1·151	0·693	0·575				
2·16	1·164	0·701	0·582				
2·18	1·177	0·709	0·588				
2·20	1·190	0·717	0·595				

Table 3(62)—Shear—Vertical Stirrups (अपरुपण-ऊर्ध्व छल्ले)
Values of V_{us}/d for two legged stirrups, kN/cm.

Stirrup Spacing, cm	f_y = 250 N/mm² Diameter, mm			f_y = 415 N/mm² Diameter, mm		
	6	8	10	6	8	10
5	2·460	4·373	6·833	4·083	7·259	11·342
6	2·050	3·644	5·694	3·403	6·049	9·452
7	1·757	3·124	4·881	2·917	5·185	8·102
8	1·537	2·733	4·271	2·552	4·537	7·089
9	1·367	2·429	3·796	2·269	4·033	6·302
10	1·230	2·186	3·416	2·042	3·630	5·671
11	1·118	1·988	3·106	1·856	3·299	5·156
12	1·025	1·822	2·847	1·701	3·025	4·726
13	0·946	1·682	2·628	1·571	2·792	4·363
14	0·879	1·562	2·440	1·458	2·593	4·051
15	0·820	1·458	2·278	1·361	2·420	3·781
16	0·769	1·366	2·135	1·276	2·269	3·545
17	0·723	1·286	2·010	1·201	2·135	3·336
18	0·683	1·215	1·898	1·134	2·016	3·151
19	0·647	1·151	1·798	1·075	1·910	2·985
20	0·615	1·093	1·708	1·020	1·815	2·836
25	0·492	0·875	1·367	0·817	1·452	2·269
30	0·410	0·729	1·139	0·681	1·210	1·890
35	0·351	0·625	0·976	0·583	1·037	1·620
40	0·307	0·547	0·854	0·510	0·907	1·418
45	0·273	0·486	0·759	0·454	0·807	1·260

Table 4(63)—Shear—Bent-up Bars (अपरुपण बैंट-अप छड़ें)
Values of V_{us} for signal bar, kN

Bar Diameter, mm	f_y = 250 N/mm² α = 45°	f_y = 415 N/mm² α = 45°
10	12·08	20·05
12	17·39	28·87
16	30·92	51·33
18	39·14	64·97
20	48·32	80·21
22	58·46	97·05
25	75·49	125·32
28	94·70	157·20
32	123·69	205·32
36	156·54	259·86

Note—α is the angle between the bent-up bar and the axis of the member.

Table 5(50)—Flexure–Reinforcement Percentages for Doubly Reinforced Beams
दोहरे प्रबलित धरन-प्रबलन इस्पात का प्रतिशत्
f_{ck} = 20 N/mm², f_y = 415 N/mm²

M_u/bd^2, N/mm²	d'/d = 0·05		d'/d = 0·10		d'/d = 0·15		d'/d = 0·20	
	P_t	P_c	P_t	P_c	P_t	P_c	P_t	P_c
2·77	0·958	0·002	0·958	0·002	0·959	0·003	0·959	0·003
2·80	0·967	0·011	0·968	0·012	0·968	0·013	0·969	0·015
2·90	0·996	0·042	0·998	0·045	1·001	0·049	1·004	0·054
3·00	1·025	0·072	1·029	0·077	1·034	0·084	1·038	0·093
3·10	1·055	0·103	1·060	0·109	1·066	0·119	1·073	0·132
3·20	1·084	0·133	1·091	0·142	1·099	0·154	1·108	0·171
3·30	1·113	0·164	1·122	0·174	1·131	0·190	1·142	0·210
3·40	1·142	0·194	1·152	0·207	1·164	0·225	1·177	0·249
3·50	1·171	0·224	1·183	0·239	1·197	0·260	1·212	0·288
3·60	1·200	0·255	1·214	0·271	1·229	0·295	1·246	0·327
3·70	1·230	0·285	1·245	0·304	1·262	0·331	1·281	0·366
3·80	1·259	0·316	1·276	0·336	1·294	0·366	1·315	0·405
3·90	1·288	0·346	1·306	0·369	1·327	0·401	1·350	0·444
4·00	1·317	0·376	1·337	0·401	1·360	0·437	1·385	0·483
4·10	1·346	0·407	1·368	0·433	1·392	0·472	1·419	0·522
4·20	1·375	0·437	1·399	0·466	1·425	0·507	1·454	0·561
4·30	1·405	0·468	1·429	0·498	1·457	0·542	1·489	0·600
4·40	1·434	0·498	1·460	0·530	1·490	0·578	1·523	0·640
4·50	1·463	0·528	1·491	0·563	1·523	0·613	1·558	0·679
4·60	1·492	0·559	1·522	0·595	1·555	0·648	1·593	0·718
4·70	1·521	0·589	1·553	0·628	1·588	0·683	1·627	0·757
4·80	1·550	0·620	1·583	0·660	1·620	0·719	1·662	0·796
4·90	1·580	0·650	1·614	0·692	1·653	0·754	1·696	0·835
5·00	1·609	0·680	1·645	0·725	1·686	0·789	1·731	0·874
5·10	1·638	0·711	1·676	0·757	1·718	0·825	1·766	0·913
5·20	1·667	0·741	1·707	0·790	1·751	0·860	1·800	0·952
5·30	1·696	0·772	1·737	0·822	1·783	0·895	1·835	0·991
5·40	1·725	0·802	1·768	0·854	1·816	0·930	1·870	1·030
5·50	1·755	0·832	1·799	0·887	1·849	0·966	1·904	1·069
5·60	1·784	0·863	1·830	0·919	1·881	1·001	1·939	1·108
5·70	1·813	0·893	1·861	0·952	1·914	1·036	1·974	1·147
5·80	1·842	0·924	1·891	0·984	1·946	1·071	2·008	1·186
5·90	1·871	0·954	1·922	1·016	1·979	1·107	2·043	1·225
6·00	1·900	0·985	1·953	1·049	2·012	1·142	2·078	1·264
6·10	1·930	1·015	1·984	1·081	2·044	1·177	2·112	1·303
6·20	1·959	1·045	2·014	1·114	2·077	1·213	2·147	1·342
6·30	1·988	1·076	2·045	1·146	2·109	1·248	2·181	1·381
6·40	2·017	1·106	2·076	1·178	2·142	1·283	2·216	1·421
6·50	2·046	1·137	2·107	1·211	2·175	1·318	2·251	1·460
6·60	2·075	1·167	2·138	1·243	2·207	1·354	2·285	1·499
6·70	2·105	1·197	2·168	1·276	2·240	1·389	2·320	1·538
6·80	2·134	1·228	2·199	1·308	2·272	1·424	2·355	1·577
6·90	2·163	1·258	2·230	1·340	2·305	1·459	2·389	1·616
7·00	2·192	1·289	2·261	1·373	2·338	1·495	2·424	1·655
7·10	2·221	1·319	2·292	1·405	2·370	1·530	2·459	1·694

Table 6(58)—Flexure—Limiting Moment of Resistance Factor, $M_{u,\ lim}/b_w\ d^2 f_{ck}$, for Singly Reinforced T-Beams, N/mm²

सिंग्ली प्रबलित टी-धरन—सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक

$f_y = 415$ N/mm²

D_f/d	b_f/b_w									
	1·0	2·0	3·0	4·0	5·0	6·0	7·0	8·0	9·0	10·0
0·06	0·138	0·164	0·190	0·216	0·242	0·268	0·294	0·320	0·346	0·372
0·07	0·138	0·168	0·198	0·228	0·259	0·289	0·319	0·349	0·379	0·409
0·08	0·138	0·172	0·207	0·241	0·275	0·309	0·344	0·378	0·412	0·446
0·09	0·138	0·176	0·215	0·253	0·291	0·330	0·368	0·406	0·445	0·483
0·10	0·138	0·180	0·223	0·265	0·308	0·350	0·392	0·435	0·477	0·519
0·11	0·138	0·184	0·231	0·277	0·324	0·370	0·416	0·463	0·509	0·555
0·12	0·138	0·188	0·239	0·289	0·339	0·390	0·440	0·490	0·541	0·591
0·13	0·138	0·192	0·247	0·301	0·355	0·409	0·463	0·518	0·572	0·626
0·14	0·138	0·196	0·254	0·312	0·370	0·428	0·487	0·545	0·603	0·661
0·15	0·138	0·200	0·262	0·324	0·386	0·448	0·509	0·571	0·633	0·695
0·16	0·138	0·204	0·269	0·335	0·401	0·466	0·532	0·598	0·663	0·729
0·17	0·138	0·207	0·277	0·346	0·416	0·485	0·554	0·624	0·693	0·762
0·18	0·138	0·211	0·284	0·357	0·430	0·503	0·576	0·649	0·723	0·796
0·19	0·138	0·215	0·291	0·368	0·445	0·522	0·598	0·675	0·752	0·828
0·20	0·138	0·218	0·299	0·379	0·459	0·540	0·620	0·700	0·780	0·861
0·21	0·138	0·221	0·305	0·388	0·471	0·554	0·638	0·721	0·804	0·887
0·22	0·138	0·224	0·309	0·395	0·480	0·566	0·651	0·737	0·822	0·908
0·23	0·138	0·226	0·314	0·402	0·489	0·577	0·665	0·753	0·841	0·928
0·24	0·138	0·228	0·318	0·408	0·498	0·588	0·678	0·768	0·859	0·949
0·25	0·138	0·230	0·323	0·415	0·507	0·600	0·692	0·784	0·876	0·969
0·26	0·138	0·233	0·327	0·422	0·516	0·611	0·705	0·800	0·894	0·989
0·27	0·138	0·235	0·331	0·428	0·525	0·622	0·718	0·815	0·912	1·008
0·28	0·138	0·237	0·336	0·435	0·534	0·632	0·731	0·830	0·929	1·028
0·29	0·138	0·239	0·340	0·441	0·542	0·643	0·744	0·845	0·946	1·047
0·30	0·138	0·241	0·344	0·448	0·551	0·654	0·757	0·860	0·963	1·066
0·31	0·138	0·243	0·349	0·454	0·559	0·664	0·770	0·875	0·980	1·085
0·32	0·138	0·245	0·353	0·460	0·568	0·675	0·782	0·890	0·997	1·104
0·33	0·138	0·248	0·357	0·466	0·576	0·685	0·795	0·904	1·014	1·123
0·34	0·138	0·250	0·361	0·473	0·584	0·696	0·807	0·919	1·030	1·142
0·35	0·138	0·252	0·365	0·479	0·592	0·706	0·819	0·937	1·046	1·160
0·36	0·138	0·254	0·369	0·485	0·600	0·716	0·831	0·947	1·063	1·178
0·37	0·138	0·256	0·373	0·491	0·608	0·726	0·843	0·961	1·079	1·196
0·38	0·138	0·258	0·377	0·497	0·616	0·736	0·855	0·975	1·094	1·214
0·39	0·138	0·260	0·381	0·503	0·624	0·746	0·867	0·989	1·110	1·232
0·40	0·138	0·262	0·385	0·508	0·632	0·755	0·879	1·002	1·126	1·249
0·41	0·138	0·263	0·389	0·514	0·640	0·765	0·890	1·016	1·141	1·267
0·42	0·138	0·265	0·393	0·520	0·647	0·775	0·902	1·029	1·156	1·284
0·43	0·138	0·267	0·396	0·526	0·655	0·784	0·913	1·042	1·172	1·301
0·44	0·138	0·269	0·400	0·531	0·662	0·793	0·924	1·055	1·187	1·318
0·45	0·138	0·271	0·404	0·537	0·670	0·803	0·936	1·068	1·201	334

Table 7(40)–Flexure—Moment of Resistance of Slabs, kN.m Per Metre Width

स्लैब का प्रतिरोध आघूर्ण, प्रबलन छड़ का व्यास तथा अन्तराल

$f_{ck} = 20$ N/mm², $f_y = 415$ N/mm², Thickness = 15 cm

Bar Spacing cm	Bar Diameter, mm					
	6	8	10	12	16	18
5	24·53	39·92	0·00	0·00	0·00	0·00
6	20·78	34·32	0·00	0·00	0·00	0·00
7	18·01	30·07	43·16	0·00	0·00	0·00
8	15·90	26·73	38·80	0·00	0·00	0·00
9	14·22	24·06	35·21	0·00	0·00	0·00
10	12·87	21·86	32·20	43·03	0·00	0·00
11	11·75	20·03	29·66	39·91	0·00	0·00
12	10·81	18·48	27·48	37·19	0·00	0·00
13	10·00	17·15	25·60	34·80	0·00	0·00
14	9·31	16·00	23·95	32·70	0·00	0·00
15	8·71	15·00	22·50	30·82	0·00	0·00
16	0·00	14·11	21·22	29·15	0·00	0·00
17	0·00	13·32	20·07	27·64	43·25	0·00
18	0·00	12·61	19·04	26·28	41·40	0·00
19	0·00	11·98	18·11	25·04	39·69	0·00
20	0·00	11·41	17·26	23·92	38·11	0·00
21	0·00	10·88	16·49	22·89	36·64	0·00
22	0·00	10·41	15·79	21·94	35·27	41·27
23	0·00	9·97	15·14	21·07	34·00	39·90
24	0·00	9·57	14·55	20·27	32·81	38·60
25	0·00	9·20	14·00	19·52	31·70	37·38
26	0·00	8·86	13·48	18·83	30·66	36·24
27	0·00	8·54	13·01	18·18	29·69	35·15
28	0·00	0·00	12·57	17·58	28·77	34·13
29	0·00	0·00	12·15	17·01	27·91	33·16
30	0·00	0·00	11·77	16·48	27·09	32·24
35	0·00	0·00	10·15	14·26	23·64	28·29
40	0·00	0·00	8·92	12·56	20·95	25·19
45	0·00	0·00	0·00	11·22	18·81	22·69

Note 1—Zeros indicate inadmissible reinforcement percentage.

Note 2—Bar spacing below the dividing line exceed $3d$.

—(Design-Aids के सभी चार्ट/सारणियाँ B.I.S. के सौजन्य से)

प्रश्नावली–13

अभिकल्प सहाय्य युक्ति (Design Aids) द्वारा निम्न प्रश्न हल कीजिए–

1. एक धरन 200 mm × 450 mm माप की है। इसमे 50 mm के प्रभावी आवरण (Cover) पर 20 mm ϕ की 3 छड़े डाली गयी है। कंक्रीट M-20 और इस्पात Fe 415 श्रेणी के है। धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए। **(उत्तर :** 88 kN-m)
2. एक दोहरी प्रबलित धरन 300 mm × 600 mm (प्रभावी गहरायी) माप की है। इसके सम्पीडन क्षेत्र मे 16 mm ϕ की 2 और तनन क्षेत्र मे 20 mm ϕ की 4 छड़ें डाली गयी है। सम्पीडन छड़ो पर आवरण 50 mm है। कंक्रीट M-20 और इस्पात Fe 415 का मान कर, धरन-खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिए। **(उत्तर :** 240 kN-m)
3. एक कमरे की स्लैब, जिसका प्रभावी पाट (न्यूनतम) 3·5 मी० है, पर अपने भार सहित 2 kN/m² का समवितरित भार पड़ रहा है। M-20 तथा Fe 415 का मैटीरियल मान कर स्लैब के लिये प्रबलन इस्पात ज्ञात कीजिए।
4. एक प्रबलित कंक्रीट वर्गाकार लघु स्तम्भ का सकल परिच्छेद-क्षेत्रफल 1600 cm² है। इसमे 20 mm ϕ की 4 खड़ी छड़े डाली गयी है। स्तम्भ की कंक्रीट M-20 और इस्पात Fe 415 श्रेणी का है। स्तम्भ की उत्केन्द्रता पर विचार न करते हुये, इसकी चरम भार-धारण क्षमता ज्ञात कीजिए। **(उत्तर :** 162 टन)

14 पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट (PRESTRESSED CONCRETE)

§ 14.1. परिचय (Introduction) :

जब किसी संरचनात्मक खण्ड में, वाह्य भार पड़ने से पूर्व, इसमें यान्त्रिक विधि से ऐसे प्रतिबलों को प्रेरित कर दिया जाता है, जो भार (चल व अचल) पड़ने पर उपजे प्रतिबलों के **विपरीत प्रकृति** के हों, उस क्रिया पूर्व-प्रतिबलित कहलाती है और वह **खण्ड, पूर्व-प्रतिबलित अवयव** माना जाता है। उदाहरण के तौर पर बैलगाड़ी के लकड़ी के चक्के (पहिये) पर जो लोहे की पत्ती का छल्ला (रिंग) गर्म करके चढ़ाया जाता है, उसमें, (ठण्डा होने पर) चक्के में उत्पन्न होने वाले परिधीय तनन (Hoop Tension) के विपरीत प्रकृति के प्रतिबल, परिधीय सम्पीडन (Hoop Compression) उत्पन्न होते हैं और चक्का अधिक पकड़ वाला व सामर्थ्यवान बन जाता है।

प्रबलित खण्ड के तनन क्षेत्र में डाला गया इस्पात हालांकि सभी तनन प्रतिबलों (Tensile Stresses) को रोधित करता है, फिर भी तनन क्षेत्र की कंक्रीट में महीन दरारें (Minute Cracks) प्रकट होने लगती है। इन दरारों को रोकने के लिये तथा तनन-क्षेत्र को अधिक सामर्थ्यवान बनाने के लिये, तनन इस्पात को पूर्व-प्रतिबलित करके डाला जाता है।

पूर्व-प्रतिबलन (Pre-Stressed) का विचार बहुत पुराना है, जो अब सीमेन्ट कंक्रीट के अवयवों पर भी लागू किया गया है। पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट, टिम्बर व इस्पात की भाँति एक समांग (Homogeneous) पदार्थ माना जाता है, जिसमें सामान्य प्रबलित कंक्रीट से अधिक तथा उत्तम गुण का समावेश होता है। खण्ड में तनन प्रतिबल पूर्णत: रोधित हो जाते हैं और इसमें महीन तनन दरारें उत्पन्न नहीं होती है। यही कारण है कि अब पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के I-खण्ड, खोखले खण्ड और बक्स-खण्ड निर्माण किये जाने लगे हैं, जो अनेक संरचनाओं में काम आते हैं। पूर्व प्रतिबलित कंक्रीट का प्रयोग लम्बे पाट वाले पुलों (Flyovers), डाटों, पाइपों, जल-भण्डारण टंकियों, पाइलों, विद्युत खम्भों, धरनों, रेलवे स्लीपरों इत्यादि के लिये बड़े पैमाने पर किया जाने लगा है। द्रव संग्रह टैंकों और नाभिकीय पावर रिएक्टरों (Nuclear Power Reactors), में, जहाँ नाममात्र की रिसन नहीं होनी चाहिये, इनके लिये पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट एक आदर्श निर्माण पदार्थ सिद्ध हुआ है।

§ 14.2. मूल संकल्पना तथा विकास का इतिहास (Basic Concept of Prestressed Concrete and History of Development) :

जैसा आप प्रबलित कंक्रीट के अन्तर्गत पढ़ चुके हैं, सादा सीमेन्ट कंक्रीट सम्पीडन में तो काफी अधिक सामर्थ्य रखती है, परन्तु तनन में यह बहुत कमजोर होती है (इसकी तनन सामर्थ्य, सम्पीडन सामर्थ्य का 1/10 भाग से भी कम है।) कंक्रीट के इस दोष को दूर करने के लिये कंक्रीट के धरनों व स्लैब के तनन क्षेत्र में इस्पात की छड़ों का प्रबलन दिया जाता है।

देखने में आया है कि प्रबलित कंक्रीट धरनों में कार्यकारी प्रतिबलों से कम प्रतिबलों पर ही, इनकी कोरों पर (तनन क्षेत्र में) महीन दरारें प्रकट होने लगती हैं। एक बार दरारें प्रकट होने पर, अध्यारोपित

भार के हटाने पर भी यह दरारें बनी रहती हैं। यह दरारें यद्यपि धरन की सामर्थ्य को हानि नहीं पहुँचाती हैं, परन्तु देखने मे अच्छी नही लगती हैं। कुछ समय बाद, इन दरारों में वर्षा का पानी व नमी घुसने लगती है और नमी व वायुमण्डलीय कुप्रभावों से प्रबलन छड़ों का संक्षारण शुरू हो जाता है और संरचना की लाभकारी आयु घट जाती है। दरारों की गहराई तनन इस्पात में उत्पन्न प्रतिबलों के समानुपाती होती है। इसीलिये सामान्य प्रबलित कंक्रीट खण्डो मे उच्च तनन इस्पात डालने की संस्तुति नहीं की जाती है।

दरारो को रोकने के लिये प्रबलन इस्पात मे तनन प्रतिबलों को नियन्त्रित किया जाता है। पूर्व-प्रतिबलन द्वारा धरन के तनन क्षेत्र मे, **बाह्य भार पड़ने से पहले ही**, यान्त्रिक विधि से (कण्डरो-Tendons द्वारा) सम्पीडन प्रतिबल उत्पन्न कर दिये जाते हैं, जो भार पड़ने पर उत्पन्न तनन प्रतिबलों को पूर्णत: निष्प्रभावित कर देते है। इस प्रकार कंक्रीट अवयवो मे (भार पड़ने पर भी) कोई तनन प्रतिबल शेष नहीं रहता है और संरचना मे तनन दरारें पड़ने की सम्भावना ही खत्म हो जाती है। यह उपाय पूर्व-प्रतिबलन कहलाता है और ऐसी कंक्रीट को **पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट** (Prestressed Concrete) कहते हैं। प्रबलित कंक्रीट मे बल शून्य अक्ष से नीचे उत्पन्न तनन प्रतिबलो को सम्भालने के लिये तनन इस्पात डाला जाता है, परन्तु पूर्व प्रतिबलित कंक्रीट मे बल शून्य अक्ष से नीचे तनन प्रतिबलों को उत्पन्न होने ही नहीं दिया जाता है (अत: इस नाम के प्रबलन की कोई आवश्यकता ही नहीं रहती है। महीन तारों के रूप में जो इस्पात डाला जाता है, वह स्वयं तो मूल अवस्था मे तनन में होता है, परन्तु अपने प्रकार्य (प्रतिक्रिया) द्वारा कंक्रीट खण्ड मे सम्पीडन प्रतिबल उत्पन्न करता है)।

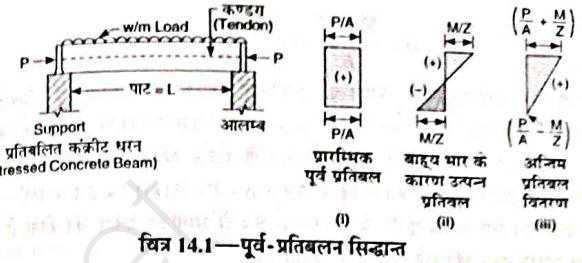
पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट में इस्पात की तनन सामर्थ्य का पूर्ण लाभ मिलता है और बल शून्य अक्ष के नीचे की कंक्रीट, जो कार्यकारी प्रतिबल विधि या सीमान्त अवस्था विधि में कोई विशेष योगदान नहीं देती है (केवल तनन छड़ों को अपनी निर्धारित स्थिति में बनाये रखने के), पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट विधि में, **खण्ड की सामर्थ्य बढ़ाने में सक्रिय** भाग लेती है।

पूर्व-प्रबलन के सिद्धान्त को निम्न उदाहरण से स्पष्ट किया जाता है—

माना एक आयताकार धरन जिसका पाट L है और परिच्छेद A है (चित्र 14.1) के दोनों सिरों पर **समान परन्तु विपरीत दिशा** में सम्पीडन बल P (अनुदैर्ध्य अक्ष पर एक कण्डरा (टेण्डन) के द्वारा) लग रहे हैं। इन बलों के कारण धरन खण्ड में समान सम्पीडन प्रतिबल, $f_c = \frac{P}{A}$ उत्पन्न होंगे [चित्र 14.1 (i)]।

पुन: माना कि धरन पर w प्रति मी० का समवितरित भार (स्वयं के भार सहित) भी पड़ रहा है। इस अध्यारोपित भार के कारण बंकन आघूर्ण M है। खण्ड के किसी भी बिन्दु पर M के कारण उत्पन्न प्रतिरोध प्रतिबल, $f_b = \frac{M}{I} \times y$ होंगे। $\left(\text{संकेत } \frac{M}{I} = \frac{f}{y}\right)$।

यहाँ y = खण्ड के उदासीन अक्ष से बिन्दु की दूरी तथा I = खण्ड का जड़त्व आघूर्ण है। $\frac{I}{y}$ को Z (परिच्छेद मापांक—Modulus of Section) के रूप में रखने पर, $f_b = \frac{M}{Z}$ लिखा जाता है (चित्र 14.1 (ii)।



चित्र 14.1—पूर्व-प्रतिबलन सिद्धान्त

(**नोट:** पूर्व-प्रतिबलित प्रबलन (तारें-छड़ों की डोरी) को कण्डरा (Tendon) कहते हैं।)

माना उपरोक्त दोनों बलों के कारण उत्पन्न सीधे तथा बंकन प्रतिबल, f_c व f_b बराबर हैं, अर्थात् $\frac{P}{A} = \frac{M}{Z}$। धरन के सिरों पर लगाये गये बलों तथा पाट पर पड़ने वाले समवितरित भार के कारण उत्पन्न प्रतिबलों का सम्मिलित प्रभाव चित्र 14.1 (iii) में दिखाया गया है। अत: धरन के ऊपरी रेशों मे सम्पीडन प्रतिबल $= \frac{P}{A} + \frac{M}{Z}$ और धरन के निचले रेशों में तनन प्रतिबल $= \frac{P}{A} - \frac{M}{Z}$ होंगे अर्थात् धरन के ऊपरी सिरे पर $2f$ और निचले सिरे पर शून्य f प्रतिबल रह जायेंगे। इस प्रकार धरन खण्ड मे तनन प्रतिबलो की उत्पत्ति को पूर्णत: रोधित कर दिया गया है और धरन में केवल सम्पीडन प्रतिबल शेष रह जाते हैं, जिन्हें कंक्रीट अपनी प्रकृति के कारण सहज रूप से झेल लेती हैं।

कंक्रीट को वैज्ञानिक ढंग से पूर्व प्रतिबलित करने के प्रयास लगभग पिछले 100 वर्ष से चल रहे हैं। आरम्भिक प्रयास ज्यादा सफल नहीं थे, क्योंकि उस समय सामान्य प्रबलन इस्पात में दिये जाने वाले पूर्व-प्रतिबल अल्प मान के होते थे, जो शीघ्र ही लुप्त हो जाते थे। इन पूर्व प्रतिबलो का लुप्त होने का कारण, सूखने पर कंक्रीट का सिकुड़ना तथा मन्द विरूपण (Creep) था।

1908 में एक अमेरिकन वैज्ञानिक (Steinir) ने इस प्रकार लुप्त पूर्व-प्रतिबलों को पुन: प्राप्त करने के लिये प्रबलन छड़ों को पुन: कसने का विचार रखा। 1925 में एक अन्य वैज्ञानिक (Dill) ने सामान्य इस्पात के स्थान पर उच्च सामर्थ्य वाली इस्पातीय छड़ों का प्रयोग किया, परन्तु पूर्व-प्रतिबलों को स्थिर रखने में दिक्कतें आयीं।

पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट का आधुनिक ढंग पर विकास फ्रांस के ई० फ्रेसीनेट (E. Freyssinet) ने किया है, जिसने 1939 में पूर्व-प्रतिबलन के लिये **छड़ों के स्थान पर उच्च तनन सामर्थ्य वाली इस्पातीय तारों** का प्रयोग किया। ई० फ्रेसीनेट ने उच्च सामर्थ्य वाली तारों को शुरू में ही इतना तनाव (Pull) दिया, जो कंक्रीट के संकुचन व मन्द विरूपण के कारण घटने पर भी, इतनी मात्रा में शेष रहा, जिससे कंक्रीट खण्ड में स्थायी सम्पीडन बना रहे।

पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट में जो उच्च तन्य सामर्थ्य की इस्पातीय तारें (कण्डारा—Tendon) डोली जाती हैं, उनकी चरम सामर्थ्य (Ultimate Strength) 1750 N/mm^2 तथा पराभव बिन्दु (Yield Point) 1260 N/mm^2 होता है। इन तारों को 1050 N/mm^2 तक पूर्व-प्रतिबलित करने पर तनन विकृति (Strain) निम्न आती है—

$$\delta = \frac{\text{प्रतिबल}}{E} = \frac{1050}{2{\cdot}1 \times 10^5} = 0{\cdot}005$$

यहाँ E = सभी प्रकार के इस्पात का प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity) है।

कंक्रीट की सिकुड़ने व मन्द विरूपण (Creep) के कारण विकृति लगभग 0·0008 के बराबर होती है। अत: कंक्रीट की विकृति को घटाने के बाद भी कंक्रीट खण्ड में 0·005 – 0·0008 = 0·0042 विकृति शेष रह जाती है, अर्थात् कंक्रीट खण्ड में $f_s = \delta \times E = 0{\cdot}0042 \times 2{\cdot}1 \times 10^5 = 882$ N/mm² का पूर्व-प्रतिबलन शेष रह जाता है, जो आवश्यक रूप से सम्पीडन प्रकार का होता है और बाह्य भार के कारण उत्पन्न तनन प्रतिबलों को रोधित करता है।

संरचना को पूर्व-प्रतिबलित करने का कार्य बाह्य बलों के कार्यरत होने से पूर्व अथवा संग-संग भी किया जाता है। तारों (टेन्डन) में तनन प्रतिबल उत्पन्न करने के लिये शक्तिशाली जैक प्रयोग किये जाते हैं। जैक से उच्च तन्य तारों को खींचकर, साँचे (Mould) में कंक्रीट भर दी जाती है। जब यह कंक्रीट कठोर होकर तारों को दृढ़तापूर्वक जकड़ लेती है, तो तार ढीले छोड़ दिये जाते हैं। तब यह तार अपनी वास्तविक लम्बाई (Original Length) प्राप्त करने की चेष्टा में कंक्रीट अवयव पर सम्पीडन दाब डालते हैं और बकन आघूर्ण के कारण उत्पन्न होने वाले तनन प्रतिबलों को उदासीन कर देते हैं।

पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट विधि का विकास फ्रांस व बेल्जियम में हुआ। 1935 से 1950 की अवधि में यूरोप व अमेरिका में अनेक लम्बे पाटों वाले पुल इस पद्धति पर निर्माण किये गये।

भारत में सर्वप्रथम 1940 में सैनिक टैंकों के बैरलनुमा गैराजों के निर्माण में पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट का प्रयोग किया गया। रेलवे विभाग में 1945 में इस पद्धति पर असम रेल लिंक पुल का निर्माण किया। द्वितीय विश्व युद्ध के पश्चात् पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट निर्माण में तेजी से वृद्धि हुई। अब बड़े पाटों वाले कंक्रीट पुलों व हैंगरों के लिये अनेक देशों में पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट पद्धति अपनायी जाती है। भारत में हिन्दुस्तान प्रीफेब लि० अनेक पूर्व-प्रतिबलित आइटमों का निर्माण कर रही है, जिनमें विद्युत खम्बे (Electric Poles), रेल-पथ स्लीपर, मैट्रो उत्थापित ट्रेक, लघु जल-भण्डारण टंकियाँ आदि सम्मिलित हैं।

§ 14.3. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के गुण-दोष (Merits and Demerits of Prestressed Concrete) :

(a) गुण—पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट, सामान्य प्रबलित कंक्रीट से उत्तम है। इसके मुख्य कारण निम्न हैं—

(i) पूर्व प्रतिबलित कंक्रीट निर्माण में कंक्रीट की सम्पीडन सामर्थ्य तथा इस्पात की तनन सामर्थ्य का अधिकतम लाभ उठाया जाता है। इससे मितव्ययी खण्ड उपलब्ध होता है। पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट खण्ड, R.C.C. खण्डों से पतले व हल्के होते हैं।

(ii) पूर्व प्रतिबलित कंक्रीट (P.S.C.) खण्ड में खण्ड की समस्त कंक्रीट भारों को रोधित करती है, जबकि प्रबलित कंक्रीट (R.C.C.) खण्ड में, तनन-क्षेत्र की कंक्रीट (Below N.A.) बाहरी बलों को रोधित करने में कोई योगदान नहीं करती है।

(iii) पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट में दरारें पड़ने की सम्भावना नहीं रहती है, क्योंकि पूर्ण धरन खण्ड सम्पीडन प्रतिबलों के प्रभाव में रहता है। सामान्य प्रबलित कंक्रीट धरन में तनन क्षेत्र में दरारें पड़ने की सम्भावना रहती है। दरारें पड़ने पर संरचना का व्यवहार समझना काफी जटिल होता है।

(iv) लम्बे पाटों, भारी भारों, कम्पन (Vibrations) तथा संघट्ट (Impact/Shock) वाली जगहों (पुल, रेलवे स्लीपर, विद्युत खम्भे, गुरुत्वीय डेम आदि) में यह निर्माण विशेष उपयोगी है।

(v) प्रबलित कंक्रीट की तुलना में इसमें कंक्रीट की मात्रा एक-तिहाई (परन्तु उच्च सम्पीडन सामर्थ्य वाली) और इस्पात एक-चौथाई (परन्तु उच्च तनन सामर्थ्य वाला) ही लगता है। अत: कुल मिलाकर संरचना मितव्ययी होती है।

(vi) पूर्व-प्रतिबलित खण्ड न्यूनतम माप के होने के कारण, काफी हल्के होते हैं, अत: अचल भार काफी कम होता है; जिससे अधिरचना और नींव पर भार कम पड़ते हैं।

(vii) खण्डों में विकर्ण तनन (Diagonal Tension) घट जाता है। वक्राकार टेन्डन (Tendon) के प्रयोग से खण्ड की कर्तन सामर्थ्य बढ़ जाती है।

(viii) फरमाबन्दी सस्ती पड़ती है, क्योंकि अनेक अवयव फैक्टरी-ढालित बनाये जाते हैं।

(ix) पूर्व-प्रतिबलित संरचनाओं का विक्षेप (Deflection) सीमा में रहता है।

(b) दोष—पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के कुछ दोष हैं, जो निम्न हैं—

(i) इस निर्माण के लिये उच्च सामर्थ्य वाली कंक्रीट और उच्च तनन इस्पात की आवश्यकता पड़ती है, जो काफी महंगे पदार्थ हैं।

(ii) इसके लिये अवयव के सिरों पर दृढ़ जकड़े (Anchorage) व धारक प्लेटें लगानी पड़ती हैं, जिस पर अतिरिक्त व्यय आता है।

(iii) तारों (Tendon) को खींचने के लिये बलशाली जैकों की व्यवस्था करनी पड़ती है।

(iv) जटिल व महंगी फरमाबन्दी लगानी पड़ती है।

(v) निर्माण में कुशल श्रमिकों की आवश्यकता पड़ती है।

(vi) उत्तम गुणता नियन्त्रण की आवश्यकता पड़ती है। टेन्डनों से पूर्व-बलन नष्ट होने पर अवयव विफल हो जाते हैं।

(vii) उच्च तनन-इस्पात के कारण पूर्व-प्रतिबलित खण्ड अधिक भंगुर (Brittle) होते हैं।

§ 14.4. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के प्रयोग-क्षेत्र (Situations Where Prestressed Concrete is used) :

पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट का निम्न स्थितियों में प्रयोग बढ़ता जा रहा है—

(i) लम्बे पाट (50 मी० अथवा अधिक) वाले रेल व सड़क के पुलों व फ्लाइ-ओवर के लिये, उत्थापित मैट्रो-ट्रेक के बाक्स-गर्डरों के लिये।

(ii) अत्यधिक पाट वाली धरनों के लिये, जैसे, वायुयानों के हैंगर (Hangers),

(iii) उच्च वोल्टा विद्युत संचरण लाइनों के खम्भों (Transmission Poles) के लिये,

(iv) जल व अन्य द्रव भण्डारण टैंकों व साइलों के लिये, गुम्बद (Domes) आदि

(v) रेल पथ के स्लीपर, धाव-पथ (Runway),

(vi) औद्योगिक शैड व वर्कशाप,

(vii) समुद्री व गोदी निर्माण के कार्यों में, जलीय संरचनाओं के लिये,

(viii) परमाणु संयन्त्रों के निर्माण में।

§ 14.5. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट निर्माण की प्रयोग-सीमा (Limitation of Prestressed Concrete Constructions) :

क्योंकि पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के लिये अधिक सामर्थ्य वाली सीमेन्ट कंक्रीट, उच्च तनन सामर्थ्य वाला इस्पात, महंगे जकड़न उपकरणो तथा कुशल कारीगरी की आवश्यकता पड़ती है, अत: यह निर्माण लम्बे पाट वाले गर्डर-पुलो, द्रव भण्डारण टैंकों हैंगरों आदि के लिये अधिक अपनाया जाता है।

§ 14.6. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट निर्माण के लिये पदार्थ तथा उपकरण (Material and Equipment Needed for Prestressed Concrete Construction):

14.6-1. पदार्थ (Material)—पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के लिये मुख्यत: दो पदार्थों की आवश्यकता रहती है—

(i) उच्च सामर्थ्य की सीमेन्ट कंक्रीट (High Strength Cement Concrete)

(ii) उच्च तनन इस्पात की तारें (High Tension Steel Wires)

(1) उच्च सामर्थ्य की सीमेन्ट कंक्रीट—पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट में उच्च सामर्थ्य वाली सीमेन्ट कंक्रीट (M-30 अथवा अधिक) प्रयोग की जाती है। जल सीमेन्ट अनुपात भी न्यूनतम रखा जाता है। कंक्रीट तैयार करने के लिये मिश्रक (Mixer) और संहनन के लिये कम्पक (Vibrator) इस्तेमाल किये जाते हैं। कंक्रीट-मिक्स अभिकल्पन तथा कम्पन तकनीकी में विकास के कारण, अब 70 N/mm^2 से भी अधिक सामर्थ्य वाली कंक्रीट तैयार करना सम्भव हो गया हैं। भारतीय मानक कोड पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के लिये केवल नियन्त्रित कंक्रीट ही प्रयोग करने की संस्तुति करता है।

बाहरी बल लगे बगैर, कंक्रीट आयतन में होने वाली विकृति, **संकुचन** (Shrinkage) कहलाती है। यह कंक्रीट में धीरे-धीरे नमी घटने के कारण, आयतन में हुये परिवर्तन के कारण होती है। निरन्तर बाहरी बल लगने के कारण, कंक्रीट अवयव में होने वाली विकृति, **मन्द विरुपण** (Creep) कहलाती है।

उच्च सामर्थ्य वाली कंक्रीट में सिकुड़न, दरारें कम पड़ती है, प्रत्यास्थ व मन्द विरूपण (क्रीप) विकृतियाँ कम होती हैं और इस्पात में प्रतिबलनों की हानि (Loss of Prestress) कम होती है। इसकी अपरुपण तथा अभिलाग में अधिक सामर्थ्य होती हैं। कम सामर्थ्य वाली कंक्रीट के लिये व्यापारिक स्थिरण (Trade Anchorage) की लागत अधिक आती है और प्रतिबलित करते समय, इसके (कंक्रीट) नष्ट होने की सम्भावना रहती है। कंक्रीट के लिये मुख्य आँकड़े निम्न हैं—

(i) जल सीमेन्ट अनुपात = 0·45

(ii) अवपात (स्लम्प) = 75 mm

(iii) सामर्थ्य (I.S. कोड़ के अनुसार)—

(a) पूर्व तनन कार्य के लिये = M–40 (40 N/mm^2) (For Pre-Tension)

(b) पश्च तनन कार्य के लिये = M–30 (30 N/mm^2) (For Post-Tension)

(2) उच्च तनन इस्पात—पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट में उच्च तनन सामर्थ्य वाले इस्पात की तारें (Wires) इस्तेमाल की जाती हैं। सामान्य मृदु इस्पात की सादा तथा विरुपित (Deformed) छड़े इस्तेमाल नहीं की जाती हैं, क्योंकि इनकी पराभव सामर्थ्य (Yield Strength) कम होती है। सामान्य मृदु इस्पात को

कम प्रतिबलन दिया जा सकता है, क्योंकि इसकी प्रत्यास्थ सीमा कम होती है और कुछ समय बाद यह थोड़ा प्रतिबलन भी कंक्रीट की सिकुड़न, क्रीप (Creep) आदि के कारण नष्ट हो जाता है। इस कारण धन विफल हो जाता है। (मृदु इस्पात की पराभव (Yield) सामर्थ्य 200–300 N/mm^2 होती है और कंक्रीट की सिकुड़न व क्रीप (Creep) के कारण प्रतिबलन में ह्रास भी लगभग 175 से 250 N/mm^2 हो जाता है। अत: बाह्य भारों के कारण उत्पन्न प्रतिबलों को रोधित करने के लिये खण्ड में प्रतिबलन बचता ही नहीं है। इस्पात की चरम सामर्थ्य इतनी अवश्य होनी चाहिये कि उपरोक्त क्षति के बाद भी अवयव में पर्याप्त पूर्व प्रतिबल बना रहे)। उच्च तनन इस्पात को पर्याप्त सीमा (2100 N/mm^2) तक खींचा जा सकता है और कंक्रीट के सिकुड़न व मन्द विरूपण (क्रीप) के कारण प्रतिबलों में क्षति कम होती है।

यद्यपि उच्च तनन सामर्थ्य वाला इस्पात महंगा होता है, परन्तु इसकी तनन सामर्थ्य (जैसा ऊपर स्पष्ट किया गया है), मृदु इस्पात से (लगभग) 10 गुना अधिक होती है। उच्च तनन सामर्थ्य वाला इस्पात प्राय: **तारों की शक्ल** में उपलब्ध है। यह तारें ठण्डी अवस्था में उच्च तनन इस्पाती छड़ों को डाई से खींच-खींच (Cold Drawing) कर तैयार की जाती हैं। तार का व्यास जैसे-जैसे कम होता जाता है, इसकी तनन सामर्थ्य बढ़ती जाती है। उच्च तनन सामर्थ्य की तारें (जिसे कण्डरा—Tendon कहते हैं) 1·5 mm से 8 mm व्यास तक बनायी जाती हैं। **पूर्व-प्रतिबलित इस्पात डोरी (Cable) की शक्ल में भी उपलब्ध** हैं। यह डोरी कई पतली तारों को आपस में मरोड़ देकर और रस्सी की भाँति बटकर (Strands) बनायी जाती है। एक डोरी में 2, 4 या 7 तारें होती हैं। उच्च तनन सामर्थ्य इस्पात में 0·6 से 0·8 प्रतिशत कार्बन, 0·6% मैंगनीज, लगभग 0·1% सिलिका, 0·05% (अधिकतम) तक फॉसफोरस तथा सल्फर (गन्धक) होता है। पूर्व प्रतिबलन के लिये उपयुक्त उच्च तनन इस्पात I.S. 1785 व I.S. 2090 के अनुसार होना चाहिये। उच्च तन्य इस्पातीय तारों की न्यूनतम चरम सामर्थ्य सारणी 14.1 में दी गयी है।

सारणी 14.1–उच्च तनन सामर्थ्य वाली तारें (High Tensile Strength Wires)

तार का व्यास (mm में)	1·5	2	2·5	3	4	5	7	8
चरम तनन सामर्थ्य (N/mm^2 में)	2350	2200	2050	1900	1750	1600	1500	1400

14.6-2. उपकरण (Equipment)—पूर्व-प्रतिबलन कार्य के लिये निम्न सामान व उपकरणों की आवश्यकता रहती है—

(I) **कण्डरा (टेन्डन)** (Tendon)—खींच (Stretched) कर रखी गयी ऐसी इस्पातीय तार/छड़, जो कंक्रीट अवयव में पूर्व प्रतिबलन (Pre-stress) उत्पन्न कर सके, कण्डरा (Tendon) कहलाती है। जैसा ऊपर बताया गया है, पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट में उच्च तनन इस्पात की तारें इस्तेमाल की जाती हैं। कई तारों को आपस में बाँध या बुनकर जो डोरी बना ली जाती है, उसे **कण्डरा** (टेन्डन) कहते हैं। एक टेन्डन में तारों की संख्या 1, 2, 4, 8, 12 अथवा इससे अधिक हो सकती है। कुछ टेन्डनों में तारों को अलग-अलग रखने के लिये अन्तरक प्लेटें (Spacers) उचित दूरी पर, साँचे (Mould) की लम्बाई में लगा दी जाती हैं।

पूर्व-प्रतिबलन की पद्धति के अनुसार टेन्डर की सभी तारों को एक-एक करके अथवा सभी तारों को एक साथ दोनों सिरों से पकड़ कर और बल लगाकर, खींचा जाता है। खींचने के लिये जैक इस्तेमाल किये जाते हैं। टेन्डन को साँचे में रखने के लिये कंक्रीट खण्डों में 40 से 50 mm व्यास की (टेन्डन

की मोटाई के अनुसार) वाहिनी (Ducts) छोड़ी जाती है, जिन्हें तारों को प्रतिबलन देने के बाद, सीमेन्ट घोल से (Grouting) भर दिया जाता है।

(2) जकड़ें (Anchorages)—तारों को खींचने के बाद, इनमें दी गयी खींच (Pull) को कायम रखने के लिये, इन (तारों) के सिरों को यान्त्रिक व्यवस्था करके जकड़ दिया जाता है। इसे जकड़ कहते हैं। जकड़-व्यवस्था कई प्रकार से की जाती है। प्रचलित जकड़न के कुछ नाम है—Freyssinet, Magnel, Blaton Gifford-Udall, Lee-McCall, Roebling इत्यादि। एक व्यवस्था में कंक्रीट अवयव के दोनों सिरों पर इस्पात की प्लेट, जिन्हें धारण प्लेटें (Bearing Plates) कहते हैं, कंक्रीट भरते समय जड़ दी जाती है। टेन्डन की प्रत्येक तार को धारण प्लेट के छिद्र से निकाल कर और जैक द्वारा खींचने के बाद, इन्हें जकड़ों से जकड़ दिया जाता है। जकड़न के लिये चूड़ीदार (Screwed) अथवा फच्चीदार (Wedged) युक्ति अपनायी जाती है।

(3) जैक (Jacks)—तारों को खींचने के लिये, जैक लगाया जाता है। द्रव-चालित जैक (Hydraulic Jack) का प्रयोग अधिक होता है। तारों को एक-एक करके खींचा जाता है। फ्रेसीनेट जैक में 8 तारों को एक साथ खींचा जाता है।

तार में आवश्यक तनन उत्पन्न होने पर, जैक का अन्त: पिस्टन एक शांकवीय प्लग को जकड़ ब्लॉक के छिद्र में धकेल देता है, जिससे तारें जकड़-ब्लॉक में स्थायी रूप से फंस जाती हैं। इसके बाद जैक को हटा दिया जाता है।

(4) सीमेन्ट ग्राऊट (Cement Grout)—पश्च तनन विधि में कण्डरों (टेन्डन) की वाहिकाओं को, तारों को प्रतिबलित करने के बाद सीमेन्ट के घोल से बलपूर्वक भर दिया जाता है। इससे तारों का संक्षारण नहीं होता है और सिरा जकड़न के विफल होने की सम्भावना भी घट जाती है। ग्राऊटिंग से धरन की चरम सामर्थ्य भी बढ़ जाती है। उचित दूरी पर रखे गये अन्तरकों (Spacers) से ग्राऊटिंग कार्य सरल हो जाता है। ग्राऊटिंग के लिये जल सीमेन्ट अनुपात 0·48 रखा जाता है।

§ 14.7. पूर्व-प्रतिबलन की संक्रिया (Operations of Prestressing) :

पूर्व-प्रतिबलन दो प्रकार से किया जाता है—

(i) रेखीय पूर्व-प्रतिबलन (Linear Prestressing)

(ii) वृत्तीय पूर्व-प्रतिबलन (Circular Prestressing)

(i) रेखीय पूर्व-प्रतिबलन सीधे (Straight) अवयवों के लिये अपनाया जाता है।

यह दो प्रकार का होता है— (a) बाह्य रेखीय प्रतिबलन तथा (b) आन्तरिक रेखीय प्रतिबलन। बाह्य रेखीय प्रतिबलन में अवयव को दो दृढ़ पोतपाँव (Abutment) के भीतर रखकर बाहरी ढकेल-दाब डाला जाता है। जबकि आन्तरिक रेखीय प्रतिबलन में अवयव में कण्डरा (Tendon) डालकर और इसे जैकों से खींचकर, पूर्व-प्रतिबलन उत्पन्न किया जाता है।

रेखीय पूर्व-प्रतिबलन कंक्रीट धरनों व स्लैब के लिये अपनाया जाता है।

(ii) वृत्तीय पूर्व-प्रतिबलन भण्डारण टैंकों, पाइपों, दाब सुरंगों, चिमनियों इत्यादि के लिये (जो गोलाकार आकृति की होती है) अपनाया जाता है। इसके अन्तर्गत इस्पात की उच्च तनन तारों को किसी उपयुक्त व्यवस्था से खींचकर, अवयव को मोल्ड (Mould) के अन्दर कुण्डलनों में लपेट दिया जाता है। तारों में विकसित स्पर्शज्या बल (Tangential Force) कंक्रीट में समान परन्तु विपरीत-सम्पीडन बल उत्पन्न करता है, जिससे कंक्रीट अवयव में सम्पीडन प्रतिबल उत्पन्न हो जाते हैं।

§ 14.8. पूर्व-प्रतिबलन की विधियाँ (Methods of Prestressing) :

पूर्व-प्रतिबलन की अनेक विधियाँ अब विकसित कर ली गयी हैं, परन्तु सभी विधियों में निम्न दो क्रियायें मुख्य है—

(i) इस्पातीय तारों में उच्च तनन प्रतिबल उत्पन्न करना।

(ii) प्रतिबलित तारों को कंक्रीट के साथ जकड़ना ताकि तारों के प्रतिबल कंक्रीट पिण्ड में अन्तरित हो जायें।

कंक्रीट अवयवों में पूर्व-प्रतिबलन उत्पन्न करने की दो विधियाँ हैं—

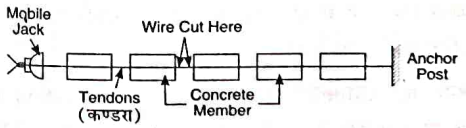
(i) पूर्व तनन विधि (Pre-Tensioning Method of Prestressing)

(ii) पश्च तनन विधि (Post-Tensioning Method of Prestressing)

14.8-1. पूर्व तनन विधि—इस विधि में, साँचे (Mould) में **कंक्रीट भरने से पहले, अवयव में डाले जाने वाले** कण्डरों (Tendons) को खींचकर प्रतिबलित (Tensioned) किया जाता है। इस विधि के अनुसार पहले प्रबलन तारों (Tendon) को जैक द्वारा बलपूर्वक खींचकर, इनमें वाँछित तनन प्रतिबल उत्पन्न कर लिये जाते हैं। तारों को खींचने के लिये, इनका एक सिरा स्थिरण ब्लॉक (Anchor) से बाँध दिया जाता है और दूसरे सिरे को यान्त्रिक विधि (जैक) से खींचा जाता है। इसके बाद, अवयव के लिये साचाँ (Mould) बनाकर और साँचे में कंक्रीट भरकर, इसे कठोर होने दिया जाता है। कंक्रीट कठोर होने पर, तनन छड़ों को अच्छी तरह जकड़ लेती हैं। अब तारों (Tendon) को बाहरी खींच-बल (जैक) से मुक्त कर दिया जाता है। बाहरी बल (Tension) हटने पर, तारें (कण्डरा) अपनी मूल लम्बाई में आने की चेष्टा करती है, परन्तु कंक्रीट में जकड़ी (Bonded) होने के कारण ऐसा नहीं कर पाती हैं। परिणामस्वरूप कंक्रीट अवयव पर दाब पड़ता है और इसमें सम्पीडन प्रतिबल उपजते हैं, जो बाह्य भारों (स्वयं के भार सहित) के कारण उत्पन्न तनन प्रतिबलों तथा कर्तन को उदासीन (Neutralize) करते हैं।

अवयव में पूर्व-प्रतिबलन का परिमाण कंक्रीट और कण्डरों (Tendon) के मध्य अभिलाग (Bond) पर निर्भर करता है। अत: तारों का व्यास न्यूनतम (2 से 3 mm) रखा जाता है।

बड़ी संख्या में पूर्व-प्रतिबलित अवयवों का निर्माण करने के लिये होयर प्रणाली (Hoyer Process) अपनायी जाती है। इसे लम्बी रेखीय प्रणाली (Long Line System) भी कहते हैं। यह प्रणाली चित्र 14.2 में दर्शायी गयी है। इस प्रणाली में पट्टी (Bed) काफी लम्बा रखा जाता है और एक ही लाइन (Stressing Bed) में कई अवयव एक ही पारी में ढाले जा सकते हैं।



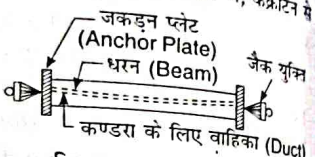
चित्र 14.2—लम्बी रेखीय प्रणाली (Hoyer process)

पूर्व-निर्मित खम्भों, धरनों, स्लीपरों के बड़े पैमाने पर उत्पादन के लिये लम्बी रेखीय प्रणाली उत्तम रहती है। फैक्ट्री उत्पादन होने के कारण गुणता नियन्त्रण भी प्रभावी बना रहता है।

पूर्व-तनन विधि का मुख्य दोष यह है कि तारों को खींचने के लिये मज़बूत पोतपाँव (Abutments) की आवश्यकता पड़ती है। यह स्थिरण पूर्व-प्रतिबलित अवयवों में तारें खींचने तथा

कंक्रीट के पूर्ण सैट हो जाने के बाद ही, अगली पारी के लिये उपलब्ध हो सकते है। अत: यह विधि छोटे-माप के फैक्ट्री उत्पाद (धरन, स्लैब, स्लीपर, विद्युत-खम्भे, पाइले इत्यादि) के लिये ही उपयुक्त है। अधिक लम्बे-चौड़े भारी अवयवों के लिये भी पूर्व-तनन विधि उत्तम नही है, क्योंकि ऐसे अवयवों को फैक्ट्री से निर्माण स्थल तक पहुँचाने मे दिक्कत आती है।

14.8-2. पश्च तनन विधि—इस विधि मे कंक्रीट के **कठोर (Set) हो चुकने के बाद**, तारों (Tendons) को खींचा जाता है। साँचे मे कंक्रीट भरते समय, इसमें तारों (Tendon) के लिये छिद्र (Ducts) छोड़े जाते है अथवा इस्पात का नम्य खोल या रबर की झिल्ली (Sheath) लम्बाई की दिशा मे, कंक्रीटन मे पूर्व खण्ड मे डाल दी जाती है, जिसमे से बाद मे तारें खींच ली जाती है (ऐसा करने से कंक्रीट और इस्पात में कोई पूर्व-अभिलाग नही होता है और कंक्रीट सैट व कठोर हो जाने के बाद, तारों को खींचकर इनमे तनन उत्पन्न करने मे दिक्कत नहीं आती है) खींच के बाद तार तथा झिल्ली को परिधीय रिक्ति मे सीमेन्ट घोल बलपूर्वक (Grouting) भर दिया जाता है, ताकि तारों का संक्षारण न हो।



चित्र 14.3—पश्च तनन विधि (Post Tensioning Method)

पश्च तनन विधि में तारों को खींचने के लिये जो जैक प्रयोग किये जाते हैं, वह कठोर हुयी कंक्रीट से सटा कर काम करते है। इसलिये तारों को खींचते समय, इनके सिरों को बाँधने के लिये कोई अलग से पोतपाँव की व्यवस्था नहीं करनी पड़ती है। कम परिमाण के तनन बल के लिये, स्क्रू जैक तथा अधिक तनन बल के लिये द्रव-चालित (हाइड्रॉलिक) जैक प्रयोग किये जाते हैं। तारों को वाँछित सीमा तक खींचने के बाद इनके सिरों को मजबूती से जकड़ दिया जाता है, ताकि तारें, पुन: अपनी मूल लम्बाई में न लौट आयें।

पश्च तनन विधि पूर्व-निर्मित अथवा स्थल निर्मित, दोनों प्रकार के अवयवों के लिये अपनायी जा सकती है। इस विधि में दृढ़ पोतपाँव (Abutments) की आवश्यकता नहीं पड़ती है, क्योंकि तारों को खींचते समय जैक को कठोर हुयी कंक्रीट सतह से सटाया जाता है (जबकि पूर्वतनन विधि में दृढ़ पोतपाँव अलग से स्थापित करने पड़ते हैं)।

पश्च तनन विधि लम्बे पाटों वाली संरचनाओं-भवनों, पुलों के गर्डरों आदि के लिये अपनायी जाती है। पश्च तनन कार्य निर्माण स्थल पर ही सम्पन्न होता है, क्योंकि लम्बे व भारी अवयवों को फैक्ट्री से निर्माण स्थल तक लाने में और वाँछित स्थिति में टिकाने में दिक्कत आती है।

इस समय विभिन्न देशों में पश्च तनन की 64 से अधिक प्रणालियाँ पेटेन्ट करायी जा चुकी हैं।

§ 14.9. पश्च तनन की प्रणालियाँ (Post-Tensioning Systems) :

पूर्व-प्रतिबलित की पश्च तनन विधि में सर्वप्रथम कंक्रीट को साँचे में कठोर (Set) होने दिया जाता है, बाद में इसमें रखे कण्डरों (Tendons) को जैक द्वारा खींचकर, इन्हें प्रतिबलित (Stressed) किया जाता है। कण्डरों को कंक्रीट-पिण्ड में रखे उपयुक्त खोल (Ducts) में रखा जाता है, ताकि ये बाद में जैक द्वारा खींची जा सकें। बाद में प्रतिबलित तारों को अवयव के सिरों पर कंक्रीट से स्थिरण (Anchoring) कर दिया जाता है।

पश्च तनन की अनेक प्रणालियाँ विभिन्न देशों में प्रचलित हैं। सभी प्रणालियों में मुख्यत: कण्डरों (Tendons) को तान कर, उसको जैक द्वारा खींचा जाता है और वाँछित तनन उत्पन्न की जाती है। कुछ मुख्य प्रणालियों के नाम निम्न हैं—

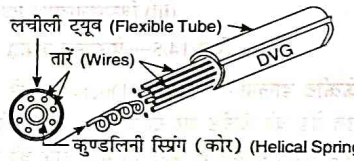
(i) फ्रेसीनेट प्रणाली (Freyssinet System)
(ii) मेग्नल-ब्लेटान प्रणाली (Magnel-Blaton System)
(iii) लीमेकाल प्रणाली (Lee McCall System)

इनके अतिरिक्त रोबलिंग, प्रेसकोन, टैक्सास प्रणालियाँ भी विकसित की गयी हैं। उपरोक्त मुख्य प्रणालियों का वर्णन निम्न है।

14.9-1. फ्रेसीनेट प्रणाली (Freyssinet Post-Tensioning System)—पश्च तनन की इस प्रणाली का विकास फ्रांस के ई० फ्रेसीनेट (E. Freyssinet) ने 1939 में किया था। अब यह एक सर्वाधिक अपनायी जाने वाली प्रणाली है। इस प्रणाली में निम्न चार क्रियायें होती हैं—

(i) साँचे में कण्डरों (Tendon) को रखना,
(ii) जकड़ें लगाना,
(iii) कंक्रीट भरना तथा सैट करना,
(iv) जैक से तारों को खींचना।

(i) **कण्डरों** (Tendon) **को बिछाना**—इस प्रणाली में कोर (Core) के रूप में डाली गयी एक कुण्डलिनी (Helical) स्प्रिंग के चारों ओर (परिधीय घेरे में) अनेक महीन तारें सटाकर गोलाकार आकृति की मोटी केबल (Freyssinet Cable) बनायी जाती हैं (जिसे कण्डरा कहते हैं)। तारों का व्यास 5 या 7 mm होता है और एक केबल में 8, 10, 12, 14, 16 या 18 ऐसी तारें डाली जाती हैं। 12 तारों वाली केबल अधिक प्रयोग में आती है। कोर के रूप में डाली स्प्रिंग, तारों का आपसी अन्तराल बनाये रखती है। साँचे में कंक्रीट डालने से पहले केबल को धातु की लचीली (Flexible) ट्यूब या खोल (Sheathing) में रखकर अवयव के साँचे में टिका दिया जाता है। वितरण व कर्तन प्रबलन यदि आवश्यक होता है, उसे भी कंक्रीट भरने से पहले, साँचे में निर्धारित स्थिति में रख दिया जाता है।



चित्र 14.4—फ्रेसीनेट प्रणाली में कण्डरों को डालना

कण्डरा की तारें धातु के खोल से 60 से 75 cm तक बाहर निकली रहती हैं, ताकि ये जैक की पकड़ में आ सकें और कंक्रीट सैट होने के पश्चात खींची जा सकें।

(ii) **जकड़ें लगाना** (Anchorage)—तारों को जैक से खींचने के बाद, खींच (Pull) को बनाये रखने के लिये तारों के सिरों को विशेष युक्ति से जकड़ दिया जाता है। इसे जकड़ें कहते हैं। फ्रेसीनेट जकड़ें निम्न दो भागों में होती हैं—

(a) मादा शंकु (Female Cone) (b) नर शंकु या प्लग (Male Cone or Plug)

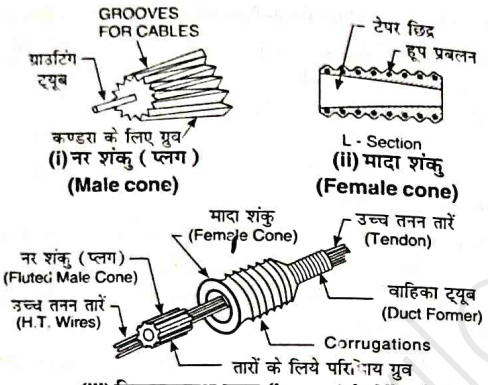
मादा शंकु, प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट का एक पूर्व ढालित सिलिण्डरनुमा टुकड़ा (कालर) होता है, जिसकी बाहरी परिधि पर उभार (Corrugations) बने होते हैं और भीतर में आर-पार एक शंक्वाकार

(Conical) छिद्र बना होता है। सिलिण्डर को सामर्थ्य प्रदान करने के लिये इसमें उच्च तनन वाला हूप प्रबलन डाला जाता है।

नर शंकु, मादा शंकु में मेल खाता हुआ, पूर्व ढालित प्रबलित कंक्रीट का शंक्वाकार प्लग (Conical Plug) होता है, जिसके भीतरी भाग में धातु की एक ट्यूब डाल दी जाती है। इस छिद्र में केबल-वाहिकाओं (Ducts) में ग्राउटिंग की जाती है।

नर व मादा शंकु तथा इनकी संगम स्थिति चित्र 14.5 में दिखाई गयी है।

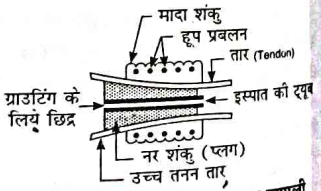
कंक्रीट डालते समय मादा शंकु को धरन के सिरों पर कंक्रीट में सटा दिया जाता है। सैट होने पर इसके खाँचों (Grooves) में से कण्डरा की तारें निकाल ली जाती है और जैक के पिस्टन में बाँध दी जाती है।



चित्र 14.5—फ्रेसीनेट जकड़ शंकु (Anchorge Cones)

(iii) कंक्रीट डालना—वाहिकायें (Ducts) डालने और मादा शंकु स्थिर करने के बाद धरन के साँचे में वाँछित ग्रेड की कंक्रीट भर दी जाती है। कंक्रीट के कठोर होने तथा आवश्यक तराई करने पर मादा शंकु इसमें दृढ़ता से सैट हो जाती है। मादा शंकु की ऊपरी परिधि पर बने उभार कंक्रीट-पिण्ड से उत्तम अभिलाग बना लेते है।

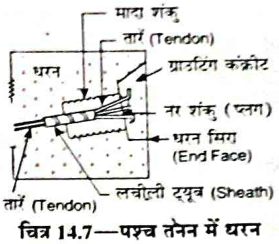
(iv) तारें खींचना (Pulling Wires)—कंक्रीट के सैट हो जाने पर वाहिकाओं से केबल पास करके मादा शंकु के ग्रूवों से बाहर निकाल ली जाती हैं और फ्रेसीनेट जैक के पिस्टन से बाँध दी जाती है। तारें मादा-शंकु से लगभग 75 cm बाहर निकली रहती है, ताकि इनको जैक से बाँधकर खींचा जा सके। पिस्टन पर बने कांटे केवल की तारों को दृढ़ता से पकड़कर खींचते हैं और पूर्व निर्धारित लम्बाई तक बढ़ा देते हैं। (चित्र 14.6)



चित्र 14.6—फ्रेंसीनेट पश्च तनन प्रणाली

जब तारें वाँछित लम्बाई तक खिंच जाती है तो जैक के एक भीतरी पिस्टन द्वारा नर शंकु (प्लग) को मादा शंकु में घुसा दिया जाता है। फलस्वरूप तारें शंकु के ग्रूवों में जकड़ी जाती है और अपनी मूल लम्बाई में नहीं आने पाती है। इस स्थिति में तारें धरन के सिरे पर सम्पीड़न बल डालती है और खण्ड में सम्पीड़न प्रतिबल उपजते है (जो बाह्य भारों के कारण उत्पन्न इन प्रतिबलों को शोधित कर देते हैं)।

अब जैक हटा दिया जाता है और नर शंकु (प्लग) के छिद्र में सीमेंट घोल बलपूर्वक खोल (Ducts) में भेजा जाता है जो सैट होकर केबलों को जाम कर देता है। इससे प्रतिबलित तारों का फिसलना भी रुक जाता है। अब बाहर बढ़ी हुई तारों के सिरों को काटकर अलग कर दिया जाता है और धरन के सिरों (Ends) को कंक्रीट लगाकर सील कर दिया जाता है। सिरों को कंक्रीट से सील करने पर प्रतिबलित तारों का संक्षारण नहीं होता है (चित्र 14.7)।



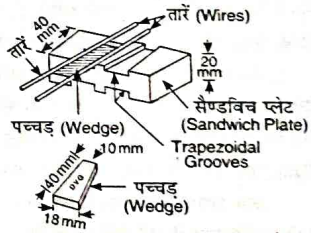
चित्र 14.7—पश्च तनन में धरन सिरा की सम्पूर्ति

14.9-2. मेग्नल-ब्लेटान प्रणाली (Magnel Blaton System)—पश्च तनन (पूर्व प्रतिबलन) की यह प्रणाली बेल्जियम के जी० मेग्नल (Prof. G. Magnel) ने एक ठेकेदारी फर्म ब्लेटान-ओबर्ट की साझेदारी में विकसित की थी, अत: यह मेग्नल-ब्लेटान प्रणाली के नाम से जानी जाती है।

मेग्नल-ब्लेटान प्रणाली में खींच (Pull) के बाद तारों को जकड़ने के लिये सैन्डविच प्लेटें (Sandwich Plates) इस्तेमाल की जाती हैं, जबकि ऊपर वर्णित फ्रेसीनेट प्रणाली में नर-मादा शंकुओं द्वारा तारों को जकड़ा जाता है। दोनों प्रणालियों में मुख्य अन्तर यही है।

प्रणाली—मेग्नल-ब्लेटान प्रणाली के अन्तर्गत कंक्रीट डालते समय, साँचे में लम्बाई की दिशा में रबर-कोर (Core) रखकर, लगभग 300 mm व्यास की वाहिकायें (Ducts), वाँछित संख्या में, आर-पार बना ली जाती हैं। कंक्रीट सैट होने पर इन रबर-कोर को बाहर खींच लिया जाता है। (जो नम्य होने के कारण आसानी से निकल आती हैं) और छिद्रों में केबल (कण्डरा) डाल दी जाती है। अवयव की भीतरी लम्बाई में केबलों में आपसी अन्तराल बनाये रखने के लिये उचित दूरी पर अन्तरक (Spacers) डाल दिये जाते हैं।

मेग्नल-ब्लेटान प्रणाली में तारों को जकड़ने के लिये इस्पात की प्लेटें (सेण्डविच प्लेट), अवयव के दोनों सिरों में दबा (Cast) दी जाती हैं। सैण्डविच प्लेट में, ऊपर तथा नीचे की सतहों पर दो से ग्रूव-सैट खाँचे (Trapezoidal Grooves) कटे रहते हैं। एक ग्रूव में एक साथ दो तारें खींची व जकड़ी जा सकती है। इस प्रकार एक सैण्डविच प्लेट में कुल मिलाकर 4 × 2=8 तारों को डालकर जकड़ने की व्यवस्था होती है, परन्तु जैक से एक समय में दो तारों की एक जोड़ी ही खींची जाती है। तारों को खींचने के बाद सैण्डविच प्लेट के ग्रूव में उसी माप की पच्चड़ (Wedge) ठोक दी जाती हैं जिससे तारें जकड़ी जाती है और अपनी नयी स्थिति में बनी रहती हैं (चित्र 14.8)।

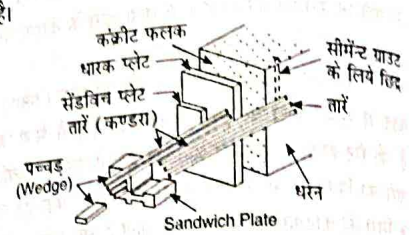


चित्र 14.8—सेण्डविच प्लेट व पच्चड़

उच्च तनन तारों का व्यास 5 mm या 7 mm होता है और एक वाहिका (Duct) मे ऐसी 2 से 64 तारों को डालने की व्यवस्था हो सकती है। सैण्डविच प्लेट के ग्रूवों को दृष्टि में रखते हुये प्रबलन तारों की संख्या 2 के गुणक मे रखी जाती है।

जब एक से अधिक सैण्डविच प्लेटों की आवश्यकता होती है, तो यह परतों मे डाली जाती है। इसलिये इस प्लेट का नाम सेण्डविच प्लेट रखा गया है।

सेण्डविच प्लेटों और धरन-सिरा के बीच धारक (या वितरण) प्लेट लगाकर प्रतिबलों को समस्त कंक्रीट खण्ड मे अन्तरित कर दिया जाता है (चित्र 14.9)।



चित्र 14.9—मेग्नल-ब्लेटान प्रणाली

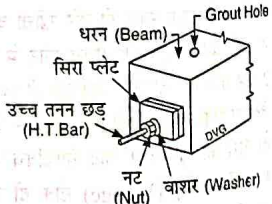
मेग्नल-ब्लेटान प्रणाली मे जकड़ों से ग्राऊटिंग करने में दिक्कत आती है, क्योंकि सैण्डविच प्लेट के ग्रूवो से मसाला बह जाता है। अत: साँचे की लम्बाई में, इसके ऊपरी सिरे की ढलाई करते समय आवश्यक संख्या मे छिद्र रखे जाते हैं, जिनके द्वारा बलपूर्वक सीमेंट घोल वाहिकाओं मे पहुँचाकर, इन्हे सील कर दिया जाता है।

14.9-3. लीमेकाल प्रणाली (Lee McCall System)—इस प्रणाली में पश्च तनन उत्पन्न करने के लिये तारो के स्थान पर उच्च तनन मिश्र-धातु इस्पात की छड़ (Alloy Steel Bar) इस्तेमाल की जाती है। छड़ का व्यास 12 mm से 28 mm तक होता है और यह 18 मी० की लम्बाई में उपलब्ध है। छड़ के दोनों सिरो पर, कुछ दूरी तक चूड़ियाँ कटी रहती है। छड़ को किसी उपयुक्त खोल (Sheath) के अन्दर रखकर साँचे में कंक्रीट भर दी जाती है अथवा गीली कंक्रीट में किसी विधि से पहले उचित व्यास की वाहिका (Duct) बना ली जाती है और कंक्रीट के सैट होने पर, इसमें से छड़ पास कर ली जाती है। अभिकल्पन के अनुसार एक से अधिक (तीन तक) छड़ें भी डालने की व्यवस्था की जाती है। छड़ में तनन उत्पन्न करने के लिये इसके सिरों पर नट कसा जाता है।

जकड़न के लिये धरन के सिरों पर इस्पात की धारक प्लेट सटाकर छड़ के सिरे को उसमें से बाहर निकाल लिया जाता है। (इसके लिये धारक प्लेट में उपयुक्त व्यास का सुराख पहले की कर लिया जाता है)। अब छड़ के सिरों पर वाशर व नट चढ़ा दिया जाता है। नट को यान्त्रिक शक्ति से आगे को घुमाने पर धारक प्लेट पर दाब पड़ता है, जो धरन के सिरे को दबाती है, दोनों सिरों पर दाब पड़ने से धरन खण्ड में सम्पीडन प्रतिबल उपजते हैं।

नट में चूड़ियाँ इस प्रकार काटी जाती हैं कि छड़ को दिये गये प्रतिबल अनुमत गति से कंक्रीट में अन्तरित हो जायें और कोई स्थानीय प्रतिबलों का जमाव न हो। इस्पात में पूर्व प्रतिबलों की तीव्रता 210 N से 1050 N प्रति मिमी० तक उत्पन्न की जाती है।

कम लम्बाई के अवयवों तथा थोड़े प्रतिबलों को उत्पन्न करने के लिये छड़ के एक सिरे पर ही जैक लगाया जाता है, परन्तु जब लम्बाई अधिक हो या प्रतिबलन अधिक देना हो, तब छड़



चित्र 14.10—लीमेकाल प्रणाली (Lee McCall System)

के दोनो सिरों पर जैक लगाये जाते है। हाइड्रॉलिक जैक को एक गृहीत (Slotted Adopter) द्वारा, जो अस्थायी तौर पर, छड़ की चूड़ियों पर चढ़ाया जाता है, क्रार्यरत किया जाता है।

वांछित तनन उत्पन्न हो जाने पर नट अन्तिम रूप मे कस दिया जाता है और छड़ का बाहर बढ़ा हुआ सिरा काटकर निकाल दिया जाता है अथवा अन्दर को दबा दिया जाता है।

खोल की रिक्ति में खण्ड में रखे छिद्रों से सीमेंट घोल बलपूर्वक ग्राऊट कर दिया जाता है।

कंक्रीट मे संकुचन व मन्द विरूपण (क्रीप) के कारण होने वाली जकड़-हानि को, छड़ का नट कसाकर पुन: प्राप्त किया जा सकता है।

लीमेकाल प्रणाली का विकास इंग्लैण्ड मे हुआ था। इसे **छड़ प्रणाली** (Bar System of Prestressing) भी कहते हैं, क्योंकि महीन तारो के स्थान पर इसमे मोटी छड़ इस्तेमाल की जाती है। छड़ डालने के कुछ अवगुण भी है जैसे—(i) सभी अवयवो मे बड़े-माप की छड़ नहीं डाली जा सकती है। (ii) उच्च पूर्व प्रतिबल उत्पन्न करना कठिन पड़ता है। इसके लिये बड़ी-क्षमता वाले जैक लगाने पड़ते है।

§ 14.10. पूर्व-तनन और पश्च-तनन विधियों की तुलना (Comparison of Pre-Tensioning and Post-Tensioning Methods) :

पूर्व तनन (Pre-Tensioning)	पश्च तनन (Post-Tensioning)
(1) तारों में तनन उत्पन्न करने के बाद सांचे मे कंक्रीट भरी जाती है।	(1) सांचे मे कक्रीट भरकर और सैट होने के बाद ही तारो (Tendons) को खींचा जाता है।
(2) तारों को खींचने के लिये दृढ़ पोत-पाँव (Abutments) की आवश्यकता पड़ती है।	(2) तारो को कठोर हुये कक्रीट मे जैक सटाकर खींचा जाता है, अत: पोत-पाँव आवश्यक नहीं है।
(3) कंक्रीट डालते समय प्रतिबलों की क्षति की सम्भावना रहती है।	(3) प्रत्यास्थ विकृति के कारण प्रतिबलो मे कोई क्षति नहीं होती है।
(4) कंक्रीट के सिकुड़ने पर प्रतिबलों की हानि होती है।	(4) कंक्रीट के सिकुड़ने पर प्रतिबलो की हानि नहीं होती है, क्योंकि तारो को तनन बाद मे दिया जाता है।
(5) तारों को वक्र की स्थिति में रखकर खींचना कठिन पड़ता है, क्योंकि सांचे में कंक्रीट तनन के बाद भरी जाती है।	(5) कर्तन को रोधित करने के लिये तारो को ऊपरी वक्र देकर खींचा जा सकता है, क्योंकि वाहिकायें (Ducts) वक्र मे पहले ही बना ली जाती है।
(6) परिवहन व्यय अधिक आता है। अत: छोटे माप के अवयवों के लिये ही ठीक रहती है।	(6) परिवहा व्यए कम होता है, क्योंकि प्रबलन का कार्य स्थल पर ही सम्पन्न किया जाता है। लम्बे पाटों के लिये यह विधि सन्तोषजनक रहती है।

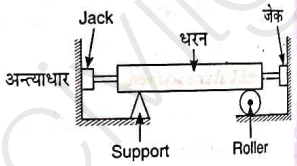
शेष अगले पृष्ठ →

पूर्व तनन (Pre-Tensioning)	पश्च तनन (Post-Tensioning)
(7) फैक्टरी उत्पादन सम्भव है, अत: गुणता नियन्त्रण बना रहता है। बड़े व्यापारिक पैमाने पर उत्पादन किया जा सकता है।	(7) निर्माण मे अधिक चौकसी रखनी पड़ती है, क्योंकि स्थल पर फैक्टरी जैसी उत्तम कार्य स्थितियाँ उपलब्ध नहीं हो पाती है।
(8) ग्राऊटिंग की आवश्यकता नही है, क्योंकि तारे सीधी कंक्रीट पिण्ड मे दबी रहती हैं।	(8) वाहिकाओं (Ducts) में ग्राऊटिंग करनी पड़ती है, जो एक कठिन कार्य है।
(9) इस विधि मे प्रतिबलो की क्षति अधिक होती है (लगभग 18%)।	(9) इस विधि में प्रतिबलों की क्षति अपेक्षाकृत कम होती है (लगभग 15%)।
(10) यह विधि पश्च तनन विधि से कुछ महंगी पड़ती है।	(10) यह एक महंगी विधि है।

§ 14.11. इस्पातीय कण्डरो बगैर पूर्व-प्रतिबलन (Pre-Stressing Without Use of Steel Tendons or External Prestressing):

जब किसी पाट के दोनों तरफ ठोस चट्टानी अन्त्याधार (Rocky Abutments) उपलब्ध हो तो कंक्रीट अवयव (धरन, स्लैब आदि) में कण्डरों का प्रयोग किये बगैर, निम्न विधियों द्वारा पूर्व-प्रतिबल उत्पन्न किये जा सकते हैं। परन्तु यह विधियाँ मितव्ययी होते हुये भी, अधिक प्रभावी नहीं कही जा सकती हैं।

(1) सिरा-रिक्ति (End Gap) **में कंक्रीट भरकर**—इस विधि में कंक्रीट अवयव की लम्बाई, इसे ढालते समय चट्टानी अन्त्याधारों की आपसी दूरी से कुछ कम रखी जाती है। अब अन्त्याधार व अवयव के सिरों के मध्य जैक लगा कर, अवयव में सम्पीडन प्रतिबल प्रेरित किये जाते हैं। आवश्यक प्रतिबल प्राप्त हो जाने पर, अवयव के सिरे व अन्त्याधार के मध्य रिक्ति में उच्च सामर्थ्य की कंक्रीट भर दी जाती है और जैक निकाल लिया जाता है।



चित्र 14.11—बाहरी पूर्व-प्रतिबलन विधि

(2) सिरा-रिक्ति (End Gap) **में विस्तारक सीमेन्ट भरकर**—इस विधि में अवयव का एक सिरा, एक तरफ के चट्टानी अन्त्याधार से ठीक सटा कर ढाला जाता है और दूसरे सिरे पर अन्त्याधार व अवयव में जो थोड़ी रिक्ति रखी जाती है, उसमें विस्तारक सीमेन्ट (Expanding Cement) का गाढ़ा घोल भर दिया जाता है। सैट होने पर यह सीमेन्ट फैलता है और अवयव के सिरे पर दाब डालता है, जिससे कंक्रीट अवयव में सम्पीडन प्रतिबल उपजाते हैं, जो भार पड़ने पर उत्पन्न तनन प्रतिबलों को रोधित करते हैं।

§ 14.12. प्रतिबलन की क्षति (Losses in Pre-Stress) :

देखने में आया है कि कंक्रीट अवयवों को दिया गया पूर्व-प्रतिबलन स्थिर नहीं रहता है। यह समय बीतने पर विभिन्न कारणों से घटने लगता है। इन सभी का सम्भावित प्रभाव प्रारम्भिक प्रतिबलन का 15 से 20% तक हो जाता है। अत: एक अभिकल्पक को इन क्षतियों का पूर्व ध्यान रखना चाहिये।

पूर्व-प्रतिबलन के क्षति के कुछ मुख्य कारण निम्न होते हैं—

(i) कंक्रीट का प्रत्यास्थ संकुचन (Elastic Shortening of Concrete),
(ii) कंक्रीट के सिकुड़न के कारण (Shrinkage of Concrete),
(iii) कंक्रीट के मन्द विरूपण (Creep) के कारण,
(iv) इस्पात के मन्द विरूपण के कारण,
(v) घर्षण (Frictional) क्षति के कारण,
(vi) स्थिरण में फिसलन (Slippage) के कारण।

§ 14.13. प्रबलित सीमेंट कंक्रीट तथा पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट की तुलना (Reinforced Concrete Versus Prestressed Concrete) :

दोनों प्रकार की कंक्रीट में आवश्यक रूप में दो समान पदार्थ—सीमेंट कंक्रीट और इस्पात का उपयोग होता है, परन्तु अन्य सभी बातें भिन्न हैं। दोनों कंक्रीट की तुलना अग्र की गयी है—

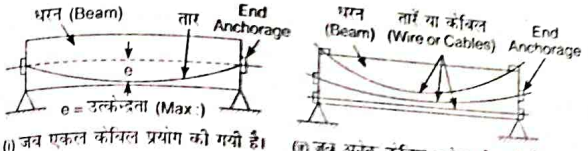
प्रबलित कंक्रीट (Reinforced Concrete)	पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट (Prestressed Concrete)
(1) **कंक्रीट**—सामान्य सामर्थ्य वाली सीमेंट कंक्रीट प्रयोग की जाती हैं।	(1) उच्च सामर्थ्य वाली कंक्रीट आवश्यक है, जो सिरा जकड़ों पर उत्पन्न उच्च प्रतिबलों को वहन कर सके।
(2) **प्रबलन**—सामान्य मृदु इस्पात की छड़ें प्रयोग की जाती हैं। कंक्रीट व इस्पात का अभिलाग पूर्ण माना जाता है, जो एकजुट होकर प्रतिबलों को वहन करते हैं।	(2) उच्च तनन सामर्थ्य की तारें टेन्डनों के रूप में डाली जाती हैं। टेन्डन अपने प्रतिबल कंक्रीट को अन्तरण करने के अतिरिक्त दोनों पदार्थों में कोई अभिलाग नहीं है।
(3) **निर्माण विधि**—फर्माबन्दी करने, कंक्रीट व प्रबलन इस्पात डालते समय कठिनाई नहीं आती है। निर्माण विधि सरल है।	(3) टेन्डनों को साँचे में टिकाने, वाहिकायें बनाने और तारों को जैकों से खींचने में काफी सूझ-बूझ और समय चाहिये। निर्माण विधि काफी जटिल है।
(4) **प्रभावी**—बल शून्य अक्ष के नीचे की कंक्रीट प्रबलन छड़ों को निर्धारित स्थिति में बनाये रखने के अतिरिक्त कोई संरचनात्मक सामर्थ्य का योगदान नहीं करती हैं।	(4) सम्पूर्ण कंक्रीट पिण्ड प्रतिबलो को वहन करने में योगदान करता है। धरन का पूरा खण्ड प्रभावी होता है।
(5) **खण्ड माप**—सामान्य धरन खण्ड काफी बड़े और भारी होते हैं, क्योंकि कंक्रीट व इस्पात में कार्यकारी प्रतिबलों का मान काफी कम रखा जाता है।	(5) धरन खण्ड के माप न्यूनतम होते है। क्योंकि उच्च सम्पीडन सामर्थ्य की कंक्रीट और उच्च तनन इस्पात का प्रयोग किया जाता है।
(6) **अपरुपण (कर्तन) प्रबलन**—धरनों में कर्तन प्रबलन डालना पड़ता है।	(6) कंक्रीट को पूर्व-सम्पीड़ित करने तथा वक्र टेन्डनों के डालने से कर्तन बल उदासीन हो जाते हैं।

शेष अगले पृष्ठ →

प्रबलित कंक्रीट (Reinforced Concrete)	पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट (Prestressed Concrete)
(7) **विक्षेप**—धरन खण्डो का लम्बे पाटो पर विक्षेप अधिक होता है।	(7) लम्बे पाटो तथा भारी भार के लिये विशेष तौर पर यह विधि उपयुक्त रहती है, क्योंकि विक्षेप काफी घट जाता है।
(8) **नीव पर भार**—अवयवो का स्वयं का भार काफी अधिक होता है। अत: नीव पर भार अधिक पड़ता है।	(8) खण्ड-माप काफी कम होने के कारण संरचना का अचल भार काफी घट जाता है।
(9) **सेवा योग्यता**—तनन क्षेत्र मे तली पर महीन दरारे प्रकट हो जाती है, जिन मे पानी घुसने पर प्रबलन छड़ो को जंग लग जाती है और धरन की सामर्थ्य व सेवा योग्यता घट जाती है।	(9) क्योंकि सम्पूर्ण खण्ड सम्पीडन मे होता है, अत: कंक्रीट मे दरारे नही पड़ती है। धरन की सामर्थ्य व सेवा योग्यता कायम रहती है।
(10) **जलाभेद्यता**—धरन खण्ड के तनन क्षेत्र मे महीन दरारे पड़ जाती हैं, जिनमे पानी/नमी घुसने लगती है।	(10) क्योंकि खण्ड मे दरारे नही पड़ती हैं अत: खण्ड की जलाभेद्यता अधिक होती है।
(11) **टिकाऊपन**—इसकी आयु पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के कम होती है।	(11) यह कंक्रीट अपेक्षाकृत अधिक टिकाऊ होती है।
(12) **सुरक्षा**—संरचना पर भार पड़ने से पहले कंक्रीट व इस्पात की सामर्थ्य की जाँच नहीं हो पाती है।	(12) पूर्व-प्रतिवलन के दौरान कंक्रीट व इस्पात की आंशिक जाँच हो जाती है और संरचना की सामर्थ्य आँकी जा सकती है।
(13) **तकनीकी ज्ञान**—सामान्य उपकरणों व कम तकनीकी ज्ञान से काम चल जाता है। निर्माण कार्य सीधा व सरल है।	(13) विशेष उपकरणों व उच्च तकनीकी ज्ञान की आवश्यकता पड़ती है।
(14) **लागत**—कंक्रीट व इस्पात की मूल्य दरें कम होती है, परन्तु खण्ड माप बड़ा होने के कारण लागत मे कोई बचत नहीं होती है।	(14) महंगी दरों वाली कंक्रीट व तनन इस्पात डाले जाते हैं, परन्तु खण्ड माप छोटा होने के कारण पदार्थ कम लगता है और कुल मिलाकर अवयवों की लागत कम आती है। फैक्टरी उत्पाद सस्ते पड़ते हैं।
(15) **उपयोगिता**—सामान्य अवयवों के निर्माण के लिये सन्तोषजनक है।	(15) यह विधि विशेष संरचनाओं—लम्बे पाट वाले पुलों के लिये विशेषकर पर अपनायी जाती है।

§ 14.14. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट धरन (Pre-Stressed Concrete Beam) :

चित्र 14.12 में पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट धरन में प्रतिबलित केबलों की स्थिति दर्शायी गयी है। अभिकल्पन के अनुसार केबल एक अथवा अधिक हो सकती हैं।



(i) जब एकल केबिल प्रयोग की गयी है। (ii) जब अनेक केबिल प्रयोग की गयी है।

चित्र 14.12—पूर्व प्रतिबलित धरन (Pre-stressed Beam)

उदाहरण 14.1 : एक पश्च तनन I-धरन के अभिकल्पन सम्बन्धी आँकड़े निम्न हैं। धरन का स्वच्छ चित्र खींचकर उसमें प्रबलन इस्पात की स्थिति दर्शायें–

प्रभावी पाट = 30 मी०, अध्यारोपित भार = 8 kN/m,

स्वयं का भार = 2 kN/m, कुल गहराई = 1200 mm

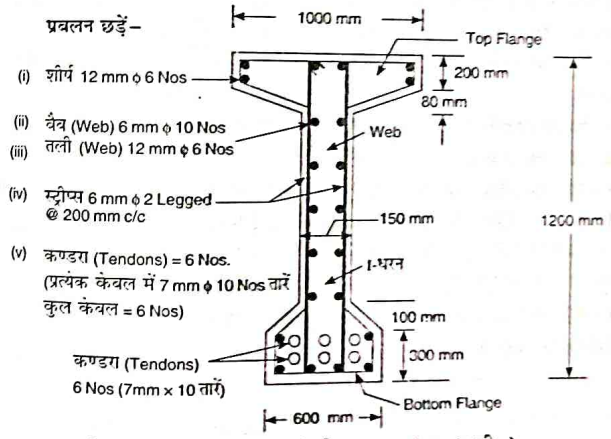
शीर्ष फ्लैंज—चौड़ाई = 1000 mm, मोटाई = 200 mm, टेपर = 80 mm

तली फ्लैंज—चौड़ाई = 600 mm, मोटाई = 300 mm, टेपर = 80 mm

वैब (Web) = 150 mm

इस्पात Fe 415—शीर्ष फ्लैंज = 12 mm ϕ 6 Nos, वैब (Web) = 6 mm ϕ 10 Nos, तली फ्लैंज = 12 mm ϕ 6 Nos, स्ट्रीप्स = 6 mm ϕ, 2 legged @ 200 mm c/c, केबल (कण्डरा) = 6 Nos, प्रत्येक में 7 mm ϕ की 10 तारें, आलम्बों की ओर जाते हुये, प्रवलय आकृति ग्रहण करेंगे। अन्य आँकड़े आप स्वयं मान लें।

हल : I-धरन में प्रवलन इस्पात की व्यवस्था चित्र 14.13 में दिखाई गयी है।



चित्र 14.13—पश्च तनन प्रतिबलित I-धरन (पाट 30 मी०)

(मध्य पाट परिच्छेद)

प्रश्नावली-14

1. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के बारे में आप क्या जानते है? यह प्रबलित कंक्रीट से किस प्रकार भिन्न है, संक्षेप में लिखिये। [B.T.E.]
2. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट की मूल संकल्पना, उदाहरण देकर स्पष्ट करें।
3. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट में सामान्य मृदु इस्पात क्यों नहीं डाला जाता है, उत्तर दे?
4. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के क्या लाभ है? लिखिये तथा पूर्व-प्रतिबलन के समय क्या सावधानियाँ आवश्यक है? वर्णन करें। [B.T.E.]
5. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के गुण-दोष लिखिये। [B.T.E.]
6. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट के मुख्य प्रयोग-क्षेत्र बताइये।
7. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट में कौन-कौन मुख्य पदार्थ डाले जाते है? उनके नाम तथा प्रकार्य लिखिये।
8. कंक्रीट को पूर्व-प्रतिबलित करने के लिये कौन-कौन से उपस्कर काम में लाये जाते है? बताइये। [B.T.E.]
9. निम्नलिखित पर प्रकाश डाले—
   (i) कण्डरा (Tendon) (ii) जकड़े (Anchorages)
   (iii) सीमेंट ग्राउटिंग (Grouting) (iv) वाहिकायें (Ducts)
10. अन्तर स्पष्ट करें—
    (i) रेखीय पूर्व-प्रतिबलन, (ii) वृत्तीय पूर्व-प्रतिबलन।
11. पूर्व-प्रतिबलन की निम्न विधियों पर प्रकाश डाले—
    (i) पूर्व तनन विधि, (ii) पश्च तनन विधि।
12. पूर्व तनन तथा पश्च तनन विधियों की गुण-दोष के आधार पर तुलना कीजिये।
13. पूर्व तनन विधि को एक चित्र की सहायता से स्पष्ट करें।
14. पश्च तनन विधि क्या होती है? यह कहाँ उपयुक्त रहती है? लिखिये।
15. पश्च तनन के अन्तर्गत अपनायी जाने वाली निम्न विधियों में से किसी एक विधि की ससंक्षेप में चर्चा कीजिये—
    (i) फ्रेसीनेट प्रणाली, (ii) मैग्नल-ब्लेटान प्रणाली,
    (iii) लीमेकाल प्रणाली।
16. पश्च तनन की यान्त्रिक विधियों में से किसी एक विधि का वर्णन करें। [B.T.E.]
17. प्रबलित सीमेंट कंक्रीट तथा पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट की गुण-दोष के आधार पर तुलना कीजिये।
18. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट में उच्च सामर्थ्य की कंक्रीट ही क्यों प्रयोग की जाती है? स्पष्ट उत्तर दें।
19. पश्च तनन में कण्डरों की वाहिकाओं की ग्राउटिंग क्यों की जाती है? लिखिये।
20. एक पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट धरन का स्वच्छ अनुप्रस्थ परिच्छेद खींचकर, उसमें प्रतिबलित केबल (कण्डरों) (Tendons) की स्थिति दर्शायें।

परिशिष्ट—

(I) स्ट्रक्चरल अभिकल्प तथा सोफ्टवेयर
(STRUCTURAL DESIGN AND SOFTWARES)

§ 1.1. सिविल इन्जीनियरी सोफ्टवेयर (Civil Engg. Softwares) :

विशाल इन्जीनियरी क्षेत्र में, सिविल इन्जीनियरी एक मूल, प्राचीनतम व मुख्य शाखा का स्थान रखती है, जिसे यान्त्रिक तथा विद्युत इन्जीनियरी ने महत्वपूर्ण सतत सहयोग दिया है। अब सिविल इन्जीनियरी क्षेत्र के विस्तार में इलैक्ट्रानिकी और कम्प्यूटर विज्ञान भी महत्वपूर्ण योगदान दे रहा है। इन्जीनियरी संरचनाओं के अभिकल्पन की पुरानी तथा समयलेवा मैन्युअली पद्धति का स्थान अब कम्प्यूटरों व सोफ्टवेयर ने ले लिया है। कम्प्यूटरों व सोफ्टवेयर ने इन्जीनियरी अभिकल्पनों में लगने वाले मानव-श्रम तथा समय को घटा कर न्यूनतम स्तर पर ला दिया है। जटिल समस्यायें व कठिन गणनायें, जो पहले घण्टों में भी सुलझ नहीं पाती थी, अब कम्प्यूटर द्वारा पलक-झपकते, कुछ ही क्षणों में हल हो जाती है और फिर उपलब्ध उत्तरों/परिणामों में 100% तक शुद्धता प्राप्त होती है।

मैन्युअली पद्धति द्वारा संरचनाओं के विश्लेषण व अभिकल्पन की तुलना में कम्प्यूटर/सोफ्टवेयर द्वारा कार्य अपनाने के निम्न लाभ है—

(i) सोफ्टवेयर गणना-कार्य कुछ क्षणों में कर देते हैं।
(ii) गणनायें तथा उत्तर वाँछित दशमलव तक की शुद्धता तक उपलब्ध होते है।
(iii) जटिल अभिकल्पन जैसे बहुमंजली भवनों का अभिकल्पन शीघ्र हो जाता है।
(iv) एक सोफ्टवेयर का डेटा अन्य में बड़ी सरलता से अन्तरित किया जा सकता है।

बाजार में अनेक प्रकार के सोफ्टवेयर उपलब्ध है। रेखण (Drafting) के लिये AutoCad और सिविल संरचनाओं के विश्लेषण व अभिकल्पन के लिये STAAD.Pro सोफ्टवेयर अपनाये जाते है।

§ 1.2. स्ट्रक्चरल विश्लेषण तथा अभिकल्पन (Structural Analysis and Design – STAAD) :

STAAD III सिविल संरचनाओं के विश्लेषण तथा अभिकल्पन के लिये विश्व में सबसे सुशक्त व लोकप्रिय सोफ्टवेयर है, जिसका उपयोग 1980 से हो रहा है। अब यह STAAD.Pro के रूप में उपलब्ध है, जिसमें STAAD + STARDYNE + FEMkit + Visual Draw भी सम्मिलित है। यह प्रोग्राम कम्प्युटर-आधारित इन्जीनियरी में सबसे आधुनिक तकनीकी को लागू करता है। यह सोफ्टवेयर विश्व के अनेक देशों (अमेरिका, इंग्लैण्ड, केनेडा, आस्ट्रेलिया, फ्रांस, जर्मनी, स्पेन, स्वीडन, चीन, भारत, हालैण्ड, डनमार्क आदि) की भवन संहिताओं (Building Codes) को संजोये रखता है। यह प्रोग्राम ISO 9001 तथा IS : 456-2000 की आवश्यकताओं की पूर्ति भी करता है। यह सोफ्टवेयर विश्व भर में 2 लाख से अधिक स्ट्रक्चरल इन्जीनियरों द्वारा प्रयोग में लाया जा रहा है। यह प्रोग्राम भवनों, पुलों, राजमार्गों, बाँधों, सुरंगों, प्रतिधारक दीवारों और औद्योगिक क्षेत्रों सम्बन्धी सामान्य संरचनात्मक विश्लेषण व अभिकल्पन के लिये अपनाया जा रहा है। यह संरचनाओं के स्थैतिक (Static)/गतिक (Dynamic)/भूकम्पीय (Seismic) विश्लेषण में सहयोगी होता है।

STAAD.Pro मे स्टेट आफ आर्ट अन्तर पृष्ठ (Interface), दृष्टिय टूल, अग्रता परिमित तत्व के साथ, प्रभावकारी विश्लेषण व डिजाइन ईंजन, मोडल जनित गतिक विश्लेषण क्षमता; दृश्यता के लिये विश्लेषण व अभिकल्पन तथा परिणाम-जांच से जुड़े प्रकरण आते हैं। STAAD.Pro अब व्यावसायिकों की प्रथम चयन है।

§ 1.3. शिक्षण-प्रबलित कंक्रीट फ्रेम संरचना (Tutorial–R.C. Framed Structure) (Using STAAD.Pro) :

मुख्य चरण निम्न है—

(i) प्रोग्राम का आरम्भ।
(ii) नयी संरचना को रचना (Creation)।
(iii) अवयव तथा जोड (Joints) चिन्हित करना।
(iv) भाग्क बिन्दु (Node) तथा धरन (Beam) का नामाकंन (Labelling)।
(v) अवयवो के गुण-धर्म तथा सामग्री-स्थिरांक निर्दिष्ट करना।
(vi) बीटा-कोण (Beta Angle) द्वारा अवयवों के अभिन्यास का निर्देशण।
(vii) आलम्बो (Supports) का निर्देशण।
(viii) भारो (Loads) का निर्देशण।
(ix) विश्लेषण की प्रकार का निर्देशण।
(x) अभिकल्प के लिये मानकों व निर्देशों का स्पष्टीकरण।
(xi) विश्लेषण एवं अभिकल्पन करना।
(xii) आउटपुट फाइल (Output File) का उपयोग करके, परिणाम देखना।
(xiii) स्क्रीन पर ग्राफीकली तथा संख्यानुसार परिणाम देखना।
(xiv) जाब की अनुकूलित रिपोर्ट तैयार करना।

(II) छड़-सूचिका (BAR BENDING SCHEDULE)

§ 2.1. प्रबलन (Reinforcement) :

प्रबलित कंक्रीट अवयव का अभिकल्प पूर्ण करने के बाद, इसका उपयुक्त मापनी पर (अथवा हस्त-मुक्त) मान-चित्र (Drawing) बनाना होता है। इस चित्र में अवयव के अभिकल्प के आधार पर उपलब्ध मुख्य मापों के साथ, इसमें डाली जाने वाली इस्पातीय छड़ों (Reinforcement) की स्थिति तथा संख्या (अथवा अन्तराल) दर्शानी होती है। अवयव का अनुदैर्ध्य व अनुप्रस्थ परिच्छेद खींचकर, उसमें प्रबलन छड़ों की शुद्ध स्थिति दर्शायी जाती है। (भारतीय मानक ब्यूरो (BIS) ने प्रबलित कंक्रीट रचनाओं के आरेखनों पर प्रबलन को दर्शानें सम्बन्धी हस्त पुस्तिका SP: 34 प्रकाशित की है)

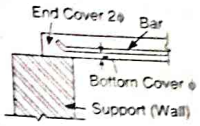
क्योंकि प्रबलन इस्पात के लिये, अब टोर (TOR) छड़ें ही प्रयोग की जाती है (6 mm ϕ को छोड़कर, अन्य सभी व्यास की सादा छड़ों (Plain Bars) का उत्पादन अब लगभग बन्द हो चुका है)। टोर छड़ों के सिरों पर, अभिलाग के लिये, 180° पर हुक नहीं दिये जाते हैं, क्योंकि हुक देते समय, इन छड़ों के फटने की सम्भावना रहती हैं। आवश्यक होने पर, स्थिरण-लम्बाई प्राप्त करने के लिये टोर छड़ों को साधारण 90° तक का एकल बेन्ट (Bent) दिया जा सकता है।

§ 2.2. कंक्रीट आवरण (Concrete Cover) :

इस्पातीय छड़ों का कंक्रीट से अभिलाग बढ़ाने के लिये, तथा इनका वायुमण्डलीय कुप्रभावों के कारण होने वाले संक्षारण को रोकने के लिये, इन पर पर्याप्त आवरण (Concrete Cover) दिया जाता है। प्रबलन छड़ों पर कंक्रीट का शुद्ध आवरण (Net Cover) I.S. कोड के अनुसार निम्न लिया जाता है (अध्याय 5 भी देखें)।

(a) **सिरा आवरण** (End Cover)—25 mm या मुख्य छड़ के व्यास का दो-गुना (2 ϕ), जो भी **अधिक** हो।

(b) **तली आवरण** (Bottom Cover)—
(i) धरन के लिये—25 mm या मुख्य छड़ का व्यास (ϕ), जो भी **अधिक** हो।
(ii) स्लैब के लिये—15 mm या मुख्य छड़ का व्यास (ϕ), जो भी **अधिक** हो।
(iii) पाद नींव के लिये—न्यूनतम 50 mm.



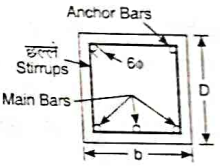
चित्र A-1—कंक्रीट आवरण (Cover)

(c) **स्तम्भ के लिये**—25 से 40 mm अथवा लाम्बिका छड़ का व्यास (ϕ), जो भी **अधिक** हो।

(d) **प्रबलित कंक्रीट दीवार के लिये**—20 mm लिया जा सकता है।

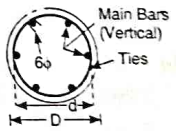
§ 2.3. छल्ले व टाई (Stirrups and Ties) :

(a) **छल्ले**—मुख्य छड़ों को अपनी निर्धारित स्थिति/जगह में बनाये रखने वाले छल्ले दो-टाँग, चार-टाँग अथवा अधिक टाँगों के हो सकते हैं। उदग्र छल्ले प्राय: 6 mm से 12 mm व्यास के होते हैं और इनको मुख्य छड़ों के गिर्द घुमाकर लगाया जाता है। प्रबलन छड़ों को छल्ले से बाँधने के लिये पतली बन्धक तार (Binding Wire) (गेज 20-24) लगायी जाती है। उदग्र छल्लों का अन्तराल 0·75 d अथवा 300 mm (जो भी न्यूनतम हो), से अधिक नहीं होना चाहिये। यहाँ d = धरन की प्रभावी गहरायी है।



चित्र A-2—छल्ले (Stirrups)

(b) **टाई या आड़ा प्रबलन**—स्तम्भ की लम्बिका (खड़ी) छड़ों को बाहर की तरफ बहक जाने (अपनी लम्बाई या ऊपरी भार के कारण) से रोकने के लिये, इसकी ऊँचाई (लम्बाई) की दिशा में, उचित अन्तराल पर टाई (क्षैतिज छल्ले) लगायी जाती है।

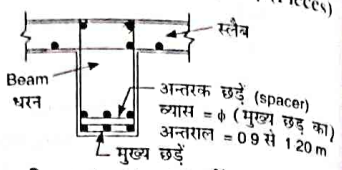


चित्र A-3—टाई (Ties)

टाई का व्यास 8 mm से 16 mm तक अथवा मुख्य लाम्बिका छड़ के व्यास का 1/4, जो भी अधिक हो, लिया जाता है। टाई का पिच, स्तम्भ की न्यूनतम चौड़ाई अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम हो, से अधिक नही होना चाहिये। छल्ले/टाई के सिरों को 135° पर मोड़ कर और मुख्य छड़ के गिर्द घुमाकर, 6 ϕ आगे तक बढ़ाया जाता है। यहाँ ϕ छल्ले/टाई का व्यास है।

§ 2.4. अन्तरक या पृष्ककारी छड़ें (Spacer Bars) :

भारी धरनों में जहाँ मुख्य छड़े एक से अधिक परतों (Vertical Layers) में रखी जाती है, ऊपर-नीचे की दो परतों के मध्य पर्याप्त ऊर्ध्व स्थान (Gap) बनाये रखा जाता है, अन्यथा ऊपरी परत की छड़े नीचे झुककर, निचली पंक्ति की छड़ों में भिड़ जाती है। इसे रोकने के लिये, दो ऊपर-नीचे की परतों के मध्य, इनकी पूरी लम्बाई (धरन की लम्बाई) में 0·90 m से 1·20 m की दूरी पर जो आड़ी छड़े (Pieces) रखी जाती है, उन्हें अन्तरक या पृष्ककारी छड़े (Spacer Bars) कहते है। अन्तरक छड़ का व्यास, मुख्य छड़ के व्यास से कम नहीं होगा। अन्तरक छड़ की लम्बाई धरन की चौड़ाई में कुछ कम (कवर छोड़ते हुये) रखी जाती है। यह छड़े आरेख (Drawings) में न भी स्पष्ट की गयी हो, प्राक्कलन में इनको ध्यान में लेना चाहिये।



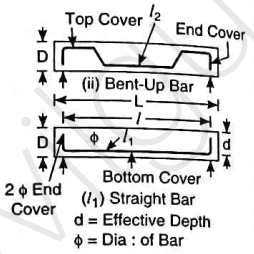
चित्र A-4—अन्तरक छड़ें (Spacers)

§ 2.5. बन्धक तार (Binding Wire) :

छड़ों को जाल के रूप में बाँधने के लिये बन्धक तार प्रयोग की जाती है। सामान्यत: यह 20–24 गेज (1 mm–0·63 mm) की नरम काली तार होती है। प्रति टन प्रबलन छड़ों के लिये, यह तार 2 से 5 kg ली जा सकती है।

§ 2.6. छड़ों की शुद्ध लम्बाई (Net Length) :

प्रबलन छड़ों को कंक्रीट अवयव के परिमाप तथा अभिकल्पन के अनुसार आवश्यक लम्बाई में काटा, मोड़ा व जाल के रूप में बाँधा जाता है। इसके लिये प्रयुक्त छड़ की आवश्यक सीधी लम्बाई की गणना निम्न प्रकार की जाती है—



चित्र A-5—सीधी छड़ की शुद्ध लम्बाई

(a) सीधी छड़ की कुल लम्बाई—(चित्र A-5 के अनुसार)—

$l_1 = L -$ दो सिरा आवरण + दो समकोण बैन्ड
$= L - 2(2\phi) + 2(8\phi) = L - 4\phi + 16\phi$
$\therefore \quad l_1 = L + 12\phi$

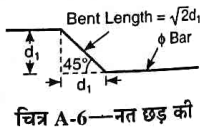
यहाँ ϕ मुख्य छड़ का व्यास है। यदि छड़ के सिरों पर कोई बैण्ड नहीं दिया जाता है, तब $l_1 = L - 4\phi$ लें।

(b) 45° पर नत छड़ की लम्बाई—एकल नत (Bend) के कारण छड़ की अतिरिक्त लम्बाई (अथवा लम्बाई में बढ़ोत्तरी)

$= \sqrt{2}\, d_1 - d_1$ (चित्र A-6)
$= 1{\cdot}414\, d_1 - d_1 = 0{\cdot}414\, d_1$

अथवा (प्राक्कलन के लिये) $= 0{\cdot}45\, d_1$ (Say)

यहाँ d_1 = धरन/स्लैब की ऊपरी व तली के आवरणों को घटाने पर शुद्ध गहरायी।



चित्र A-6—नत छड़ की लम्बाई

जब एक छड़ में दो नत (Bends) डाले जाते हैं। छड़ की लम्बाई में कुल बढ़ोत्तरी
$= 2 \times 0{\cdot}45\, d_1 = 0{\cdot}90\, d_1$

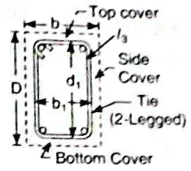
अत: नत छड़ की कुल लम्बाई, $l_2 = l_1 + 0{\cdot}90\, d_1$

अथवा सिरा बैण्ड सहित, $l_2 = L - 4\phi + 0{\cdot}90\, d_1 + 16\phi$ (दो समकोण बैण्ड सहित)
$= L + 0{\cdot}9\, d_1 + 12\phi$

(c) स्वतन्त्र छल्ले (Stirrups) की लम्बाई—

$l_3 = 2(b_1 + d_1) + 2 \times 6\phi$

यहाँ $b_1 = b - 2$ Side Covers
$d_1 = D - 2$ Cover (Top, Bottom)
ϕ = छल्ले (छड़) का व्यास



चित्र A-7—छल्ले की लम्बाई

छल्लों की संख्या (No. of Stirrups)—

$$N = \frac{\text{धरन की कुल लम्बाई} - 2 \times \text{सिरा आवरण}}{\text{छल्लों का अन्तराल}}$$

(d) कुण्डली (Spiral) छल्ले की लम्बाई—जब पिच (Pitch) $\frac{D}{5}$ से अधिक नहीं है।

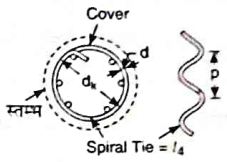
एक पिच-ऊँचाई में कुण्डली की लम्बाई

$$l_4 = \sqrt{(\pi \times d_k)^2 + (p)^2}$$

यहाँ d_k = कोर का बाहरी व्यास (Outside dia: of the Helix)
p = सर्पिल छड़ का पिच

अत: सर्पिल की कुल लम्बाई = $[l_4 \times N] + 12\, d$

यहाँ N = सर्पिल के चक्करों की संख्या
d = सर्पिल छड़ का व्यास

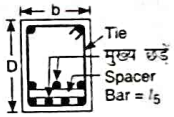


चित्र A-8—कुण्डली (Tie) की लम्बाई

(e) अन्तरक छड़ (Spacer) की लम्बाई—

$l_5 = b - 2 \times$ पार्श्व शुद्ध आवरण

आपसी दूर = 90 m से 1·20 m (धरन की लम्बाई में)



चित्र A-9—अन्तरक छड़

§ 2.7. छड़ अनुसूची (Bar Bending Schedule) :

भवन में अनेक प्रबलित कंक्रीट अवयव होते हैं, जिनके परिमाप भी प्राय: भिन्न-भिन्न होते हैं। इनमें अभिकल्पन के आधार पर, अलग-अलग व्यास की छड़ें, जो लम्बाई में भी एक समान नहीं होती है, प्रयोग करनी होती हैं। छड़ों के इस सारे झमेले को स्पष्ट करने के लिये तथा कार्य-स्थल पर प्रबलन जाल तैयार करने के लिये, छड़ अनुसूची (List of Reinforcement Bars in Tabular Form) तैयार की जाती है।

छड़ अनुसूची में प्रत्येक प्रबलित कंक्रीट अवयव के लिये कुल छड़ों की संख्या, प्रत्येक छड़ की शुद्ध लम्बाई (मोड़ने से पहले), कुल भार (Weight) तथा आकृति (Sketch) दिखायी जाती है। इस

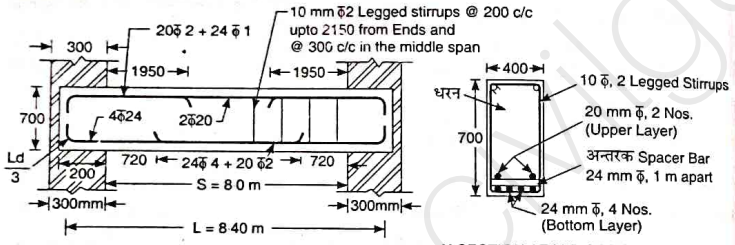
सूची मे किसी भी छड़ का पूर्ण ब्योरा **तुरन्त** मिल जाता है। छड़ अनुसूची के आधार पर प्रबलन जाल तैयार करने वाले लोहार (Bar Bender) का कार्य काफी सरल हो जाता है।

छड़ अनुसूची का प्रतिरूप सारणी A-1 मे दिया गया है—

सारणी A-1—छड़ अनुसूची—प्रबलित कंक्रीट धरन (B_1)

छड़ का नाम या संकेतिक विवरण	व्यास ϕ (mm)	लम्बाई (m)	संख्या (Nos)	कुल लम्बाई (kg)	भार प्रति मी० लम्बाई (kg)	कुल भार (kg)	छड़ का चित्र (Shape of the Bar)
1	2	3	4	5	6	7	8
(i) मुख्य सीधी छड़े	—	—	—	—	—	—	(i)
(ii) मुख्य नत छड़ें	—	—	—	—	—	—	(ii)
(iii) लटकन छड़ें	—	—	—	—	—	—	(iii)
(iv) छल्ले (Stirrups)	—	—	—	—	—	—	(iv)

उदाहरण A-1—चित्र A-10 में दर्शाये गये एक प्रबलित कंक्रीट धरन के लिये छड़-अनुसूची तैयार करें।



L-SECTION OF BEAM — X-SECTION AT MID SPAN

Notes: 1. All Dimensions in mm
2. 24 ϕ4 means 24 mm dia Tor Bars 4 Nos.
3. Top and Bottom covers = 25 mm each,
4. End cover = 50 mm,
5. Side cover = 25 mm
6. Reinforcement = Fe 415 Tor Bars

चित्र A-10—प्रबलित कंक्रीट धरन (पाट 8·0 m)

हल : छड़ों की लम्बाई व संख्या की गणनायें—

(i) तली पर 24 mm ϕ की मुख्य सीधी छड़ें (निचली परत में), धरन की पूरी लम्बाई में—

लम्बाई, l_1 = L – दो सिरा आवरण + दो स्थिरण लम्बाई (Anchorage Length)

= 8·40 – (2 × 0·05) + (2 × 0·20), स्थिरण बैन्ड 200 mm लेने पर

= 8·40 – 0·10 + 0·40 = **8·70 m, संख्या = 4 No.**

(ii) तली पर 20 mm ϕ की मुख्य काट (Cut) छड़ें (ऊपरी परत में)—

लम्बाई, l_2 = 8·40 – (0·20 + 0·72) × 2 = **6·56 m, संख्या = 2 No.**

(iii) शीर्ष (Top) पर 20 mm ϕ की लटकन (Anchor) छड़ें—

लम्बाई, $l_3 = l_1$ के अनुसार = **8·70 m, संख्या = 2 No.**

(iv) सिरों पर, शीर्ष (Top) पर 24 mm ϕ की काट छड़ें (कर्तन छड़ें)—

लम्बाई l_4 = 1·95 + 0·20 + 0·15, (दीवार के भीतर कुल स्थिरण, = 200 + 150 mm = 350 mm)

= 1·95 + 0·35 = **2·30 m, संख्या 1 + 1 = 2 No.**

(v) अन्तरक (Spacer) छड़ें, 24 mm ϕ, 1 m अन्तराल पर (धरन की लम्बाई में)—

लम्बाई, l_5 = 400 – (2 × 25) = 350 mm = **0·35 m** (पार्श्व आवरण = 25 mm)

$$\text{संख्या} = \frac{8{\cdot}0 - (2 \times 0{\cdot}72)}{1{\cdot}0} + 1 = 6{\cdot}56 + 1 = 7{\cdot}56 \text{ Say } \mathbf{8\ No.}$$

(अन्तरक छड़ें दो परतो के मध्य, एक m की दूरी में डाली जायेंगी)

(iv) 10 mm ϕ, 2 टाँगों वाले छल्ले (स्टीरिप्स)—

लम्बाई, l_6 = 2[(400 – 50) + (700 – 0·50)] + (2 × 6 × 10)

∵ Cover = 50 mm, Bend = 6 ϕ

= 2000 + 120 = 2120 mm = **2·12 m**

संख्या—दोनों सिरों पर धरन सिरे से 2150 – 200 = 1950 mm दूरी तक, 200 mm c/c पर—

$$= \frac{2 \times 1950}{200} = 19{\cdot}50 \text{ अथवा } \mathbf{20\ No.}$$

धरन की मध्य लम्बाई में 300 mm c/c = $\left[\frac{8000 - (2 \times 1950)}{300}\right]$ = 13·67 अथवा **14 No.**

कुल छल्ले = 20 + 14 = **34 No.**

(vii) **बन्धक तार**—इसकी (लगभग) मात्रा 5 kg/प्रति कुन्तल प्रबलन छड़े ली जाती है और इसकी लागत जाल व ढूला बन्दी में सम्मिलित मानी जाती है।

छड़-अनुसूची (Bar Bending Schedule) के लिये पृष्ठ 542 देखें।

सारणी A-2–छड़ अनुसूची (Bar Bending Schedule)

प्रबलित कंक्रीट धरन (माप 400 mm × 700 mm) (संख्या-1) (भार 1 cu m = 7850 kg)

छड़ का व्यास व विवरण	लम्बाई (m)	सं० (Nos.)	कुल लम्बाई (m)	भार प्रति मी० लम्बाई (kg)	कुल भार (kg)	चित्र
1	2	3	4	5	6	7
(i) 24 mm ϕ मुख्य छड़ें, तली पर l_1	8·70	4	34·80	3·556	123·75	$l_1 = 0.20 + 8.30 + 0.20$
(ii) 20 mm ϕ काट छड़ें, तली पर, l_2	6·56	2	13·12	2·467	32·37	$l_2 = 6.56$
(iii) 20 mm ϕ सीधी छड़ें, शीर्ष पर, l_3	8·70	2	17·40	2·467	42·93	$l_3 = 0.20 + 8.70 + 0.20$
(iv) 24 mm ϕ काट छड़ें, शीर्ष पर, l_4	2·30	2	4·60	3·556	16·36	$l_4 = 0.20 + 2.10$
(v) 24 mm ϕ अन्तरक (Spacers), l_5	0·35	8	2·80	3·556	9·96	$l_5 = 0.35$
(vi) 10 mm ϕ 2 टाँगों वाले छल्ले, l_6	2·12	34	72·08	0·617	44·47	$l_6 = 0.35 + 0.65$
				योग	269·84	
जोड़ें—5% चढ़ाव व व्यर्थता के लिये					13·49	
				कुल योग	283·33	

Say **284 kg** प्रति धरन (40 cm × 70 cm)

इस्पात का प्रतिशत—

धरन का आयतन = $0{\cdot}4 \times 0{\cdot}7 \times 8{\cdot}4 = 2{\cdot}352\ m^3$

प्रबलन इस्पात का आयतन = $\frac{284}{7850} = 0{\cdot}036\ m^3$

∴ इस्पात का प्रतिशत् = $\frac{0.036}{2.352} \times 100 = \mathbf{1{\cdot}53\%}$

प्रश्नावली

1. एक दोहरा-प्रबलित कंक्रीट धरन सम्बन्धी मुख्य आँकड़े निम्न हैं—
शुद्ध पाट = 4·5 m, अगल-बगल की दीवारों की मोटाई = 300 mm, धरन का माप 300 mm × 450 mm, तनन छड़ें 20 mm ϕ 3 Nos., $\frac{l}{7}$ पर एक छड़ ऊपर को Bent-up, सम्पीडन छड़ें 16 mm ϕ 2 Nos., छल्लें 8 mm ϕ, दो टाँग वाले, 200 mm c/c धरन का हस्तयुक्त चित्र खींच कर, इसके लिये छड़ अनुसूची (Bar Bending Schedule) तैयार कीजिए। अन्य आवश्यक डाँटा स्वयम् मान लें। ***[B.T.E Punjab]***

(**उत्तर :** कुल प्रबलन इस्पात = 70 kg)

2. एक कक्ष का भीतरी माप 3·5 m × 7·5 m है। इस पर 150 mm मोटी एकल-दिशा प्रबलित (One-Way Reinforced) स्लैब डाली गयी है। स्लैब का अगल-बगल की दीवारों पर चढ़ाव (Bearing) 200 mm है। स्लैब में मुख्य छड़ें 12 mm ϕ @ 150 mm c/c (एकान्तर बैन्ट-अप $\frac{l}{10}$ पाट के), वितरण छड़े 8 mm ϕ @ 200 mm c/c डाली गयी हैं। प्रबलन इस्पात की छड़ अनुसूची (Bar Bending Schedule) तैयार कीजिए। ***[B.T.E.]***

(**उत्तर :** प्रबलन इस्पात = 290 kg)

(III) अभिकल्प आँकड़े तथा मुख्य सूत्र
(DESIGN DATA AND FORMULAE)

(1) भार (Weights)—

(i) सादा कंक्रीट	24 kN/m³	(2400 kg/m³)
(ii) प्रबलित कंक्रीट	25 kN/m³	(2500 kg/m³)
(iii) इस्पात	78·5 kN/m³	(7850 kg/m³)
(iv) ईंट चिनाई	19·2 kN/m³	(1920 kg/m³)
(v) मृदा	17·6 kN/m³	(1760 kg/m³)

अन्य मैटीरियल के लिये — अनुच्छेद 5.4
छतो पर चल भार — सारणी 5.1
फर्शों पर चल भार — सारणी 5.2
ऊपरी फर्शों मे चल-भार मे कमी — सारणी 5.2-1

(2) (a) सुरक्षा गुणक (Factor of Safety)—(कार्यकारी प्रतिबल विधि (WSM) के लिये)—
(i) सम्पीड़न कंक्रीट के लिये = 3
(ii) इस्पात के लिये = 1·78

(b) आंशिक सुरक्षा गुणक (Partial Safety Factor)—(सीमांत अवस्था विधि (LSM) के लिये)—
(i) कंक्रीट के लिये, $\gamma_{mc} = 1{\cdot}5$
(ii) इस्पात के लिये, $\gamma_{ms} = 1{\cdot}15$
(iii) भारण (F_d) के लिये, $\gamma_f = 1{\cdot}5$

(3) प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity)—
(i) इस्पात, $E_s = 2 \times 10^5$ N/mm²
(ii) कंक्रीट, $E_c = 5000\sqrt{f_{ck}}$ N/mm²

(4) प्रतिबल (Stresses)—

(a) सीमेन्ट कंक्रीट—

	M-15 (N/mm²)	M-20 (N/mm²)	M-25 (N/mm²)
(i) अभिलक्षणिक सामर्थ्य, f_{ck} —	15	20	25
(ii) अनुज्ञेय प्रतिबल— बंकन, σ_{cb} —	5	7	8·5
सीधे सम्पीड़न, σ_{cc} —	4	5	6
(iii) मापांक अनुपात, $m = \frac{280}{3\sigma_{cb}}$ —	18	13	11
(iv) अपरूपण प्रतिबल, τ_c—			
0·75% इस्पात के लिये —	0·54	0·56	0·57
अधिकतम —	2·5	2·8	3·1

अन्य % इस्पात के लिये सारणी 4.1 देखें।

(v) अभिलाग (Bond) प्रतिबल, τ_{bd} —

	M-15	M-20	M-25
Fe 250 सादा तनन छड़ें —	1·0	1·2	1·4
Fe 415 टोर तनन छड़ें —	1·60	1·92	2·24

(b) प्रबलन इस्पात—

	Fe 250	Fe 415	Fe 500
(i) अभिलक्षणिक सामर्थ्य, f_y —	250 N/mm²	415 N/mm²	500 N/mm²
(ii) अभिकल्प सामर्थ्य, f_d —	217.5 N/mm²	361 N/mm²	435 N/mm²
$\left(f_d = \frac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y\right)$		(छल्लों के लिये = 415 N/mm²)	

(5) प्रबलन छड़ें (Reinforcement)—

(a) व्यास (Dia.)—
(i) मुख्य छड़ें 12 mm ϕ से 50 mm ϕ
(ii) वितरण छड़ें 8 mm ϕ से 20 mm ϕ
(iii) स्टीरिप्स छड़ें 6 mm ϕ से 12 mm ϕ
(iv) बन्धक तार 20-24 गेज (1 mm – 0·63 mm) (काली नरम तार)

(टोर छड़ें 8 mm ϕ से कम उपलब्ध नहीं है)। इस्पातीय छड़ें सामान्यत: 13 मी० की लम्बाई में उपलब्ध है। (1 cu m. steel = 7850 kg)

(b) अन्तराल (Spacing)—
(i) **धरनों के लिये—**
(क) छड़ों में न्यूनतम क्षैतिज दूरी = बड़ी छड़ का व्यास अथवा गिट्टी का माप + 5 mm (जो भी अधिक हो)
(ख) छड़ों में न्यूनतम उदग्र दूरी = छड़ का व्यास अथवा 15 mm (जो भी अधिक हो)
(ग) छड़ों की अधिकतम क्षैतिज दूरी— Fe 250 के लिये = 300 mm
Fe 415 के लिये = 180 mm
Fe 500 के लिये = 150 mm

(ii) **स्लैब के लिये—**
(क) छड़ों की न्यूनतम क्षैतिज दूरी—जो धरनों के लिये है
(ख) छड़ों की अधिकतम क्षैतिज दूरी—
मुख्य छड़ें = 3 d या 300 mm (जो भी न्यूनतम है)
वितरण छड़ें = 5 d या 450 mm (जो भी न्यूनतम है)
यहाँ d खण्ड की प्रभावी गहरायी है।

civilguruji.net

(iii) **स्तम्भों के लिये**—
(क) खड़ी (मुख्य) छड़ों के लिये पार्श्व (Side) दूरी = 300 mm से अधिक नहीं
(ख) टाई छड़ों के लिये अन्तराल निम्न का न्यूनतम से अधिक नहीं होना चाहिये—
स्तम्भ का न्यूनतम पार्श्व माप/खड़ी छड़ का 16ϕ अथवा 300 mm।
छल्ले का व्यास खड़ी छड़ के व्यास का 1/4 से कम नहीं।

(c) **आवरण** (Clear Cover)—
(i) **धरनों के लिये**
(क) सिरा आवरण—25 mm अथवा 2ϕ, जो भी अधिक है। यहाँ ϕ मुख्य छड़ का व्यास है।
(ख) तली आवरण—25 mm अथवा ϕ, जो भी अधिक है।
(ii) **लिन्टल के लिबे**—15 mm
(iii) **स्लैब के लिये**—15 mm अथवा ϕ, जो भी अधिक है
(iv) **स्तम्भ के लिये**—
(क) जब 12 mm ϕ की लाम्बिका छड़ें हैं = 25 mm
(ख) जब 12 mm ϕ से बड़ी छड़ें हैं = 40 mm
(v) **पाद नींव के लिये**—50 mm से 75 mm
M–25 या उच्च ग्रेड की कंक्रीट के लिये उपरोक्त आवरण आधा रख सकते हैं।

(d) **विकास लम्बाई (L_d) तनन में**	—	**Fe 250**	**Fe 415**
कंक्रीट M-15	—	55 ϕ	56 ϕ
कंक्रीट M-20	—	46 ϕ	47 ϕ
कंक्रीट M-25	—	39 ϕ	41 ϕ

यहाँ ϕ = छड़ का व्यास है।

(e) **तनन छड़ों का छिन्नीकरण** (Curtailment)—
(i) तनन छड़ को 12 ϕ अथवा d, जो भी अधिक हो, आगे तक ले जाकर समाप्त करें।
(ii) एक-तिहाई तनन छड़ों को $\frac{L_d}{3}$ की दूरी तक, आलम्बों के भीतर ले जाना जरूरी है।
(iii) एकल पाट के लिये—आलम्बों से $\frac{l}{10}$ की दूरी पर 50% तनन छड़ें कम की जा सकती हैं (अथवा वैन्ट करके ऊपरी क्षेत्र में ले जायी जाती है (–ve आघूर्ण के लिये)।
(iv) सतत पाटों के लिये—सिरा पाट में $\frac{l}{10}$ की दूरी पर 70% तक (आलम्ब से)।
—मध्य पाटों में $\frac{l}{7}$ की दूरी पर 70% तक
(v) प्रास पाट के लिये—आबद्ध सिरे से $\frac{l}{2}$ की दूरी पर 50% तक

(vi) छिन्नीकरण सूत्र— $x = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{N_x}{N_c}}$

यहाँ x = पाट के मध्य से काट की दूरी, जहाँ पर छड़ें कम करनी हैं
N_c = पाट के मध्य में छड़ों की संख्या
N_x = काट पर कम की जाने वाली छड़ों की संख्या
L = धरन का पाट

(f) **छड़ों का चढ़ाव** (Laps in Bars)—
(i) तनन छड़ों की चढ़ाव-लम्बाई, हुक/मोड़ सहित L_d या 30ϕ, जो भी अधिक है।
(ii) सम्पीड़न छड़ों की चढ़ाव-लम्बाई L_d अथवा 24ϕ, जो भी अधिक है।
चढ़ाव की सीधी लम्बाई 200 mm या 15ϕ से कम नहीं होगी। शेष लम्बाई हुक/मोड़ द्वारा प्राप्त की जा सकती है।
(iii) मानक हुक (Standard Hook) = 16ϕ. U-हुक को मानक हुक कहते हैं।

(6) **सीमांत अवस्था विधि** (L.S.M.) **के स्थिरांक** (Design Constants)—

		Fe 250	**Fe 415**
(i) **प्रतिबल**, f_y (N/mm^2)	—	250	415
(ii) **बलशून्य अक्ष**, $x_{u\,max.}$	—	0·53d	0·48d
(iii) **इस्पात प्रतिशत्**, $p_{t\,Lim.}$—			
—M-15 कंक्रीट	—	1·32 %	0·72 %
—M-20 कंक्रीट	—	1·76 %	0·96 %
(iv) **सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक**, R_u—			
—M-15 कंक्रीट	—	2·231	2·074
—M-20 कंक्रीट	—	2·975	2·766
(v) **प्रतिरोध आघूर्ण**, $M_{u\,Lim.}$	—	0·149 bd^2f_{ck}	0·138 bd^2f_{ck}
$M_{u\,Lim.}$	—	R_ubd^2	R_ubd^2

(विभिन्न ग्रेड की कंक्रीट व इस्पात के लिये सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक के मान सारणी 3.6 में देखें)

(vi) **अभिकल्प सामर्थ्य**, $f_d = \frac{f}{\gamma_m}$, γ_{mc} — कंक्रीट के लिये = 1·5
γ_{ms} — इस्पात के लिये = 1·15

(vii) **अभिकल्प भार** (Factored Load), $F_d = F \times \gamma_f$
γ_f का मान 1·5 लिया जाता है (अचल भार + चल भार)
उपरोक्त में f = पदार्थ की अभिलक्षणिक सामर्थ्य, f_{ck} व f_y
F = अभिलक्षणिक भार

civilguru.net

(viii) (a) कंक्रीट की अभिकल्प (Design) सामर्थ्य, $f_{ckd} = \frac{0.67 f_{ck}}{1.5} = 0.446 f_{ck}$

(b) प्रबलन इस्पात की अभिकल्प (Design) सामर्थ्य, $f_{sd} = \frac{f_y}{1.15} = 0.87 f_y$

(ix) **प्रतिबल ब्लॉक** (Stress Block)—

(a) क्षेत्रफल (Area) $= 0.36 f_{ck} x_u$

(b) गहरायी (Depth), $\bar{Y} = 0.42 x_u$

यहाँ x_u = बलशून्य अक्ष की गहरायी (ऊपरी फलक से)

(7) **प्रबलित खण्ड** (Reinforced Sections)—

(i) **बल शून्य अक्ष (ऊपरी फलक से),**

$$x_u = \frac{0.87 f_y A_{st}}{0.36 f_{ck} b}$$ यहाँ b = खण्ड की चौड़ाई

$$x_{u\,max.} = \frac{700d}{1100 + 0.87 f_y}$$

$x_{u\,max.}$ — Fe 250 के लिये $= 0.53d$

Fe 415 के लिये $= 0.48d$

Fe 500 के लिये $= 0.46d$

(ii) **उत्तोलक भुजा** (Lever Arm), $z = d - 0.42 x_u$

अथवा $z = d - \left[\frac{f_y A_{st}}{f_{ck} b}\right]$

(iii) **प्रबलन इस्पात का प्रतिशत्** $p_{t\,Lim.} = \frac{0.414 f_{ck}\, x_{u\,max.}}{f_y d}$

कंक्रीट और प्रबलन इस्पात के विभिन्न ग्रेड के लिये $p_{t\,Lim.}$ के मान सारणी 3.4 में देखें।

(iv) **कुल बल**— (a) कंक्रीट में कुल सम्पीडन बल, $C_u = 0.36 f_{ck} x_u b$

(b) इस्पात में कुल तनन बल, $T_u = 0.87 f_y A_{st}$

(v) **प्रतिरोध आघूर्ण** (Moment of Resistance)—

(a) अल्प प्रबलित खण्ड (Under Reinforced Section)—

$$M_u = 0.87 f_y A_{st} (d - 0.42 x_u)$$

अथवा $M_u = 0.87 f_y A_{st} \left[d - \frac{f_y A_{st}}{f_{ck} b}\right]$

(b) सन्तुलित प्रबलित खण्ड (Balanced Reinforced Section)—

$$M_u = M_{u\,Lim.} = 0.36 f_{ck} \frac{x_{u\,max.}}{d} \left[1 - 0.42 \frac{x_{u\,max.}}{d}\right] b \times d^2$$

अथवा $M_{u\,Lim.} = R_u b d^2$,

यहाँ R_u = सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक। R_u के मान सारणी 3.6 में देखें।

(c) L.S.M. में अतिप्रबलित खण्ड (Over Reinforced Section) स्वीकार्य नहीं हैं।

जांच— $x_u < x_{u\,max.}$ — खण्ड अल्पप्रबलित (Under Reinforced)

$x_u = x_{u\,max.}$ — खण्ड सन्तुलित (Balanced Section)

$x_u > x_{u\,max.}$ — खण्ड अतिप्रबलित (Over Reinforced)

(vi) **तनन इस्पात का क्षेत्रफल,** (A_{st})—

(a) अल्पप्रबलित खण्ड के लिये—

$$M_u = 0.87 f_y A_{st} d \left[1 - \frac{f_y A_{st}}{b \times d f_{ck}}\right]$$ (यह एक द्विघाती समीकरण है)

(b) सन्तुलित खण्ड के लिये—

$$A_{st} = \frac{M_u}{0.87 f_y (d - 0.42 x_{u\,max.})}$$

(vii) **खण्डों में प्रबलन इस्पात की मात्रा** (Reinforcement)—

(a) **न्यूनतम तनन इस्पात,** $A_{st_0} = \frac{0.85 b \times d}{f_y}$

यहाँ f_y = इस्पात की अभिलक्षणिक सामर्थ्य

b = धरन (या वैब) की चौड़ाई)

d = प्रभावी गहरायी,

(b) **अधिकतम तनन इस्पात,** $A_{st\,max.} = 0.04\, bD$

यहाँ D = खण्ड की कुल गहराई

(c) **न्यूनतम अपरूपण प्रबलन** (Shear Reinforcement)—

$$\frac{A_{sv}}{b \times s_v} \geq \frac{0.4}{0.87 f_y}$$ अथवा $s_v = \frac{0.87 f_y A_{sv}}{0.4 b}$

f_y का मान सभी इस्पात के लिये 415 N/mm^2 से अधिक नहीं होगा।

(d) गहरे धरनों (जब गहरायी 750 mm से अधिक है) में फलक या पार्श्व प्रबलन = 0.1% खण्ड-क्षेत्रफल दें

(e) **स्लैब में**—

न्यूनतम इस्पात (प्रत्येक दिशा में)—

(क) मृदु छड़ें = 0.15% खण्ड का सकल क्षेत्रफल

(ख) टोर छड़ें = 0.12% खण्ड का सकल क्षेत्रफल

(f) **स्तम्भों में**—

(क) न्यूनतम इस्पात = 0.8% स्तम्भ का सकल परिच्छेद क्षेत्रफल

civilguru.net

(ख) अधिकतम इस्पात = 6% स्तम्भ का सकल परिच्छेद क्षेत्रफल
(सामान्य 4% तक रखें)

(ग) छड़ों की न्यूनतम संख्या—
वर्गाकार/आयताकार = 4 छड़ें
गोलाकार स्तम्भ = 6 छड़ें

(g) **चौकी** (Pedestal) **में**—न्यूनतम प्रबलन = 0·15% परिच्छेद क्षेत्रफल

(8) अपरूपण (कर्तन) तथा अभिलाग (Shear and Bond Strength)—

(i) अपरूपण बल, $V_u = \frac{W_u}{2}$ अथवा $\frac{wL}{2}$ यहाँ L = शुद्ध पाट

(ii) नामन (Nominal) अपरूपण बल, $\tau_v = \frac{V_u}{b \times d}$

यहाँ V_u = अभिकल्प भारों के कारण अपरूपण बल
b = धरन की चौड़ाई,
d = धरन की प्रभावी गहरायी

(iii) (a) कंक्रीट की अभिकल्प अपरूपण सामर्थ्य, τ_c — सारणी 4.1
(b) स्लैब के लिये 'k' का मान — सारणी 4.2
(c) खण्ड के लिये अधिकतम अपरूपण बल, $\tau_{c\ max.}$ — सारणी 4.3
(d) जब $\tau_v > \tau_{c\ max.}$, खण्ड का माप बढ़ा कर, पुन: जांच करें।

(iv) कंक्रीट-खण्ड की अपरूपण में सामर्थ्य, $V_u = \tau_c\, b \times d$

(v) अपरूपण प्रबलन के लिये शुद्ध अपरूपण बल, $V_{us} = V_u - \tau_c b\, d$

(vi) नत छड़ (45° पर) द्वारा वहन अपरूपण बल (एकल वेब पद्धति),

$$V_u = 0{\cdot}87\, f_y\, A_{sv} \sin 45°$$

नत छड़ें **शुद्ध अपरूपण बल** (कुल अपरुपण बल से खण्ड (कंक्रीट) स्वयम् की अपरुपण-क्षमता घटाने के बाद) का 50% से अधिक नहीं लेंगी। शेष 50% के लिये उदग्र-छल्ले अभिकल्पित करें। नत छड़ें जो विभिन्न बिन्दुओं पर नत की गयी है, उनमें अन्तराल 'd' अथवा 450 mm, जो भी न्यूनतम होगा, रखा जायेगा।

(vii) उदग्र छल्लों द्वारा वहन अपरूपण बल,

$$V_{us} = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{sv}\, d}{s_v}$$

अथवा $$s_v = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{sv}\, d}{V_{us}}$$

उपरोक्त में f_y का मान, किसी भी ग्रेड के इस्पात के लिये 415 N/mm² से अधिक नहीं लिया जायेगा।

(viii) छल्लों का अन्तराल (Spacing) $0{\cdot}75d$ अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से अधिक नहीं होगा।

(ix) न्यूनतम अपरूपण प्रबलन (छल्लों के रूप में) के लिये—

$$s_v = \frac{0{\cdot}87\, f_y\, A_{sv}}{0{\cdot}4\, b} \quad \text{अथवा} \quad A_{sv} = \frac{0{\cdot}4\, b \times s_v}{0{\cdot}87\, f_y}$$

Fe 250 के लिये, f_y = 250 N/mm². Fe 415 व Fe 500 के लिये, f_y = 415 N/mm².

(x) अभिलाग प्रतिबल (Bond Stress), τ_{bd} के मान सारणी 4.4 से देखें।

(xi) विकास-लम्बाई, L_d — तनन छड़ों के लिये, $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4\tau_{bd}}$

— सम्पीड़न छड़ों के लिये, $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{5\tau_{bd}}$

विकास-लम्बाई, L_d के मान सारणी 4.5 में देखें।

(xii) आलम्बों पर विकास-लम्बाई की जाँच—$L_d \le 1{\cdot}3\left(\frac{M_1}{V}\right) + L_0$

यहाँ $L_0 = 12\phi$ अथवा 'd' जो भी अधिक हो।
$M_1 = 0{\cdot}87 f_y A_{st} z_u$

(9) अभिकल्प (धरन) (Design-Beams)—

(i) **प्रभावी पाट** = शुद्ध पाट + आलम्बों के केन्द्र के मध्य क्षैतिज दूरी अथवा
शुद्ध पाट + प्रभावी गहरायी, जो भी न्यूनतम है।

(ii) **बंकन आघूर्ण** (B.M.)—

(a) **शुद्धालम्बित धरनों के लिये**—

(क) समवितरित भार, B.M. = $\frac{wl^2}{8}$

(ख) प्रास पर समवितरित भार, B.M. = $\frac{wl^2}{2}$

(ग) लिन्टल पर त्रिभुजाकार भार, B.M. = $\frac{Wl}{6}$, यहाँ W कुल भार है और w समवितरित (UDL) है।

(b) **सतत धरनों/स्लैब के लिये**—

(क) भीतरी पाटों के लिये, B.M. = $\pm\frac{wl^2}{12}$

(ख) सिरा (End) पाट के लिये, B.M. $= \pm \frac{wl^2}{10}$ (देखें सारणी 5.3, 5.4)

(iii) अपरूपण बल (S.F.)—

(क) भीतरी आलम्बों पर $= 0{\cdot}5\ wl$

(ख) प्रथम या सिरे पर $= 0{\cdot}6\ wl$ (यहाँ w समवितरित भार है)

(iv) विक्षेप (Deflection)—देखें सारणी 5.6

(v) प्रभावी गहरायी, $d = \sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}}$

यहाँ R_u सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक है (इसके मान सारणी 3.6 में देखें)।

कुल गहरायी, $D = d +$ प्रभावी आवरण

अथवा $D = d + \frac{\text{छड़ का व्यास}}{2} +$ शुद्ध आवरण

(vi) प्रास धरन (Cantilever)—

बंकन आघूर्ण (B.M.), $M = \frac{wL^2}{2} + W\bar{x}$

यहाँ w = प्रास पर प्रति मी० लम्बाई में समवितरित भार

W = समलम्बाकार प्रास-खण्ड का (स्वयम का) भार

$\bar{x}$ = प्रास-खण्ड के गुरुत्व केन्द्र (C.G.) की आलम्ब से दूरी

$= \left[\frac{D+2D'}{D+D'}\right] \times \frac{L}{3}$

यहाँ D = आबद्ध सिरे पर प्रास की गहरायी

D' = मुक्त सिरे पर प्रास की गहरायी

L = प्रास की लम्बाई (Overhang)

(10) लिन्टल (Lintels)—

(i) भार तथा डाट-क्रिया: यदि प्रवेश-पाट के ऊपर दीवार की ऊँचाई, पाट-आधार वाली (काल्पनिक) त्रिभुज की ऊँचाई से 1¼ गुना से अधिक है, तभी डाट-क्रिया (Arch-Action) सम्भव है। ऐसी स्थिति में केवल त्रिभुज का चिनाई-भार लिन्टल पर सीधा आता हुआ माना जायेगा अन्यथा लिन्टल के ऊपर कुल ऊँचाई तक दीवार का घनाकृति (Cubical) भार गणना में लें। त्रिभुज का कोण, चिनाई के प्रकार के अनुसार 45° से 60° लिया जाता है।

(ii) अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M_u = \frac{Wl}{6} + \frac{wl^2}{8}$

यहाँ W = चिनाई का भार (त्रिभुजाकार चिनाई-खण्ड)

w = लिन्टल का स्वयम् का भार, प्रति मी० लम्बाई (पाट)

l = लिन्टल का प्रभावी पाट

(11) दोहरे प्रबलित धरन (Doubly Reinforced Beams)—

(i) बल शून्य अक्ष (N.A.), $x_u = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - f_{sc} A_{sc}}{0{\cdot}36 f_{ck} \times b}$

(ii) प्रतिरोध आघूर्ण, $M_{u\,\text{Lim.}} = 0{\cdot}36 f_{ck}\, x_u (d - 0{\cdot}42\, x_u) + f_{sc}\, A_{sc}\, (d - d')$

यहाँ d = प्रभावी गहरायी,

d' = ऊपरी फलक से सम्पीड़न इस्पात की गहरायी

f_{sc} = सम्पीड़न इस्पात में अनुमत प्रतिबल

A_{sc} = सम्पीड़न इस्पात का क्षेत्रफल

(iii) तनन इस्पात, $A_{st} = A_{st_1} + A_{st_2}$

$$A_{st_1} = \frac{M_{u\,\text{Lim.}}}{0{\cdot}87 f_y (d - 0{\cdot}42 x_{u\,\text{Lim.}})}$$

$$A_{st_2} = \frac{M_{u_2}}{0{\cdot}87 f_y (d - d')}$$

(iv) सम्पीड़न इस्पात, $A_{sc} = \frac{M_{u_2}}{f_{sc}(d - d')}$

(v) इस्पात-धरन सिद्धान्त, $A_{sc} = A_{st} = \frac{M_u}{0{\cdot}87 f_y (d - d')}$

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - d')$$
$$= 0{\cdot}87 f_y A_{sc} (d - d')$$

(12) टी-धरन (T-Beams)—

(i) (a) फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, $b_f = \frac{l_0}{6} + b_w + 6D_f$

(b) L-धरन के लिये, $b_f = \frac{l_0}{12} + b_w + 3D_f$

यहाँ l_0 = धरन की शून्य-आघूर्ण वाले बिन्दुओं के मध्य दूरी। सतत धरनों में $l_0 = 0{\cdot}7 \times$ प्रभावी पाट लें।

(ii) बल शून्य अक्ष (N.A.) की स्थिति—N.A. फ्लैंज के भीतर अथवा फ्लैंज के बाहर (रिब में) स्थित हो सकता है।

civilguruji.net

(12-A) Case-1: $x_u < D_f$ — N.A. फ्लैंज में पड़ता है—

(i) $x_u = \dfrac{0{\cdot}87 f_y A_{st}}{0{\cdot}36 f_{ck} b_f}$

(ii) $x_{u\,max.} = \dfrac{700d}{1100 + 0{\cdot}87f}$

(a) $x_u < x_{u\,max.}$ — खण्ड अल्प प्रबलित है।

$$M_u = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42\, x_u)$$

(b) $x_u = x_{u\,max.}$ — खण्ड सन्तुलित है।

$$M_{u\,Lim.} = 0{\cdot}36 f_{ck} b_f x_{u\,max.} (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max.})$$

अथवा $= 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42\, x_{u\,max.})$

(c) $x_u > x_{u\,max.}$ — खण्ड अति प्रबलित है, अत: L.S.M. में मान्य नहीं है।

(12-B) Case-2: $x_u > D_f$ — N.A. वैब में पड़ता है—

(a) $x_{u\,max.} = x_u$ तथा $\dfrac{D_f}{d} \le 0{\cdot}2$ —

$$M_u = 0{\cdot}36 \frac{x_{u\,max.}}{d}\left[1 - \frac{0{\cdot}42 x_{u\,max.}}{d}\right] f_{ck} b_w d^2 + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) D_f \left(d - \frac{D_f}{2}\right)$$

(b) $x_{u\,max.} = x_u$ तथा $\dfrac{D_f}{d} > 0{\cdot}2$ —

$$M_u = 0{\cdot}36 \frac{x_{u\,max.}}{d}\left[1 - \frac{0{\cdot}42 x_{u\,max.}}{d}\right] f_{ck} b_w d^2 + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) Y_f \left(d - \frac{Y_f}{2}\right)$$

यहाँ $Y_f = 0{\cdot}15 x_u + 0{\cdot}65 D_f$, परन्तु D_f से अधिक नहीं

(c) $x_{u\,max.} > x_u$ तथा $\dfrac{D_f}{x_u} < 0{\cdot}43$ —

(i) $x_u = \dfrac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) D_f}{0{\cdot}36 f_{ck} b_w}$

(ii) $M_u = 0{\cdot}36 \dfrac{x_u}{d}\left[1 - \dfrac{0{\cdot}42 x_u}{d}\right] f_{ck} b_w d^2 + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) D_f \left(d - \dfrac{D_f}{2}\right)$

(यह Case 2(a) वाला सूत्र ही है, परन्तु $x_{u\,max.}$ के स्थान पर x_u लिया गया है)

(d) $x_{u\,max.} > x_u$ तथा $\dfrac{D_f}{x_u} > 0{\cdot}43$ —

(i) $x_u = \dfrac{0{\cdot}87 f_y A_{st} - 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) Y_f}{0{\cdot}36 f_{ck} b_w}$

(यहाँ $Y_f = 0{\cdot}15 x_u + 0{\cdot}65 D_f$ परन्तु D_f से अधिक नहीं)

(ii) $M_u = 0{\cdot}36 \dfrac{x_u}{d}\left[1 - 0{\cdot}42 \dfrac{x_u}{d}\right] f_{ck} b_w d^2 + 0{\cdot}45 f_{ck} (b_f - b_w) Y_f \left(d - \dfrac{Y_f}{2}\right)$

(यहाँ Y_f (i) में स्पष्ट किया गया है)। यह Case 2(b) वाला सूत्र ही है, परन्तु $x_{u\,max.}$ के स्थान पर x_u लिया गया है।

(13) प्रबलित कंक्रीट स्लैब (R.C.C. Slabs)—

(13) (i) **एकल-दैशिक स्लैब**—जब इसकी लम्बाई/चौड़ाई का अनुपात **2 से अधिक** होता है; स्लैब एकल-दैशिक (One-way) अभिकल्पित की जाती है।

(ii) एकल-दैशिक स्लैब छोटे पाट के लिये अभिकल्पित की जाती है और लम्बाई की दिशा में 1000 mm चौड़ी पट्टी ली जाती है। प्रारम्भिक गणनाओं के लिये स्लैब की मोटाई 4 cm प्रति मी० पाट (5 kN/m^2 भार तक) तथा 6 cm प्रति मी० (5 kN/m^2 से अधिक भर के लिये) मान ली जाती है।

(iii) **प्रभावी गहराई**, $d = \sqrt{\dfrac{M_d}{R_u \times b}}$,

यहाँ R_u = सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक है। इसके मान सारणी 3.6 से लें।

अथवा $M_u = 0{\cdot}148 f_{ck} b d^2$ — Fe 250 के लिये

$= 0{\cdot}138 f_{ck} b d^2$ — Fe 415 के लिये

$b = 1000$ mm

(iv) **तनन इस्पात**, $A_{st} = \dfrac{M_d}{0{\cdot}87 f_y (d - 0{\cdot}42 x_u)}$

(v) **छड़ों का अन्तराल**, $s = \dfrac{a_t \times 1000}{A_{st}}$, यहाँ a_t एक छड़ का क्षेत्रफल है।

छड़ों का अधिकतम अन्तराल $3d$ अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम हो, लिया जायेगा। तनन की आधी छड़ों को $\dfrac{\text{पाट}}{7}$ (आलम्बों से) पर ऊपर को मोड़ (Bent up) दें, जो आलम्बों पर –ve आघूर्ण (यदि कोई है) को रोधित करेंगी।

civilguru.net

(vi) **वितरण इस्पात** = $\frac{0{\cdot}15}{100}$ × अनुप्रस्थ काट का सकल क्षेत्रफल

टोर छड़ों के लिये 0·12% bD अनुप्रस्थ काट का सकल क्षेत्रफल अर्थात् $\frac{0{\cdot}12 \times bD}{100}$

छड़ों का अन्तराल 5 d अथवा 450 mm, जो भी न्यूनतम हो, लिया जायेगा।

(13) (i) **द्वि-दिशा स्लैब**—जब स्लैब की लम्बाई/चौड़ाई का अनुपात 2 अथवा इससे कम होता है, स्लैब का अभिकल्पन द्विदैशिक (Two-Way) किया जाता है।

(ii) **भार वितरण तथा बंकन आघूर्ण (B.M.)**—

(a) छोटे पाट (B) पर आ रहा भार, $w_B = \left(\frac{L^4}{L^4 + B^4}\right) \times w$

(b) बड़े पाट (L) पर आ रहा भार, $w_L = w - w_B$

यहाँ w स्लैब पर प्रति मी० लम्बाई भार है। द्वि-दैशिक स्लैब के लिये बंकन आघूर्ण (B.M.) के मान सारणी 7.3 से लें।

स्लैब की मोटाई अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये ज्ञात की जायेगी। छोटे तथा बड़े पाट के लिये अलग-अलग प्रबलन इस्पात ज्ञात किया जायेगा।

(iii) **कर्तन बल :**

(a) छोटे पाट के लिये कर्तन बल = 1/3 wB

(b) बड़े पाट के लिये कर्तन बल = $\left[\frac{L/B}{2 + L/B}\right] \times w \times B$

(14) **प्रबलित ईंट रचनायें (R.B. Structures)**—

(i) ईंट स्लैब की मोटाई 5 cm के गुणांक में रखी जायेगी। (अभिकल्प W.S.M से करें क्योंकि I.S. 456-2000 इसके लिये कोई संस्तुति नहीं देता है)।

(ii) अनुज्ञेय प्रतिबल स्थिरांक—

(a) Fe 250 के लिये, $\sigma_{st} = 140\ \text{N/mm}^2$, $\sigma_b = 2{\cdot}5\ \text{N/mm}^2$, $m = 40$
बल शून्य रेखा, $x = 0{\cdot}42\ d$, उत्तोलक भुजा, $z = 0{\cdot}86\ d$
प्रतिरोध आघूर्ण, $M_r = 0{\cdot}45\ bd^2$

(b) Fe 415 के लिये, $\sigma_{st} = 230\ \text{N/mm}^2$, $x = 0{\cdot}30\ d$, $z = 0{\cdot}90\ d$
प्रतिरोध आघूर्ण, $M_r = 0{\cdot}34\ bd^2$

(c) अनुज्ञेय कर्तन बल, $\tau_c = 0{\cdot}1\ \text{N/mm}^2$। स्थानीय अभिलाग, $\tau_{bd} = 1\ \text{N/mm}^2$
प्रबलित ईंट चिनाई का भार = 2000 kg/cum

(15) **स्तम्भ (Columns) एवं स्तम्भ-नींव (Footings)**—

(i) जब किसी ऊर्ध्व अवयव (स्तम्भ) की तनुता अनुपात अर्थात् प्रभावी लम्बाई/न्यूनतम पार्श्व माप 12 से कम होता है, तो यह **लघु स्तम्भ** (Short Column) कहलाता है। जब तनुता 12 या 12 से अधिक होती है, तो यह **दीर्घ स्तम्भ** (Long Column) माना जाता है। जब यह मान 3 या 3 से कम होता है, इसे **चौकी** (Padestal) कहा जाता है।

(ii) अक्षीय भारित (Axially Loaded) स्तम्भ तभी माना जाता है, जब इसकी न्यूनतम उत्केन्द्रता, $e_{\min.} \not> 0{\cdot}05D$ है। यदि न्यूनतम उत्केन्द्रता $0{\cdot}05D$ से अधिक है, तब स्तम्भ अक्षीय भार व बंकन (Bending), दोनों के लिये अभिकल्पित करना होगा।

(iii) अक्षीय भारित लघु स्तम्भ की भार वहन क्षमता—$P_u = 0{\cdot}4\ f_{ck}\ A_c + 0{\cdot}67\ f_y\ A_{sc}$

तथा $A_g = A_c + A_{sc}$ और $A_c = A_g - A_{sc}$

यहाँ A_g = स्तम्भ का सकल (Gross) क्षेत्रफल

A_c = कंक्रीट का शुद्ध क्षेत्रफल

A_{sc} = सम्पीडन प्रबलन (खड़ी छड़ों) का क्षेत्रफल

नोट: उपरोक्त सूत्र तभी लागू होगा, जब $e_{\min.} \not> 0{\cdot}05D$ है।

(iv) **कुण्डलीदार टाई वाले लघु स्तम्भ** की भार वहन क्षमता—

$$P_u = 1{\cdot}05\ (0{\cdot}4\ f_{ck}\ A_c + 0{\cdot}67\ f_y\ A_{sc})$$

इस सूत्र में गुणक तभी लगाया जाता है, जब स्तम्भ-खण्ड अनुच्छेद 8.9 की शर्त पूर्ण करता है।

(v) दीर्घ स्तम्भ के लिये लघुकरण गुणांक, $C_r = \left[1{\cdot}25 - \frac{l_{ef}}{48b}\right]$

यह मान सर्वदा 1 से कम होगा।

(vi) **प्रभावी लम्बाई (l_{ef})**—

(a) जब दोनों सिरे दिशा तथा स्थिति से आबद्ध हैं, $l_{ef} = 0{\cdot}65\ L$

(b) जब एक सिरा आबद्ध तथा दूसरा सिरा कीलदार है $l_{ef} = 0{\cdot}80\ L$

(c) दोनों सिरे कीलदार हैं, $l_{ef} = L$

(d) एक सिरा पूर्णत: आबद्ध परन्तु दूसरा पूर्णत: मुक्त है, $l_{ef} = 2\ L$

(vii) **प्रबलन**—

(a) लम्बिका छड़ों का क्षेत्रफल, स्तम्भ परिच्छेद के क्षेत्रफल का 0·8% से 6% लिया जाता है, परन्तु यह क्षेत्रफल 4% तक व्यवहारिक है।

(b) छड़ों की न्यूनतम संख्या— वर्गाकार/आयताकार स्तम्भ के लिये = 4
वृत्ताकार स्तम्भ के लिये = 6

(c) छड़ों का व्यास 12 mm से 50 mm तक रखा जा सकता है। लाम्बिका छड़ों की आपसी (अगल-बगल) दूरी 300 mm से अधिक नहीं।

(d) अनुप्रस्थ प्रबलन या टाई का व्यास 8 mm से 16 mm अथवा लाम्बिका छड़ों का एक-चौथाई, जो भी अधिक हो, लिया जाता है। टाई का पिच निम्न का न्यूनतम मान लिया जायेगा—

(क) स्तम्भ की न्यूनतम चौड़ाई

(ख) $16 \times \phi$, यहाँ ϕ लाम्बिका छड़ का व्यास है

(ग) 300 mm

civilguru.net

(e) कुण्डलीदार टाई का अधिकतम पिच 7·5 cm अथवा $\frac{\text{कोर}}{6}$ लिया जाता है। न्यूनतम पिच 25 mm अथवा सर्पिल छड़ का व्यास होगा।

(15-A) स्तम्भ नींव—

(i) नींव की भूमितल से न्यूनतम गहराई, $D = \frac{p}{\gamma}\left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]^2$

यहाँ p मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता तथा γ मृदा का घनत्व है।

(ii) क्रान्तिक काट—

(a) अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये क्रान्तिक काट स्तम्भ के फलक पर लिया जायेगा।

(b) एक तरफा कर्तन के लिये, क्रान्तिक काट फलक से d दूरी पर लिया जायेगा।

(c) दो-तरफा कर्तन (धँसन) के लिये, क्रान्तिक काट फलक से $d/2$ दूरी पर चारों ओर (परिधि पर) लिया जायेगा।

(16) प्रास प्रतिधारक दीवारें (Retaining Walls)—

(i) प्रतिधारक दीवार के खण्ड-माप के लिये हस्त गुर—

(a) **स्टम या उदग्र स्लैब—**

(क) शीर्ष चौड़ाई = 15 से 30 cm

(ख) तली पर चौड़ाई = शीर्ष पर चौड़ाई + $(4 \times h)$

यहाँ h = आधार स्लैब के ऊपर मृदा-भराव की गहराई

(b) **आधार स्लैब—**

(क) चौड़ाई, $B = 0{\cdot}4$ से $0{\cdot}6\,H$

(ख) मोटाई, $= \frac{H}{10} - \frac{H}{15}$ या न्यूनतम 30 cm

यहाँ H = दीवार की पाद सहित कुल ऊँचाई है।

(ग) पदाग्र $= \frac{B}{4}$ से $\frac{B}{3}$ तक

(ii) समलम्बाकार दीवार की भीतरी फलक से गुरुत्व-केन्द्र (C.G.) की दूरी—

$$\bar{x} = \frac{a^2+ab+b^2}{3(a+b)}$$

(iii) परिणामी (Resultant) आधार की मध्य-तिहायी (Middle Third) से पारित होना चाहिये।

(iv) मृदा का पार्श्व दाब, $P = \frac{wh^2}{2}\left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]$

(v) नींव की गहरायी, $D = \frac{p}{\gamma}\left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]^2$

यहाँ γ = मृदा का घनत्व

p = मृदा की भार-धारण क्षमता

ϕ = विश्राम कोण (Angle of Repose)

(vi) दीवार की स्थिरता के लिये—

(a) पलटने (Over Turning) में स्थिरता— $\frac{W(b-\bar{x})}{P \times \frac{H}{3}} \geq 1{\cdot}55$

(b) सरकने (Sliding) में स्थिरता— $\frac{\mu W}{P} \geq 1{\cdot}40$

(vii) प्रास प्रकार की प्रतिधारक दीवार में तनन इस्पात की स्थिति निम्न रहेगी। यह सभी घटक प्रास-स्लैब की भाँति शुद्ध बंकन आघूर्ण के लिये अभिकल्पित किये जायेंगे—

(a) **स्तम्भ**—भीतरी फलक पर, (b) **पदाग्र**—तली पर

(c) **पाद**—ऊपरी भाग में।

(viii) वितरण इस्पात—यह परिच्छेद के सकल क्षेत्रफल का 0·20% डाला जाता है।

(IV) गोल छड़ों का विवरण (ROUND BARS)

(1 cum Steel = 7850 kg)

छड़ का व्यास (mm)	क्षेत्रफल (mm^2)	परिधि (mm)	प्रति मी० लम्बाई में भार (kg)	प्रति टन (1000 kg) में लम्बाई (मी०)
5	20	15·7	0·154	6494
6	28	18·9	0·222	4505
8	50	25·1	0·395	2332
10	79	31·4	0·617	1621
12	113	37·7	0·888	1125
14	154	44·0	1·206	829
16	201	50·3	1·578	633
18	255	56·5	1·997	500
20	314	62·8	2·467	405
22	380	69.1	2·985	336
24	453	75·4	3·556	281
25	491	78·5	3·855	260
28	616	88·0	4·836	207
32	805	100·5	6·316	159
36	1018	113·1	7·994	125
40	1257	125·7	9·869	101
50	1964	157·1	15·410	65

civilguru.net

टिप्पणी—

(i) छूट (Tolerance)—25 mm ϕ तक की छड़ ± 0·5 mm, 25 ϕ से 35 ϕ तक की छड़ ± 0·6 mm तथा उससे ऊपर ± 0·8 mm की छूट मान्य है।

(ii) Bold अक्षरों वाली छड़े सामान्यत: बाजार मे उपलब्ध रहती है।

(iii) प्रबलन छड़ो की अधिकतम उपलब्ध लम्बाई 13 मी० है।

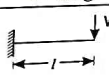
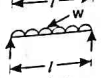
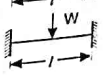
(iv) गोल छड़ो का व्यास, इसका नामन व्यास (Nominal dia.) होगा। टोर छड़ों के लिये समतुल्य प्रभावी क्षेत्रफल वाले वृत्त का व्यास लिया जायेगा।

(v) विकास लम्बाई (Development Length) उपलब्ध होने पर, टोर छड़ो के सिरों पर हुक (Hook) नही दिये जाते है। तनन मे सादा छड़ो (Plain Mild Bars) पर हुक दे सकते है।

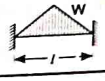
गोल छड़ों के समूह का काट-क्षेत्रफल (mm^2 में) (Cross-Sectional Area)

छड़ों की संख्या	छड़ का व्यास (mm में)										
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25
1	28	50	79	113	154	201	254	314	380	452	491
2	56	100	157	226	308	402	509	628	760	905	982
3	84	151	236	339	462	603	763	942	1140	1357	1473
4	113	201	314	452	616	804	1018	1257	1521	1810	1963
5	141	251	393	565	770	1005	1270	1571	1901	2262	2524
6	169	301	471	678	924	1206	1526	1884	2281	2714	2945
8	226	402	628	905	1232	1608	2036	2514	3041	3619	3927
10	282	503	785	1131	1539	2011	2545	3142	3801	4524	4909

(V) अपरुपण (कर्तन), बंकन व विक्षेप गुणांक (SHEAR, BENDING AND DEFLECTION)

Max: S.F.	Max: B.M.	Max: Deflection	Loading
(i) W	Wl	$\frac{Wl^3}{3EI}$	
(ii) wl	$\frac{wl^2}{2}$	$\frac{Wl^3}{8EI}$	
(iii) $\frac{W}{2}$	$\frac{Wl}{4}$	$\frac{Wl^3}{48EI}$	
(iv) $\frac{wl}{2}$	$\frac{wl^2}{8}$	$\frac{5Wl^3}{384EI}$	
(v) $\frac{W}{2}$	$\frac{Wl}{8}$	$\frac{Wl^3}{192EI}$	

शेष अगले पृष्ठ पर →

(vi) $\frac{wl}{2}$	$\frac{wl^2}{12}$	$\frac{WL^3}{384EI}$	
(vii) $\frac{W}{2}$	$\frac{Wl}{6}$	$\frac{Wl^3}{60EI}$	
(viii) $\frac{W}{2}$	$\frac{5Wl}{48}$	$\frac{1{\cdot}4Wl^3}{384EI}$	

जहाँ w = धरन की प्रति मीटर लम्बाई में भार

W = धरन की सम्पूर्ण लम्बाई में कुल भार, l = प्रभावी पाट (span)

(VI) विविध (MISCELLANEOUS)

(I) क्षेत्रफल (Areas)

(a) त्रिभुज (Triangle)—

(i) समकोण $= \frac{1}{2} \times$ आधार $\times$ शीर्ष लम्ब

(ii) समबाहु $= 0{\cdot}433 \times (\text{भुजा})^2$

(iii) अन्य $= \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$

जहाँ $s = \frac{a+b+c}{2}$, a, b, c त्रिभुज की भुजायें हैं।

(b) वृत्त (Circle)—

(i) परिधि $= \pi D = 2\pi R$

(ii) क्षेत्रफल $= \frac{\pi D^2}{4} = \pi R^2 = 0{\cdot}7854\, D^2$

यहाँ D = व्यास, R = त्रिज्या, $\pi = 3{\cdot}1416$

(c) परवलय (Parabola)—क्षेत्रफल = आधार $\times \left(\frac{2}{3} \text{ ऊँचाई}\right)$

(d) गोला (Sphere)— क्षेत्रफल $= \pi D^2$

आयतन $= \frac{4}{3}\pi R^3$

यहाँ D = गोले का व्यास

R = गोले की त्रिज्या

(2) द्विघातीय समीकरण (Quadratic Equation)

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$\therefore \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

(3) बेल्लित इस्पातीय खण्ड (Rolled Steel Sections)–

परिभ्रमण त्रिज्या (Radius of Gyration) = $\sqrt{\frac{I}{d}}$ cm

यहाँ I = जड़त्व-आघूर्ण (Moment of Inertia) = ar^2

a = क्षेत्रफल

(i) धरन (Steel Beams)— ISJB — Indian Standard Junior Beam
ISLB — Indian Standard Light Weight Beam
ISMB — Indian Standard Medium Weight Beam
ISWB — Indian Standard Wide Flange Beam
ISHB — Indian Standard Columhn Section — H Beams

(ii) एंगल (Sted Angles) — सम (Equal)/असम (Un-Equal) एंगल (ISA)

(iii) चैनल (Steel Channel)— ISJC — Indian Standard Junior Channel
ISLC — Indian Standard Light Channel
ISMC — Indian Standard Medium Weight Channel

(iv) टी (Steel Tee Bars) — ISLT, ISJT, ISST, ISHT
L = Light, J = Junior, S = Standard, H = Heavy

(v) तार की गैज (Wire Gange) — 10 गैज (3·25 mm), 16 गैज (1·63 mm)
20 गैज (0·92 mm), 30 गैज (0·32 mm)
40 गैज (0·122 mm), 50 गैज (0·0025 mm)

(4) यूनानी वर्णमाला (Greek Alphabet)—

Alpha	α	Mu	μ
Beta	β	Omega	ω
Delta	δ, Δ	Pi	π
Epsilon	ε	Phi	φ
Eta	η	Sigma	σ, Σ
Gamma	γ	Tau	τ
Kappa	κ	Theta	θ
Lambda	λ		

(5) रोमन संख्या (Number)

1	I	7	VII	40	XL
2	II	8	VIII	50	L
3	III	9	IX	100	C
4	IV	10	X	500	D
5	V	15	XV	1000	M
6	VI	20	XX		

(6) इकाईयों के लेटिन/ग्रीक उपसर्ग (Latin/Greek Exponents)—

pico	p	10^{-12}	centi	c	10^{-2}	mega	M	10^{6}
nano	n	10^{-9}	deci	d	10^{-1}	kilo	k	10^{3}
micro	μ	10^{-6}	tera	T	10^{12}	hecto	h	10^{2}
milli	m	10^{-3}	giga	G	10^{9}	deka	da	10^{1}

(7) मुख्य रूपान्तरण (Important Conversion)—

1″ = 25.4 mm
1′ = 30·48 cm
1 गज = 0·9144 m (36″)
1 मील = 1·609 किमी० (1760 गज)
1 cm = 0·394″
1 m = 1·0936 गज (3·2808 फुट)
1 किमी० = 0·621 मील

1 किग्रा० = 2·2046 पाउंड (lb)
1 पाउंड = 454 ग्राम
1 टन = 1016 किग्रा०
1 गैलन = 4·546 ली०
1 लीटर = 0·22 गैलन = 1.08 सैर

1 वर्ग फुट = 0·0929 m^2
1 घन फुट = 0·0283 m^3
1 एकड़ = 4046 m^2 (4840 वर्ग गज)

बल (Force) की इकाई = N व kN
प्रतिबल (Stress) की इकाई = N/mm^2
बंकन आघूर्ण (B.M = N.mm

1 kg/sq cm = 14·223 lbs/sq inch.
अथवा 0·1 N/mm^2
1 kg (f) = 10 N (Newton)
10 kg/cm^2 = 1 N/mm^2
1 T.m = 1×10^7 N.mm
1 kg.cm = 100 N.mm
100 kg/m = 1 kN/m

$\pi = 3{\cdot}1428$
$\frac{1}{\pi} = 0{\cdot}3183$, $\sqrt{\pi} = 1.7724$
$\sqrt{2} = 1{\cdot}4142$
$\sqrt{3} = 1{\cdot}7320$

1 tonne = 10^4 N
1 kg.m = 1×10^4 N.mm
1 Pa (Pascal) = 1 N/m^2
1 MPa (Mega Pascal) = 1 N/mm^2 = 0·102 kg/mm^2

360° = 2 π radians
sin 45° = 0·7071, cos 45° = 0.7071,
tan 45° = 1·000
sin 60° = 0·8660, cos 60° = 0·5000,
tan 60° = 1.732
sin 90° = 1·000, cos 90° = 0.000,
tan 90° = ∞

Note: MKS (Metre-Kilogram-Second) System is used in Engineering
CGS (Centimetre-Gram-Second) System is used Scaintific circles

civildurnet

प्रबलित कंक्रीट रचनायें (R.C.C. Constructions)

स्मरणीय सार-संग्रह

(I) कंक्रीट व प्रबलित कंक्रीट (Concrete and R.C. Concrete)

1. लगभग 65% चूना पत्थर और 35% मृत्तिका (Clay) के मिश्रण को घूर्णी भट्टी में, (लगभग) 1450°C पर पका कर और पकने पर उपलब्ध ग्रन्थियों (Clinkers) को महीन पीस कर, सीमेन्ट बनया जाता है। क्लिंकर को पीसते समय, इसमें 2 से 3% जिप्सम (मंदक) मिलाया जाता है।
2. सामान्य सीमेन्ट को पोर्टलैण्ड सीमेन्ट इसलिये कहते हैं, क्योंकि इसका रंग पोर्टलैण्ड (England) की खदानों से निकाले जाने वाले पत्थरों से मिलता-जुलता है।
3. साधारण पोर्टलैण्ड सीमेन्ट (O.P.C.) का रंग हरा-धुसर (Grey) होता है।
4. सीमेन्ट के एक कट्टे (Bag) का भार 50 kg (34.5 लीटर) लिया जाता है। सीमेन्ट का भार 1440 kg/m^3 और इस्पात का भार 7850 kg/m^3 लिया जाता है।
5. सादा कंक्रीट का भार 24000 N/m^3 और प्रबलित कंक्रीट का भार 25000 N/m^3 लिया जाता है।
6. सीमेन्ट और कंक्रीट के ग्रेड इनकी सम्पीडन सामर्थ्य के आधार पर रखे गये हैं।
7. सीमेन्ट के बहुचर्चित ग्रेड 33, 43 व 53 हैं। 43 ग्रेड O.P.C. सीमेन्ट की न्यूनतम सम्पीड़न सामर्थ्य 43 N/mm^2 ली जाती हैं। सीमेन्ट की सामर्थ्य सीमेन्ट : बालू (1 : 3) के 50 cm^2 फलक-क्षेत्रफल के घन की 28 दिन की तराई पर, इसे भन्जित करके, ज्ञात की जाती है।
8. कंक्रीट एक कृत्रिम निर्माण पदार्थ है। यह सीमेन्ट, बालू व गिट्टी तथा जल मिला कर तैयार की जाती है।
9. कंक्रीट/प्रबलित कंक्रीट सामर्थ्य ग्रहण करने में (3 दिन से 28 दिन का) समय लेती है। प्रकाष्ठ/इस्पात रचनाओं की भान्ति, यह तुरन्त भार-वहन नहीं कर पाती है।
10. R.M.C. (Ready Mix Concrete) फैक्टरी में तैयार की जाती है और सैट होने से पूर्व ही, वाहन द्वारा मौके (Site) पर पहुंचायी जाती है।
11. कंक्रीट की अभिलक्षणिक सामर्थ्य (Characteristic Strength), इसका 150 mm फलक वाला घन (Cube) बनाकर, उसकी 28 दिन की जल-तराई के बाद, सम्पीड़न-जाँच मशीन में प्रतिदर्श को भन्जित करके निर्धारित की जाती है।
12. कंक्रीट तनन में बहुत कमजोर होती है (यह सम्पीडन का 1/10 ही होती है)।
13. कंक्रीट का श्रेणीकरण, इसकी सम्पीड़न सामर्थ्य के आधार पर किया जाता है। इसे 'M' अक्षर से निर्देशित किया जाता है, जैसे M-15, M-20 'M' अक्षर मिक्स (Mix) के लिये प्रयोग होता है। इसके आगे लिखा अंक इसकी 28 दिन की तराई पर ज्ञात अभिलक्षणिक सामर्थ्य दर्शाता है।
14. प्रबलित कंक्रीट निर्माण-कार्य में M-20 से कम ग्रेड की कंक्रीट सामान्यत: प्रयोग नहीं की जाती है। पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट (Pre-stressed Concrete) के लिये M-30 अथवा इससे उच्च ग्रेड की कंक्रीट प्रयोग की जाती है।

15. आर०सी०सी० धरनों/स्लैबों में सभी तनन प्रतिबल इस्पात वहन करता है। इस्पात तनन, सम्पीड़न, कर्तन व ऐंठन (Torsion) में काफी सामर्थ्य रखता है। यह Fe 250, Fe 415 व Fe 500 के ग्रेड में, छड़ों के रूप में उपलब्ध है। उच्च तापमान पर इस्पात की सामर्थ्य में कमी आती है।
16. कंक्रीट का प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity), $E_c = 5000\sqrt{f_{ck}}$ N/mm^2 और इस्पात का प्रत्यास्थता मापांक = 2×10^5 N/mm^2 लिया जाता है।
17. उच्च पराभव सामर्थ्य विरुपित छड़ों (High Yield Strength Deformed Bars (HYSD) को टोर छड़ें (Tor or Twisted Bars) कहते हैं। इनमें पराभव प्रतिबल (Yield Stress) सादा छड़ों से लगभग 50% अधिक होते हैं। यह छड़ ϕ प्रतीक-चिन्ह द्वारा प्रदर्शित की जाती हैं। टोर छड़ें Fe 415 व Fe 500 में उपलब्ध हैं।
18. TMT (Thermo-Mechanically Treated) छड़ों में तन्यता (Ductility) उत्तम होती है।
19. खण्ड के तनन क्षेत्र में डाला गया प्रबलन इस्पात, मुख्य इस्पात (Main Steel) अथवा अनुदैर्ध्य इस्पात (Longitudinal Steel) कहलाता है।
20. प्रबलित कंक्रीट की रचना, इस्पात की रचना से समान भार/पाट के लिये अधिक भारी होती है।
21. बल-शून्य अक्ष (Neutral Axis) पर सभी प्रतिबल (तनन/सम्पीड़न) शून्य (Zero) माने जाते हैं। भारित धरन में इस अक्ष के ऊपर सम्पीड़न और इससे नीचे तनन प्रतिबल उपजते हैं।
22. परिणामी सम्पीड़न बल (C) और परिणामी तनन बल (T) के कार्यरत क्षेत्रों के मध्य न्यूनतम-दूरी, उत्तोलक भुजा (Lever Arm) (z) कहलाती है।
23. बाहरी भार को रोधित करने के लिये, धरन-खण्ड द्वारा प्रस्तावित (offered) प्रतिरोध को प्रतिरोध आघूर्ण (Moment of Resistance-M_r) कहते हैं। R_u सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक, एक डिज़ाइन-अंक (Design Constant) है। यह अंक धरन-खण्ड के मापों पर निर्भर नहीं है।
24. प्रबलित कंक्रीट खण्ड में डाले गये इस्पात के क्षेत्रफल का प्रतिशत् (खण्ड-क्षेत्रफल के सदंर्भ में), इस्पात का प्रतिशत् कहलाता है, अर्थात् $p_t = \dfrac{A_{st} \times 100}{b \times d}$ यहाँ b = खण्ड की चौड़ाई और d = प्रभावी गहरायी है।
25. प्रबलित कंक्रीट खण्ड, इसमें डाले गये तनन इस्पात के आधार पर—
    (i) अल्प प्रबलित (Under-Reinforced)
    (ii) सन्तुलित (Balanced)
    (iii) अति प्रबलित (Over-Reinforced) हो सकते हैं।

    अल्प प्रबलित खण्ड तनन में और अति प्रबलित खण्ड सम्पीड़न में विफल होते हैं। अल्प खण्ड में $n < n_c$, सन्तुलित में $n = n_c$ और अति में $n > n_c$ होते हैं। यहाँ n = वास्तविक बल शून्य अक्ष तथा n_c = क्रान्तिक बल शून्य अक्ष। L.S.M. में इसे $x_{u\,max.}$ से प्रदर्शित किया गया है।
26. इस्पात अपनी तन्यता (Ductility) के कारण, विफलता से पूर्व चेतावनी देता है, जबकि कंक्रीट भंगुर (Brittle) होती है और अकस्मात् संदलित होकर, विफल होती है। **अत: इन्जीनियर अल्प-प्रबलित खण्ड को वरीयता देते हैं।**

27. बाहरी प्रतिबल उपजे बगैर, कंक्रीट अवयव के आयतन में होने वाली विकृति, **सकुंचन** (Shrinkage) कहलाती है। निरन्तर बाहरी प्रतिबल उपजने के कारण, कंक्रीट अवयव में कालान्तर मे होने वाली विकृति, **मन्द विरूपण** (Creep) कहलाती है।
28. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट खण्ड मे, इसके तनन-क्षेत्र मे टेन्डन (Tendon) तारों द्वारा विपरीत प्रकृति के प्रतिबल उत्पन्न कर दिये जाते हैं। टेन्डन की प्रतिक्रिया से कंक्रीट-खण्ड मे तनन प्रतिबल पूर्णत: रोधित हो जाते हैं।
29. पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट अवयव में, सामान्य प्रबलित कंक्रीट अवयव की तुलना में 1/3 कंक्रीट और 1/4 प्रबलन इस्पात कम लगता है।
30. लम्बे रेल-सड़क पुलों, उत्थापित मैट्रो-ट्रैक, टंकियों, हैगंरो, संचरण खम्भों, रेल-पथ स्लीपरों आदि के लिये पूर्व-प्रतिबलित कंक्रीट उत्तम रहती है।

(II) अभिकल्प विधियाँ (Design Methods)

(a) कार्यकारी प्रतिबल विधि या प्रत्यास्थ सिद्धान्त विधि (Working Stress Method or Elastic Theory Method)—प्रबलित कंक्रीट रचनाओं की कार्यकारी प्रतिबल विधि प्रत्यास्थ सिद्धान्त पर आधारित है। इस सिद्धान्त में इस्पात और कंक्रीट, दोनों पदार्थ **हुक नियम** का पालन करते हैं। इस विधि में अनुज्ञेय प्रतिबलों को निर्धारित करने के लिये कंक्रीट के चरम प्रतिबल और इस्पात की पराभव सामर्थ्य (0·2% Proof Stress) को **सुरक्षा गुणक** (Factor of Safety) से भाग दिया जाता है। कंक्रीट की बंकन (Bending Compression) में 3 और सीधे सम्पीडन (Direct Compression) में 4 का सुरक्षा गुणक (Factor of Safety) लिया जाता है। इस्पात के लिये सुरक्षा गुणक 1·78 निर्धारित है।

कार्यकारी प्रतिबल विधि में कंक्रीट और इस्पात की पूर्ण सामर्थ्य का लाभ नहीं उठाया जाता है।

(b) सीमांत अवस्था विधि (Limit State Method)—इस विधि में संरचना की चरम सामर्थ्य (Ultimate Strength) तथा सेवायोग्यता (Serviceability) की स्वीकार्य सीमा अवस्था को आधार माना जाता है। किसी संरचना की विफलता (ध्वस्त) घटने से पूर्व, सुरक्षा तथा सेवायोग्यता की आवश्यकताएं, सीमांत अवस्था मानी जाती है। सीमांत अवस्था तक पहुंचने में, निपात में निम्न अवस्थायें महत्व रखती है—(i) बंकन (Bending) में धराशायी, (ii) सम्पीड़न व कर्तन (अपरुपण) में धराशायी, (iii) ऐंठन (Torsion) में धराशायी और सेवायोग्यता में विक्षेप व दरारों की सीमान्त अवस्था।

सीमांत अवस्था विधि अभिकल्प में, पदार्थ की अभिकल्पन सामर्थ्य निर्धारण के लिये, कंक्रीट पर 1·5 और इस्पात पर 1·15 का **आँशिक सुरक्षा गुणक** (Partial Safety Factor) लगाया जाता है। कंकीट की अधिकतम अनुज्ञेय सम्पीड़न सामर्थ्य, $f_{cd} = \frac{0{\cdot}67 f_{ck}}{1{\cdot}5} = 0{\cdot}446 f_{ck}$ और

इस्पात की अधिकतम अनुज्ञेय सामर्थ्य, $f_{yd} = \frac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y$ ली जाती है।

(III) सीमांत अवस्था-निपात (Limit State of Collapse-Flexure)

1. कंक्रीट खण्ड में सबसे ऊपरी रेशे में, बंकन में अधिकतम विकृति (Strain) = 0·0035 ली जाती है।
2. L.S.M. में कंक्रीट का प्रतिबल-विकृति (Stress-Strain) वक्र **परवलयाकार** (Parabolic) माना जाता है (जबकि W.S.M. में यह त्रिभुजाकार माना गया है)।
3. L.S.M. अभिकल्प में चरम प्रतिबलों को **आँशिक सुरक्षा गुणक** (Partial Safety Factor) से भाग देकर, **अभिकल्प प्रतिबल** (Design Stresses) निर्धारित किये जाते हैं, $f_d = \frac{f}{r_m}$। कंक्रीट के लिये आँशिक सुरक्षा गुणक $r_{mc} = 1{\cdot}5$ और इस्पात के लिये, $r_{ms} = 1{\cdot}15$ लिये जाते हैं।
4. डिज़ाइन प्रतिबल कंक्रीट में $\frac{0{\cdot}67 f_{ck}}{1{\cdot}5} = 0{\cdot}446 f_{ck}$ और इस्पात में $\frac{f_y}{1{\cdot}15} = 0{\cdot}87 f_y$ लिये जाते हैं।

   इस आधार पर Fe 250 इस्पात के लिये $0{\cdot}87 \times 250 = 217{\cdot}5$ N/mm², Fe 415 इस्पात के लिये $0{\cdot}87 \times 415 = 361$ N/mm² सुरक्षित प्रतिबल आते हैं।
5. प्रतिबल ब्लॉक (Stress Block) का क्षेत्रफल $0{\cdot}36 f_{ck} \cdot x_u$ लिया जाता है। यहाँ x_u बलशून्य अक्ष की ऊपरी फलक से गहरायी है।
6. कुल सम्पीडन बल धरन की ऊपरी फलक से $0{\cdot}42 x_u$ की गहरायी पर कार्यरत होता है।
7. Fe 415 इस्पात के लिये $x_{u\,max.} = 0{\cdot}48d$ लिया जाता है। यहाँ d = खण्ड की प्रभावी गहरायी है।
8. (i) अल्प प्रबलित खण्ड (Under Reinforced Section), $x_u < x_{u\,max.}$
   (ii) सन्तुलित खण्ड (Balanced Section), $x_u = x_{u\,max.}$
   (iii) अति प्रबलित खण्ड (Over Reinforced Section), $x_u > x_{u\,max.}$
9. I.S. 456 के अनुसार प्रबलित कंक्रीट के अति प्रबलित खण्ड (Over Reinforced Sections) मान्य नहीं है, क्योंकि इस स्थिति में कंक्रीट सर्वप्रथम, बगैर चेतावनी दिये, भंजित होती है और रचना ध्वस्त हो जाती है।
10. बल शून्य अक्ष का चरम मान (Limiting Value), इस्पात की श्रेणी पर निर्भर करता है।
11. (i) कुल सम्पीड़न (C) = कुल तनन (T)
    $0{\cdot}36 f_{ck} \cdot x_u b = 0{\cdot}87 f_y A_{st}$
    (ii) सन्तुलित खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, M_u—
    $0{\cdot}36 f_{ck} b x_u (d - 0{\cdot}42 x_u) = 0{\cdot}87 f_y A_{st} (d - 0{\cdot}42 x_u)$
    (iii) $M_{u\,Lim.}$—
    Fe 250 के लिए $= 0{\cdot}148 f_{ck} b d^2$
    Fe 415 के लिए $= 0{\cdot}138 f_{ck} b d^2$
    $M_u = R_u b d^2$, यहाँ R_u सीमांत प्रतिरोध आघूर्ण गुणक है।
    $\therefore \quad d = \sqrt{\frac{M_u}{R_u \times b}}$ तथा $A_{st} = \frac{0{\cdot}36 f_{ck} b x_{u\,max.}}{0{\cdot}87 f_y}$

12. अति प्रबलित कंक्रीट धरन की प्रतिरोध आघूर्ण, सन्तुलित खण्ड की प्रतिरोध आघूर्ण से अधिक होती है।
13. अल्प प्रबलित कंक्रीट धरन में इस्पात चरम धार पर पूर्णत: प्रतिबलित होता है।
14. L.S.M. में सन्तुलित खण्ड का बल शून्य अक्ष, क्रान्तिक बल शून्य अक्ष (Critical Neutral Axis – $x_{u\,Lim.}$) कहलाता है।
15. जब धरन-खण्ड पर कार्यरत भार की दिशा प्लट जाने की सम्भावना हो, तब इसे दोहरा प्रबलित खण्ड अभिकल्पित करना चाहिये।
16. L.S.M. में प्रबलन इस्पात का सीमांत-प्रतिशत्—
    M-20 व Fe 250 के लिये = 1·76%
    M-20 व Fe 415 के लिये = 0·96%
17. L.S.M. द्वारा अभिकल्पित खण्ड W.S.M. द्वारा अभिकल्पित खण्डों में पतले व मितव्ययी होते हैं।

(IV) अपरूपण (कर्तन) तथा अभिलाग (Shear and Bond)

1. प्रबलित कंक्रीट क्योंकि एक संग्रथित (Composite) पदार्थ है, इसमें कर्तन-विकरण का विशलेषण जटिल है। I.S. कोड ने इसे सरल रूप में रखने के लिये निम्न सूत्र दिया है—
$$\tau_v = \frac{V_u}{b \times d}$$
2. एक शुद्धालम्बित भारित धरन में, इसके पाट के मध्य में बंकन आघूर्ण (B.M.) अधिकतम और कर्तन बल शून्य होता है। आलम्बों के निकट कर्तन बल (S.F.) का मान अधिकतम होता है, जबकि बंकन आघूर्ण शून्य तक होता है।
3. भारित धरन में अपरूपण बल, बंकन आघूर्ण की परिवर्तन दर के बराबर होता है।
4. अपरूपण बल के कारण, एक भारित धरन में विकर्ण तनन (Diagonal Tension) उपजते है, जो धरन की तली में तनन दरारों को प्रकट करती है। तनन दरारें आलम्बों के निकट 45° पर ऊपर को नत होती है, जो पाट के मध्य तक जाते-जाते 90° (Up-right) पर हो जाती है। तब इन्हें आनमन दरारें (Flexural Cracks) कहा जाता है।
5. विकर्ण तनन के कारण उपजी तनन दरारों (Tension Cracks) को रोधित करने के लिये, धरन-खण्ड में अपरूपण प्रबलन (Shear Reinforcement) देना होता है।
6. प्रबलित कंक्रीट धरन की स्वयम् की भी अपरूपण प्रबलन सामर्थ्य (Shear Strength) होती है, जो इसकी कंक्रीट के ग्रेड पर तथा खण्ड मे डाले गये इस्पात के प्रतिशत् पर निर्भर करती है।
7. जब (i) $\tau_v > \tau_{c\,max.}$ है, धरन-खण्ड को बढ़ाना (बड़ा रखना) होता है।
   (ii) $\tau_v > \tau_c$ है, धरन मे कर्तन प्रबलन देना होगा।
8. धरनों में कर्तन प्रबलन (Shear Reinforcement) मुख्य तनन छड़ों को आलम्बों के निकट (जहाँ बंकन आघूर्ण काफी घट जाता है) ऊपर को मोड़कर (45° से 60°) (Bent up) अथवा छल्लों के रूप में अथवा दोनों को लेते हुये, दिया जाता है।

9. ऊर्ध्व छल्लें (Stirrups) दो-टाँग, चार-टाँग के हो सकते हैं। इनकी दूरी (Spacing) $s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv} d}{V_{us}}$ ली जाती है। छल्लों की अधिकतम दूरी, $s_v = \frac{0{\cdot}87 f_y A_{sv}}{0{\cdot}4 b}$ ली जाती है। छल्लों की आपसी दूरी $0{\cdot}75d$ अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से **अधिक नहीं होगी।**
10. जब तनन छड़ों को अपरूपण-बल के लिये ऊपर को मोड़ा (Bent up) जाता है, ये छड़े शुद्ध अपरूपण बल (Net Shear) का 50% से अधिक नहीं लेगी।

अभिलाग व विकास लम्बाई (Bond and Development Length)—

11. कंक्रीट और इस्पात (छड़ों) में, इनकी सम्पर्क-सतहों मे उत्पन्न आसंजन (Adhesion), ताकि छड़ें कंक्रीट पिण्ड में से फिसले (Slip) नहीं, अभिलाग (Bond) कहलाता है।
12. इस्पात (छड़ों) में उपजे प्रतिबलों को कंक्रीट में अन्तरित करने के लिये, दोनों पदार्थों में अभिलाग कायम रखना आवश्यक है।
13. कंक्रीट सैट होकर, सूखने पर, छड़ों को दृढ़ता से पकड़े रखती है।
14. कंक्रीट की गाढ़ता (Rich Mix), इसकी उत्तम कुटाई, तराई (Curing) और प्रबलन छड़ों की आकृति (जैसे टोर छड़े), प्रबलित कंक्रीट मे अभिलाग की बढ़ौत्तरी के मुख्य कारण है।
15. कंक्रीट-पिण्ड और प्रबलन छड़ों की परिधीय सतह के बीच विकसित प्रतिबल (जो छड़ को सरकने/फिसलने से रोके रखते है), अभिलाग प्रतिबल (Bond Stress) (τ_{bd}) कहलाते है।
16. खण्ड के किसी काट (Section) पर, छड़ की कंक्रीट में दबी वह **न्यूनतम लम्बाई**, जो इसमें पूर्ण सामर्थ्य विकसित करके, इसके फिसलन/सरकन को रोकती है, विकास लम्बाई (Development Length) कहलाती है।
    आनमन (Flexural) तनन/सम्पीड़न मे यह **विकास लम्बाई** कहलाती है, जबकि अक्षीय (Axial) तनन/सम्पीड़न मे इसे **जकड़न लम्बाई** (Anchorage Length) कहा जाता है।
17. अनुज्ञेय अभिलाग प्रतिबल (τ_{bd}) कंक्रीट के ग्रेड और प्रबलन इस्पात की श्रेणी पर आधारित है। टोर छड़ों (Deformed or Twisted Bars) के लिये इनका मान 60% (सादा छड़ों से) बढ़ा कर लिया जाता है।
18. सम्पीड़न मे अनुमत अभिलाग प्रतिबल, तनन छड़ों के लिये अनुमत प्रतिबलों मे 25% अधिक लिये जाते है, क्योंकि छड़ को बाहर को खींचना (Pull) सरल है, इसे अन्दर को धँसाना (Push) कठिन है।
19. Fe 415 और M-20 के लिये एकल छड़ की L_d (तनन में) = 58ϕ और L_d (सम्पीड़न में) =-46ϕ ली जाती है। यहाँ ϕ छड़ का व्यास है। तनन में $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{4\tau_{bd}}$ और सम्पीड़न मे $L_d = \frac{0{\cdot}87 f_y \phi}{5\tau_{bd}}$ सूत्र लिये जाते है।
20. एक मानक हुक (Standard U-टाइप Hook) का मान 16ϕ लिया जाता है। L-टाइप हुक का मान 8ϕ लिया जाता है।

21. विकास लम्बाई की निम्न काट (Sections) पर जाँच करनी होती है—(i) शुद्धालम्बित आलम्ब (Supports) पर, (ii) प्रास आलम्ब पर (iii) नति परिवर्तन बिन्दु पर (Points of Contraflexure), (iv) छड़ के काट-बिन्दु (Cut-off) पर।

(V) एकल प्रबलित कंक्रीट धरन (Singly Reinforced Concrete Beam)

1. एकल प्रबलित कंक्रीट धरन में केवल तनन क्षेत्र (Tension Zone) में प्रबलन छड़ें डाली जाती हैं। तनन क्षेत्र शुद्धालम्बित धरनों मे N.A. के नीचे स्थित माना जाता है।
2. प्रास धरन (Cantilever) में तनन इस्पात इसके N.A. के ऊपरी क्षेत्र में डाला जाता है।
3. लिन्टल की चौड़ाई सामान्यत: दीवार की मोटाई के बराबर ली जाती है।
4. जब किसी धरन की गहरायी 750 mm से अधिक है, इसे गहरा धरन (Deep Beam) कहते है।
5. गहरे धरन में फलक प्रबलन (Side-Face Reinforcement) डाला जाता है, जिसका क्षेत्रफल पेटे (Web) का 0·10% लिया जाता है।
6. धरन-खण्ड में तनन इस्पात का अधिकतम क्षेत्रफल $A_{st\,max.} = 0{\cdot}04\ bd$ और न्यूनतम क्षेत्रफल $A_{st0} = \dfrac{0{\cdot}85bd}{f_y}$ लिया जाता है।
7. धरन का प्रभावी पाट—(शुद्ध पाट + प्रभावी गहरायी) **अथवा** (आलम्बों के केन्द्र-से-केन्द्र दूरी)—जो भी **न्यूनतम** है, लिया जाता है।
8. प्रास-धरन का प्रभावी पाट—(लटकन दूरी + $\frac{d}{2}$) लिया जाता है। यहाँ d = प्रभावी गहरायी है।
9. प्रास-धरन में तनन छड़ों को विकास-लम्बाई = L_d तक आलम्ब (Support) के भीतर ले जाना आवश्यक है।
10. विक्षेप (Deflection) नियन्त्रण के लिये प्रास-धरन का $\dfrac{\text{पाट}}{\text{प्रभावी गहरायी}} = 7$ और शुद्धालम्बित धरन के लिये, $\dfrac{\text{पाट}}{\text{प्रभावी गहरायी}} = 20$ लें।
11. प्रबलित धरन में एकल-परत में डाली गयी तनन छड़ों के मध्य आपसी शुद्ध दूरी (Spacing), बड़ी छड़ के व्यास से कम नहीं होगी और नीचे-ऊपर की परतों में ऊर्ध्व दूरी (Vertical Spacing) 15 mm अथवा छड़ का व्यास, जो भी अधिक है, से कम नहीं होगी।

    स्लैब में मुख्य इस्पात तथा वितरण इस्पात की छड़ें एक-दूसरी के लम्ब, एक-दूसरी पर, छूती (Touch) हुयी रखी जाती है। इन छड़ों को अपनी स्थिति में बने रहने के लिये, इन्हें बन्धक-तार (Binding Wire) से बांध देना चाहिये।
12. छड़ों पर तली आवरण (Bottom Cover) मुख्य छड़ के व्यास से कम नहीं होगा। स्तम्भ में लम्बिका छड़ों पर आवरण न्यूनतम 40 mm अथवा छड़ का व्यास, जो भी अधिक है, लें (परन्तु 200 mm माप तक स्तम्भों के लिये, जब लम्बिका छड़ का व्यास 12 mm तक है, आवरण 25 mm रखा जा सकता है)।
13. छन्नीकरण (Curtailment)—छड़ को जहाँ समाप्त करना है, इसे वहाँ से 12ϕ अथवा d, जो भी अधिक है, तक आगे तक ले जाये।

14. धरन मे कर्तन-छल्लों को अपनी स्थिति (Spacing) में बनाये रखने के लिये, धरन के ऊपरी कोनों में जो एक-एक (कुल दो) लटकन छड़ें दी जाती हैं, वे धरन की सामर्थ्य बढ़ाने में कोई योगदान नहीं करती है।

(VI) दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन (Doubly R.C. Beam)

1. जब $M_u > M_{u\,Lim.}$, दोहरा प्रबलित धरन अभिकल्पित करना होगा।
2. दोहरे प्रबलित कंक्रीट धरन में, इसके सम्पीड़न और तनन, दोनों क्षेत्रों में आवश्यक मात्रा में प्रबलन दिया जाता है।
3. जब किसी धरन की माप (चौड़ाई व गहरायी) किसी कारण (जैसे Head Room) से सीमित कर दी जाती है, तब दोहरा प्रबलित धरन खण्ड अपनाना पड़ सकता है।
4. जब किसी धरन पर बाहरी भार की प्रकृति के बदल (Reversing) जाने की सम्भावना हो अथवा दोनों फलकों पर तनन लग रहा हो, दोहरा प्रबलित खण्ड अपनाया जाता है।
5. सतत धरनों/स्लैबों में, आलम्बों पर ऋणात्मक आघूर्ण (–ve Moment) उत्पन्न होने के कारण, उस क्षेत्र में दोहरा प्रबलित खण्ड अपनाया जाता है।
6. दोहरा प्रबलित धरन प्रतिरोध आघूर्ण, $M_u = M_{u\,Lim.} + M_{u2}$ के लिये अभिकल्पित किया जाता है। इसमें $M_{u\,Lim}$ के लिये तनन क्षेत्र में और M_{u2} के लिये तनन क्षेत्र व सम्पीडन क्षेत्र, दोनों में प्रबलन डाला जाता है।
7. प्रबलन इस्पात—$A_{st} = A_{st1} + A_{st2}$—तनन क्षेत्र में

$$A_{st1} = \frac{M_{u\,Lim.}}{0{\cdot}87 f_y (d - 0{\cdot}42 x_{u\,max.})} \quad \text{—तनन क्षेत्र में}$$

$$A_{st2} = \frac{M_{u2}}{0{\cdot}87 f_y (d - d')} \quad \text{—तनन क्षेत्र में}$$

तथा $$A_{sc} = \frac{M_{u\,Lim.}}{f_{sc}(d - d')} \quad \text{—सम्पीड़न क्षेत्र में}$$

8. अधिकतम सम्पीड़न प्रबलन = $0{\cdot}4\ bD$

(VII) टी-धरन (फ्लैंजदार धरन) (T-Beam)

1. टी-धरन की आकृति ईंग्ल-भाषा के 'Tee' अक्षर से मिलती है, अत: इसे टी-धरन अथवा पंखदार धरन कहते हैं। टी-धरन छत में रचना का अन्तिम धरन (यदि स्लैब पार्श्व-दीवार पर सीधे नहीं टिकाई गयी है), L-धरन और मध्यवर्त्ति धरन, T-धरन कहलाते हैं।
2. टी-धरन में सामान्य भारण के लिये धरन की कुल गहरायी $\frac{\text{पाट}}{12}$ से $\frac{\text{पाट}}{20}$ ले सकते हैं।
3. T-धरन में स्लैब (Flange) से नीचे लटके धरन के भाग को रिब या वैब (Rib, Web or Stem) कहते हैं।

4. T-धरन में स्लैब (फ्लैंज) की कुछ चौड़ाई, भार पड़ने पर धरन के **साथ** नीचे को झुकती है और धरन में उपजे सम्पीड़न प्रतिबलों को रोधित करने में, इसका सहयोग करती है। यह चौड़ाई 'b_f' कही जाती है। फ्लैंज धरन का रचनात्मक दृष्टि से साथ दे, इसके लिये स्लैब तथा धरन दोनों को एकाश्मी (Monolithic) ढ़ालना आवश्यक है।
5. फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई, जो धरन की सम्पीड़न को रोधित करने में इसका साथ देती है, के निर्धारण के लिये धरन का पाट, स्लैब की मोटाई तथा वैब की चौड़ाई पर विचार किया जाता है; अर्थात्—

$$b_f = \frac{l_0}{6} + b_w + 6D_f$$ (शुद्धालम्बित टी-धरन में $l_0 = l$ ली जाती है)।

6. जब टी-धरन का बल शून्य अक्ष (N.A.) फ्लैंज में स्थित होता है, यह एक सामान्य आयताकार धरन की भान्ति कार्य करता है।
7. जब $x_u > D_f$, बल शून्य अक्ष धरन की वैब (Web) में स्थित माना जाता है। तब T-धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करना कुछ जटिल होता है (इसके लिये I.S. कोड ने कुछ सरलीकृत समीकरण सुझाये हैं)।
8. टी-धरन के सम्पीड़न क्षेत्र में प्रबलन (सम्पीड़न छड़ें) देने से, टी-धरन की सकल प्रतिरोध आघूर्ण में बढ़ोत्तरी की जा सकती है। तब यह दोहरा प्रबलित टी-धरन कहलाता है।
9. जब फ्लैंज (स्लैब) टी-धरन की तली पर (तनन क्षेत्र में) लगी है, तब फ्लैंज टी-धरन की सम्पीड़न सामर्थ्य बढ़ाने में कोई योगदान नहीं करती है। तब यह रचना उल्टी टी-धरन (Inverted T-Beam) कही जाती है और टी-धरन, एक सामान्य आयताकार धरन की भान्ति कार्य करता है।

(VIII) प्रबलित कंक्रीट स्लैब (R.C.C. Slab)

1. स्लैब (पटिया) एक द्वि-विम (Two Dimensional) अवयव है, जो फर्श/छतों को ढाँपने के लिये डाली जाती है। इसकी मोटाई निर्धारित करने के लिये, इसके पाटों (लम्बाई-चौड़ाई) पर विचार किया जाता है।
2. जब $\frac{l_y}{l_x} > 2$ है, एकल-दैशिक स्लैब (One-Way Slab) और जब $\frac{l_y}{l_x} \le 2$ है, द्वि-दैशिक स्लैब (Two-Way Slab) अभिकल्पित की जाती है। स्लैब अपने चारो सिरों पर, पार्श्व दीवारों पर टिकी अथवा जकड़ी मानी जाती है।
3. एकल-दैशिक स्लैब में बंकन आघूर्ण की गणना इसके लघु-पाट पर की जाती है। एकल-दैशिक स्लैब में, लम्बाई की दिशा में एक मीटर चौड़ी पट्टी लेकर, इसे एक मी० चौड़ी व D मी० गहरी धरन मान लिया जाता है। द्वि-दैशिक स्लैव में, इसके दोनों पाटों (लम्बाई/चौड़ाई) पर (अलग-अलग) बंकन आघूर्ण ज्ञात की जाती है।
4. एकल-दैशिक स्लैब में छोटे पाट के समान्तर मुख्य छड़ें (तनन प्रबलन) डाली जाती हैं। वितरण प्रबलन (Distribution Steel), मुख्य इस्पात के ऊपर, इसके समकोणक (लम्बे पाट के समान्तर), सटाकर (जाल की भान्ति) डाला जाता है।

5. द्वि-दैशिक स्लैब, एकल-दैशिक स्लैब से मितव्ययी होती है। क्योंकि बंकन आघूर्ण दोनों पाटों पर, इनके अनुपात में बंट जाती है, अत: स्लैब की मोटाई कम आती है।
6. स्लैब में प्रबलन इस्पात की प्रत्येक दिशा में न्यूनतम मात्रा, खण्ड का 0·15% (टोर छड़ों के लिये 0·12%) ली जाती है।
7. स्लैब में वितरण/ताप इस्पात (Distribution Steel) स्लैब में संकुचन, ताप को निरसन करने के लिये डाला जाता है।
8. प्रबलन छड़ का व्यास $\frac{D}{8}$ से अधिक नहीं होगा। यहाँ D = स्लैब की कुल मोटाई है।
9. मुख्य छड़ों की आपसी दूरी (Spacing) $3 \times d$ अथवा 300 mm, जो भी न्यूनतम है, से अधिक नहीं होगी। वितरक छड़ों के लिये यह अन्तराल $5 \times d$ या 450 mm (जो भी न्यूनतम है), लिया जा सकता है।
10. दो निकटवर्ति छड़ों के मध्य रिक्ति (Gap), बड़ी छड़ के व्यास से कम नहीं होगी।
11. स्लैब में सामान्यत: अपरूपण प्रबलन (Shear Reinforcement) देने की आवश्यकता नहीं पड़ती है।
12. स्लैब के मध्य-पाट क्षेत्र में डाली गयी 50% छड़ें (तनन प्रबलन) आवश्यक रूप से आलम्बों के भीतर तक ले जानी होगी। शेष 50% छड़े आलम्ब से $\frac{L}{7}$ की दूरी पर, ऋणात्मक आघूर्ण (–ve Moment) के लिये (जो आलम्बों पर आँशिक जकड़ता (Partial Rigidity) के कारण उपजती हैं), ऊपर को मोड़ कर (Bent-up at 45°), स्लैब के ऊपरी क्षेत्र में ले जाये। ये छड़ें $\frac{l}{10}$ लम्बाई तक स्लैब के सम्पीड़न क्षेत्र में बनी रहनी चाहिये (आलम्बों पर +ve आघूर्ण तो शून्य तक होती है, परन्तु सिरा-जकड़न के कारण कुछ –ve आघूर्ण उपजती है)।
13. जब द्वि-दैशिक स्लैब पर भार लगता है, वह एक तश्तरी (Plate) की भान्ति नीचे को झुकती है परन्तु इसके साथ ही उसके कोने ऊपर को उठने लगते हैं और इनमें दरारें उत्पन्न हो जाती हैं। कोनों को ऊपर को उठने से रोकने के लिये, इसके कोनों में अतिरिक्त प्रबलन दिया जाता है, जिसे ऐंठन प्रबलन (Torsion Reinforcement कहते हैं।
14. स्लैब के कोनों को दबाये रखने के लिये, इनके सिरों पर धरनें (L-Beam) दी जाती हैं अथवा दीवारें खड़ी की जाती हैं।

    जिस स्लैब के कोने ऊपर उठने को स्वतन्त्र हैं, उसे 'स्लैब-कोने दबाये **नहीं** गये हैं' (Corners Not Held Down) कहते हैं। यह स्थिति मानने पर स्लैब का अभिकल्पन कुछ सरल रहता है (पुस्तक में स्लैब की यहीं स्थिति अपनायी गयी है)।
15. द्वि-दैशिक शुद्धालम्बित स्लैब में, 3·5 मी० पाट तक तथा 3 kN/m^2 भारण तक $\frac{\text{लघु पाट}}{\text{कुल गहरायी}} = 35$ रखने पर, विक्षेप (Deflection) की शर्त (मृदु छड़ों के लिये) पूरी हो जाती है (टोर छड़ों के लिये $0{\cdot}8 \times 35$ लें)।

(IX) स्तम्भ एवं स्तम्भ-नींव (R.C. Columns and Foundations)

(A) स्तम्भ: (Columns) :

1. स्तम्भ मूलत: एक सम्पीड़न अवयव (Compression Member) है, परन्तु व्यवहारिक-दृष्टि से, भार के पूर्णत: अक्षीय (Axial) न होने के कारण, इसमें उत्केन्द्रता (Eccentricity) व तनन प्रतिबल उत्पन्न हो जाते हैं।
2. जब स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई, इसके न्यूनतम पार्श्व माप से 12 (अथवा 12 से अधिक) होती है, यह दीर्घ स्तम्भ (Long Column) कहलाता है। जब यह अनुपात 12 से कम है, इसे लघु स्तम्भ (Short Column) की श्रेणी में लिया जाता है।
3. जब किसी स्तम्भ की प्रभावी ऊँचाई, इसके न्यूनतम पार्श्व माप से 3 गुना से कम होती है, इसे चौकी (Pedestal) कहते हैं।
4. सम्पीड़न अवयव, जो तिरछे अथवा क्षैतिज लगे हैं और उन पर अक्षीय भार पड़ रहा है, सम्पीडंग (Strut) कहलाते हैं और कैंची (Truss) में लगते हैं।
5. स्तम्भ पर भार पड़े अथवा नहीं, इसमें न्यूनतम प्रबलन डालना आवश्यक है। यह प्रबलन तनन प्रतिबलों को रोधित करने के लिये डाला जाता है, जो भार की उत्केन्द्रता के कारण उपजते हैं।
6. स्तम्भ में न्यूनतम प्रबलन 0·8% और अधिकतम 6% (अति 8% तक) लिया जाता है।
7. प्रबलित स्तम्भ में खड़ी (लम्बिका) छड़ें (Main) तथा पड़ी छड़ें (Ties) डाली जाती हैं। लाम्बिका छड़ें सम्पीड़न बलों को रोधित करती हैं, स्तम्भ को तनुता (Ductility) प्रदान करती हैं और उत्केन्द्रता के कारण उत्पन्न तनन प्रतिबलों को निरसन करती हैं, जबकि टाई (Lateral Ties) लाम्बिका छड़ों को इनकी खड़ी-स्थिति में बनाये रखती हैं, इनका व्याकुंचन (Buckling) रोकती हैं, परन्तु इनकी सामर्थ्य में कोई योगदान **नहीं** देती हैं (कुण्डलीय छड़ें अवश्य कुछ योगदान करती है)।
8. (i) स्तम्भ की मुख्य (लाम्बिका) छड़ों का न्यूनतम व्यास 12 mm है।
   (ii) इनकी आपसी दूरी (परिधीय दूरी) 300 mm से अधिक नहीं होगी।
9. स्तम्भ की छड़ों पर 40 mm अथवा लाम्बिका छड़ का व्यास, जो भी अधिक है, का आवरण (Cover) होना चाहिये।
10. टाई-छड़ का व्यास, मुख्य छड़ के व्यास का $\frac{1}{4}$ से कम नहीं होगा। टाई का पिच (Pitch) 300 mm या मुख्य छड़ के व्यास का 16 गुना, जो भी अधिक है, से अधिक नहीं होगा।

    सर्पिल (Spiral) छड़ का पिच अधिकतम $\frac{\text{कोर}}{6}$ mm और न्यूनतम पिच 25 mm होगा।
11. आयताकार स्तम्भ में न्यूनतम 4 छड़ें, वर्त्ताकार स्तम्भ में न्यूनतम 5 छड़ें और सर्पिल टाई वाले स्तम्भ में न्यूनतम 6 मुख्य (लाम्बिका) छड़ें होनी चाहिये।
12. अभिकल्प में स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई के स्थान पर, इसकी प्रभावी लम्बाई ली जाती है। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई के लिये गुणक स्तम्भ के सिरों (Top and Bottom Ends) की जकड़न-स्थिति पर निर्भर करता है।

जब स्तम्भ के दोनों सिरे (ऊपर-नीचे का) आबद्ध (Fixed) हो, प्रभावी लम्बाई $l = 0{\cdot}65L$ ली जाती है।

13. स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई व इसके न्यूनतम पार्श्व माप के अनुपात को तनुता अनुपात (Slenderness Ratio) कहलाता है। इसे 'K' प्रदर्शित किया जाता है।
14. एक दीर्घ स्तम्भ की विफलता व्याकुंचन (Buckling) के कारण, जबकि लघु स्तम्भ की विफलता संदलन (Crushing) के कारण होती है।
15. स्तम्भ की नान-आलम्बित ऊंचाई (Un-Supported Length), इस के न्यूनतम पार्श्व माप से 60 गुना से अधिक नहीं होगी।
16. अक्षीय भारित लघु स्तम्भ में न्यूनतम उत्केन्द्रता (Min. Eccentricity) $0{\cdot}05D$ से नहीं बढ़नी चाहिये। यदि $e_{min.} > 0{\cdot}05D$ है, स्तम्भ सम्पीड़न (Compression) तथा बंकन (Bending), दोनों के लिये अभिकल्पित करना होगा।

(B) पादः (Footing) :

1. स्तम्भ पर पड़ रहे भार को नीचे अव:भूमि में सुरक्षित अन्तरित करने के लिये, स्तम्भ की तली पर पाद (Footing) दी जाती है।
2. एकल स्तम्भ के नीचे डाली गयी पाद को विलगित (Isolated) पाद कहते हैं।
3. विलगित पाद सामान्यत: वर्गाकार या आयताकार होती है, गोलाकार पाद उत्तम नहीं मानी जाती है।
4. गोलकार, बहुभुजी स्तम्भ के लिये भी आयताकार/वर्गाकार पाद अपनानी चाहिये।
5. जब अव:मृदा की भार-वहन क्षमता सन्तोषजनक है और स्तम्भ पर पड़ने वाला भार सामान्य है, विलगित पाद अपनायी जाती है।
6. पाद के सिरे (Edge) पर मोटाई 150 mm से कम नहीं होनी चाहिये।
7. बंकन आघूर्ण (B.M.) की गणना के लिये प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ में क्रान्तिक-काट, इसकी फलक (Face) पर लिया जाता है।
8. पाद की गहरायी (Depth) (i) बंकन आघूर्ण, (ii) एकल-दिशा कर्तन (One Way Shear) अथवा द्विदिशा कर्तन (धँसन कर्तन) (Two Way Shear or Punching Shear), जो भी अधिक है, के अनुसार ली जाती है।
9. एकल-दिशा कर्तन में अपरूपण की जाँच के लिये क्रान्तिक-काट, स्तम्भ-फलक से 'd' दूरी पर लिया जाता है।
10. धँसन कर्तन में अपरूपण की जाँच के लिये क्रान्तिक-काट, स्तम्भ-फलक से $\frac{d}{2}$' दूरी पर, दोनों दिशाओं पर लिया जाता है।
11. विलगित पाद में Fe 415 प्रबलन इस्पात का न्यूनतम क्षेत्रफल, खण्ड का 0·12% लिया जाता है।
12. पाद की तली पर छड़ों पर 50 mm (न्यूनतम) आवरण देना होगा।
13. स्तम्भ-पाद में कर्तन प्रबलन या छल्लें (Stirrups) नहीं दिये जाते हैं।

(X) ज़ीना (Staircase)

1. ज़ीना का उठान (Riser) 120 mm से 180 mm तक रखा जा सकता है।
2. ज़ीना के पट (Tread) की चौड़ाई 200 mm से 300 mm ली जाती है।
3. उठान व पट का अनुपात—$(2 \times R) + T = 550$ से 650 mm.
4. ज़ीना की चौड़ाई 900 mm से 1800 mm.
5. ज़ीना की निर्बाध ऊँचाई (Head Room) = 2·10 मी० से कम नहीं।
6. ज़ीना क्षैतिज (प्रास स्लैब प्रकार का) अथवा अनुदैर्ध्य, किसी भी दिशा में पाटी (Spanning) हो सकता है।
7. इस पर चल भार 3 kN/m^2 से 5 kN/m^2 ले सकते हैं।
8. अभिकल्पन के लिये ज़ीना की वैस्ट्-स्लैब (Waist Slab) की मोटाई $\frac{\text{पाट}}{20}$ से $\frac{\text{पाट}}{25}$ मान सकते हैं।
9. ज़ीना की ढ़ाल 25° से 40° रखी जा सकती है।

(XI) जल भण्डारण टंकियाँ (Water Tanks)

1. भण्डारण टंकी आकृति में गोलाकार अथवा आयताकार हो सकती है। यह भूमिगत, भूमि पर अथवा मचान (Staging) पर स्थापित की जाती है।
2. टंकी के M-30 अथवा इससे उच्च सामर्थ्य की कंक्रीट और H.Y.S.D छड़ें प्रयोग करनी चाहिये। इस्पात में अनुमत प्रतिबल 130 N/mm^2 लिये जाते हैं।
3. टैंक की दीवारों/फर्श में, खण्ड का 0·35% (न्यूनतम) प्रबलन डालना चाहिये। टोर छड़ों के लिये यह मान 0·24% ले सकते हैं।
4. अधिक भण्डारण-क्षमता के लिये गोलाकर टैंक बेहतर रहते हैं।
5. टैंक की दीवारों में जल-दाब के कारण पट्टा तनन (Hoop Tension) उपजती है। इसका मान $T = \frac{wh \times D}{2}$ लिया जाता है (सूत्र 11.2)।
6. टैंक की दीवारों/तली स्लैब में, इनकी दोनों फलकों में प्रबलन डाला जाता है, परन्तु जब अवयव की मोटाई 200 mm से कम है, छड़ें एकल-फलक पर डाली जाती हैं।
7. **इंजे टैंक (INTZE TANK)**—बड़े व्यास के मचान पर स्थापित सिलिण्डरी टैंकों के लिये इंजे प्रकार का टैंक अधिक प्रचलित है। यह अन्य प्रकार के टैंकों से सस्ता पड़ता है। यह एक विशेष प्रकार का गोलाकार टैंक है, जिसकी छत गोलीय गुम्बद (Spherical Dome) और तली गोलीय-शंक्वाकार गुम्बद (Spherical-Conical Dome) की होती है।
8. मचानी-टंकी पर चढ़ने के लिये तथा इसके भीतर (मरम्मत आदि के लिये) जाने के लिये ज़ीना (Stairs) होना आवश्यक है। आकाशीय-बिजली से बचने के लिये तड़ित-चालक लगाना भी जरुरी है।

मुख्य सारिणियों की सूची
(Important Tables)

सारणी सं०	विवरण	पृष्ठ सं०
1.2	सीमेन्ट कंक्रीट के ग्रेड (Grades of Cement Concrete)	8
1.3	नामन मिक्स कंक्रीट के मिक्स-अनुपातन (Nominal Mix)	9
1.4	विभिन्न कंक्रीट कार्यों के लिये अवपात (Slump)	12
1.5	विभिन्न कार्यों के लिये कंक्रीट मिक्स	13
1.6	सूक्ष्मता मापांक (Fineness Modulus)	13
1.7	प्रति घन मी० कंक्रीट के लिये संघटक	14
1.8	फरमाबन्दी हटाने की अवधि (Striking Form Work)	17
1.9	प्रसार जोड़ों का अन्तराल (Expansion Joints)	25
2.1	कंक्रीट की श्रेणी तथा अनुज्ञेय प्रतिबल	44
2.2	प्रबलन इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल	45
2.3	सन्तुलित खण्डों के लिये मुख्य गुणक (WSM)	61
3.1	आँशिक सुरक्षा गुणक (भारों के लिये) (LSM)	77
3.3	बलशून्य अक्ष के सीमान्त मान ($X_{u\,\mathrm{Lim}}$)	85
3.4	प्रबलन इस्पात के सीमान्त मान ($p_{t\,\mathrm{Lim}}$)	85
3.5	प्रतिरोध आघूर्ण के सीमान्त मान ($M_{u\,\mathrm{Lim}}$)	88
3.6	सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (R_u)	89
4.1	कंक्रीट के अभिकल्प अपरूपण प्रतिबल (Design Shear Strength–τ_c)	114
4.2	k का मान (स्लैब के लिये)	115
4.3	अधिकतम अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल (Max: Shear Stress–$\tau_{c\,\mathrm{max.}}$)	115
4.4	अनुज्ञेय अभिलाग प्रतिबल (Bond Stress–τ_{bd})	135
4.5	एकल छड़ की विकास लम्बाई (Development Length–L_d)	136
5.1	छतों पर चल भार (Live Loads on Roofs)	155
5.2	फर्शों पर चल भार (Live Loads on Floors)	156
5.3	एकल पाट के लिये बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल कारक	157
5.4	दो से अधिक पाटों के लिये बंकन आघूर्ण कारक	158
5.5	दो से अधिक पाटों के लिये कर्तन बल कारक	159
5.6	कंक्रीट खण्डों के लिये अनुमत विक्षेप (Permissible Deflection)	159, 160
5.7	सीमान्त अभिकल्प स्थिरांक (Limiting Design Constants)	169
5.8	सम्पीडन इस्पात में विकसित प्रतिबल (f_{sc})	215, 491
7.1	विक्षेप नियन्त्रण (Deflection Control)	266

7.2	विक्षेप सीमा (Deflection Limit)	266
7.3	द्वि-दैशिक स्लैब के लिये बंकन आघूर्ण गुणक	291
8.1	स्तम्भों की संसुतित प्रभावी लम्बाई (Effective Length)	321
8.2	मृदाओं की सुरक्षित भार धारण क्षमता (Bearing Capacity)	352
11.1	कक्रीट में दरार-रोधक अनुज्ञेय प्रतिबल (टंकियों के लिये)	433
11.2	कंक्रीट में अनुमत प्रतिबल (सामर्थ्य के लिये)	434
11.3	इस्पात में अनूज्ञेय प्रतिबल (सामर्थ्य गणनाओं के लिये)	434
12.1	अभिकल्प स्थिरांक (Design Coefficients) (For R.B. Work)	470
12.2	ऊपरी फर्शों के लिये चल भार (Live Load) में कटौती	479
13.1	$\frac{x_{u\,max.}}{d}$ के मान (Design Aids)	490
13.2	सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक, $\frac{M_{u\,Lim.}}{bd^2}$ (Design Aids)	490
13.3	तनन प्रबलन का अधिकतम प्रतिशत्, $p_{t\,Lim.}$ (Design Aids)	490
13.5	गुणन-अंक (Multiplying Factor) (Design Aids)	491
14.1	उच्च तनन सामर्थ्य तारें (H.T. Steel Wires)	521
	चार्ट (Charts) — 1 (13–14–15) एकल प्रबलित खण्ड	503–505
	— 2 (19) दोहरे प्रबलित खण्ड	506
	— 3 (25) अक्षीय सम्पीडन स्तम्भ	507
	टेबल (Tables) — 1–2 एकल प्रबलित खण्ड, p_t के मान	508–509
	— 3–4 अपरूपण/ऊर्ध्व छल्ले-छड़ें (Bent up)	510
	— 5 दोहरे प्रबलित धरन (प्रबलन प्रतिशत्)	511
	— 6 सीमान्त प्रतिरोध आघूर्ण गुणक (T-धरन)	512
	— 7 स्लैब के लिये बंकन आघूर्ण तथा प्रबलन छड़े	513
	— सारणी-छड़ अनुसूची (प्रतिरुपी)	540

प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं का अभिकल्पन

(Design of Reinforced Concrete Structures)

(Model Question Paper)

नोट:– (i) अभिकल्पन में सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M.) अपनायें।

(ii) भाग 1 से कोई 3 प्रश्न और भाग 2 से एक प्रश्न का उत्तर दें।

(iii) Use of I.S. 456–2000 is allowed.

भाग-1

1. एक प्रबलित कंक्रीट धरन की माप 200 mm × 400 mm (प्रभावी) है। इसके तनन क्षेत्र में 16 mm व्यास की 3 छड़ें डाली गयी है। ज्ञात कीजिए 5 मी० के पाट पर यह धरन कितना चरम समवितरित भार (U.D.L.) वहन कर सकती है। इस्पात Fe415 और कंक्रीट M-20 ग्रेड की मान लें। **[15]**

(उत्तर: 23.45 kN/m)

2. 250 mm × 500 mm (प्रभावी) माप की धरन में, इसके तनन क्षेत्र में 22 mm व्यास की 4 छड़े प्रबलन के रुप में डाली गयी हैं। धरन का पाट 5·0 m है और इस पर स्वयम् के भार सहित 30 kN/m का भार आ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मानते हुये, धरन का अपरुपण (Shear) के लिये अभिकल्पन कीजिए। **[10]**

(उत्तर: 8 mm ϕ के 2-टाँग वाले छल्ले, 300 mm c/c पर)

3. एक प्रास-धरन (Cantilever Beam) अपने आलम्ब से 3 मी० बाहर निकली हुयी है। इस पर अपने भार-सहित 15 kN/m का भार पड़ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 श्रेणी का इस्पात मानते हुये, धरन का अभिकल्पन कीजिए। **[15]**

(उत्तर: माप 250 mm × 460 mm (at fixed end),
प्रबलन 4 छड़े, 16 mm व्यास)

4. एक दोहरी प्रबलित कंक्रीट धरन की माप 300 mm × 450 mm (प्रभावी) है। इसके तनन क्षेत्र में 25 mm व्यास की 4 छड़ें और सम्पीडन क्षेत्र में, ऊपरी सिरे से 50 mm की गहरायी पर, 20 mm व्यास की 2 छड़ें डाली गयी हैं। धरन की फैक्टर प्रतिरोध आघूर्ण (Factored Moment of Resistance) ज्ञात कीजिए। M-20 कंक्रीट और Fe 415 इस्पात मान लें। (**Hint:** f_{sc} = 342 N/mm^2 मान लें)। **[15]**

(उत्तर: M_4 = 254 kN/m)

5. एक कक्ष जिसका भीतरी माप 7·5 m × 3·5 m है, के ऊपर डाली जाने वाली प्रबलित कंक्रीट स्लैब का अभिकल्पन कीजिए। स्लैब पर 5 kN/m^2 का अध्यारोपित भार आ रहा है। कंक्रीट M-20 और इस्पात Fe 415 मान लें। **[15]**

(उत्तर: स्लैब मोटाई = 150 mm, मुख्य छड़ें 10 mm ϕ,
वितरण छड़ें 8 mm ϕ, 200 mm c/c)

6. एक लघु स्तम्भ की ऊँचाई 4 मी० है और यह दोनों सिरों पर अपनी स्थिति तथा चक्रण (Rotation) में निरुद्ध (Restrained) है। स्तम्भ पर 1600 kN का अक्षीय भार आ रहा है। M-20 ग्रेड की कंक्रीट और Fe 415 का इस्पात प्रयोग करते हुये, स्तम्भ का अभिकल्पन कीजिए। [15]

(उत्तर: स्तम्भ माप 500 mm × 500 mm, लम्बिका छड़ें 20 mm ϕ, 8, टाई 6 mm ϕ, 300 mm c/c)

भाग-2

7. सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M.) और कार्यकर प्रतिबल विधि (Working Stress Method) में कौन विधि अधिक सुसंगत और मित्तव्ययी है और क्यों? संक्षेप में उत्तर दें। [5]
8. पूर्व प्रतिबलित प्रणाली के पूर्व-तनन विधि (Pre-Tensioning और पश्च-तनन विधि (Post-Tensioning) में अन्तर, चित्र देकर स्पष्ट करें। [5]
9. किन्ही 5 को स्पष्ट करें—
   (i) OPC 33 ग्रेड सीमेन्ट, TMT इस्पातीय टो छड़ें।
   (ii) बलशून्य अक्ष (Neutral Axis), उत्तोलक भुजा (Lever Arm) ।
   (iii) सीमान्त अवस्था विधि (L.S.M.) में अल्प और अतिप्रबलित खण्ड।
   (iv) धरनों में विकर्ण तनन (Diagonal Tension) ।
   (v) अपरुपण प्रबलन (Shear Reinforcement) देने की विधियाँ।
   (vi) अभिलॉग (Bond) तथा विकास लम्बाई (Development Length)।
   (vii) दोहरी प्रबलित कंक्रीट धरन-क्यों और कहाँ अपनायी जाती है?
   (viii) एकल दिशा तथा द्वि-दिशा प्रबलित स्लैब में मूल अन्तर।
   (ix) 'Corners Not Held Down' स्लैब से क्या अभिप्राय है?
   (x) दीर्घ और लघु कंक्रीट स्तम्भों में भेद तथा विफलता के कारण।
   (xi) कंक्रीट पाद-नींव की गहरायी के लिये क्रान्तिक-काट।
   (xii) प्रास प्रतिधारक दीवार के मुख्य घटक तथा इनके विफल होने के कारण।
   (xiii) अनुप्रस्थ/अनुदैर्ध्य दिशाओं में आलम्बित ज़ीनों का स्वरुप।
   (xiv) अभिकल्पन सहाय्य युक्तियों का महत्व।
   (xv) प्रबलित कंक्रीट विषय से सम्बन्धित नवीन I.S. Code (संख्या तथा वर्ष)।

[5]

प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं का अभिकल्पन

(Design of Reinforced Concrete Structures)

(Model Question Paper-2)

नोटः– (i) किन्हीं पाँच प्रश्नों को हल कीजिए।

(ii) I.S. 456–1978 का उपयोग स्वीकृत है। यदि आवश्यक हो, उपयुक्त डेटा मान लें।

1. (अ) कैन्टीलीवर बीम में प्रबलन की स्थिति दर्शाए। [3]

(ब) कार्यकारी प्रतिबल विधि एवं सीमा अवस्था विधि में अभिकल्पन के अन्तर को स्पष्ट करें। [4]

(स) कंक्रीट बीम हेतु न्यूनतम प्रबलन हेतू सूत्र लिखें। [3]

2. 6 m प्रभावी पाट की एक बीम का अभिकल्पन सीमा अवस्था विधि से करों। बीम पर 30 KN/M का भार अध्यारोपित है एवं बीम का स्वयं का भार अतिरिक्त है। M-20 कंक्रीट, Fe 415 इस्पात एवं RCC का भार 2500 kg/m^3 लें। बीम में प्रबलन की अवस्था दर्शित करें एवं कर्तन के लिए इसकी जांच भी करें। [10]

3. सीमा अवस्था विधि से प्रबलित कंक्रीट स्तम्भ अभिकल्पन की विधि का वर्णन करें। इसके सम्पीडन में फेल होने (Collapse in Compression) एवं Slenderness limit का वर्णन करें। [10]

4. 150 mm मोटाई एवं 125 mm प्रभावी गहराई के कंक्रीट स्लैब में 10 mm व्यास की छड़ें 180 mm c/c दूरी पर तनन प्रबलन हेतु डाली गई हैं। सीमा अवस्था विधि से इसका प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करों। M-20 कंक्रीट एवं Fe 415 इस्पात प्रयोग किया गया है। [10]

5. 1.1×10^8 N-mm के नमन आघूर्ण (Bending moment) हेतु मित्तव्ययी गहराई के T Beam का अभिकल्पन करें। इस्पात एवं कंक्रीट का अनुपात 70 एवं टी बीम की विब की चौड़ाई 300 mm है। कंक्रीट में अनुमन्य प्रतिबल 5N/mm^2 एवं इस्पात में 230N/mm^2 हैं। m का मान 18 रहेगा। [10]

6. डोम प्रकार के ओवरहैड टैंक के क्या-क्या मुख्य अवयव (Components) होते हैं? एक साफ चित्र द्वारा सभी को प्रदर्शित करें। साथ ही एक सामान्य O.H.T. हेतू प्रबलन इस्पात की स्थिति भी दर्शित करें। [10]

7. निम्नलिखित का संक्षिप्त विवरण दें।

(i) धरनों की अनुदैर्ध्य स्थिरता (Lateral stability) [3]

(ii) पूर्व प्रबलन की विधियाँ [3]

(iii) कैन्टीलीवर रिटेनिंग दीवार [2]

(iv) स्तम्भ पाद (Column footings) [2]

EVEN SEMESTER EXAMINATION, OCTOBER-2020

प्रबलित कंक्रीट तकनीकी
(Design of Reinforced Concrete Structure)

[Time : 2:00 Hours] **[Maximum Marks : 50]**

नोट: किन्हीं **चार** प्रश्नों के उत्तर दीजिये। सभी प्रश्नों के अंक समान हैं।

1. संक्षेप में निम्नलिखित शब्दों की व्याख्या करें—
   (क) अंडर प्रबलित खंड (Under reinforced section) और ओवर प्रबलित खंड (Over reinforced section)
   (ख) One-way स्लैब (slab) और (Two way स्लैब slab)
2. एक 200 मिमी० चौड़ी और 650 मिमी० गहरी शुद्धालम्बित (simply supported) आरसीसी धरन (RCC beam) 20 मिमी० व्यास के चार तनाव इस्पात (tension steel) से प्रबलित की गयी है। 5 मीटर का प्रभावी पाट पर एक समान रूप से वितरित भार (uniformly distributed load) का निर्धारण कीजिये यदि प्रभावी कवर 50 मिमी० है। दिया गया है, $\sigma_{cbc} = 5\text{N/mm}^2$ $\sigma_{st} = 140\text{N/mm}^2$ और $m = 18$.
3. एक दोहरा प्रबलित कंक्रीट 250 मिमी० चौड़ा और संपीड़न किनारे से तन्यता इस्पात (tension steel) के केंद्र तक 500 मिमी० गहरा है, पर 70 किलोन्यूटन-मी० का बेन्डिंग मोमेंट लग रहा है। संपीड़न इस्पात (compression steel) और तन्यता इस्पात (tension steel) दोनों का क्षेत्रफल 1300 मिमी०^2 हैं। संपीड़न स्टील का केंद्र संपीड़न किनारे से 50 मिमी० पर है। कंक्रीट और तनाव स्टील (tension steel) और संपीड़न स्टील (compression steel) में प्रतिबल (stresses) को बताइये। दिया गया है—$m = 18$.
4. T-धरन (T-Beam) के डिजाइन के लिए प्रमुख पद लिखें, जब न्यूट्रल अक्ष (neutral axis) वेब क्षेत्र में है।
5. एक 300 मिमी० चौड़ी और 550 मिमी० गहरी और 6.5 मी० की प्रभावी लम्बाई (span) वाली शुद्धालम्बित (simply supported) आरसीसी धरन (RCC

beam) पर अपने स्वयं के वजन सहित 50 किलोन्यूटन/मी० का भार लग रहा है। धरन को 25 मिमी० व्यास की 6 तनाव छड़ों और 20 मिमी० व्यास की 4 संपीड़न छड़ों से प्रबलित की गयी है। केवल शियर (shear) के लिए धरन (beam) का अभिकल्पन (design) कीजिये।

6. एक सरल समर्थित स्लैब (slab) स्पष्ट आकार 3.60 m × 9 m जिस पर 8 किलो न्यूटन/मी०^2 का सजीव भार (live load) और 1.5 किलोन्यूटन/मी०^2 फर्श परिष्करण भार (floor finishing load) लग रहा है, का लिमिट स्टेट विधि (Limit state method) का उपयोग कर अभिकल्पन कीजिये। M20 ग्रेड कंक्रीट और Fe 500 स्टील (Fe 500 steel) का उपयोग करें। मान लीजिये स्लैब चारों ओर से 300 मिमी० चौड़े समर्थन (support) पर आधारित (supported) है।

7. पोस्ट टेंशनिंग (post-tensioning) और प्री टेंशनिंग (pre-tensioning) कंक्रीट के बीच अंतर लिखिए। संक्षेप में प्री स्ट्रेसिंग (pre-stressing) के सिद्धंत को समझाइए।

civilguruji.com