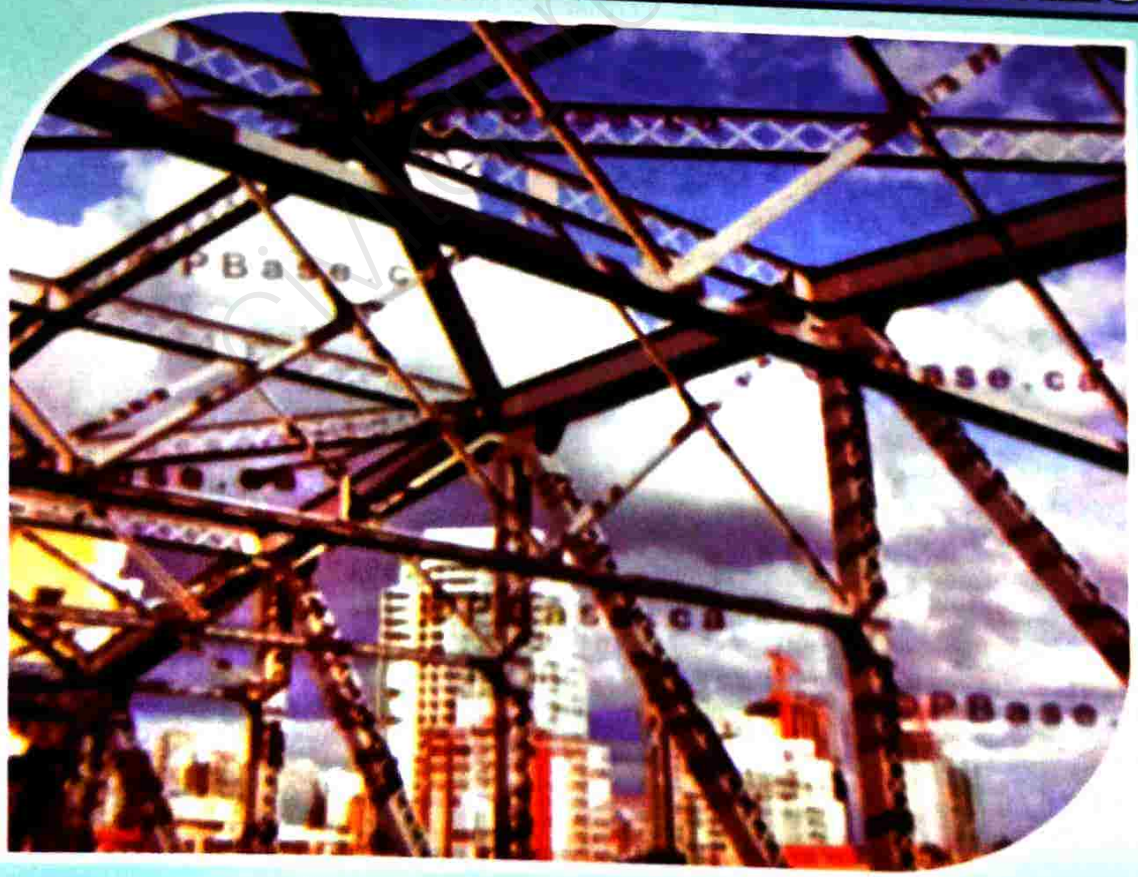
गुप्ता • घारपुरे • सिंह

# इस्पातीय संरचनाओं का अभिकल्पन

## DESIGN OF STEEL STRUCTURES



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

# इस्पातीय संरचनाओं का अभिकल्पन
## (DESIGN OF STEEL STRUCTURES)

लेखक:
डी०वी० गुप्ता
सी०टी० घारपुरे

civilguru.net

एशियन पब्लिशर्स, मुज़फ़्फ़रनगर®

प्राविधिक शिक्षा परिषद्, उत्तर प्रदेश/उत्तराखण्ड के नवीन पाठ्यक्रम पर आधारित

# इस्पातीय संरचनाओं का अभिकल्पन

# (DESIGN OF STEEL STRUCTURES)

## (With Structural Drawings)

[6th सेमेस्टर (अन्तिम वर्ष) सिविल अभियन्त्रण डिप्लोमा छात्रों के लिये]

(संशोधित एवं परिवर्द्धित संस्करण)


लेखक:

**डी० वी० गुप्ता**
M.I.E., B.A. (Hons.), G.S.E. (Civil Engg.)

**सी० टी० घारपुरे**
B.E. (Hons.)

परामर्शक:

**विक्रम सिंह**
B. Tech. (Hons.) (Civil Engg.), I.I.T. Delhi
M.B.A., M.C.A., A.M.I.E. (India), M.I.R.C., M.I.W.R.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(उ०प्र०)


civilguru.net

○ इस्पातीय संरचनाओं का अभिकल्पन

• डी० वी० गुप्ता • सी०टी० घारपुरे • विक्रम सिंह

○ प्रकाशक:

एशियन पब्लिशर्स

46/20, कम्बल वाला बाग, नई मण्डी,

मुजफ्फरनगर-251 001 ( उ० प्र० )

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, फोटोप्रतिलिपि, ग्राफीकली, पट्टीकरण, सूचना अन्त्रेषण प्रणाली, अभिलेखन इत्यादि ) से उद्धृत, अनुवादित या प्रकाशित नहीं किया जा सकता।

© सर्वाधिकार लेखकाधीन सुरक्षित!

○ प्रथम संस्करण : 1985-1986

○ सप्तम् संस्करण : 2004-2005

○ अष्टम् संस्करण : 2010-2011 (संशोधित एवं परिवद्धित संस्करण)

○ पुनः मुद्रित : 2013, 2014, 2015, 2016

○ पुनः मुद्रित : 2017, 2018, 2019, 2020

○ दशम संस्करण : 2020-2021

○ पुनः मुद्रित : 2021-2022

○ मूल्य : ₹ 400.00

ISBN: 978-93-5502-160-1

○ मुद्रक:

पावन प्रिंटर्स

शिवाजी मार्ग, मेरठ

फोन: 0121-2642973

# समर्पित—

——— यह कितनी घोर विसंगति है कि एक ही विभाग (प्राविधिक शिक्षा विभाग, उत्तर प्रदेश) में 20 वर्षों से अधिक विभिन्न पदों व स्थानों (राजकीय पॉलीटेक्निकों) पर कार्यरत रहते हुये भी हम (मैं और श्री घारपुरे), सह-विभागीय तथा एक ही प्रकाशन (एशियन पब्लिशर्स) से जुड़े होकर भी, कभी व्यक्तिगत तौर पर सम्पर्क में न आ पाये और कालान्तर में दोनों विभाग से सेवानिवृति हो गये। सेवानिवृति के बाद, श्री घारपुरे जल्दी इस संसार से चले गये। उनकी पुस्तक S.T.M. छात्रों में काफी प्रशंसित रही। परन्तु कुछ वर्ष पूर्व, यू०पी० बोर्ड ने इस विषय के पाठ्यक्रम में काफी परिवर्तन कर दिया और उत्तराखण्ड बोर्ड ने, उपनी अलग पहचान बनाये रखने के लिये, प्रकाष्ठ संरचनाओं को पुनः पाठयक्रम में डाल कर और आरेखन कार्य को सम्मिलित करके, इसे गोमती की संकरी धारा से उठाकर गंगा के विशाल पाट में पटक दिया।

——— पुस्तक-विक्रेताओं की शेल्फ से एक लाभप्रद पुस्तक को लुप्त होते देखकर, प्रकाशक ने हम से इस के उद्धार (Revise and Uptodate) का विशेष आग्रह किया। अपने सह-विभागीय व समकालीन गुरुजन का नाम प्राविधिक शिक्षा क्षेत्र में चलता रहे, हमनें यह कार्य अपने हाथ में लिया—वर्तमान पाठ्यक्रम के अनुसार इसमें नये अध्याय जोड़े गये और मैटर का अधिक सरल हिन्दीकरण करके पुनः लेखनीबद्ध किया गया। आयु के इस पड़ाव पर पहुँच कर, इस पुस्तक के लिये घोर श्रम करने के लिये, हमें कहाँ से इतनी लगन, साहस व प्रेरणा मिली और यह कलम निविराम चलती रही, इस पर विचार करते ही मेरा ध्यान शून्य में उस दिवंगत आत्मा की तरफ चला जाता है, जिसे कभी भी कायाधारी रूप में नहीं मिल पाया।

——— अतः पुस्तक का यह संशोधित व परिवर्द्धित संस्करण, इस के जनक—श्री सी०टी० घारपुरे की दिव्य आत्मा को सादर समर्पित—

—धर्मवीर गुप्ता

civilguruji.net

**परिनियमक चेतावनी——**

*——विषय सम्बन्धी जो सूचनाये, चित्रण, प्रक्रिया तथा तकनीकी आँकड़े व सार इस पुस्तक मे दिये गये है, वे त्रुटि व मानवीय भूल-चूक की सम्भावनाओ को न्यूनतम रखते हुये, ज्ञात, परिखत, विश्वसनीय तथा इन्जीनियरो क्षेत्र मे स्वीकार्य स्रोतो से लिये गये है, जिनमे भारतीय मानको के रीति-संहिताये भी सम्मिलित है। लेखक ने यह पुस्तक तैयार करते समय, यह भी ध्यान मे रखा है, कि जहाँ तक व्यवहारिक तौर पर सम्भव व अनुमान्य है, यह पुस्तक वर्तमान मे घोषित किसी प्रतिलिप्याधिकार (Copyrights) अथवा किसी व्यक्ति के बौद्धिक सम्पदा अधिकार (I.P.R.) का उल्लघन न करे। लेखक द्वारा पुस्तक मे वर्णित किसी निर्माण-विधि/प्रक्रिया अथवा तकनीको सूचना की पूर्णता व सत्यता के प्रति, यदि कोई भ्रम/विरोधाभास उत्पन्न होता है और इस कारण किसी व्यक्ति को जाने/अनजाने कोई असुविधा/हानि पहुँचती है, स्वच्छ बोध के विकास प्रसार के हित मे पुस्तक रचियता किसी प्रकार से जिम्मेदार/दोषी नही ठहराये जा सकते है। यदि कोई मानवीय भूल-चूक अथवा तकनीको विरोधाभास पुस्तक के पठन पर सामने आता है, सुधी पाठक द्वारा लिखित मे अवगत कराने पर, उसे पुस्तक के अगले संस्करण मे सुधारने/निरसन की भरपूर चेष्ठा की जायेगी।*

**—डी०वी० गुप्ता**

*—यह पुस्तक (इसके आवरण-डिजाइन सहित) प्रकाशक की पूर्वलिखित अनुमति के बगैर किसी भी पद्धति-बन्धी आधार, पुनः एणन (Resale), भाड़े पर, उधारि पर, रेहनदारी पर, चक्री-फेरी (Circulation) इत्यादि पर, अन्य व्यक्ति को देने की मनाही है। उल्लघन पर दोषी के विरुद्ध कानूनी-कार्यवाही की जा सकती है।*

**सत्य प्रकाश मित्तल**
(प्रकाशक)

## प्रस्तावना—

### दशम संस्करण

'इस्पात, चिनाई तथा प्रकाष्ठ संरचनाओं का अभिकल्पन' से सम्बन्धित पुस्तक के इस संस्करण को उत्तर प्रदेश/उत्तराखण्ड के प्रा० शि० परिषदों के नवीन पाठ्यक्रमानुसार संशोधित व परिवर्द्धित किया गया है। पुस्तक मे भारतीय मानक ब्यूरो (B.I.S.) द्वारा सुझाये गये नवीनतम कोड़ (Codes), प्रतीक चिन्हों (Symbols) व तकनीकी संज्ञायों (Technical Terms) को अपनाया गया है। निचली कक्षाओं मे पठित यांत्रिकी, संरचनाओं के सिद्धान्त आदि विषयों के मूल-तत्व की पुनरावृत्ति व तत्क्षण-संदर्भ (Ready Reference) के लिये, पुस्तक के शुरु मे अलग अध्याय जोड़ा गया है तथा अन्त मे अनेक परिशिष्ट दिये गये है ताकि आवश्यकता पड़ने पर, विद्यार्थी उन्हें तुरन्त देख ले और उन्हें पुरानी पाठ्य-पुस्तकों को खंगालने मे समय व्यर्थ न करना पड़े।

सरल व रुचिकर शैली में लिखी गयी, इस विषय पर अब डिप्लोमा स्तर के लिये यह एक पूर्ण पाठ्य पुस्तक है, जो अनेक प्रदेशों के प्रा० शिक्षा परिषदों के पाठ्क्रम को उत्तम ढंग से कवर करती है।

इस संस्करण के बारे मे पठकों के विचारों एवं सुझावों का हम स्वागत करते हैं।

**सेक्टर 31, नोयडा** **—डी० वी० गुप्ता**
**(उत्तर प्रदेश)**

### प्रथम संस्करण

इस्पात एवं चिनाई संरचनाओ के सिद्धान्त एवं अभिकल्पन विषय से सम्बद्ध यह पुस्तक पाठकों के हाथ मे सहर्ष सौप रहा हूँ।

इस पुस्तक को मुख्यत: अन्तिम वर्ष सिविल अभियन्त्रण के लिये प्राविधिक शिक्षा परिषद, उत्तर प्रदेश द्वारा स्वीकृत पाठ्यक्रम तथा पिछले लगभग 20 वर्षों से इस विषय का अध्यापन कार्य करते हुये समय-समय पर छात्रों द्वारा व्यक्त कठिनाइयो को ध्यान में रखते हुये व्यवहारिक एवं सरल हिन्दी भाषा में लिखने का प्रयास किया गया है। सभी आवश्यक तकनीकी हिन्दी संज्ञायों के साथ सम्बद्ध अंग्रेजी संज्ञाये भारत सरकार द्वारा प्रकाशित वैज्ञानिक व तकनीकी शब्दावली की सहायता से देने का प्रयास किया गया है।

पुस्तक की लेखन शैली रुचिकर रखते हुये सभी सिद्धान्त, मूल तत्वों की सहायता से सरल शब्दों में व्यक्त करने का प्रयास किया गया है।

पिछली कक्षाओं से सम्बद्ध अध्यायों का संकलन करते हुये पुनरावृत्ति (Revision) का एक अध्याय प्रारम्भ मे ही दिया गया है जो पाठकों के लिये विशेष रूप से उपयोगी सिद्ध होगा।

अन्त में, कम समय मे पुस्तक प्रकाशित करने मे जिस लगन व उत्साह से प्रकाशक द्वारा प्रयास किया गया है वह सराहनीय है। इसके लिये लेखक अत्यन्त आभारी है।

पुस्तक के बारे में पाठकों के विचारों एवं सुझावों का स्वागत है।

**सी० टी० धारपुरे**

civilguru

Board of Technical Education, U.P.

# SYLLABUS

## 6.3: DESIGN OF STEEL STRUCTURES

**L T P = 6**
**(Total Periods 84)**

### DETAILED CONTENTS

1. **Structural Steel and Sections:** (06 Periods)
   1 1 Properties of structural steel
   1 2 Designation and classification of structural steel sections as per IS handbook and IS: 800: 2007
   1 3 Tubular Sections
2. **Riveted Connections** (10 Periods)
   Types of Rivet. Permissible stresses in rivets, types of riveted joints, specifications as per IS800, Failure of riveted joint, strength and efficiency of riveted joint, Design of Riveted Connection only axially loaded number (No staggered rivetting)
3. **Bolt Connections** (10 Periods)
   Types of bolt, permissible stresses in bolt, types of bolted joints, specifications for bolted joints as per IS 800. Failure of a bolted joint. Assumptions in the theory of bolted joints. Strength and efficiency of a bolted joint. Design of bolted joints for axially loaded members ( No Staggered bolts).
4. **Welded Connections** (10Periods)
   Types of welds and welded joints, advantages and disadvantages of welded joints design of fillet and butt weld for axially loaded members
5. **Tension Members** (10 Periods)
   Analysis and design of single and double section tension members and their rivetted and welded connections with gusset plate as per IS:800-2007. Introduction to Lug Angle and Tension splice.
6. **Compression Members** (10 Periods)
   Angle struts, type of section used, effective length, radius of gyration, slenderness ratio and its limits, permissible compressive stress Analysis and design of single and double angle sections compression members subjected to axial load. Introduction to analysis and design of axially loaded column. Introduction to lacing and battening (No numerical problem on lacing and battening)
7. **Roof Trusses** (08 Periods)
   Form of trusses, pitch of roof truss, spacing of trusses, spacing of purlins, connection between purlin and roof covering. Connection between purlin and principal rafter (no design, only concept)
8. **Column Bases** (08 Periods)
   Types of column bases i.e. slab base, gusseted base. Design of slais base and concrete block. Introduction to gusseted base (no numerical problems on gusseted base). Introduction to beam columns design of simple built up beams (Symmetrical I section with cover plates only)
9. **Beams** (08 Periods)
   Analysis and design of single section simply supported laterally restrained steel beams. Introduction to plate girder and functions of various elements of a plate girder
10. Fabrication and erection of steel structures like trusses, columns and girders (04 Periods)

**Important Note:**
Use of IS. 800 and Steel Tables are permitted in examination.

Board of Technical Education, Uttrakand

# SYLLABUS

## STEEL, TIMBER AND MASONRY STRUCTURES
## DESIGN AND DRAWING

### DETAILED CONTENTS

**A. Steel Theory and Design—**

1. **Structural Steel and Sections** (02 hrs)
   1.1. Properties of Structural steel as per BIS Code.
   1.2. Designation of structural steel sections as per BIS handbook and BIS:800
2. **Structural Steel Connections** (10 hrs)
   2.1. Riveted Connections: Types of rivets, permissible stressed in rivets, types of riveted joints, specifications for riveted joints as per IS 800.
   Failure of riveted joint. Assumptions in the theory of riveted joints. Strength and efficiency of a riveted joint. Design of riveted joints for axially loaded members (No Staggered riveting).
   2.2. Welded connections: Types of welds and welded joints, advantages and disadvantages of welded joints, Design of fillet and butt weld.
   Plug and slot welds (Descriptive, No numerical on plug and slot welds).
3. **Roof Truss** (02 hrs)
   Form of trusses, pitch of roof truss, spacing of trusses, spacing of purlins, connection between purlin and roof covering. Connection between purlin and principal rafter.
4. **Tension Members** (06 hrs)
   Analysis and design of single and double section tension members and their rivetted and welded conections with gusset plate as per BIS : 800.
5. **Compression Members** (06 hrs)
   Analysis and design of single and double angle sections compression members (struts) and their rivetted and welded connections with gusset plate as per BIS : 800.
6. **Columns** (06 hrs)
   6.1. Concept of buckling of columns, effective length and slenderness ratio, permissible stresses in compression as per BIS : 800 for different end conditions. Analysis and Design of axially loaded single section steel column.
   6.2. Types of column bases (Descriptive only).
   6.3. Beams and column, frame and seated connections (descriptive only, no design).
7. **Beams** (06 hrs)
   Analysis and design of single section simply supported laterally restrained steel beams. Introduction to plate girder and functions of various elements of a plate girder.
8. **Purlins, plate girders, gantry girders and Box girders (Descriptive only).**
   (02 hrs)
9. **Timber Structures** (08 hrs)
   Design of simply supported rectangular section beam subjected to uniformly distributed load as per provisions of BIS 883. Design of solid compression and tension members of a wooden truss as per provisions of BIS 883.
10. **Masonry Structure** (16 hrs)
    10.1. Design of Brick masonry Pillar and Load bearing Masonry wall carrying axial loads as per IS : 1905.
    10.2. Design of foundations for Brick masonary pillar and load bearing masonry wall carrying axial loads. Depth of footings by using Rankin's formula.

10.3 Masonry Retaining Walls : Active earth pressure, Rankin's formula for active earth pressure (No Derivation). To check the stability of masonry retaining walls against over turning and sliding while retaining dry or moist, fully or partly submerged soils. Retaining walls may be subjected to super loading (udl) over the soil and may be soil surcharged retaining walls.

**(B) Steel/Timber Structures Drawing—**

1 (a) Preparation of drawing of a steel roof truss with details of joints for the given span, shape of the truss and the design data regarding the size of the members and the conenctions. Fixing details of purlins and roof sheet.

(b) Drainage arrangement for a pitched roof.

(c) Prepanng plan showing system of trusses along with bracing sag rods. purlins, runners etc.

(d) Preparation of steel lean to roof drawing with fixing and anchorage system.

(e) Details of splicing for steel columns and steel beams.

2 Column Beam Connection Drawings :

(a) Beam to beam connections (Seated and framed)

(b) Beam to column (Seated and framed)

(c) Column bases (Slab base and gusseted base)

3 Detailed drawing showing plan and elevation for a riveted plate girder with the given design data regarding the sizes of its parts, with details at the supports and connections of stiffeners, flange angles and cover plates with the web (06 hrs)

4 Preparation of timber kingpost roof truss with details of joints for the given data (nail jointed fink truss) and cantilever truss. (03 hrs)

# विषय-सूची


| अध्याय | | पृष्ठ संख्या |
|---|---|---|
| | **भाग-1 इस्पातीय संरचनायें (Steel Structures)** | |
| 1. | संरचनाओं के अभिकल्प के आधार-तत्व (Basics of Design of Structures) | 3–36 |
| 2. | संरचनात्मक इस्पातीय खण्ड (Structural Steel Sections) | 37–46 |
| 3. | संरचनात्मक इस्पातीय जोड़-I (Structural Steel Connections-I) रिवेट जोड़ (Rivetted Joints) | 47–73 |
| 3A. | संरचनात्मक इस्पातीय जोड़-IA (Structural Steel Connections-IA) बोल्ट जोड़ (Bolt Joints) | 73(*i*)–73(*lvi*) |
| 4. | संरचनात्मक इस्पातीय जोड़-II (Structural Steel Connections-II) वेल्डन जोड़ (Welded Joints) | 74–93 |
| 5. | तनन उपांग (Tension Members) | 94–128 |
| 6. | संपीडन उपांग (Compression Members) | 129–173 |
| 7. | इस्पातीय धरने (Steel Beams) | 174–224 |
| 8. | स्तम्भ आधार का स्तम्भ-नींव (Column Bases and Foundations) | 225–246 |
| 9. | इस्पातीय छत-कैंचियां (Steel Roof Trusses) | 247–282 |
| | **भाग-2 चिनाई तथा प्रकाष्ठ संरचनायें (Masonry and Timber Structures)** | |
| 10. | चिनाई संरचनायें एवं नींव (Masonry Structures and Foundations) | 285–342 |
| 11. | प्रकाष्ठ संरचनायें (Timeber Structures) | 343–375 |
| 12. | संरचना आरेखन एवं विस्तरण (Structures Drawings and Detailing) | 376–388 |
| o | परिशिष्ट(Appendices) A से I (इस्पातीय खण्ड, आँकड़े व सूत्र संग्रह) | 389–425 |
| oo | परीक्षा प्रश्न-पत्र | |


civilguruji.com

# प्रतीक चिन्ह

## (Symbols used in this Book)

**खण्ड तथा भार (Sections and Loading)—**

$A$ अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल (Area of Cross-section)

$D$ खण्ड की कुल गहराई (या व्यास) (Depth or Dia.)

$E$ यंग मापांक (Young's Modulus of Elasticity)

$e$ उत्केन्द्रता (Eccentricity)

$F$ अपरूपण बल (Shear Force)

$I$ जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia)

$L$ पाट (विस्तृति) (Span)

$l$ प्रभावी पाट (Effective length)

$M$ बंकन आघूर्ण (Bending Moment)

$P$ अक्षीय बल/भार (सम्पीड़न/तनन) (Axial Force C or T)

$R$ आलम्ब पर धारण के कारण प्रतिक्रिया अथवा परिणामी अथवा वक्रता त्रिज्या (Reaction at Cupport or Resultant or Radius of Curvature)

$r$ परिभ्रमण त्रिज्या (Radius of Gyration) = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

$V$ अपरूपण बल (Transverse shear)

$W$ कुल भार या दाब (Total load or force)

$y$ उदासीन अक्ष से दूरी (Distance from N.A.)

$Z$ परिच्छेद मापांक (Section Modulus) = $\sqrt{\frac{I}{y}}$

$\lambda$ तनुता अनुपात (Slenderness Ratio) = $\frac{l}{r}$

$\delta$ विस्थापन (Deflection)

$n$ गुणक (Coefficient) (Merchant Rankine Formula) (Assumed as 1.4)

**प्रतिबल (Stresses)—**

$\sigma$ प्रतिबल (Called sigma) अथवा $f$

$\sigma_{ac}$ अक्षीय सम्पीड़न प्रतिबल (Axial Compressive stress)

$\sigma_{at}$ अक्षीय तनन प्रतिबल (Axial Tensile stress)

$\sigma_{bc}$ बंकन में सम्पीड़न प्रतिबल (Bending Compressive stress)

$\sigma_{bt}$ बंकन में तनन प्रतिबल (Bending Tensile stress)

$\sigma_{cc}$ कंक्रीट में सम्पीड़न प्रतिबल (Compressive Stress in concrete)

$\sigma_{st}$ इस्पात में तनन प्रतिबल (Tensile Stress in steel)

$\tau_{max}$ अधिकतम अपरूपण प्रतिबल (Maximum Shear stress)

$\tau_{av}$ औसत अपरूपण प्रतिबल (Average Shear stress)

$f_y$ इस्पात में पराभव प्रतिबल (Yield Stress in steel)

$f$ धृतिबल (Stress)

$P_a$ अक्षीय प्रतिबल (Axial stress)

$P_b$ बंकन प्रतिबल (Bending stress)

civilguru.net

भाग-1

# इस्पातीय संरचनायें

## (STEEL STRUCTURES)

# 1 संरचनाओं के अभिकल्प के आधार-तत्व
## (BASICS OF DESIGN OF STRUCTURES)

### § 1.1. परिचय (Introduction) :

इन्जीनियरी संरचनाओं के निमार्ण के लिये अधिकतर इस्पात, प्रकाष्ठ, कंक्रीट आदि सामग्री का प्रयोग किया जाता है। इन मैटीरियल के गुण, सामर्थ्य, व्यवहार इत्यादि का पता लगाने के लिये इन्जीनियरी के मूल विषयों जैसे यान्त्रिकी (Mechanics), द्रव्यों की सामर्थ्य (Strength of Materials) आदि का कार्यकर ज्ञान होना आवश्यक है और यह आपेक्षा की जाती है कि छात्र इन्जीनियरी अध्ययन के इस स्तर तक पहुँचते-पहुँचते उपरोक्त विषयों से परीक्षित होगें, फिर भी छात्रों की सुविधा के लिये, इन विषयों से सम्बन्धित प्रमुख मूल तत्वों की पुनरावृत्ति की जा रही है।

### § 1.2. समतलीय बल (Coplanar Forces) :

जब किसी संरचना पर कार्यरत बलों की क्रिया रेखायें (Lines of action) एक ही समतल (Plane) में स्थित होती हैं, तब इन बलों को **समतलीय बल** कहा जाता है।

**1.2-1. संगामी बल** (Concurrent Forces)—जब किसी बल व्यवस्था में बलों की क्रिया रेखायें **एक बिन्दु** में मिलती हैं, तब इन बलों को संगामी बल कहा जाता है।

**1.2-2. असंगामी बल** (Non-concurrent Forces)—जब किसी बल व्यवस्था में बलों की क्रिया रेखायें **एक बिन्दु** में नहीं मिलती हैं, तब इन बलों को असंगामी बल कहते हैं।

**1.2-3. समान्तर बल** (Parallel Forces)—जब किसी बल व्यवस्था में बलों की क्रिया रेखायें समान्तर (Parallel) होती हैं, तब बलों को समान्तर बल कहा जाता है।

**1.2-4. परिणामी बल एंव सन्तुलन बल** (Resultant and Equilibriant )—जब किसी समतलीय बल व्यवस्था में दो या अधिक बल कार्य करते हों, तब उस कल्पित **एकल बल** (Single force) को परिणामी बल (Resultant) कहा जाता है, जो उक्त बलों से होने वाला प्रभाव उत्पन्न करता हो।

उस एकल बल को, जो किसी समतलीय बल व्यवस्था में कार्यरत बलों से मिलकर उन्हें स्थिर (Equilibrium) में रखता हो, सन्तुलन बल कहा जाता है।

किसी समतलीय बल व्यवस्था में परिणामी बल तथा सन्तुलन बल की क्रिया रेखा (Line of Action) एक होती है, लेकिन दिशायें विरोधी या विपरीत (Opposite) होती हैं।

**1.2-5. आघूर्ण तत्व** (Principle of Moments)—समतलीय बल व्यवस्था में बलों के समतल (Plane) में स्थित किसी भी बिन्दु पर बलों के आघूर्णों की बीजगणितीय योग (Algebric Sum) उसी बिन्दु पर उन बलों के परिणामी बल (Resultant) के आघूर्ण के समान होता है।

### § 1.3. समतलीय बलों की स्थिरता (Equilibrium of Coplanar Forces):

समतलीय बल व्यवस्था में स्थित बलों का परिणामी बल शून्य होने तथा उसी समतल में स्थिति किसी भी बिन्दु पर समस्त बलों के आघूर्णों का बीजगणितीय योग शून्य होने पर उस बल व्यवस्था को स्थिर कहा जायेगा।

**1.3-1. स्थिरता की शर्तें** (Conditions of Equilibrium)—उपरोक्त अनुच्छेद 1.3 के आधार पर किसी समतलीय बल व्यवस्था के स्थिर होने की शर्तें निम्नवत् है—

(i) बलों के क्षैतिज घटकों (Horizontal Components) का बीजगणितीय योग शून्य होता है, अर्थात् $\Sigma H = 0$

(ii) बलों के ऊर्ध्वाधर घटकों (Vertical Components) का बीजगणितीय योग शून्य होता है, अर्थात् $\Sigma V = 0$ तथा

(iii) उसी समतल में स्थित किसी भी बिन्दु पर समस्त बलों के आघूर्णों का बीजगणितीय योग शून्य होता है, अर्थात् $\Sigma M = 0$

अत: दक्षिणावर्त आघूर्णों (Clockwise Moments) का योग तथा वामावर्त आघूर्णों (Anticlockwise Moments) का योग समान होगा।

**(1) असंगामी बलों की स्थिरता** (Equilibrium of Non-concurrent Forces)—यदि किसी समतलीय बल व्यवस्था में स्थित बल असंगामी हो (उनकी क्रिया रेखाएँ एक बिन्दु से न गुजरती हों) तो उस बल व्यवस्था की स्थिरता के लिये अनुच्छेद 1.3.1 में अंकित सभी शर्तों का पूरा होना आवश्यक होगा।

**(2) संगामी बलों की स्थिरता** (Equilibrium of Concurrent Forces)—यदि किसी समतलीय बल व्यवस्था में स्थित सभी बल संगामी (Concurrent) हो तो अनुच्छेद 1.2.1 के अनुसार उनकी क्रिया रेखाएँ (Line of Action) एक ही बिन्दु से गुजरेंगी।

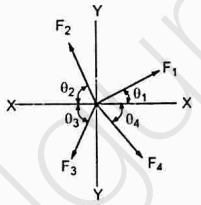
चित्र 1.1 में ऐसी समतलीय बल व्यवस्था दर्शित है जिसमें—

(i) चार बल $F_1, F_2, F_3$ व $F_4$ कार्यरत है।

(ii) इन बलों को उसी समतल में स्थित एक-दूसरे के लम्बवत् दो अक्ष $XX$ व $YY$ के संदर्भ में दर्शित किया गया है।

(iii) $XX$ अक्ष क्षैतिज (Horizontal) व $YY$ अक्ष ऊर्ध्वाधर है तथा बलों की क्रिया रेखाएँ इन अक्षों के कटान बिन्दु से गुजरती हैं।

(iv) बल व्यवस्था बल $F_1, F_2, F_3$ व $F_4$ $XX$ अक्ष से क्रमश: $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ व $\theta_4$ कोण बनाते हुए कार्यरत है।



चित्र 1.1

स्पष्ट है कि इन बलों के क्षैतिज घटक $XX$ अक्ष पर तथा ऊर्ध्वाधर घटक $YY$ अक्ष पर स्थित होंगे तथा स्थिरता के लिये अनुच्छेद 1.3.1 में अंकित प्रथम दो शर्तों का पूरा होना पर्याप्त होगा।

इस प्रकार किसी बल $F$ के क्षैतिज घटक को "$F_x$" तथा ऊर्ध्वाधर घटक को "$F_y$" से दर्शित करने पर स्थिरता के लिये—

$$\Sigma H = \Sigma F_x = \Sigma F \cos\theta$$
$$= F_1 \overrightarrow{\cos\theta_1} - F_2 \overleftarrow{\cos\theta_2} - F_3 \overrightarrow{\cos\theta_3} + F_4 \overleftarrow{\cos\theta_4}$$
$$= \text{zero}$$

इसी प्रकार,

$$\Sigma V = \Sigma F_y = \Sigma F \sin\theta$$
$$= F_1 \sin\theta_1 (\uparrow) + F_2 \sin\theta_2 (\uparrow) - F_3 \sin\theta_3 (\downarrow) - F_4 \sin\theta_4 (\downarrow)$$
$$= \text{Zero}$$

**(3) समान्तर बलों की स्थिरता** (Equilibrium of Parallel Forces)—यदि किसी समतलीय बल व्यवस्था में समस्त बलों की क्रिया रेखाएँ एक दूसरे के समान्तर हो तो परिणामी बल (Resultant) उनके बीजगणितीय योग के समान होगा।

अत: अनुच्छेद 1.3.1 के सन्दर्भ में समान्तर बलों की स्थिरता के लिये शर्तें निम्नवत होगी—

$$\Sigma V = 0 \quad \text{तथा} \quad \Sigma M = 0$$

विगत कक्षा में हम धरनों (Beam) का अध्ययन कर चुके हैं। सामान्यत: धरन क्षैतिज होती है तथा उस पर कार्यरत बल ऊर्ध्वाधर (Vertical) होते हैं। यह बल एवं धरन की प्रतिक्रियाएँ (Reactions) मिलकर समतलीय बल व्यवस्था बनाते हैं जिसमें समस्त बल एक दूसरे के समान्तर होते हैं। इसी संदर्भ में उपरोक्त शर्तें $\Sigma V = 0$ तथा $\Sigma M = 0$ अंकित की गयी हैं, जिनका प्रयोग हम धरनों के विश्लेषण में करते हैं।



**उदाहरण 1.1 : चित्र 1.1 में दर्शित संगामी बल व्यवस्था में यदि $F_1, F_2, F_3$ व $F_4$ क्रमश: 30, 15, 5 व 10 $N$ हों तथा उनकी क्रिया रेखाएँ $XX$ अक्ष से क्रमश: 32°, 65°, 60° व 40° कोणों पर नत हों तो परिणामी बल का मान एवं उसकी क्रिया रेखा का $XX$ अक्ष से कोण ज्ञात कीजिये।**

**हल :** उदाहरण में दिये गये बलों के क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर घटक तालिका 1.1 में गणना करते हुये ज्ञात किये गये हैं—

**तालिका 1.1**

| बल (Force) | $F_1 = 30$ N | $F_2 = 15$ N | $F_3 = 5$ N | $F_4 = 10$ N |
|---|---|---|---|---|
| $XX$ अक्ष से कोण ($\theta$) | $\theta_1 = 32°$ | $\theta_2 = 65°$ | $\theta_3 = 60°$ | $\theta_4 = 40°$ |
| $\cos\theta$ | 0·8480 | 0·4226 | 0·5000 | 0·7660 |
| $\sin\theta$ | 0·5300 | 0·9063 | 0·8660 | 0·6430 |
| $F_x = F\cos\theta$ | + 25·44 N | − 6·34 N | − 2·50 N | + 7·66 N |
| $F_y = F\sin\theta$ | + 15·90 N | + 13·60 N | − 4·33 N | − 6·43 N |

उपरोक्त गणना के आधार पर परिणामी बल (Resultant Force) के घटक—

क्षैतिज घटक $\quad R_x = \Sigma F_x = +24{\cdot}26$ N

ऊर्ध्वाधर घटक $\quad R_y = \Sigma F_y = +18{\cdot}74$ N

$$\text{परिणामी बल} = \sqrt{24{\cdot}26^2 + 18{\cdot}74^2} = 30{\cdot}65 \text{ N}$$ उत्तर

इसका $XX$ अक्ष से कोण

$$\tan\theta = \frac{R_y}{R_x} = \frac{18{\cdot}74}{24{\cdot}26} = 0{\cdot}7724$$

तथा $\quad \theta = 37°40'$ उत्तर

**उदाहरण 1.2 : चित्र 1.2 में दर्शित शुद्धालम्बित धरन $AB$ (लम्बाई 6·0 मी०) पर आने वाले भार एवं दूरियाँ निम्नवत हैं—**

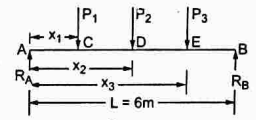
**भार— $P_1 = 5$ kN, $P_2 = 2$ kN, $P_3 = 1$ kN**

**दूरियाँ— $x = 1{\cdot}2$ m, $x_2 = 2{\cdot}5$ m, $x_3 = 4{\cdot}5$ m.**

**इस धरण के लिये आलम्ब $A$ व $B$ पर प्रतिक्रियाएँ (Reactions) $R_A$ व $R_B$ के मान ज्ञात कीजिये।**

**हल :** चित्र 1.2 देखें

धरन पर आने वाले भार $P_1, P_2$ व $P_3$ एवं प्रतिक्रियाएँ $R_A$ व $R_B$ मिलकर एक स्थिर समतलीय बल व्यवस्था बनाते हैं, जिसमें सभी बल एक दूसरे के समान्तर हैं।



चित्र 1.2

अत: स्थिरता की शर्तों $\Sigma V = 0$ तथा $\Sigma M = 0$ का प्रयोग करते हुये $R_A$ व $R_B$ के मान ज्ञात किये जायेंगे।

$\Sigma M = 0$ के अनुसार, आलम्ब '$A$' पर बलों के आघूर्ण लेने पर—

$$R_B \times L = P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3$$

ज्ञात मान रखने पर—

$$R_B \times 6 = 5 \times 1{\cdot}2 + 2 \times 2{\cdot}5 + 1 \times 4{\cdot}5 \text{ kN.m}$$
$$= 6{\cdot}0 + 5{\cdot}0 + 4{\cdot}5 \quad \text{अथवा} \quad 15{\cdot}5 \text{ kN.m}$$

तथा $\quad R_B = \frac{15{\cdot}5}{6} = 2{\cdot}58 (\uparrow)$ उत्तर

इसी प्रकार $\Sigma V = 0$ के अनुसार

$$(R_A + R_B)(\uparrow) - (P_1 + P_2 + P_3)(\downarrow) = 0$$

अथवा $$-(R_A + 2{\cdot}58)(\uparrow) = 5 + 2 + 1 = 8{\cdot}0\,\text{kN}(\downarrow)$$

अथवा $$R_A = 8{\cdot}0(\downarrow) - 2{\cdot}58(\uparrow) = 5{\cdot}42\,\text{kN}(\uparrow)$$ उत्तर

## § 1.4. खण्डों के गुरुत्व केन्द्र (Centroids of Sections) :

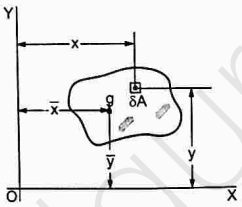
किसी खण्ड का गुरुत्व केन्द्र वह बिन्दु है जिसके चारो ओर खण्ड का क्षेत्रफल समान रूप से वितरित होता है।

सामान्यत: खण्डो के गुरुत्व केन्द्र व ज्यामितीय केन्द्र एक होते हैं।

यद्यपि आवश्यकतानुसार गुरुत्व केन्द्र की स्थिति दो अक्षों ($OX$ व $OY$) पर जो एक दूसरे से लम्बवत् है, क्षेत्रफलों के आघूर्ण लेते हुये ज्ञात की जाती है, जो उदाहरण 1.3 से स्पष्ट होगा।

गुरुत्व केन्द्र की स्थिति समाकलन द्वारा (By Integration) भी ज्ञात की जा सकती है।

चित्र 1.3 अनुसार—



चित्र 1.3

$A$ = खण्ड का कुल क्षेत्रफल (Total Area)

$\delta A$ = अल्पांश (Element) का क्षेत्रफल

$x$ = अल्पांश के गुरुत्वकेन्द्र की $OY$ अक्ष से दूरी

$y$ = अल्पांश के गुरुत्वकेन्द्र की $OX$ अक्ष से दूरी

$\bar{x}$ = क्षेत्रफल $A$ के गुरुत्व केन्द्र की $OY$ अक्ष से दूरी

$\bar{y}$ = क्षेत्रफल $A$ के गुरुत्व केन्द्र $OX$ अक्ष से दूरी

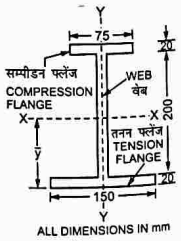
स्पस्ट है कि $$\int \delta A = A$$

समाकलन के तत्वो द्वारा, $$\Sigma \delta A \cdot x = \int x \delta A = \bar{x} \int \delta A = A\bar{x}$$

इसी प्रवार, $$\Sigma \delta A y = \int y \cdot \delta A = \bar{y} \int \delta A = A\bar{y}$$

अत: $$\bar{x} = \frac{\int x \delta A}{A} \quad \text{तथा} \quad \bar{y} = \frac{\int y \cdot \delta A}{A}$$

**उदाहरण 1.3 : चित्र 1.4 में दर्शित एक धरन खण्ड के संपीडन फ्लेंज की चौड़ाई 75 mm तथा मोटाई 20 mm है। तनन फ्लेंज की चौड़ाई 150 mm तथा मोटाई 20 mm है। वेब की मोटाई 15 mm तथा गहराई 200 mm है। इस खण्ड के गुरुत्व केन्द्र की स्थिति ज्ञात कीजिये।**



चित्र 1.4

**हल :** चित्र 1.4 के अनुसार यह खण्ड $YY$ अक्ष पर सममित (Symmetrical) है।

अत: गुरुत्व केन्द्र $XX$ अक्ष पर स्थित होगा तथा $XX$ अक्ष के जो $YY$ अक्ष के अम्वत् होगा, गुरुत्व केन्द्र से गुजरेगा। अन्य शब्दो मे गुरुत्व केन्द्र $XX$ तथा $YY$ अक्षों के **कटान** बिन्दु पर स्थित होगा। खण्ड की गणना हेतु तीन आयताकार क्षेत्रो मे (अल्पांशों मे) विभाजित करते हुये, प्रत्येक क्षेत्र (अल्पांश) के गुरुत्व केन्द्र की स्थिति तालिका 1.2 मे दी गयी है—



तालिका 1.2

| क्षेत्र | क्षेत्रफल ($mm^2$) | गुरुत्व केन्द्र की निचले रेशों (तली) से दूरी |
|---|---|---|
| संपीडन फ्लेंज | $75 \times 20 = 1500\ mm^2$ | $\left(20 + 200 + \frac{20}{2}\right) = 230$ mm |
| वेब | $15 \times 200 = 3000\ mm^2$ | $\left(20 + \frac{200}{2}\right) = 120$ mm |
| तनन फ्लेंज | $150 \times 20 = 3000\ mm^2$ | $\frac{20}{2} = 10$ mm |
| कुल खण्ड | $(1500 + 3000 + 3000)\ mm^2 = 7500\ mm^2$ | $\bar{y} = ?$ |

निचले रेशे (तली) पर आघूर्ण लेने पर—

$$7500\,\bar{y} = (1500 \times 230) + (3000 \times 120) + (3000 \times 10)\ mm^3$$
$$= 3{,}45{,}000 + 3{,}60{,}000 + 30{,}000\ mm^3$$
$$= 7{,}35{,}000\ mm^3$$

अत: $$\bar{y} = \frac{7{,}35{,}000}{7{,}500} = 98\ \text{mm}$$ उत्तर

## § 1.5. जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia) :

**1.5-1. जड़त्व आघूर्ण**—संरचनात्मक खण्ड का किसी अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण उस खण्ड के अल्पांशों (Elements) के क्षेत्रफल एवं उनके इस अक्ष से दूरी के वर्गों के गुणनफलों का योग होता है।

इसे क्षेत्रफल का द्वितीयक आघूर्ण (2nd Moment of Area) भी कहा जाता है।

चित्र 1.5 के अनुसार दर्शित खण्ड के लिये—

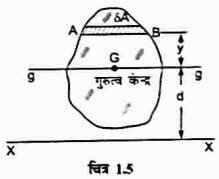
$\delta A$ = खण्ड के अल्पांश ($AB$) का क्षेत्रफल

$y$ = अल्पांश (के गुरुत्व केन्द्र) की "$gg$" अक्ष से दूरी

$I$ = "$gg$" अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण

तब, उपरोक्त परिभाषा के अनुसार—

$$I = \Sigma \delta A y^2 = \int y^2 \cdot \delta A$$



चित्र 1.5

चित्र के अनुसार इस अक्ष पर गुरुत्व केन्द्र "$G$" स्थित है अत: इस अक्ष को "$gg$" से दर्शित किया गया है। इस प्रश्न पर खण्ड के जड़त्व आघूर्ण को "$I_{gg}$" से दर्शित किया जाता है तथा "$gg$" अक्ष को गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष (Centroidal Axis) कहा जाता है।

किसी अन्य अक्ष $XX$ (अथवा $AA$) पर जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia) को $I_{xx}$ (अथवा $I_{aa}$) से सम्बोधित किया जाता है। "$XX$" (अथवा $AA$) अक्ष "$gg$" अक्ष के समान्तर होगा।

**1.5-2. समांतर अक्ष प्रमेय** (Theorem of Parallel Axes)—यदि हमे संरचनात्मक खण्ड का गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष के समान्तर किसी अन्य अक्ष $XX$ (अथवा $AA$) पर जड़त्व आघूर्ण ज्ञात करना हो तो इसे समान्तर अक्ष प्रमेय से ज्ञात किया जाता है।

चित्र 1.5 मे दर्शित खण्ड के लिये,

यदि, $d$ = दोनों अक्षों ($gg$ व $XX$) में लम्बवत दूरी

$A$ = खण्ड का क्षेत्रफल

civilguru.net

तब, जड़त्व आघूर्ण की परिभाषा के अनुसार—

$$I_{xx} = \Sigma(d \pm y^2) \cdot \delta A$$

स्पष्ट है कि खण्ड का क्षेत्रफल गुरुत्व केन्द्र के चारो ओर वितरित होता है, अत: अल्पांश "$\delta A$" की स्थिति "$gg$" अक्ष के दोनो ओर हो सकती है' इस प्रकार चित्र 1.5 के अनुसार,

$$I_{xx} = \Sigma(d \pm y)^2 \cdot \delta A$$
$$= \int(d \pm y)^2 \cdot \delta A$$
$$= \int(d^2 + y^2 \pm 2d \cdot y) \cdot \delta A$$
$$= d^2 \int \delta A + \int y^2 \pm 2d \int y \cdot \delta A$$

"$d$" का मान स्थिर होने से,

$$\delta^2 \int \delta A = A \cdot d^2$$

$$\int y^2 \cdot \delta A = I_{gg}$$

$\int y \cdot \delta A$ = अल्पांशों (Elements) के क्षेत्रफलों के गुरुत्व केन्दीय अक्ष (Centroidal Axis "$gg$" पर आघूर्णों (Moments) का योग

= गुरुत्व केन्द्र पर खण्ड के पूरे क्षेत्रफल $A$ का आघूर्ण जो शून्य होगा।

अत: $I_{xx} = I_{gg} + Ad^2$

इस प्रकार किसी खण्ड का गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष "$gg$" के समान्तर अक्ष $XX$ पर जड़त्व आघूर्ण उसी खण्ड का गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष (Centroidal Axis) पर जड़त्व आघूर्ण "$I_{gg}$" तथा खण्ड के क्षेत्रफल ($A$) का दोनों अक्षों के बीच लम्बवत् दूरी के वर्ग ($d^2$) से गुणनफल के योग के बराबर होगा।

**इसे समान्तर अक्ष प्रमेय** (Theorem of Parallel Axes) कहा जाता है।

कई बार खण्ड के गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष "$gg$" को $XX$ से दर्शित किया जाता है। सममित खण्डों का गुरुत्व केन्द्र $XX$ व $YY$ अक्षो के कटान बिन्दु पर स्थित होता है। ऐसी स्थिति में उपरोक्त प्रमेय में अन्य अक्ष को "$AA$" से सम्बोधित करने पर प्रमेय का प्रयोग निम्नवत् किया जाये।

$$I_{aa} = I_{xx} + Ad^2$$

**1.5-3. परिभ्रमण त्रिज्या** (Radius of Gyration)—किसी खण्ड की किसी अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या उस अक्ष से वह (कल्पित) दूरी है जिसका वर्ग एवं खण्ड के क्षेत्रफल का गुणनफल खण्ड के उस अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण के समान हो।

यदि $I_{xx}$ = $XX$ अक्ष पर खण्ड का जड़त्व आघूर्ण

$r_{xx}$ = खण्ड के लिये $XX$ अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या

$A$ = खण्ड का क्षेत्रफल

तथा $I_{xx} = A(r_{xx})^2$ अथवा $r_{xx} = \sqrt{\frac{I_{xx}}{A}}$

इस प्रकार खण्ड के लिये किसी भी अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या प्राप्त की जा सकती है।

**(1) न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या** (Least Radius of Gyration)—संरचनात्क खण्ड के लिये न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या ज्ञात करना आवश्यक होता है, जिसका प्रयोग स्तम्भो/सम्पीडांगों के अभिकल्पन/विश्लेषण में किया जाता है।



परिभ्रमण त्रिज्या की परिभाषा से हम जानते हैं कि—

$$\text{किसी अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या} = \sqrt{\left(\frac{\text{उस अक्ष पर खण्ड का जड़त्व आघूर्ण}}{\text{खण्ड का क्षेत्रफल}}\right)}$$

अत: किसी संरचात्मक खण्ड के लिये—

$$\text{न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या} = \sqrt{\left(\frac{\text{न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण}}{\text{खण्ड का क्षेत्रफल}}\right)}$$

स्पष्ट है कि खण्ड के क्षेत्रफल का मान स्थिर होता है अत: हमें उस अक्ष की स्थिति ज्ञात करनी चाहिये जिस पर जड़त्व आघूर्ण का मान न्यूनतम होगा।

**(2) प्रधान अक्ष, अधिकतम व न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण** (Principal Axes, Maximum and Minimum Moments of Inertia)—प्रत्येक संरचनात्मक खण्ड के लिये दो ऐसे अक्ष होते हैं जो एक दूसरे के लम्बवत् होते हैं। इनमे से एक अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण का मान अधिकतम होता है, तथा दूसरे अक्ष पर यह न्यूनतम होता है।

इन अक्षों को प्रधान अक्ष (Principal Axes) कहा जाता है। इन्हें क्रमश: $UU$ तथा $VV$ से दर्शित किया जाता है।

इस प्रकार किसी संरचनात्मक खण्ड के लिये—

न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण = $I_{vv}$

एवं न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या = $r_{vv}$

तथा $$r_{vv} = \sqrt{\frac{I_{VV}}{A}}$$

प्रधान अक्षों के बारे में पाठकों को यह तथ्य जानना आवश्यक है कि जब कोई खण्ड दो गुरुत्व केन्द्रीय अक्षो $XX$ तथा "$YY$" में से किसी भी एक अक्ष "$XX$" अथवा "$YY$" अथवा दोनों अक्षों ($XX$ व $YY$) पर सममित होता है तब $XX$ व $YY$ अक्ष ही खण्ड के लिये प्रधान अक्ष होते हैं तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या का मान $I_{XX}$ अथवा $I_{YY}$ में से जो न्यूनतम हो, के आधार पर ज्ञात किया जाता है।

जो मानक खण्ड उपरोक्तानुसार सममित नही होते हैं उनके लिये स्टील टेबल में $r_{xx}$ व $r_{yy}$ के साथ-साथ $r_{vv}$ का मान भी दिया जाता है। यह सम्बद्ध अध्याय से अधिक स्पष्ट होगा।

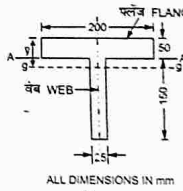
**उदाहरण 1.4 : एक $T$ खण्ड के फ्लेंज की चौड़ाई 200 mm तथा मोटाई 50 mm है। वेब मोटाई 25mm तथा गहराई 150 mm है। इस खण्ड का फ्लेंज के समान्तर गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण $I_{gg}$ ज्ञात कीजिये।**

**हल :** खण्ड चित्र 1.6 में दर्शित है।

सर्वप्रथम इस खण्ड के लिये गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष की स्थिति ज्ञात करनी होगी।

चित्र 1.6 के अनुसार गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष को "$gg$" से दर्शित किया गया है, जिसकी ऊपरी रेशे से लम्बवत् दूरी $\bar{y}$ से दर्शित की गयी है। खण्ड ऊर्ध्वाधर अक्ष पर सममित है। अत: हमे $\bar{y}$ का मान ज्ञात करना होगा।

खण्ड को फ्लेंज तथा वेब, दो क्षेत्रो मे विभाजित करते हुये प्रत्येक क्षेत्र का क्षेत्रफल एवं गुरुत्व केन्द्र की स्थिति तालिका 1.3 में दी गयी है—




चित्र 1.6

तालिका 1.3

| क्षेत्र | क्षेत्रफल ($mm^2$) | गुरुत्व केन्द्र की ऊपरी रेशों से दूरी (mm) |
|---|---|---|
| (i) फ्लेज | $200 \times 50 = 10.000\ mm^2$ | $\frac{50}{2} = 25$ mm |
| (ii) वेब | $25 \times 150 = 3.750\ mm^2$ | $50 + \frac{150}{2} = 125$ mm |
| कुल खण्ड | $A = 13.750\ mm^2$ | $\bar{y}$ |

ऊपरी रेशो पर क्षेत्रफलो के आघूर्ण लेने पर—

$$13750\bar{y} = (10.000 \times 25) + (3.750 \times 125)\ mm^3$$
$$= 2,50.000 + 4,68.750\ mm^3$$
$$= 7,18.750\ mm^3$$

तथा $$\bar{y} = \frac{7,18.750}{13.750} = \mathbf{52{\cdot}3\ mm}$$

इस प्रकार गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष "$gg$" फ्लेज की ऊपरी रेशे से 52·3 mm दूरी पर स्थित है।

चित्र से स्पष्ट होता है कि फ्लेंज का निचला रेशा तथा वेब का ऊपरी रेशा दोनों एक रेखा पर स्थित हैं।

इस रेखा को "$AA$" अक्ष मानते हुये—

अक्ष "$AA$" व "$gg$" में लम्बवत् दूरी $$d = (52{\cdot}3 - 50)\ mm = 2{\cdot}3\ mm$$

खण्ड का क्षेत्रफल $$A = 13.750\ mm^2$$

इस प्रकार समान्तर अक्ष प्रमेय से—

$$I_{aa} = I_{gg} + Ad^2$$

अक्ष $AA$ फ्लेंज तथा वेब की आधार भुजा है तथा दोनों आयताकार हैं। पिछली कक्षा के अध्ययन से,

$$I = I_{aa}\text{ (फ्लेंज)} \therefore I_{aa}\text{ (वेब)}$$
$$= \frac{200 \times 50^3}{3} + \frac{25 \times 150^3}{3}\ mm^4$$
$$= \frac{50^3}{4}\ [200 + 25 \times 3^3]\ mm^4$$
$$= \frac{875 \times 50^3}{3}\ mm^3$$
$$= 3645{\cdot}8 \times 10^4\ mm^4$$

पुन: $$I_{AA} + I_{gg} + Ad^2$$

ज्ञात मान रखने पर—

$$3645{\cdot}8 \times 10^4 = I_{gg} + 13{\cdot}750 \times 2{\cdot}3^3\ mm^4$$
$$= I_{gg} + 7{\cdot}27 \times 10^4\ mm^4$$

तथा $$I_{gg} = (3645{\cdot}8 - 7{\cdot}27) \times 10^4\ mm^4$$

अथवा $$= \mathbf{3638 \times 10^4\ mm^4}$$

उत्तर



## § 1.6. धरने (Beams):

**1.6-1.धरन** (Beam)—धरन एक संरचनात्मक अवयव है जिस पर कार्यरत बाह्य बल धरन के अनुदैर्घ्य अक्ष से नत होते हैं। जब बाह्य बल इस अक्ष पर लम्बवत् होते हैं तब उन्हें अनुप्रस्थ भार (Transverse Load) कहा जाता है। अनुप्रस्थ भारों से धरन में उत्पन्न प्रतिबलों को अनुप्रस्थ प्रतिबल (Transverse Stresses) कहा जाता है। सामान्यत: धरन की स्थिति संरचना में क्षैतिज होती है तथा उस पर आने वाले अनुप्रस्थ भार ऊर्ध्वाधर होते हैं।

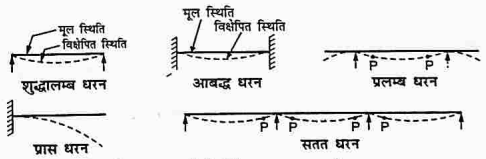
निर्माण सामग्री के आधार पर धरने निम्न प्रकार की होती हैं—(i) प्रकाष्ठ धरने (Timber Beams), (ii) इस्पात धरने (Steel Beams), (iii) प्रबलित कंक्रीट धरने (R.C.C. Beams)।

अनुप्रस्थ काट-खण्ड के आधार पर धरनों के नाम इस प्रकार हैं—(i) आयताकार धरन (Rectangular Beam), (ii) वृत्ताकार धरन (Circular or Round Beam), (iii) चेनल धरन (Channel Beam), (iv) I-खण्ड (I-Section), (v) संघटित धरन व प्लेट गर्डर (Composite Beam and Plate Girder)

**1.6-2.धरनों के प्रकार** (Types of Beams)—आलम्बों (Supports) के अनुसार धरनों को निम्नवत् वर्गीकृत किया जाता है—

(i) शुद्धालम्ब धरन (Simply Supported Beam),
(ii) प्रलम्ब धरन (Over Hang Beam),
(iii) प्रास धरन (Cantilever Beam),
(iv) आबद्ध धरन (Fixed Beam),
(v) सतत् धरन (Continuous Beam)

चित्र 1.7 में उपरोक्त धरन दर्शित की गयी हैं। दर्शित वर्गीकरण आलम्बों के आधार पर किया गया है। धरन की स्थिति क्षैतिज लेते हुये कल्पना की जा सकती है कि अनुप्रस्थ/ऊर्ध्वाधर भारों के फलस्वरूप धरन का विरुपण (Deformation) कैसे होगा। चित्र 1.7 में प्रत्येक धरन के अनुदैर्घ्य अक्ष की धरन के विरूपण के बाद की स्थिति (खण्डित रेखा में) दर्शित की गयी है। बिन्दु $P$, प्रतिनमन बिन्दु दर्शाता है। अनुप्रस्थ भारों के परिणामों का विवरण आगे दिया गया है।

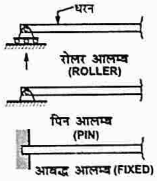



चित्र 1.7—धरनो के विभिन्न आलम्बन तथा विरूपण

**1.6-3. आलम्बों के प्रकार** (Types of Supports)—संरचनाओं के आलम्बों को निम्नवत् वर्गीकृत किया गया है—

(i) रोलर आलम्ब (Roller Support),
(ii) पिन आलम्ब (Hinged Supports),
(iii) आबद्ध आलम्ब (Fixed Support)।

चित्र 1.8 में उपरोक्त आलम्ब दर्शित किये गये हैं।




चित्र 1.8

रोलर आलम्ब में रोलर दिये जाते हैं जिस कारण आलम्ब पर क्षैतिज विस्थापन (Horizontal Displacement) सम्भव होता है, यद्यपि प्रतिक्रिया सदा ऊर्ध्वाधर होती है।

पिन आलम्ब व आबद्ध आलम्ब मे विस्थापन सम्भव नहीं होता, यद्यपि प्रतिक्रिया भारों के अनुसार ऊर्ध्वाधर अथवा तिर्यक (Inclined) होती है।

स्पष्ट है कि संरचना पर आने वाले भारों के फलस्वरूप अवयवो का विरूपण (Deformation) होता है। कई बार तापीय परिवर्तन से भी अवयवों की लम्बाइयो मे परिवर्तन होता है तथा इसका

समायोजन क्षैतिज विस्थापन से सम्भव होता है। इससे अतिरिक्त प्रतिबल उत्पन्न नहीं होते। अत: ऐसी स्थिति में रोलर आलम्ब उपयुक्त होता है।

कई बार भारों के फलस्वरूप प्रतिक्रियाएँ तिर्यक होती हैं तथा आलम्बों पर आघूर्ण उत्पन्न होता है। ऐसे स्थिति में पिन आलम्ब तथा आबद्ध आलम्ब स्थिति के अनुसार उपयुक्त होते हैं।

**1.6-4. अनुप्रस्थ भारों के परिणाम** (Effect of Transverse Loads)—धरनों पर आने वाले अनुप्रस्थ भार या बल समतलीय होते हैं। भारों के अनुसार आलम्बों पर प्रतिक्रियाएँ (Reactions) होती हैं। अनुप्रस्थ भार एवं प्रतिक्रियाएँ मिलकर एक स्थिर समतलीय बल व्यवस्था बनाते हैं। अत: अनुच्छेद 1.3-1 में उल्लेखित निम्न शर्तों धरनों के विश्लेषण में उपयुक्त हैं—

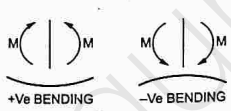
$$\Sigma M = 0 \qquad \text{तथा} \qquad \Sigma V = 0$$

**(1) बंकन आघूर्ण** (Bending Moment)—उपरोक्त शर्त $\Sigma M = 0$ के अनुसार धरन के विस्तृति पर प्रत्येक खण्ड पर धरन पर कार्यरत बलों (प्रतिक्रियाओं सहित) के आघूर्णों का बीजगणितीय योग शून्य होगा।

अत: यदि खण्ड की दोनों ओर से बलों के आघूर्णों का बीजगणितीय योग अलग-अलग ज्ञात किया जाये तो यह समान एवं विरोधी (Equal and Opposite) होंगे।

इस प्रकार यदि किसी खण्ड के एक ओर से बलों के आघूर्णों का योग "$M$" वामावर्त हो तो दूसरी ओर से यह समान एवं दक्षिणावर्त होगा। यह स्थिति चित्र 1.9 में दर्शित की गयी है।

इस आघूर्ण "$M$" का परिणाम धरन के बंकन से दर्शित होता है। अत: इसे बंकन आघूर्ण कहा जाता है।



चित्र 1.9

चित्र 1.9 में दर्शित बंकन (Bending) के स्वरूप के अनुसार इसे धनात्मक (+ve) या ऋणात्मक (–ve) बंकन कहा जाता है। धरन के विस्तृति पर प्रत्येक बिन्दु पर '$M$' का मान अलग-अलग होगा।

यदि प्रत्येक बिन्दु पर आने वाले आघूर्णों के मान आरेख द्वारा दर्शित किये जाये तो 'बंकन आघूर्ण आरेख' (Bending Moment Diagram) प्राप्त होगा। बंकन आघूर्ण आरेख धरन के विस्तृति पर प्रत्येक खण्ड पर बंकन आघूर्ण का परिवर्तन एवं स्वरूप दिखाता है।

**(2) प्रतिनमन बिन्दु** (Point of Contraflexure)—चित्र 1.7 में दर्शित प्रलम्ब धरन (Overhang Beam), आबद्ध धरन तथा सतत् धरन के विरूपण से स्पष्ट होता है कि इन धरनों में धनात्मक (+ve) तथा ऋणात्मक (–ve) बंकन होगा इससे विस्तृति के मध्य पर धनात्मक बकन के कारण उत्तलता (Convexity) **नीचे** की ओर तथा आलम्ब पर उत्तलता **ऊपर** की ओर होगी।

इस प्रकार जिस बिन्दु पर वक्रता (Curvature) अपना स्वरूप बदलती है उसे **प्रतिनमन बिन्दु** कहा जाता है।

चित्र 1.7 में यह बिन्दु "$P$" द्वारा प्रदर्शित है। प्रलम्ब धरन के ऐसे दो बिन्दु होंगे। आबद्ध धरन में दोनों आलम्बों पर ऋणात्मक बंकन (–ve Bending) के फलस्वरूप दो प्रतिनमन बिन्दु होंगे। सतत धरन में धरन दोनों सिरा आलम्बों पर शुद्धालम्बित हैं अत: इस धरन में सिरा विस्तृतियों में एक-एक प्रतिनमन बिन्दु होगा तथा बीच की विस्तृति में दो प्रतिनमन बिन्दु होंगे।

स्पष्ट है कि प्रतिनमन बिन्दु के एक ओर बंकन आघूर्ण का मान (+ve) धनात्मक हो तो दूसरी ओर यह (–ve) होगा। इस प्रकार बंकन आघूर्ण आरेख में बिन्दु पर बंकन आघूर्ण का मान शून्य होगा।

**(3) कर्तन (अपरूपण) बल** (Shear Force)—इसी प्रकार शर्त $\Sigma V = 0$ के अनुसार विस्तृति (Span) पर प्रत्येक खण्ड पर धरन पर कार्यरत बलों (अनुप्रस्थ भार एवं प्रतिक्रियायें) का बीजगणितीय योग शून्य होगा।

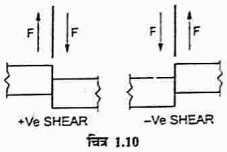
अत: यदि खण्ड दोनों ओर से बलों का बीजगणितीय योग अलग-अलग ज्ञात किया जाये तो यह योग ($F$) समान एवं विरोधी (Equal and Opposite) होगा।

यद्यपि इसकी प्रवृत्ति धरन को काटने की (चित्र 1.10 देखें) होगी। अत: इसे अपरूपण (या कर्तन) बल कहा जाता है। चित्र 1.10 में दर्शित कर्तन के अनुसार इसे धनात्मक (+ve) अथवा ऋणात्मक (–ve) कर्तन कहा जाता है एवं तदनुसार अपरूपण (कर्तन) बल को +ve अथवा –ve चिन्ह दिये जाते हैं।



**धरन के अभिकल्पन** में अधिकतम बंकन आघूर्ण तथा अधिकतम अपरूपण बलों (Maximum B.M. and S.F.) के मान महत्वपूर्ण होते हैं। सामान्यत: अधिकतम कर्तन बल आलम्ब पर होता है। अधिकतम बंकन आघूर्ण ज्ञात करने के लिये बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल (S.F.) में निम्न सम्बन्ध का प्रयोग किया जाता है।

$$\frac{dM}{dx} = F$$



चित्र 1.10

अधिकतम बंकन आघूर्ण (Maximum B.M.) के लिये, $\frac{dM}{dx} = 0$

**1.6-5. धरन में प्रतिबल** (Stresses in Beam)—बंकन आघूर्ण (B.M.) तथा कर्तन (अपरूपण) बल (S.F.) के कारण धरन-खण्ड पर बंकन प्रतिबल (Bending Stresses) एवं अपरूपण प्रतिबल (Shear Stresses) उत्पन्न होते हैं इनकी गणना निम्नवत् की जाती है—

**(1) बंकन प्रतिबल** (Bending Stresses)—धरन में उत्पन्न बंकन प्रतिबल निम्न समीकरण से ज्ञात किया जाता है—

$$\frac{M}{I} = \frac{f}{y} = \frac{E}{R}$$

यहाँ, $M$ = धरनखण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण (N. mm में) (Moment of Resistance)। यह अधिकतम बंकन आघूर्ण के समान होता है।

$I$ = उदासीन अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia about N.A.) mm में।

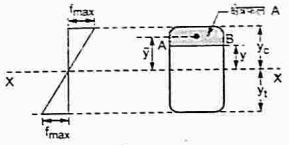
$f$ = उदासीन अक्ष से $y$ mm दूरी पर स्थिर रेशे पर उत्पन्न प्रतिबल ($N/mm^2$)

$y$ = उदासीन अक्ष के उक्त रेशे की दूरी (mm)

$E$ = यंग मापांक ($N/mm^2$)

$R$ = वक्रता त्रिज्या (Radius of Curvture) (mm).

चित्र 1.11 के अनुसार अधिकतम बंकन प्रतिबल $f_{max}$ धरण खण्ड के ऊपरी रेशे (Top Fibre) पर उदासीन अक्ष (N.A.) से $y_c$ दूरी पर संपीडन तथा निचले रेशे पर उदासीन अक्ष (N.A.) से $y_t$ दूरी पर तनन प्रतिबल उत्पन्न होगा। (दूरियाँ $y_c$ तथा $y_t$ mm में ली जायेगी)



चित्र 1.11

**(2) परिच्छेद मापांक** (Section Modulus)—बंकन समीकरण के अनुसार,

$$\frac{M}{I} = \frac{f}{y}$$

अत: $$M = f \times \frac{I}{y} = fZ$$

किसी खण्ड या परिच्छेद (Section) के लिये $\left(\frac{I}{y}\right)$ का मान स्थिर होता है।

इसे **परिच्छेद मापांक** कहा जाता है तथा '$Z$' से दर्शित किया जाता है। धरनों के अभिकल्पन में परिच्छेद मापांक महत्वपूर्ण है।

आयताकार खण्ड के लिये (For Rectangular Section)—

यदि $b$ = खण्ड की चौड़ाई (Breadth)

$d$ = खण्ड की गहराई (Depth)

तथा $I = \frac{bd^3}{12}$ तथा $y_c = y_t = \frac{d}{2}$ (अधिकतम मान) (चित्र 1.12 देखें)।

अत: $$Z = \frac{I}{y} = \frac{bd^3}{12} \times \frac{2}{d} = \frac{bd^2}{6}$$

इसी प्रकार अन्य खण्डो के लिये भी परिच्छेद मापांक ज्ञात किये जा सकते हैं।

**(3) अपरूपण प्रतिबल** (Shear Stress)—धरन खण्ड पर उत्पन्न अपरूपण प्रतिबल निम्न सूत्र से ज्ञात किया जाता है—

$$\tau_v = \frac{V \cdot A\bar{y}}{Ib}$$

यहाँ (चित्र 1.11 देखे)

$\tau_v$ = खण्ड के $AB$ रेशे पर उत्पन्न अपरूपण प्रतिबल ($N/mm^2$)

$V$ = खण्ड पर अपरूपण बल (Shear Force) (N)

$b = AB$ रेशे पर खण्ड की चौड़ाई (mm)

$A$ = खण्ड का उदासीन अक्ष से $y$ तथा $y_1$ दूरियों के बीच क्षेत्रफल ($mm^2$)

$\bar{y}$ = क्षेत्रफल $A$ के गुरुत्व केन्द्र की उदासीन अक्ष से दूरी (mm)

$I$ = खण्ड का जड़त्व आघूर्ण ($mm^4$) में।

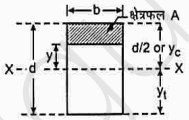
$XX$ = उदासीन अक्ष

स्पष्ट है कि अधिकतम अपरूपण प्रतिबल उदासीन अक्ष (N.A.) तक का पूरा क्षेत्रफल उक्त सूत्र में लेने पर प्राप्त होगा जैसे—

आयताकार खण्ड के लिये चित्र 1.12 देखें—

यदि $b$ = चौड़ाई (mm)

$d$ = गहराई (mm)



चित्र 1.12

उक्त सूत्र मे पूरी गहराई तक चौड़ाई '$b$' स्थिर है।

अत: $$Ab = b\left(\frac{d}{2} \to y\right)$$

तथा $$\bar{y} = y + \frac{1}{2}(y_c - y)$$

उदासीन अक्ष पर $y = 0$ रखने पर

$$A = \frac{bd}{2} \quad \text{तथा} \quad \bar{y} = \frac{d}{4}$$

तथा इस खण्ड के लिये $I = \frac{bd^3}{12}$ तथा $V$ = अधिकतम अपरूपण बल (Max. S.F.)

$\tau_{v\,max}$ = अधिकतम अपरूपण बल (Maximum Shear Stress)

$$\tau_{v\,max} = \frac{VA\bar{y}}{I \cdot b} = \frac{V \times \frac{bd}{2} \times \frac{d}{4}}{\frac{bd^3}{12} \times b} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V}{bd} \ (N/mm^2)$$

स्पष्ट है कि खण्ड पर औसत अपरूपण प्रतिबल (Average Shear Stress)

$$\tau_{av} = \frac{V}{bd}$$

अत: आयताकार खण्ड के लिये अधिकतम अपरूपण प्रतिबल $\left(\frac{3}{2}V/bd\right)$, औसत अपरूपण प्रतिबल ($V/bd$) के 1·50 गुना होगा।



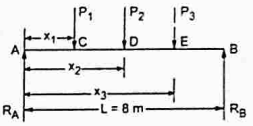
इसी प्रकार अन्य खण्डो के लिये भी अपरूपण के मान उपरोक्त सूत्र से ज्ञात किये जा सकते हैं। इसके लिये पाठक सम्बद्ध पाठ्य पुस्तक देखें।

**उदाहरण 1.5 : चित्र 1.13 में दर्शित शुद्धालम्बित धरन $AB$ (लम्बाई 8·0 मी०) पर आने वाले भार एवं दूरियाँ निम्नवत हैं—**

$P_1 = 4\ kN, P_2 = 6\ kN, P_3 = 3\ kN$

$x_1 = 2\ m, x_2 = 4\ m, x_3 = 6\ m$

**इस धरन के लिये प्रतिक्रियाएँ तथा विस्तृति के बिन्दु $C$, $D$ व $E$ पर बंकन आघूर्णों के मान ज्ञात करें।**



चित्र 1.13

**हल :** सर्वप्रथम प्रतिक्रियाएँ $R_A$ व $R_B$ के मान ज्ञात करने होंगे। इसके लिये आलम्ब "$A$" पर आघूर्ण लेने पर चित्र के अनुसार—

$$R_B \times L = P_1x_1 + P_2x_2 + P_3x_3$$

ज्ञात मान रखने पर—

$$R_B \times 8 = 4 \times 2 + 6 \times 4 + 3 \times 6\ kN.m$$
$$= 8 + 24 + 18\ kN.m$$
$$= 50\ kN.m$$

$$R_B = \frac{50}{8} = 6{\cdot}25\ kN$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 4 + 6 + 3 = 13{\cdot}0\ kN$$

तथा $$R_A = (P_1 + P_2 + P_3) - R_B$$
$$= 13 - 6{\cdot}25 \quad \text{अथवा} \quad 6{\cdot}75\ kN$$

प्रतिक्रियाएँ ज्ञात होने पर बंकन आघूर्णों के मान निम्नवत् ज्ञात होंगे—

यदि $M_C$, $M_D$ व $M_E$, क्रमश: बिन्दु $C$, $D$ व $E$ पर बंकन आघूर्णों के मान हों तो—

$$M_C = R_A x_1 = 6{\cdot}75 \times 2 = 13{\cdot}5\ kN.m$$

$$M_D = R_A x_2 - P_1 (x_2 - x_1)$$
$$= 6{\cdot}75 \times 4 - 4\ (4 - 2)$$
$$= 29{\cdot}96 - 8{\cdot}0\ kN.m$$
$$= 18{\cdot}96\ kN.m$$

तथा $$M_E = (R_A \times x_3) - P_1 (x_3 - x_1) - P_2 (x_3 - x_2)$$
$$= (6{\cdot}75 \times 6) - 4\ (6 - 2) - 6\ (6 - 4)\ kN.m$$
$$= 40{\cdot}5 - 16{\cdot}0 - 12\ kN.m$$
$$= 12{\cdot}5\ kN.m$$

बिन्दु $E$ के दाहिने ओर से आघूर्ण लेने पर,

$$M_E = R_B(L - x_3)$$
$$= 6{\cdot}25\ (8 - 6)\ kN.m$$
$$= 12{\cdot}5\ kN.m$$

इस प्रकार इस धरन पर—

अधिकतम बंकन आघूर्ण = **18·96 kN.m**

अधिकतम अपरूपण बल = **6·75 kN** (अधिकतम प्रतिक्रिया के समान) **उत्तर**

civilguru.net

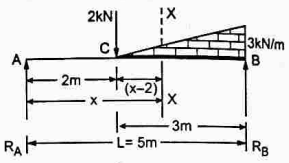
**उदाहरण 1.6 : एक शुद्धालम्बित धरन $AB$ की विस्तृति 5 मी० है। इस पर बायें आलम्ब $A$ से 2 मी० दूरी पर स्थित बिन्दु $C$ पर 2 kN का बिन्दु भार लगा है धरन की शेष 3 मी० लम्बाई "$CB$" पर वितरित भार लगा है, जिसकी तीव्रता बिन्दु "$C$" पर शून्य से आलम्ब "$B$" पर 3 kN/m परिवर्तित होती है। इस धरन के लिये आलम्ब प्रतिक्रियाएँ ज्ञात करें तथा धरन पर आने वाले अधिकतम बंकन आघूर्ण का मान एवं स्थिति ज्ञात करें।**

**हल :** धरन चित्र 1.14 मे दर्शित है। इस धरन पर कुल भार—

= बिन्दु भार 2 kN + {लम्बाई $CB$ पर औसत भार प्रति इकाई लम्बाई} × लम्बाई $CB$

$$= 2{\cdot}0 + \left(\frac{0+3}{2}\right) \times 3 \text{ kN}$$

$$= (2{\cdot}0 + 4{\cdot}5) \quad \text{अथवा} \quad 6{\cdot}5 \text{ kN}$$



चित्र 1.14

कुल वितरित भार 4·5 kN की क्रिया रेखा आलम्ब $B$ से $CB/3$ अथवा 1m दूरी पर स्थित होगी। (यहाँ $CB = 3$ m)।

अत: कुल वितरित भार 4·5 kN की क्रिया रेखा आलम्ब $A$ से 4 m दूरी पर स्थित होगी।

अत: आलम्ब $A$ पर आघूर्ण लेने पर—

$$R_B \times 5 = 2 \times 2 + 4{\cdot}5 \times 4 \text{ (kN.m)}$$

$$= (4{\cdot}0 + 18{\cdot}0) \text{ kN.m}$$

$$= 22{\cdot}0 \text{ kN.m}$$

$$R_B = \frac{22}{5} = 4{\cdot}4 \text{ kN}$$

तथा $R_A$ = कुल भार $- R_B$

$= (6{\cdot}5 - 4{\cdot}4)$ kN अथवा **2·1 kN**

अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये—

अपरूपण बल $= \dfrac{dM}{dx} = F = 0$

आलम्ब "$A$" से "$x$" दूरी पर खण्ड $XX$ पर वितरित भार की तीव्रता

$$= \left(\frac{x-2}{3}\right) \times 3 \text{ kN.m}$$

$$= (x-2) \text{ kN/m.}$$

औसत तीव्रता $= \dfrac{0+(x-2)}{2} = \dfrac{x-2}{2}$

कुल वितरित भार $= \dfrac{(x-2)}{2} \times (x-2)$

अत: खण्ड $XX$ पर अपरूपण बल—

$$= R_A - 2 - \frac{(x-2)^2}{2}$$

$$= 2{\cdot}1 - 2 - \frac{(x-2)^2}{2}$$



$$= 0{\cdot}1 - \frac{(x-2)^2}{2}$$

अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये,

$$F = 0{\cdot}1 - \frac{(x-2)^2}{2} = 0$$

अथवा $(x-2)^2 = 0{\cdot}2$

अथवा $(x-2) = \sqrt{0{\cdot}2}$

$= 0{\cdot}45$

अत: $x = \mathbf{2{\cdot}45 \text{ m}}$

अधिकतम बंकन आघूर्ण आलम्ब $A$ से 2·45 m दूरी पर होगी।

खण्ड $XX$ पर बंकन आघूर्ण—

$M_x = R_A\, x - 2(x-2) -$ (कुल वितरित भार) × (इसकी क्रिया रेखा की $XX$ से दूरी)

$$= 2{\cdot}1x - 2\,(x-2) - \frac{(x-2)^2}{2} \times \frac{(x-2)}{3}$$

$x = 2{\cdot}45$ रखने पर, अधिकतम बंकन आघूर्ण

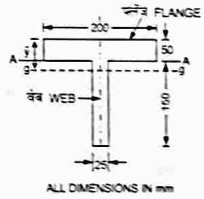
$$= 2{\cdot}1 \times 2{\cdot}45 - 2 \times 0{\cdot}45 - \frac{(0{\cdot}45)^3}{6} \text{ kN.m}$$

$$= 5{\cdot}145 - 0{\cdot}90 - 0{\cdot}015$$

$$= \mathbf{4{\cdot}23 \text{ kN.m}}$$ उत्तर

**उदाहरण 1.7 : उदाहरण 1.4 में अंकित $T$-धरन यदि शुद्धालम्बित हो तथा विस्तृति 3·5 मी० हो तो अधिकतम अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 165N/mm² लेते हुये वह सुरक्षित एक-समान वितरित भार (U.D.L.) ज्ञात कीजिये, जो यह धरन वहन करेगी।**

**हल :** उदाहरण 1.4 एवं चित्र 1.15 देखें।



चित्र 1.15—टी-धरन

धरन की कुल गहराई = (150 + 50) = 200 mm

उदासीन अक्ष (N.A.) की गहराई = $y_c = \bar{y}$ = 52·3 mm

धरनखण्ड के निचले रेशे की उदासीन अक्ष से दूरी $y_t = (200 - 52{\cdot}3) = 147{\cdot}7$ mm

उदाहरण 1 4 से धरन खण्ड का जड़त्व आघूर्ण = $3638{\cdot}53 \times 10^4$ mm⁴

अधिकतम बंकन प्रतिबल उदासीन अक्ष (N.A.) से अधिकतम दूरी ($y_t$) पर उत्पन्न होगा

अत: बंकन समीकरण में $y_t = 147{\cdot}7$ mm (जो अधिकतम है) का मान रखने पर—

$$\frac{M}{I} = \frac{f_{max}}{y_t}$$

अथवा, $f_{max} = 165$ N/mm² तथा $I = 3638{\cdot}53 \times 10^4$ mm⁴ रखने पर—

$$\frac{M}{3638{\cdot}53 \times 10^4} = \frac{165}{147{\cdot}7}$$

तथा $M = \dfrac{3638{\cdot}53 \times 165}{147{\cdot}7} \times 10^4$ N.mm

civilguru.net

$= 4046{\cdot}71 \times 10^4$ N.mm

$= 40{\cdot}6471$ kN.m

यदि सुरक्षित भार = $w$ kN/m, 35 m. विस्तृति, $L = 3{\cdot}5$ m

तथा अधिकतम बंकन आघूर्ण = $\frac{wL^2}{8} = 40{\cdot}6471$

यहाँ $L = 3{\cdot}5$ m रखने पर,

$$w = \frac{40{\cdot}6471 \times 8}{3{\cdot}5 \times 3{\cdot}5} = 26{\cdot}55 \text{ kN/m}$$ उत्तर

**उदाहरण 1.8 : लकड़ी के एक आयताकार धरन की चौड़ाई 200 mm व गहराई 300 mm है। धरन शुद्धालम्ब है तथा विस्तृति 5 मी० है। यदि अनुमत बंकन प्रतिबल 18·2 N/mm² तथा अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 1·2 N/mm² हो तो इस धरन के लिये सुरक्षित एक समान वितरित भार (safe U.D.L.) ज्ञात कीजिये।**

**हल :** धरन के आयताकार खण्ड की चौड़ाई, $b = 200$ mm

गहरायी, $d = 300$ mm

अत: परिच्छेद मापांक (Section Modulus), $Z = \frac{bd^2}{6} = \frac{200 \times 300^2}{6}$

$= 3000 \times 10^3$ mm³

अनुमत बंकन प्रतिबल, $f = 18{\cdot}2$ N/mm²

अत: प्रतिरोध आघूर्ण, $M = f \cdot Z = 18{\cdot}2 \times 3000 \times 10^3$ N.mm

$= 54{\cdot}600 \times 10^3$ N.mm $= 54{\cdot}6$ kN.m

यदि $W$ = कुल एक समान वितरित भार kN में

$L$ = विस्तृति = 5 मी०

तब $M = \frac{WL}{8} = \frac{W \times 5}{8} = 54{\cdot}6$ kN.m.

तथा $W = \frac{54{\cdot}6 \times 8}{5} = 87{\cdot}36$ kN ...(i)

इसी प्रकार-अधिकतम अपरूपण प्रतिबल,

$$\tau_v = \frac{3}{2} \times \frac{V}{b \times d}$$

यहाँ $\tau_v$ = अधिकतम अपरूपण प्रतिबल = 1·2 N/mm²

$V$ = अधिकतम अपरूपण बल = $\frac{W}{2}$

$b = 200$ mm, तथा $d = 200$ mm.

ज्ञात मान रखने पर,

$$1{\cdot}2 = \frac{3}{2} \times \frac{V}{200 \times 300} = \frac{3W}{2 \times 200 \times 300 \times 2}$$

अत: $W = \frac{1{\cdot}2 \times 2 \times 200 \times 300 \times 2}{3}$ N



$= \frac{1{\cdot}2 \times 4 \times 200 \times 300}{1000 \times 3}$ kN

$= 96$ kN ...(ii)

उपरोक्त में जो कम है, सुरक्षित भार लिया जाता है, अत: सुरक्षित भार = 87·36 kN

सुरक्षित भार प्रति मीटर = **17·472 kN/m** उत्तर

**1.6-6. आबद्ध व सतत धरनें** (Fixed and Continuous Beams)—आबद्ध धरन आलम्बों पर **दिशा** एवं **स्थिति** में आबद्ध होती है, जिस कारण उसमें आलम्बों पर ऋणात्मक आघूर्ण (–ve Moments) उत्पन्न होती हैं। अत: इनके विश्लेषण में प्रतिक्रियाओं के अतिरिक्त आलम्ब आघूर्णों (Support Moments) के मान भी ज्ञात किये जाते हैं। यह आलम्बों पर होने वाली ऋणात्मक बंकन के फलस्वरूप उत्पन्न होते हैं।

सतत धरन में आलम्बों की संख्या तीन या उससे अधिक होती है तथा विस्तृतियाँ (spans) दो या उससे अधिक होती है। इनमें भी आबद्ध धरन के भाँति आलम्बों पर ऋणात्मक वंकन (–ve bending) होती है। धरन के प्रथम एवं अन्तिम आलम्बों को सिरा आलम्ब कहा जाता है तथा इन आलम्बों पर ऋणात्मक बंकन नहीं होती, यदि यह शुद्धालम्ब हो। अत: सतत धरन के विश्लेषण में भी प्रतिक्रियाओं (Reactions) के साथ आलम्ब आघूर्णों (Support Moments) के मान भी ज्ञात किये जाते हैं, जो ऋणात्मक आघूर्ण होती हैं। (चित्र 1.16 देखें)।

चित्र 1.16

आबद्ध व सतत धरनों के विश्लेषण के लिये अनुच्छेद 1.3.1 में अंकित स्थिरता की तीन शर्तें पर्याप्त नहीं हैं। अत: यह स्थैतिकतया अनिर्धार्य संरचनाओं (Statically In-determinate Structures) में सम्मिलित हैं। इनका विश्लेषण क्षेत्र आघूर्ण विधि (Area Moment Method) या समाकलन पद्धति (Integration Methods) से आसानी से किया जा सकता है, जिसका विवरण यहाँ पर दिया जाना सम्भव नहीं है (इसके लिये सम्बन्धित पाठ्य पुस्तकों का संदर्भ ले सकते हैं। फिर भी पाठकों की सुविधा हेतु इन धरनों से सम्बन्धित कुछ मानक सूत्र आगे दिये जा रहे हैं)।

**(a) आबद्ध धरन** (Fixed Beams)—आबद्ध धरन पर एक बिन्दु भार (Point Load) अथवा धरन की पूरी विस्तृति पर एक समान वितरित भार (U.D.L.) के फलस्वरूप ऋणात्मक आलम्ब आघूर्णों के मान ज्ञात करने हेतु मानक सूत्र आगे दिये जा रहे हैं। यह सूत्र निम्न धारणाओं पर आधारित है—

(i) आलम्ब एक ही तल पर (At same level) स्थित है।

(ii) धरन आलम्ब पर पूर्णयता आबद्ध है, अन्य शब्दों में आलम्ब पर ढाल (slope) शून्य है।

(iii) $EI$ का मान स्थिर है। ($E$ = यंग मापांक, $I$ = धरन खण्ड का जड़त्व आघूर्ण)

**(1) बिन्दु भार** (Point Load)—

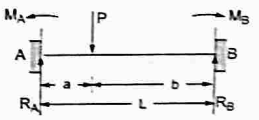
$R_A$ व $R_B$ = प्रतिक्रियाएँ (kN)

$P$ = बिन्दु भार (kN)

$L$ = विस्तृति (m)

$M_A = -\frac{Pab^2}{L^2}$ (kN.m)

$M_B = -\frac{Pa^2b}{L^2}$ (kN.m)



चित्र 1.17—बिन्दु भार (Point Load)

**(2) पूरी विस्तृति पर एक समान वितरित भार** (UDL Over Entire Span)—

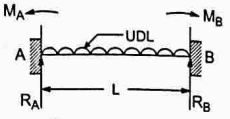
$w$ = धरन पर एक समान वितरित भार, (kN/m)

$L$ = विस्तृति (m)

$$M_A = M_B = -\frac{wL^2}{12} \text{ (kN.m)}$$

**(b) सतत धरन** (Continuous Beam)—सतत धरन मे तीन या उससे अधिक आलम्ब तथा दो या उससे अधिक विस्तृतियाँ होती है। दो, तीन तथा चार विस्तृतियो वाले सतत धरनो के लिये एक समान वितरित भार (U.D.L.) के लिये ऋणात्मक आघूर्ण (-ve support moments) तथा प्रतिक्रियाओ (Reactions) के लिये मानक सूत्र निम्न दिये जा रहे है। यह सूत्र निम्न धारणाओ पर आधारित है—

(i) सभी आलम्ब एक ही तल पर (At same level) स्थित है।
(ii) सभी विस्तृतियाँ समान है (All spans are equal)।
(iii) धरन समस्त आलम्बो पर शुद्धालम्बित है।
(iv) धरन पूरे लम्बाई पर एक-समान वितरित भार (U.D.L.) वहन करती है।
(v) $EI$ का मान स्थिर है।



चित्र 1.18—सतत धरन
(Continuous Beam)

**(1) सतत धरन (दो विस्तृतियों)** [(Continuous Beam-Two spans)—

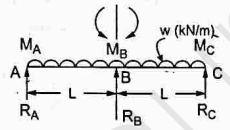
$L$ = विस्तृति (span), m मे
$w$ = एक समान वितरित भार (kN/m)

$$M_A = M_C = \text{Zero}$$

$$M_B = -\frac{wL^2}{8} \text{ (kN.m)}$$

$$R_A = R_C = \frac{3wL}{8} \text{ (kN)},$$

$$R_B = \frac{5wL}{4} \text{ (kN)}$$



चित्र 1.19—दो पाट धरन
(Two Span Beam)

**(2) सतत धरन (तीन विस्तृतियाँ)** [(Continuous Beam (Three Spans)]—

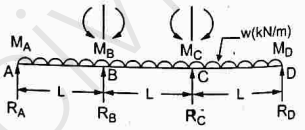
$L$ = विस्तृति (span) m मे
$w$ = एक समान वितरित भार (kN/m

$$M_A = M_D = \text{Zero}$$

$$M_B = M_C = -\frac{wL^2}{10} \text{ (kN.m)}$$

$$R_A = R_D = \frac{4wL}{10} \text{ (kN)},$$

$$R_B = R_C = \frac{11wL}{10} \text{ (kN)}$$



चित्र 1.20—तीन-पाट धरन
(Three Span Beam)

**(3) सतत धरन (चार विस्तृतियाँ)** (Continuous Beam-Four Spans)—

$L$ = विस्तृति (span), m मे
$w$ = एक समान वितरित भार (kN/m)

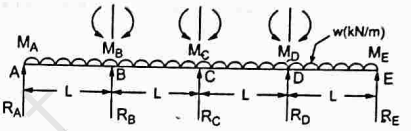
$$M_A = M_E = \text{Zero}$$

$$M_B = M_D = -\frac{3}{28}wL^2 \text{ (kN.m)}, \qquad M_C = -\frac{wL^2}{14} \text{ (kN.m)}$$

$$R_A = R_E = \frac{11}{28}wL \text{ (kN)}, \qquad R_B = R_D = \frac{32}{28}wL \text{ (kN)}$$

$$R_C = \frac{26}{28}wL \text{ (kN)}$$





चित्र 1.21—चार-पाट धरन (Four Span Beam)

**1.6-7. विक्षेप** (Deflection)—भारो के फलस्वरूप धरन का अनुदैर्ध्य अक्ष अपने भार रहित मूल स्थिति से विक्षेपित (झुकता) होता है। चित्र 1.7 में विभिन्न धरनों के अनुदैर्ध्य अक्षों की विक्षेपित स्थितियाँ दर्शित की गयी है।

शुद्धालम्ब धरन में सर्वाधिक विक्षेप विस्तृति के मध्य पर (At midspan) होता है। विक्षेप अनुदैर्ध्य अक्ष का सर्वाधिक विस्थापन होता है। इसे 'δ' द्वारा दर्शित किया जाता है।

विक्षेप का संरचना की स्थिरता पर प्रभाव पड़ता है। सर्वाधिक विक्षेप धरन के वंकन (Bending) के फलस्वरूप होता है। इससे धरन में वक्रता (Curvature) आती है। सुरक्षा के लिये विक्षेप को सीमित रखा जाता है।

**(1) शुद्धालम्ब एवं प्रास धरनों में विक्षेप**—शुद्धालम्ब एवं प्रास धरनों में अधिकतम विक्षेप के महत्वपूर्ण मानक सूत्र नीचे दिये जा रहे हैं—

**(क) शुद्धालम्ब धरन (Simply Supported Beam) में विक्षेप—**

(i) पूरी विस्तृति पर एक समान वितरित भार (UDL)—

$$\text{विक्षेप, } \delta = \frac{5WL^3}{384EI} \text{ (धरन के मध्य पर)}$$

(ii) विस्तृति के मध्य पर बिन्दु भार "P" (Point Load)—

$$\text{विक्षेप, } \delta = \frac{WL^3}{48EI} \text{ (बिन्दु भार के नीचे)}$$

**(ख) प्रास धरन (Cantilever Beam) में विक्षेप—**

(i) धरन पर पूरी लम्बाई पर एक समान वितरित भार (U.D.L)—

$$\text{विक्षेप, } \delta = \frac{WL^3}{8EI}$$

(ii) मुक्त सिरे पर बिन्दु भार "P" (Point load "P" at free end)—

$$\text{विक्षेप, } \delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

उपरोक्त सूत्रों में—

$\delta$ = अधिकतम विक्षेप (Maximum Deflection) mm में
$W$ = धरन के पूरी विस्तृति पर एक समान वितरित भार (N)
$P$ = धरन के मध्य पर (At Mid Span) अथवा प्रास धरन के मुक्त सिरे पर बिन्दु भार (Free End) (N)
$L$ = विस्तृति (Span) अथवा प्रास धरन की लम्बाई (mm)
$E$ = यंग मापांक (N/mm$^2$)
$I$ = धरन खण्ड का उदासीन अक्ष (N.A.) पर जड़त्व आघूर्ण (mm$^4$) (Moment of Inertia)

उपरोक्त के अतिरिक्त विशिष्ट भार व्यवस्था के लिये अधिकतम विक्षेप का मान सामान्यत: समाकलन पद्धति (Integration Method) या क्षेत्र आघूर्ण विधि (Area Moment Method) द्वारा ज्ञात किया जा सकता है।

civilguru.net

**(2) अधिकतम विक्षेप एवं अधिकतम बंकन प्रतिबल में सम्बन्ध**—शुद्धालम्ब धरन के अभिकल्पन में अधिकतम विक्षेप तथा अधिकतम बंकन प्रतिबल के बीच संबंध उपयुक्त है। इससे सुरक्षित विक्षेप के लिये धरन की आवश्यक गहराई ज्ञात होती है, जो अभिकल्पन हेतु मार्गदर्शक होती है। इसे निम्नवत् प्राप्त किया जाता है—

**(क) शुद्धालम्ब धरन पर एक समान वितरित भार** (U.D.L.)—विगत अनुच्छेद के अनुसार $\delta$, $W$, $L$, $E$, $I$ के मान लेते हुये, यदि

$f$ = अधिकतम बंकन प्रतिबल (N/mm$^2$)

तथा $y$ = इससे सम्बन्ध रेशे की दूरी (Max : Fibre Distance)

शुद्धालम्ब धरन के लिये अधिकतम विक्षेप, $\delta = \dfrac{5WL^3}{384E}$ ...(i)

तथा प्रतिरोध आघूर्ण, $M = \dfrac{fI}{y} = \dfrac{WL}{8}$

सममित खण्ड (Symmetrical Section) के लिये, $y = \dfrac{d}{2}$

यहाँ $d$ = धरन की गहराई मिमी० मे है।

अत: $\dfrac{fI}{d/2} = \dfrac{WL}{8}$ अथवा $\dfrac{2fI}{d} = \dfrac{WL}{8}$

अथवा $W = \dfrac{16fI}{dL}$

(i) मे '$W$' का मान रखने पर,

$$\delta = \frac{5WL^3}{384EI} = \frac{5}{384} \times \frac{16fI}{dL} \frac{L^3}{EI}$$

अथवा $\delta = \dfrac{5}{24} \dfrac{fL^2}{dE}$

अथवा $\dfrac{\delta \times d}{L^2} = \dfrac{5}{24} \cdot \dfrac{f}{E}$

इससे विशिष्ट विक्षेप के लिये धरन की आवश्यक न्यूनतम गहराई ज्ञात होती है जो अभिकल्पन में महत्वपूर्ण है।

**(ख) शुद्धालम्ब धरन के मध्य पर बिन्दु भार** (Point Load)—

इस धरन के लिये—

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad ...(i)$$

तथा $M = \dfrac{PL}{4} = \dfrac{2fI}{d}$

अथवा $P = \dfrac{8fI}{dL}$

(i) मे '$P$' का मान रखने पर,

$$\delta = \frac{L^3}{48EI} \times \frac{8fI}{dL} = \frac{L^2 f}{6dE}$$

तथा $\dfrac{\delta \times d}{L^2} = \dfrac{1}{6} \times \dfrac{f}{E}$



**उदाहरण 1.9 : 210 mm × 600 mm I-खण्ड के शुद्धालम्ब धरन की विस्तृति 9 मी० है। इस पर 12 kN/m का एक-समान वितरित भार (U.D.L.) आ रहा है। इस धरन के मध्य पर अतिरिक्त बिन्दु भार (Point Load) का मान ज्ञात कीजिये, यदि अधिकतम विक्षेप = 12·5 mm. $E$ = यंग मापांक (Young's Modulus) = $2 \times 10^5$ N/mm$^2$, धरन खण्ड के लिये $I = 64893 \times 10^4$ mm$^4$ तथा $Z = 2360 \times 10^3$ mm$^3$ लीजिये**

**हल :** $\delta$ = कुल विक्षेप = 12·5mm.

$\delta_1$ = एक समान वितरित भार (U.D.L.) से विक्षेप

$\delta_2$ = बिन्दु भार से विक्षेप

$\delta = \delta_1 + \delta_2$

एक समान वितरित भार (U.D.L.) के लिये बंकन आघूर्ण = $\dfrac{WL}{8}$

यहाँ $W$ = कुल भार = 12 × 9 = 108 kN = 108000 N

$L$ = विस्तृति = 9 मीटर = 9000 mm

अत: $\dfrac{WL}{8} = \dfrac{108000 \times 9000}{8}$ N.mm

तथा बंकन प्रतिबल $= \dfrac{108000 \times 9000}{8 \times 2360 \times 10^3}$ N/mm$^2$ $\left(\because f = \dfrac{M}{Z}\right)$

$= 51{\cdot}48$ kN/mm$^2$

इसी प्रकार $\dfrac{\delta_1}{L} \times \dfrac{d}{L} = \dfrac{5}{24} \times \dfrac{f}{E}$ ...(सूत्र)

यहाँ $L$ = विस्तृति = 9000 mm

$d$ = धरन की गहराई = 600 mm

$f = 51{\cdot}48$ N/mm$^2$ (उपरोक्त गणना से)

$E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$

अत: $\delta_1 = \dfrac{5}{24} \times \dfrac{f}{E} \times \dfrac{L^2}{d}$

$= \dfrac{5}{24} \times \dfrac{51{\cdot}48}{2 \times 10^5} \times \dfrac{9000 \times 9000}{600}$ mm

$= 7{\cdot}24$ mm

अधिकतम विक्षेप, $\delta = 12{\cdot}5$ mm

अत: $12{\cdot}5 = \delta_1 + \delta_2 = 7{\cdot}24 + \delta_2$

तथा $\delta_2 = 12{\cdot}5 - 7{\cdot}24 = 5{\cdot}26$ mm.

बिन्दु भार से विक्षेप $= \delta^2 = \dfrac{PL^3}{48EI}$ यहाँ $P$ = बिन्दु भार

एक-समान वितरित भार से विक्षेप, $\delta_1 = \dfrac{5}{384} \times \dfrac{WL^3}{EI}$

अत: $\dfrac{\delta_1}{\delta_2} = \dfrac{5}{384} \times \dfrac{WL^3}{EI} + \dfrac{PL^3}{48EI} = \dfrac{5}{8} \times \dfrac{W}{P}$

अत: मान रखने पर, $\dfrac{7{\cdot}24}{5{\cdot}26} = \dfrac{5}{8} \times \dfrac{12 \times 9}{P}$

civilguru.in

तथा $$P = \frac{5}{8} \times \frac{5{\cdot}26}{7{\cdot}24} \times 12 \times 9 \text{ kN}$$

$$= 49{\cdot}04 \text{ kN}$$ उत्तर

**उदाहरण 1.10 : एक-समान वितरित भार (U.D.L.) वहन कर रही एक शुद्धालम्ब (Simply supported) धरन की विस्तृति (Span) 5 m है। यदि अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 150 N/mm² तथा अधिकतम विक्षेप (Maximum Deflection) विस्तृति/325 हो तो धरन के लिये आवश्यक न्यूनतम गहराई (Minimum Depth) ज्ञात कीजिये। $E = 2 \times 10^5$ N/mm² लें।**

**हल :** अधिकतम बंकल प्रतिबल (Maximum Bending Stress)—

$$f = 150 \text{ N/mm}^2$$

यंग मापांक, $$E = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

विस्तृति (Span), $$L = 5{\cdot}0 \text{ m} = 5000 \text{ mm}$$

विक्षेप, $$\delta = \frac{\text{विस्तृति}}{325} = \frac{L}{325}$$

$$\therefore \quad \frac{\delta}{L} = \frac{1}{325}$$

तथा $$\frac{\delta}{L} \times \frac{d}{L} = \frac{5}{24} \times \frac{f}{E} \quad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर,

$$\frac{1}{325} \times \frac{d}{5000} = \frac{5}{24} \times \frac{150}{2 \times 10^5}$$

अथवा $$d = \frac{5}{24} \times \frac{150}{2 \times 10^5} \times 325 \times 5000 \text{ mm}$$

$$= 253{\cdot}9 \text{ mm}$$

अत: यदि धरन की गहराई 253·9 cm से अधिक हो तो अधिकतम विक्षेप विस्तृति/325 से कम होगा।

अत: न्यूनतम गहराई = **253·9 mm** उत्तर

## § 1.7. अक्षीय व बंकन प्रतिबल (Axial and Bending Stresses):

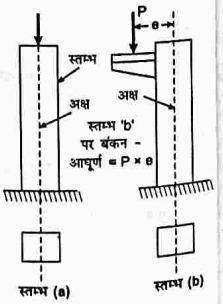
**1.7-1. उत्केन्द्रिता** (Eccentricity)— चित्र 1.22 में समान काट के दो स्तम्भ (a) व (b) दिखाये गये है। दोनो स्तम्भो पर समान अक्षीय भार आ रहा है।

स्तम्भ (a) में स्तम्भ का अक्ष भार '*P*' की **क्रिया रेखा** एक है जबकि स्तम्भ (b) मे स्तम्भ का अक्ष तथा भार '*P*' के क्रिया रेखा की स्थिति **अलग-अलग है।**

यहाँ स्तम्भ (b) पर लगे भार को उत्केन्द्रित भार (Eccentric Load) कहा जाता है।

स्तम्भ के अक्ष एवं भार '*P*' के क्रिया रेखा के बीच लम्बवत् दूरी को उत्केन्द्रता (Eccentricity) कहा जाता है।

चित्र 1.22 मे उत्केन्द्रता को '*e*' से दर्शित किया गया है।



चित्र 1.22

**1.7-2. उत्केन्द्रिता का परिणाम**—चित्र 1.22 में दर्शित समान काट के दो स्तम्भों पर लगे भार '*P*' के परिणामी प्रतिबलो के स्वरूप निम्नवत् होंगे—

स्तम्भ (a) के खण्ड पर सीधा सम्पीडन प्रतिबल (Direct Compressive Stress) उत्पन्न होगा। इसे **अक्षीय-प्रतिबल** कहा जायेगा।



स्तम्भ (b) के खण्ड को भार '*P*' से उत्पन्न अक्षीय प्रतिबल के **साथ-साथ** उत्केन्द्रिता '*e*' के कारण उत्पन्न बंकन आघूर्ण (Bending Moment) का प्रतिरोध करना होगा। इस प्रकार स्तम्भ (b) के खण्ड के **बंकन आघूर्ण** ($P \times e$) के फलस्वरूप उत्पन्न प्रतिबल को बंकन प्रतिबल कहा जायेगा।

इस प्रकार स्तम्भ (a) व (b) के खण्डों पर भार '*P*' के कारण उत्पन्न प्रतिबल वितरण निम्न होंगे। (चित्र 1.23 देखें)।

यदि $P$ = प्रत्येक स्तम्भ पर लगा भार (N)

$A$ = प्रत्येक स्तम्भ का काट क्षेत्रफल (mm²)

$e$ = भार '*P*' की उत्केन्द्रता (mm)

$Z$ = खण्ड का परिच्छेद मापांक (mm³)

$p_a$ = अक्षीय प्रतिबल (N/mm²)

$P_b$ = बंकन प्रतिबल (N/mm²)

$p$ = संयुक्त प्रतिबल (N/mm²)

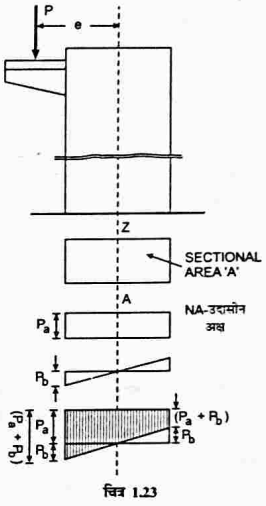
अत: स्तम्भों पर उत्पन्न अक्षीय प्रतिबल (Axial Stress)—

$$p_a = \frac{P}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

स्तम्भ (b) पर अक्षीय प्रतिबल के साथ-साथ भार '*P*' की उत्केन्द्रता *e* के फलस्वरूप उत्पन्न बंकन प्रतिबल (Bending Stress)—

$$P_b = \frac{\text{बंकन आघूर्ण}}{\text{परिच्छेद मापांक}}$$

$$= \pm \frac{P \cdot e}{Z} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$



चित्र 1.23

अत: स्तम्भ (b) के खण्ड पर उत्पन्न अक्षीय व बंकन प्रतिबलों के फलस्वरूप उत्पन्न संयुक्त प्रतिबल दोनों प्रतिबलों के बीजगणितीय योग से ज्ञात होगा।

अत: $$p = \frac{P}{A} \pm \frac{P \cdot e}{Z}$$

अत: अधिकतम प्रतिबल = $$\frac{P}{A} + \frac{P \cdot e}{Z}$$

तथा न्यूनतम प्रतिबल = $$\frac{P}{A} - \frac{P \cdot e}{Z}$$

**1.7-3. उत्केन्द्रता की सीमा** (Limit of Eccentricity)—पिछले अनुच्छेद में हमने देखा कि उत्केन्द्रिता '*e*' के कारण स्तम्भ (b) के खण्ड पर बंकन प्रतिबल उत्पन्न होता है तथा प्रतिबल वितरण स्तम्भ (a) से भिन्न है।

चित्र 1.23 से स्पष्ट है कि प्रतिबल का मान अन्ततः उत्केन्द्रता के मान पर निर्भर करता है। अत: खण्ड पर उत्पन्न बंकन प्रतिबल को सीमित रखने के लिये उत्केन्द्रता को सीमित रखना होगा।

यदि $I$ = खण्ड का उदासीन अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण (mm⁴)

$k$ = उदासीन अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या (mm)

$y$ = रेशे की अधिकतम दूरी (mm)

अत: बंकन प्रतिबल, $P_b = \pm \frac{P \cdot e}{Z}$

$Z = \frac{I}{y}$ तथा $I = Ak^2$ रखने पर

$$P_b = \pm \frac{P \cdot e \cdot y}{Ak^2}$$

संरचना की सुरक्षा के लिये आवश्यक है कि किसी खण्ड पर उत्पन्न अधिकतम व न्यूनतम प्रतिबलों की प्रकृति समान हो। इसके लिये अधिकतम बंकन प्रतिबल का मान अक्षीय प्रतिबल से अधिक नही होना चाहिये।

अत: $P_b < P_a$

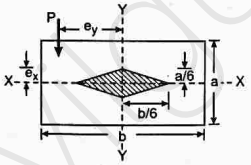
अथवा $\frac{P \cdot e \cdot y}{Ak^2} < \frac{P}{A}$

अथवा $\frac{e \cdot y}{k^2} < 1$

अथवा $e < \frac{k^2}{y}$

**उदाहरण 1.11 : चिनाई के एक आयताकार खण्ड की चौड़ाई *'a'* तथा लम्बाई *'b'* है। यदि इस पर अक्षीय सम्पीडन भार *'P'* लगा हो तो भार की उत्केन्द्रता का अधिकतम मान ज्ञात कीजिये जिससे खण्ड पर तनन प्रतिबल उत्पन्न न हो।**

**हल :** चित्र 1.24 मे दर्शित खण्ड के लिये



चित्र 1.24

$c_y = YY$ अक्ष से अधिकतम उत्केन्द्रता

$e_x = XX$ से अधिकतम उत्केन्द्रता

खण्ड पर अक्षीय सम्पीडन भार $= P$

खण्ड का क्षेत्रफल, $A = a \times b$

अत: अक्षीय प्रतिबल, $P_a = \frac{P}{a \times b}$

$YY$ अक्ष पर बंकन आघूर्ण $= F \times e_y$

$YY$ अक्ष पर परिच्छेद मापांक (Section Modulus) $= Z_{yy} = \frac{ab^2}{6}$

अत: बंकन प्रतिबल $= \frac{P \times e_y \times 6}{ab^2}$

तनन प्रतिबल न आने के लिये, इस के लिये बंकन प्रतिबल ≥ अक्षीय प्रतिबल

अर्थात $\frac{P \cdot e_y \times 6}{ab^2} \geq \frac{P}{ab}$

अथवा $\frac{6 \cdot e_y}{b} \geq 1$

अथवा $e_y \geq \frac{b}{a}$



इसी प्रकार $XX$ अक्ष से उत्केन्द्रता मान $(a/6)$ होगा। खण्ड पर भार *'P'* उत्केन्द्रताओं की अधिकतम सीमाओं $(a/6$ व $b/6)$ द्वारा निर्धारित असमकोण चतुर्भुज (Rhombus) के अन्दर ही आना चाहिये। इस चतुर्भुज को **कोर** (Core) कहा जाता है।

**उदाहरण 1.12 : उदाहरण 1.11 में अंकित खण्ड के लिये यदि $a = 100$ mm, $b = 150$ mm, $P = 800$ N, $e_x = 100$ mm तथा $e_y = 15$ mm हो तो खण्ड पर उत्पन्न अधिकतम व न्यूनतम प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये।**

**हल :** खण्ड के परिमाप—

$a = 100$ mm, $b = 150$ mm, $e_x = 10$ mm, $e_y = 15$ mm तथा $P = 8000$ N

खण्ड का क्षेत्रफल $= 100 \times 150 = 1500$ mm$^2$

अक्षीय भार, $P = 8000$ N

संपीडन प्रतिबल को +ve तथा तनन प्रतिबल को –ve मानते हुए—

$$\text{अक्षीय प्रतिबल} = \frac{P}{a \times b} = \frac{8000}{15000} = 0{\cdot}533 \text{ N/mm}^2$$

बंकन प्रतिबल का मान निम्न प्रकार ज्ञात होता—

$e_y = YY$ अक्ष पर उत्केन्द्रिता $= 15$ mm

बंकन आघूर्ण $= 8000 \times 15 = 120000$ N. mm

परिच्छेद मापांक (Section Modulus)—

$$= \frac{ab^2}{6} = \frac{100 \times 150 \times 150}{6} \text{ mm}^3$$

$$= 375 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

तथा बंकन प्रतिबल $I = \pm \frac{120000}{375 \times 10^3}$ N/mm$^2$

$$= \pm 0{\cdot}32 \text{ N/mm}^2$$

यह छोटी भुजा (चौड़ाई) $a$ पर भार की ओर संपीडन (+ 0·32 N/mm$^2$) तथा दूसरी ओर तनन (– 0·32 N/mm$^2$) होगा।

इस प्रकार $XX$ आधार उत्केन्द्रता, $e_x = 10$ mm

बंकन आघूर्ण $= 8000 \times 10 = 80000$ N/mm

परिच्छेद मापांक $= \frac{ba^2}{6} = \frac{150 \times 100 \times 100}{6} = 250 \times 10^3$ mm$^3$

तथा बंकन प्रतिबल $II = \frac{80000}{250 \times 10^3}$ N/mm$^3$

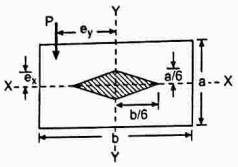
$$= \pm 0{\cdot}32 \text{ N/mm}^2$$

यह लम्बी भुजा $a$ पर भार की ओर संपीडन (+ 0·32 N/mm$^2$) तथा दूसरी ओर तनन (– 0·32 N/mm$^2$) होगा।

अत: खण्ड के प्रत्येक कोने पर संयुक्त प्रतिबल, विभिन्न अक्षीय व बंकन प्रतिबलो के बीजगणितीय योग से प्राप्त होगा जैसा चित्र 1.25 में दर्शित है।

civilguru.net

| प्रतिबल N/mm² | | N/mm² |
|---|---|---|
| अक्षीय | + 0·533 | + 0·533 |
| बंकन *I* | + 0·320 | − 0·320 |
| बंकन *II* | + 0·320 | + 0·320 |
| योग | + 1·173 | + 0·533 |
| | N/mm² | N/mm² |
| अक्षीय | + 0·533 | + 0·533 |
| बंकन I | + 0·320 | − 0·320 |
| बंकन II | − 0·320 | − 0·320 |
| | + 0·533 | + 0·107 |




चित्र 1.25

## § 1.8. स्तम्भ व संपीडांग (Column and Strut):

स्तम्भ व सम्पीडांग किसी संरचना के वह उपांग होते हैं जो अक्षीय सम्पीडन बल (Axial Compressive Force) वहन करते हैं।

स्तम्भ संरचना मे ऊर्ध्वावर (Vertical) स्थिति में रहता है, जबकि सम्पीडांग ऊर्ध्वाधर अथवा नत (Vertical or Inclined), किसी भी स्थिति मे रह सकते हैं। सम्पीडांग का अभिकल्पन अलग अध्याय में दिया गया है।

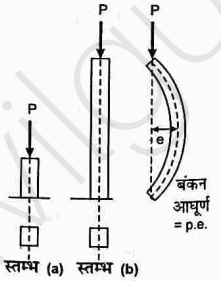
**1.8-1. व्याकुंचन प्रक्रिया** (Buckling Process)—चित्र 1.26 में समान काट के दो स्तम्भ (a) व (b) दर्शित है।

स्तम्भ (b) की लम्बाई उसके काट परिमाप (Sectional Dimensions) की अपेक्षा अत्यधिक है।

यदि दोनों स्तम्भो पर समान भार '*P*' लगाया जाये तथा भार '*P*' का मान क्रमश: (Gradually) बढ़ाया जाये तो भार के किसी मान पर स्तम्भ (b) में बंकन प्रारम्भ होगा जबकि वही भार स्तम्भ (a) आसानी से वहन कर लेगा।

स्तम्भ (b) मे अक्षीय सम्पीडन भार के कारण होने वाले झुकाव (Bending) को **व्याकुंचन** (Buckling) कहते हैं। जिस अक्षीय भार पर स्तम्भ में व्याकुंचन प्रारम्भ होगा उसे **व्याकुंचन भार** (Buckling Load) कहा जाता है।

सुरक्षा के लिये यह आवश्यक है कि स्तम्भ में व्याकुंचन नहीं होना चाहिये। अत: स्तम्भ पर आने वाला भार व्याकुंचन भार से कम होना चाहिये।




चित्र 1.26—स्तम्भ का व्याकुंचन

**1.8-2. सिरा स्थितियाँ** (End Conditions)—किसी स्तम्भ या सम्पीडांग की भार क्षमता इस बात पर निर्भर करती है कि वह उसके सिरो पर मुख्य संरचना से किस प्रकार जुड़ा है। सिरा स्थितियाँ निम्नवत् हो सकती हैं—

(i) एक सिरा आबद्ध तथा दूसरा सिरा मुक्त (One end fixed and other free),
(ii) दोनों सिरे कब्जेदार (Both ends hinged),
(iii) दोनो सिरे आबद्ध (Both ends fixed),
(iv) एक सिरा आबद्ध व दूसरा सिरा कब्जेदार (One end fixed and other hinged)।

सिरा स्थितियो के सम्बन्ध में अधिक विवरण अध्याय 6 में दिया गया है। स्पष्ट है कि किसी स्तम्भ की भार वहन क्षमता स्थिति (iii) अधिकतम तथा स्थिति (i) मे न्यूनतम होगी।

**1.8-3. स्तम्भों का वर्गीकरण** (Classification of Columns)—पिछले अनुच्छेद में हमने देखा कि किसी स्तम्भ की भार वहन क्षमता उसके काट-परिमाप की अपेक्षा उसकी **लम्बाई** पर निर्भर करती है।



अत: लम्बाई के आधार पर स्तम्भों को निम्न प्रकार से वर्गीकृत किया गया है—

(i) लघु स्तम्भ (Short Column),
(ii) मध्यम स्तम्भ (Medium Column),
(iii) दीर्घ स्तम्भ (Long Column)।

लघु स्तम्भ वह होते है जो अक्षीय सम्पीडन बल के कारण सीधे **सम्पीडन प्रतिबल** के फलस्वरूप संदलन (Crushing) से ही विफल होते है। मध्यम स्तम्भ वे होते हैं जो **अक्षीय व बंकन** दोनो प्रतिबलो के परिणाम स्वरूप विफल होते है। दीर्घ स्तम्भ वह होते हैं जो 'लम्बाई अधिक होने से' व्याकुंचन के कारण मुख्यत: **बंकन प्रतिबल** के परिणामस्वरूप ही विफल होते हैं।

**1.8-4. दीर्घ स्तम्भों के लिये ऑयलर के सूत्र** (Eulers Formulae)—ऑयलर के सूत्र दीर्घ स्तम्भो के लिये हैं जिनकी लम्बाई काट-परिमाप की अपेक्षा अत्यधिक होती है। यह सूत्र विभिन्न सिरा स्थितियों के लिये तालिका 1.4 में दिये गये हैं।

तालिका में, $L$ = स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई (Actual Length)
$l_e$ = स्तम्भ की समतुल्य लम्बाई (Equivalent Length)
$I$ = न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia)
$E$ = स्तम्भ पदार्थ के लिये यंग मापांक (Young Modulus)

तालिका 1.4

| सिरा स्थिति | ऑयलर का व्याकुंचन भार | समतुल्य लम्बाई | रैंकिन स्थिरांक |
|---|---|---|---|
| (1) एक सिरा आबद्ध व दूसरा मुक्त | $\pi^2EI/4L^2$ | $l_e = 2L$ | $4a$ |
| (2) दोनों सिरे कब्जेदार | $\pi^2EI/L^2$ | $l_e = L$ | $a$ |
| (3) दोनों सिरे आबद्ध | $4\pi^2EI/L^2$ | $l_e = L/2$ | $a/4$ |
| (4) एक सिरा आबद्ध व दूसरा कब्जेदार | $2\pi^2EI/L^2$ | $l_e = L/\sqrt{2}$ | $a/2$ |

ऑयलर सूत्रों के विस्तृत विश्लेषण के लिये पाठक सम्बद्ध विषय की पुस्तक देखें।

**(1) समतुल्य लम्बाई** (Equivalent Length)—अनुच्छेद 1.8-2 मे अंकित सिरा स्थितियों मे से 'दोनो सिरे कब्जेदार' स्थिति को 'मानक स्थिति' (Standard Case) माना गया है। अत: इस स्थिति के लिये समतुल्य लम्बाई स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई के समान होगी।

किसी अन्य सिरा स्थिति के लिये स्तम्भ की समतुल्य लम्बाई उस स्तम्भ की लम्बाई के समान होगी, जो समान काट का हो तथा 'दोनों सिरे कब्जेदार' स्थिति के लिये जिसका समान व्याकुंचन भार हो, जैसे—

दोनों सिरे आबद्ध स्थिति के लिये $\dfrac{4\pi^2EI}{L^2} = \dfrac{\pi^2EI}{l_e^2}$

अथवा $l_e^2 = \dfrac{L^2}{4}$ तथा $l_e = \dfrac{L}{2}$

तालिका 1.4 में सभी सिरा स्थितियों के लिये समतुल्य लम्बाई के मान (वास्तविक लम्बाई के अनुपात मे) दिये गये है तथा किसी सिरा स्थिति के लिये ऑयलर का व्याकुंचन भार $\pi^2 EI/l_e^2$ होगा।

**उदाहरण 1.13 : 15 mm व्यास की एक छड़ की लम्बाई 1250 mm है। इसे क्षैतिज स्थिति में धरन की तरह प्रयोग करने पर मध्य पर 100 N बिन्दु भार से 5 mm विस्थापन (Deflection) होता है। इस छड़ को ऊर्ध्वाधर स्थिति में रखने पर व्याकुंचन भार (Buckling Load) का मान ज्ञात कीजिये।**

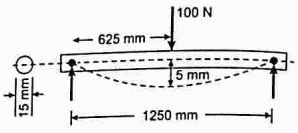
**हल :** चित्र 1.27 देखें।

छड़ का व्यास = 15 mm

लम्बाई ($L$) = 1250 mm

उक्त उदाहरण मे सिरा स्थिति नहीं दी गई है। अत: दोनो सिरे कब्जेदार मानने पर समतुल्य

लम्बाई = वास्तविक लम्बाई = 1250 mm.




चित्र 1.27

तथा व्याकुंचन भार = $\frac{\pi^2 EI}{L^2}$ ...(तालिका 1.4)

यहाँ $E$ का मान नही दिया है यद्यपि क्षैतिज धरन के रूप मे प्रयोग करने पर 100 N बिन्दु भार से विस्थापन

$$\delta = \frac{wL^3}{48EI}$$

यहाँ $\delta$ = विस्थापन (mm), $P$ = बिन्दु भार (N)

$I$ = जड़त्व आघूर्ण ($mm^4$), $E$ = यंग मापांक $N/mm^2$

अत: $$5{\cdot}0 = \frac{100 \times 1250^3}{48\,EI}$$

तथा $$EI = \frac{100 \times 1250^3}{48 \times 5}$$

$EI$ का मान रखने पर, व्याकुंचन भार = $\pi^2 \times \frac{100 \times 1250^3}{48 \times 5} \times \frac{1}{1250^2}$ N

$$= \frac{\pi^2 \times 100 \times 1250}{48 \times 5 \times 1000} \text{ kN} = \mathbf{5{\cdot}14\ kN}$$ **उत्तर**

**उदाहरण 1.14 : मृदु इस्पात के एक नलिकाकार स्तम्भ का वाह्य व्यास 30 mm तथा आंतरिक व्यास 25 mm है। यदि स्तम्भ की लम्बाई 3 मीटर तथा $E = 2 \times 10^5\ N/mm^2$ हो तो निम्न सिरा स्थितियों के लिये ऑयलर का व्याकुंचन भार ज्ञात कीजिये।**

**(i) दोनों सिरे कब्जेदार, (ii) एक आबद्ध व दूसरा कब्जेदार।**

**हल :** स्तम्भ का वाह्य व्यास = 30 mm

स्तम्भ का आंतरिक व्यास = 25 mm

अत: जड़त्व आघूर्ण = $\frac{\pi}{64}(30^4 - 25^4)\ mm^4$ (सूत्र $I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$

$$= \frac{\pi}{64}(900^2 - 625^2)\ mm^4$$

$$= \frac{\pi}{64} \times 1525 \times 275\ mm^4$$

$$= 2{\cdot}058 \times 10^4\ mm^4$$

$L$ = स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई = 3 m = 3000 mm



अत: ऑयलर का व्याकुंचन भार

**(i) दोनों सिरे कब्जेदार—**

$$\text{भार} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^5 \times 2{\cdot}058 \times 10^4}{3000 \times 3000}\ N$$

$$= \frac{\pi^2 \times 2 \times 2{\cdot}058 \times 10^9}{3 \times 3 \times 10^6 \times 10^3}\ kN$$

$$= \mathbf{4{\cdot}514\ kN}$$ **उत्तर**

**(ii) एक आबद्ध व दूसरा कब्जेदार—**

$$\text{भार} = \frac{2\pi^2 EI}{L^2}$$

$$= 2 \times 4{\cdot}514$$

$$= \mathbf{9{\cdot}028\ kN}$$ **उत्तर**

**1.8-5. रैंकिन का सूत्र** (Rankine's Formula)—ऑयलर का सूत्र दीर्घ स्तम्भों के लिये उपयुक्त है। सामान्यत: संरचनाओं में स्थित स्तम्भों का वर्गीकरण (वे लघु स्तम्भ हैं यहा दीर्घ स्तम्भ) आसानी से नहीं किया जा सकता।

रैंकिन द्वारा प्रस्तावित निम्न सूत्र सभी सतम्भों के लिये (लघु स्तम्भ हो या दीर्घ स्तम्भ) उपयुक्त है। इस सूत्र में—

$$P = \frac{f_c \cdot A}{1 + a(l/r)^2}$$

यहाँ $p$ = रैंकिन द्वारा प्रस्तावित व्याकुंचन भार

$f_c$ = स्तम्भ पदार्थ के लिये संदलन प्रतिवल (Crushing Stress)

$A$ = अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल

$l$ = प्रभावी लम्बाई अथवा समतुल्य लम्बाई (Effective Length or Equivalent Length)

$r$ = न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या (Least Radius of Gyration)

$a$ = रैंकिन का स्थिरांक

उपरोक्त सूत्र में भार की गणना हेतु प्रभावी लम्बाई या समतुल्य लम्बाई का प्रयोग किया गया है।

यदि $L_a$ = स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई तब दोनों सिरे कब्जेदार (Both Ends Hinged) स्थिति के लिये—

$$l = L$$

यदि दोनों सिरे आबद्ध (Both Ends Fixed) हों तो, $l = \frac{L}{2}$

तथा सूत्र में $$a\left\{\frac{l}{r}\right\}^2 = a\left\{\frac{L}{2r}\right\}^2 = \frac{a}{4}\left\{\frac{L}{r}\right\}^2$$

इस प्रकार यदि हम "$l$" के स्थान पर वास्तविक लम्बाई "$L$" का प्रयोग करते है तो "$a$" का मान परिवर्तित कर $a/4$ लेना पड़ेगा। जैसा तालिका 1.4 में दर्शित किया गया है। इसी तरह अन्य सिरा स्थितियो के लिये भी तालिका 1.4 के अनुसार स्थिरांक "$a$" को परिवर्तित कर सूत्र में वास्तविक लम्बाई का प्रयोग करना सुविधाजनक होगा। स्पष्ट है कि एक सिरा आबद्ध व दूसरा मुक्त स्थिति मे भार क्षमता न्यूनतम होगी अत: स्थिरांक अधिकतम $4a$ होगा। दोनो सिरे आबद्ध स्थिति मे भार क्षमता सर्वाधिक होगी अत: स्थिरांक न्यूनतम $a/4$ होगा। एक सिरा आबद्ध व दूसरा कब्जेदार स्थिति के लिये यह $a/2$ होगा जैसा तालिका 1.4 मे अंकित है।

civilguru.net

विभिन्न पदार्थों के लिये संदलन प्रतिबल "$f_c$" के मान तथा दोनो सिरे कब्जेदार स्थिति के लिये इन पदार्थों के अनुकूल स्थिरांक "$a$" के मान तालिका 1.5 मे दिये गये है अत: स्थरांक "$a$" को विशेष सिरा स्थिति के लिये तालिका 1.4 के अनुसार परिवर्तित करते हुये रैंकिन सूत्र मे स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई "$L$" का मान रखते हुये व्याकुँचन भार ज्ञात किया जा सकता है।

यदि संदलन प्रतिबल "$f_c$" के स्थान पर उदाहरणो मे सुरक्षित प्रतिबल का मान दिया हो तो रैंकिन सूत्र से यह मान रखने पर सुरक्षित भार ज्ञात होगा।

**तालिका 1.5**

| पदार्थ | संदलन प्रतिबल ($f_c$) N/mm² (MPa) | दोनों सिरे कब्जेदार स्थिति के लिये स्थिरांक "$a$" |
|---|---|---|
| ढलवां लोहा (Cast Iron) | 550 | 1/1600 |
| पिटवां लोहा (Wrought Iron) | 250 | 1/9000 |
| मृदु इस्पात (Mild Steel) | 315 | 1/7500 |

**उदाहरण 1.15 : मृदु इस्पात के एक खोखले गोलाकार के लिये रैंकिन सूत्र से सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये। सुरक्षित प्रतिबल 100 N/mm² तथा दोनों सिरे कब्जेदार स्थिति के लिये $a$ = 1/7500 लीजिये। स्तम्भ का बाहरी व्यास 250 mm तथा भीतरी व्यास 200 mm है तथा लम्बाई 8500 mm है। स्तम्भ दोनों सिरों पर आबद्ध है।**

**हल :** रैंकिन सूत्र से—

$$P = \frac{f_c \cdot a}{(1 + a\,(l/r)^2}$$

यहाँ '$f_c$' स्तम्भ पदार्थ के लिये संदलन प्रतिबल है जिसका मान रखने पर व्याकुँचन भार ज्ञात होगा। यदि सुरक्षित भार ज्ञात करना हो तो सुरक्षित प्रतिबल का मान उक्त सूत्र मे रखना होगा।

यदि $f$ = सुरक्षित प्रतिबल

तब सुरक्षित भार = $\dfrac{f \cdot a}{1 + a(l/r)^2}$

चित्र 1.28

यहाँ $f = 100$ N/mm²

$a$ = कब्जेदार सिरो के लिये

$= \dfrac{a}{4}$ अथवा $\dfrac{1}{4 \times 7500}$ आबद्ध सिरों के लिये

$A$ = काट क्षेत्रफल = $\dfrac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$

यहाँ $D$ = बाहरी व्यास = 250 mm

$d$ = भीतरी व्यास = 200 mm

तथा

$$A = \frac{\pi}{4}(250^2 - 200^2)\ \text{mm}^2$$

$$= \frac{\pi}{4}(450 \times 50)\ \text{mm}^2 = 17678\ \text{mm}^2$$



खोखले गोलाकार खण्ड के लिये

$$I = \frac{\pi}{64} \times (D^4 - d^4)$$

तथा

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

अत:

$$r^2 = \frac{I}{A} = \frac{\pi}{64} \times \frac{4}{\pi} \times \left(\frac{D^4 - d^4}{D^2 - d^2}\right)$$

$$= \frac{D^2 + d^2}{16} = \frac{250^2 + 200^2}{16}$$

$$= \frac{62500 + 40000}{16}$$

$$= \frac{102500}{16} \quad \text{अथवा} \quad 6406\ \text{mm}^2$$

$L$ = वास्तविक लम्बाई = 8500 mm.

तथा

$$a\left(\frac{L}{r}\right)^2 = \frac{1}{4 \times 7500} \times \frac{8500^2}{6406} = 0{\cdot}376$$

अत:

$$\text{सुरक्षित भार} = \frac{f \cdot A}{1 + a\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

$$= \frac{100 \times 17678}{1{\cdot}376}\ \text{N}$$

$$= 1284{\cdot}7\ \text{kN}$$

**उत्तर**

**उदाहरण 1.16 : मृदु इस्पात का 65 × 65 × 8 (mm) माप का कोणी खण्ड, जिसकी लम्बाई 2 m है, संपीडांग के रूप में प्रयोग किया गया। खण्ड के गुणधर्म निम्न हैं—**

**क्षेत्रफल = 967 mm², न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या =12·5 mm**

**यदि संपीडांग का एक सिरा आबद्ध व दूसरा सिरा कब्जेदार हो तथा संदलन प्रतिबल 315N/mm² हो तो रैंकिन का व्याकुँचन भार ज्ञात कीजिये।**

**हल :** रैंकिन का व्याकुँचन भार—

$$P = \frac{f_c \cdot A}{1 + a\left\{\frac{L}{r}\right\}^2}$$

$f_c$ = संदलन प्रतिबल 315 N/mm², $A$ = खण्ड का क्षेत्रफल 976 mm²

$L$ = लम्बाई = 2 m अथवा 2000 mm², $a$ = स्थिराक

तालिका 1.5 के अनुसार—

कब्जेदार सिरो के लिये, $a = \dfrac{1}{7500}$

civilguru.net

एक सिरा आबद्ध व दूसरा कब्जेदार स्थिति के लिये—

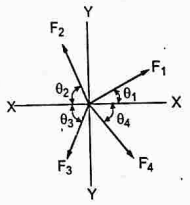
$$\text{स्थिरांक} = \frac{a}{2} = \frac{1}{2\times 7500} \qquad \text{(तालिका 1.4 देखें)}$$

अत: $$a\left\{\frac{L}{r}\right\}^2 = \frac{2000\times 2000}{2\times 7500\times 12{\cdot}5^2} = 1{\cdot}706$$

तथा व्याकुंचन भार $= \dfrac{315\times 976}{1+1{\cdot}706}\text{ N} = 113614\text{ N}$ अथवा **113·6 kN** उत्तर

## अभ्यास प्रश्न-1

1. चित्र 1.29 मे दर्शित बल $F_1, F_2, F_3$ व $F_4$ के मान न्यूटन (N) मे एवं इनकी क्रिया रेखाओं के $XX$ अक्ष से कोण क्रमश: $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ व $\theta_4$ निम्न तालिका मे दिये गये है—



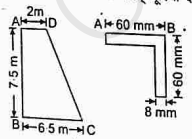

चित्र 1.29

| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | $\theta_1$ | $\theta_2$ | $\theta_3$ | $\theta_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (क) | 22 | 17 | 11 | 16 | 30° | 47° | 56° | 54° |
| (ख) | 19 | 18 | 8.5 | 12 | 34° | 63° | 63° | 44° |
| (ग) | 22 | 17 | 11 | 16 | $\theta_1$ | 50° | 52° | 35° |

उपरोक्त (क) व (ख) में अंकित बलों के परिणामी बल का मान एवं उनकी क्रिया रेखा का $XX$ अक्ष से कोण ज्ञात कीजिये। उपरोक्त (ग) मे बल $F_1$(22 N) का $XX$ अक्ष से कोण निर्धारित कीजिये जिससे बल व्यवस्था संतुलित हो।

[**उत्तर :** (क) 11·02 N, 7°12′, (ख) 16·79 N, 41° 12′, (ग) $\theta_1 = 46°27'$]

2. चित्र 1.30 मे दर्शित खण्डो के गुरुत्व केन्द्रों की रेखा $AB$ से लम्बवत् दूरियाँ ज्ञात कीजिये।




चित्र 1.30

3. चित्र 1.30 मे दर्शित कोणी खण्ड का "$AB$" के समांतर गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष (Centroidal Axis) पर जड़त्व आघूर्ण ज्ञात कीजिये। [**उत्तर :** 2·32 m, 17·92 mm]

4. उदाहरण 3 पुन: हल कीजिये यदि खण्ड की भुजा लम्बाई 90 mm हो तथा मोटाई 10 mm हो।

[**उत्तर :** गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष की दूरी $AA$ से 26·47 जड़त्व आघूर्ण $127{\cdot}55\times 10^4\text{ mm}^4$]



5. चित्र 1.31 में दर्शित शुद्धालम्ब धरन $AB$ पर आने वाले भार एवं दूरियाँ निम्नवत् हैं—

**धरन (क)—**

$P_1 = 5$ kN, $P_2 = 2{\cdot}5$ kN, $P_3 = 1{\cdot}5$ kN

$x_1 = 1{\cdot}5$ , $x_2 = 3{\cdot}5$ m, $x_3 = 5{\cdot}0$ m

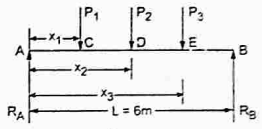
$L = 6{\cdot}5$ m.

**धरन (ख)—**

$P_1 = P_2 = P_3 = 2$ kN

$x_1 = 1{\cdot}5$ m, $x_2 = 3{\cdot}0$ m, $x_3 = 4{\cdot}5$ m

$L = 7{\cdot}5$ m

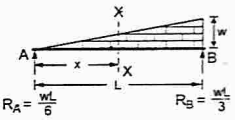



चित्र 1.31

इन धरनों के लिये प्रतिक्रियाएं तथा धरन पर उत्पन्न अधिकतम बंकन आघूर्ण के मान ज्ञात कीजिये।

[**उत्तर :** (क) $R_A + 4{\cdot}58$ व $R_B = 3{\cdot}42$ kN; अधिकतम आघूर्ण 8·02 kN.m बिन्दु $D$ पर
(ख) $R_A = 3{\cdot}6$ kN, $R_B = 2{\cdot}4$ kN; अधिकतम अघूर्ण 7·8 kN.m बिन्दु $D$ पर]

6. चित्र 1.32 में दर्शित धरन भार की तीव्रता आलम्ब $A$ पर शून्य से आलम्ब $B$ पर $w$ प्रति इकाई लम्बाई परिवर्तित होती है। यदि विस्तृति "$L$" हो तो प्रतिक्रियाएँ एवं अधिकतम बंकन आघूर्ण की स्थिति एवं मान ज्ञात कीजिये। इसके संख्यात्मक मान भी ज्ञात कीजिये यदि $w = 4$ kN/m तथा $L = 6{\cdot}0$ m




चित्र 1.32

[**उत्तर :** प्रतिक्रियाएं $R_A = wl/6$, $R_B = wL/3$;

अधिकतम बंकन आघूर्ण $x = L/\sqrt{3}$ , $M_{max} = \dfrac{wL^2}{9\sqrt{3}}$

संख्यात्मक: $x = 3{\cdot}46$ m, $M_{max} = 9{\cdot}24$ kN.m; $R_A = 4$ kN, $R_B = 8$ kN (दूरियाँ "$x$" आलम्ब $A$ से)]

7. 6.5 मी० विस्तृति के एक शुद्धालम्ब धरन पर एक-समान वितरित भार (U.D.L.) ज्ञात कीजिये, यदि धरन की गहराई 300 mm, जड़त्व आघूर्ण $15600\times 10^4\text{ mm}^4$ तथा अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 120 N/mm$^2$ हो।

इस अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल के लिये धरन के मध्य पर बिन्दु भार ज्ञात कीजिये।

[**उत्तर :** U.D.L. = कुल 153·6 kN अथवा 23·63 kN/m, बिन्दुभार 76·8 kN]

8. ढलवाँ लोहे के एक पाइप लाइन का आंतरिक व्यास 300 m तथा मोटाई 12 mm है यह चिनाई के स्तम्भों पर स्थित है। यदि ढलवाँ लोहे व पानी का घनत्व क्रमश: 70 तथा 10 kN/m$^3$ हो तथा अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 7 N/mm$^2$ हो तो स्तम्भों के बीच केन्द्र से केन्द्र दूरी निश्चित कीजिये यदि पाइप लाइन से अपनी पूरी क्षमता से पानी को वितरण होता हो। [**उत्तर :** 5·69 मीटर]

9. आयताकार खण्ड की शुद्धालम्ब धरन एक-समान वितरित भार (U.D.L.) वहन करती है। यदि अधिकतम बंकन प्रतिबल 8 N/mm$^2$ हो तो धरन की गहराई व विस्तृति के बीच अनुपात (Ratio) ज्ञात कीजिये ताकि अधिकतम विक्षेप विस्तृति/480 से अधिक न हो। $E = 0{\cdot}118\times 10^5$ Nmm$^2$ लें। [**उत्तर :** 1/14·75]

10. मृदु इस्पात के एक रेल खण्ड की गहराई 150 mm है तथा इसका द्रव्यमान (mass) 100 kg प्रति मीटर है। यदि इस खण्ड के लिये उदासीन अक्ष की ऊपरी रेशे से गहराई 60 mm तथा जड़त्व आघूर्ण $I = 800\times 10^4\text{ mm}^4$ हो तो 140 N/mm$^2$ अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल के साथ 3 मीटर विस्तृति के लिये एक-समान वितरित सुरक्षित भार (Safe U.D.L.) ज्ञात कीजिये। [**उत्तर :** 32·18 kN]

11. आयताकार खण्ड के एक शुद्धालम्ब धरन की गहराई 400 mm है। इन पर विस्तृति के मध्य मे 23 kN का बिन्दु भार लगा है। यदि विस्तृति 6·0 मीटर हो तो अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 70 N/mm$^2$ हो तो धरन के लिये आवश्यक चौड़ाई ज्ञात कीजिये। यदि $E = 1{\cdot}22\times 10^4$ N/mm$^2$ हो तो अधिकतम विक्षेप ज्ञात कीजिये। [**उत्तर :** 184·8 mm, 8·6 mm]

12. एक आधाद्ध धरन (fixed beam) $AB$ की विस्तृति 6 मी० है। यह धरन अपनी पूरी विस्तृति पर 2·5 kN/m का एक-समान वितरित भार (U.D.L.) तथा आलम्ब $A$ से 2·5 मी० दूरी पर 4 kN का बिन्दु भार तहन करती है। आलम्ब $A$ व $B$ एक ही तल पर स्थित है तथा $EI$ का मान स्थिर है। इस धरन के लिये निम्न ज्ञात कीजिये—

(i) आलम्बो पर ऋणात्मक (–ve) आघूर्ण $M_1$ व $M_B$.

(ii) प्रतिक्रियाएँ $R_A$ व $R_B$.

(iii) अधिकतम धनात्मक (+ve) बंकन आघूर्ण की स्थिति व मान।

(iv) प्रतिमान बिन्दुओं की आलम्ब "A" से दूरियाँ।

[उत्तर : (i) $M_A = -10{\cdot}9$ तथा $M_B = 9{\cdot}93$ kN.m (ii) $R_A = 9{\cdot}992$ or 10 kN, $R_B = 9{\cdot}008$ or 9 kN (iii) आलम्ब A से 2·5 मी० दूरी पर + 6·29 kN.m (iv) 1·30 तथा 4·65 मी० दूरी पर]

13. चित्र 1.21 मे दर्शित एक सतत धरन $ABCDE$ के लिये प्रत्येक विस्तृति $L = 8$ m तथा धरन के पूरी लम्बाई पर एक-समान वितरित भार $w = 3{\cdot}5$ kN/m लेते हुये ज्ञात कीजिये—

(i) आलम्बो पर ऋणात्मक (-ve) आघूर्ण

(ii) प्रतिक्रियाएं $R_A$, $R_B$, $R_C$, $R_D$ व $R_E$.

(iii) अधिकतम धनात्मक (+ve) बंकन आघूर्ण की स्थिति एवं मान।

(iv) प्रतिनमन बिन्दुओ (Points of Contraflexures) की स्थितियाँ। सभी आलम्ब शुद्ध आलम्ब हैं तथा एक ही तल पर स्थित है। $EI$ का मान स्थिर है।

[उत्तर : (i) $M_A = M_E = 0$, $M_B = M_D = -24$ kN.m तथा $M_C = -16$ kN.m (ii) क्रमशः 11, 32, 26, 32 व 11 kN, (iii) आलम्ब A से 3·143 मी० दूरी पर + 17·306 kNm आलम्ब B से 4·28 मी० दूरी पर + 9·2 kNm, (iv) आलम्ब A से विस्तृति $AB$ पर 6·9 मी० आलम्ब B से विस्तृति $BC$ पर 2·13 व 6·43 मी०]

14. ढलवाँ लोहे के एक स्तम्भ का बाह्य व्यास 200 mm तथा मोटाई 25 mm है। यदि स्तम्भ पर 200 kN भार आ रहा हो तथा भार की उकेन्द्रता 45 mm हो तो स्तम्भ के खण्ड पर उत्पन्न प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये। भार के उत्केन्द्रता का वह अधिकतम मान ज्ञात कीजिये, जिससे तनन प्रतिबल उत्पन्न न हो। [उत्तर : 29·44 N/mm², 0·34 N/mm² तनन $e = 43{\cdot}95$ mm]

15. मृदु इस्पात के एक स्तम्भ का क्षेत्रफल 33450 mm² तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या 1·25 mm है। स्तम्भ अपने दोनों सिरों पर आबद्ध है तथा वास्तविक लम्बाई 7400 mm है। यदि संदलन प्रतिबल $f_c = 315$ N/mm² हो तथा रैंकिन स्थिरांक $a = 1/7500$ हो स्तम्भ के लिये भार क्षमता ज्ञात कीजिये। यदि स्तम्भ का एक सिरा आबद्ध व दूसरा मुक्त रखा जाये तो स्तम्भ की भार क्षमता क्या होगी? [उत्तर : 9208·6 kN, 3155 kN]

16. ढलवाँ लोहे के लिए नलिकाकार स्तम्भ का बाह्य व्यास 150 mm तथा मोटाई 12 mm है। यदि स्तम्भ की लम्बाई 8000 mm हो तथा व अपने दोनो सिरों पर आबद्ध हो तो स्तम्भ के लिये ऑयलर सूत्र से व्याकुंचन भार ज्ञात कीजिये। $E = 1 \times 10^5$ N/mm² लीजिये। [उत्तर : 770·64 kN]

17. उदाहरण 16 में अंकित स्तम्भ के लिये सुरक्षा गुणांक 3 लेते हुये स्तम्भ पर सुरक्षित भार निर्धारित कीजिये। इस निर्धारित भार के लिये अधिकतम उत्केन्द्रता का मान सुनिश्चित कीजिये जिससे स्तम्भ में तनन प्रतिबल उत्पन्न न हो। इस स्थिति में अधिकतम प्रतिबल का मान क्या होगा? [उत्तर : 256·9 kN, $e = 32$ mm, $f_{max} = 98{\cdot}8$ N/mm²]

18. ऑयलर के सूत्र से मृदु इस्पात की एक ट्यूब जिसका आंतरिक व्यास 25 mm तथा बाह्य व्यास 32 mm तथा लम्बाई 3000 mm है, संपीडाग के रूप मे प्रयोग की गयी। यदि इसका एक सिरा आबद्ध व दूसरा कब्जेदार हो तथा $E = 2{\cdot}1 \times 10^5$ N/mm² हो तो पगुकारी भार ज्ञात कीजिये। [उत्तर : 14·88 kN]

19. मृदु इस्पात का एक I खण्ड जिसका क्षेत्रफल 8590 mm² तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या 53·4 mm है, स्तम्भ के रूप में प्रयोग किया गया है। यदि वास्तविक लम्बाई 3800 mm हो तथा दोनों सिरे कब्जेदार हों, तो रैंकिन सूत्र से सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये। मृदु इस्पात के लिये सुरक्षित प्रतिबल 110 N/mm² तथा $a = \frac{1}{8000}$ लीजिये। इस स्तम्भ के लिये एक सिरा आबद्ध व दूसरा मुक्त स्थिति के लिये भी सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये। [उत्तर : 578·6 kN, 267·5 kN]

20. 3 मीटर लम्बे तथा 150 mm चौड़ाई व 75 mm गहराई वाले एक वेल्लित इस्पातीय T खण्ड का संपीडन उपांग के रूप मे प्रयोग किया गया। खण्ड का क्षेत्रफल 1949 mm² तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या 34·4 mm है। यदि संदलन प्रतिबल 315 N/mm² तथा रैंकिन स्थिराक $a = 1/7500$ हो तो निम्न सिरा स्थितियों के लिये रैंकिन सूत्र से व्याकुंचन भार ज्ञात कीजिये। (i) दोनो सिरे आबद्ध, (ii) एक सिरा आबद्ध व दूसरा कब्जेदार। [उत्तर : (i) 489·7 kN, (ii) 407·38 kN]

21. मृदु इस्पात की एक पत्ती (Flat) जो 3 मीटर लम्बी और 50 mm × 0·5 mm माप की है, एक लकड़ी के पहिये पर मढ़ी जानी है। यदि इस्पात का यंग मापांक, $E = 2 \times 10^5$ N/mm² हो, पत्ती मे अधिकतम त्वक् प्रतिबल (Skin stress) ज्ञात कीजिए। [उत्तर : 1·05 N/mm²]

# 2 संरचनात्मक इस्पातीय खण्ड (STRUCTURAL STEEL SECTIONS)

## § 2.1. प्रस्तावना (Introduction) :

इन्जीनियरी संरचनाओं के निर्माण के लिये अनेक पदार्थों (Materials) का प्रयोग किया जाता है, जैसे—चिनाई (Masonry), प्रकाष्ठ (Timber), कंक्रीट (Concrete), इस्पात (Steel) आदि। इनमें इस्पात का अपना विशेष महत्व है।

इस्पात में तनन (Tension), संपीडन (Compression) तथा अपरूपण (Shear) भार वहन करने की अधिक क्षमता है। समान खण्ड के लिये चिनाई, प्रकाष्ठ, कंक्रीट संरचनाओं की भार वहन क्षमता इस्पातीय संरचनाओं की अपेक्षा कम होती है, अतः जटिल भार वाली संरचनाओं के लिये इस्पात प्रयोग किया जाता है।

इस अध्याय में हम संरचनात्मक इस्पात के गुणधर्मों (Properties), अनुज्ञेय प्रतिबल तथा इससे निर्मित संरचनात्मक खण्डों का अध्ययन करेंगे।

## § 2.2. संरचनात्मक इस्पात (Structural Steel) :

संरचनात्मक इस्पात का मुख्य संघटक लोहा (Iron) है। इसे अन्य पदार्थों के साथ मिश्रित (Alloy) करके, इसके यांत्रिक गुणधर्मों, जैसे—तनन क्षमता (Tensile Strength), तन्यता (Ductility) आदि में सुधार किया जाता है।

सामान्यतः लोहा **कच्चे लोहे** (Pig Iron) के रूप में उपलब्ध होता है। इसके शुद्धिकरण से ढलवां लोहे (Cast Iron) प्राप्त होता है। कच्चा लोहा लौह अयस्कों (Ores) को झोंका भट्टी में पिघला कर बनाया जाता है।

(1) **ढलवां लोहे** (Cast Iron) में मुक्त कार्बन की मात्रा 2 से 4% होती है। इसकी तनन क्षमता कम परन्तु संपीडन क्षमता अधिक होती है।

(2) **पिटवां लोहा** (Wrought Iron)—यह लोहे का शुद्ध रूप है। इसमें कार्बन की मात्रा लगभग 0·15% होती है। यह तन्य, आघातवर्धनीय तथा चीमड़ होता है।

(3) **इस्पात** (Steel) में लगभग 1·5% तथा कार्बन होती है। यह अधिक लचीला, तन्य तथा आघातवर्धनीय होता है। इसको जंग (Rust) आसानी से लग जाता है।

मृदु इस्पात (Mild Steel) में कार्बन की मात्रा 0·15% से 0·30% तक रहती है। मृदु इस्पात में तन्यता (Ductility) होती है जिस कारण इसे विभिन्न खण्डों में वेल्लित किया जा सकता है। मृदु इस्पात का विभिन्न संरचनाओं में सर्वाधिक प्रयोग किया जाता है।

## § 2.3. संरचनात्मक इस्पात के गुणधर्म (Properties of Structural Steel):

संरचनात्मक इस्पात के गुणधर्म/विस्तृत विवरण भारतीय मानक IS : 1977, 2062, 961 तथा 8500 मे दिये गये है।

सामान्यतः सभी प्रकार की संरचनाओं के लिये इस्पात भारतीय मानक IS : 2062, 1992 के अनुकूल होना चाहिये। संरचनात्मक इस्पात के गुणधर्म आगे दिये जा रहे हैं—

**2.3-1. भौतिक गुणधर्म** (Physical Properties)—संरचनात्मक इस्पात के गुणधर्म निम्न दिये जा रहे हैं—

(i) घनत्व (Density)—78·5 kN/m (7·85 gm/cc) (7850 kg/m³)

(ii) रेखीय प्रसार गुणांक (Co-efficient of linear expension) $12 \times 10^{-6}$/°C

(iii) यंग मापांक (Young's Modulus)—$2{\cdot}04 \times 10^5$ से $2{\cdot}18 \times 10^5$ N/mm$^2$। अभिकल्पन हेतु इसे सामान्यत: $2 \times 10^5$ N/mm$^2$ अथवा $2 \times 10^5$ MPa लिया जाता है।

(iv) दृढ़ता मापांक (Modulus of Rigidity) = $0{\cdot}84 \times 10^5$ से $0{\cdot}98 \times 10^5$ N/mm$^2$

भारतीय मानक IS : 2062-1992 (Fourth revision) के अनुसार संरचनात्मक इस्पात को निम्नवत् नामित किया गया है—

तालिका 2.1

| ग्रेड (Grade) | संज्ञा (Designation) |
|---|---|
| A | Fe 410 W A |
| B | Fe 410 W B |
| C | Fe 410 W C |

इनकी न्यूनतम तनन सामर्थ्य 410 Mpa (410 N/mm$^2$) होगी। इनके गुणधर्म आगे दिये गये हैं।

**2.3-2. रासायनिक संघटन** (Chemical Composition)—भारतीय मानक IS : 2062-1992 के अनुसार इस्पातों का रसायानिक सघटन निम्नवत् होगा—

तालिका 2.2

| ग्रेड (Grade) | इस्पात | संघटन प्रतिशत (अधिकतम) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C | Mn | S | P | Si |
| A | Fe 410 W A | 0·23 | 1·5 | 0·05 | 0·05 | 0·4 |
| B | Fe 410 W B | 0·22 | 1·5 | 0.045 | 0·045 | 0·4 |
| C | Fe 410 W C | 0·20 | 1·5 | 0·040 | 0·040 | 0·4 |

C = Carbon, Mn = Magnese, S = Sulphur, P = Phosphorus, Si = Silicon.

उपरोक्त सघटन प्रतिशत (% Composition) मे अनुज्ञेय प्रतिशत परिवर्तन निम्न होगा—

तालिका 2.3

| संघटक | अनुज्ञेय अधिकतम प्रतिशत परिवर्तन |
|---|---|
| कार्बन (C) | 0·02 |
| मैगनीज (Mn) | 0·05 |
| सल्फर (S) | 0·005 |
| फॉस्फोरस (P) | 0·005 |
| सिलिकॉन (Si) | 0·03 |
| कॉपर (Cu) | 0·03 |

**2.3-3. यांत्रिक गुणधर्म** (Mechanical Properties)—भारतीय मानक IS : 2062-1992 के अनुसार, ये तालिका 2.4 में दिये गये है।



तालिका 2.4

| 1. ग्रेड | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 2. नाम | Fe 410 W A | Fe 410 W B | Fe 410 W C |
| 3. तनन सामर्थ्य (न्यूनतम) MPa (N/mm$^2$) | 410 | 410 | 410 |
| 4. पराभव प्रतिबल (न्यूनतम) (Yield Stress) MPa (N/mm$^2$) | | | |
| (i) < 20 mm व्यास | 250 | 250 | 250 |
| (ii) 20-40 mm व्यास | 240 | 240 | 240 |
| (iii) > 40 mm व्यास | 230 | 230 | 230 |
| 5. प्रसार प्रतिशत (न्यूनतम) (Elongation) % MIN : गेज लम्बाई, $L_0 = 5{\cdot}65\sqrt{S_0}$ पर | 23 | 23 | 23 |
| 6. बंकन परीक्षण (आंतरिक व्यास) न्यूनतम | 3 $t$ | 2 $t$ (25 mm या कम मोटाई के लिये) | 3 $t$ (25 mm से अधिक मोटाई के उत्पादों के लिये) |

**2.3.4. अनुज्ञेय प्रतिबल** (Permissible Stress)—भारतीय मानक IS : 800-1984 द्वारा विभिन्न अनुज्ञेय प्रतिबलो के मान इस्पातों के लिये समबद्ध पराभव प्रतिबलों के अनुपात में निर्धारित किये गये हैं।

पराभव प्रतिबल को '$f_y$' से दर्शित किया गया है। $f_y$ = 250, 240 तथा 230 N/mm$^2$ के लिये विभिन्न प्रतिबलो के मान तालिका 2.5 में दिये गये हैं।

**तालिका 2.5—इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल (Premissible Stress)**

| प्रतिबल (Stress) | अनुज्ञेय प्रतिबल पराभव प्रतिबल के अनुसार (N/mm$^2$) में | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $f_y$ = 250 N/mm$^2$ | $f_y$ = 240 N/mm$^2$ | $f_y$ = 230 N/mm$^2$ |
| (i) अक्षीय तनन (Axal Tension) | 0·6$f_y$ | 150·0 | 144·0 | 138·0 |
| (ii) अक्षीय संपीडन (Axial Compression) | इसे अलग से दिया जा रहा है (तालिका 2.6 देखें) | | | |
| (iii) बंकन (Bending) | 0·66$f_y$ | 165·0 | 158·4 | 151·8 |
| (iv) अपरूपण (Shear) | | | | |
| (a) अधिकतम (Max:) | 0·45$f_y$ | 112·5 | 108·0 | 103·5 |
| (b) औसत (Average) | 0·40$f_y$ | 100·0 | 96·0 | 92·0 |
| (v) धारण (Bearing) | 0·75$f_y$ | 187·5 | 180·0 | 172·5 |

**नोट**— सामान्यत: उपरोक्त तालिका में $f_y$ = 250 N/mm$^2$ के अनुसार दिये गये मान अभिकल्पन में प्रयोग किये जाते हैं। अन्य विशिष्ट पराभव प्रतिबल (Yield Stress) के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल समबद्ध अनुपात मे लिये जाये।

**(1) अक्षीय संपीडन** (Axial Compression)—अक्षीय संपीडन मे अनुज्ञेय-प्रतिबलो के मान तनुता अनुपात (Slenderness Ratio) पर निर्भर करता है। B.I.S. द्वारा विभिन्न पराभव प्रतिबलो के लिये संबद्ध अनुज्ञेय मान I.S. कोड की तालिका 5.1 में दिये गये है तथा उनमें से $f_y$ = 250, $f_y$ = 240 तथा $f_y$ = 230 N/mm$^2$ के लिये अनुज्ञेय प्रतिबलो के मान निम्न तालिका 2.6 मे दिये जा रहे है।

civilguru.net

तालिका 2.6—अक्षीय सम्पीडन में अनुज्ञेय प्रतिबल (N/mm² or MPa में)

| तनुता अनुपात | अनुज्ञेय प्रतिबल $f_y$ | | | तनुता अनुपात | अनुज्ञेय प्रतिबल $f_y$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 250 | 240 | 230 | | 250 | 240 | 230 |
| 10 | 150 | 144 | 138 | 140 | 51 | 50 | 50 |
| 20 | 148 | 142 | 137 | 150 | 45 | 45 | 45 |
| 30 | 115 | 140 | 134 | 160 | 41 | 41 | 40 |
| 40 | 139 | 134 | 129 | 170 | 37 | 37 | 36 |
| 50 | 132 | 127 | 123 | 180 | 33 | 33 | 33 |
| 60 | 122 | 118 | 115 | 190 | 30 | 30 | 30 |
| 70 | 112 | 109 | 106 | 200 | 28 | 28 | 27 |
| 80 | 101 | 98 | 96 | 210 | 25 | 25 | 25 |
| 90 | 90 | 88 | 87 | 220 | 23 | 23 | 23 |
| 100 | 80 | 79 | 78 | 230 | 21 | 21 | 21 |
| 110 | 72 | 71 | 69 | 240 | 20 | 20 | 20 |
| 120 | 64 | 63 | 62 | 250 | 18 | 18 | 18 |
| 130 | 57 | 56 | 55 | — | — | — | — |

## § 2.4. संरचनात्मक इस्पातीय खण्ड (Structural Steel Sections) :

भवन तथा अन्य संरचनाओं के अवयवो पर जिस प्रकार का भार आता हो, तदनुसार उपांगों का अभिकल्पन किया जाता है। अभिकल्पन की सुविधा के लिये मृदु इस्पात के बेल्लित संरचनात्मक खण्डों को विभिन्न आकारों में बनाया गया है। खण्डों के आकार तथा चौड़ाई, गहराई एवं मोटाई के अनुसार इन्हें निम्नवत् नामित किया गया है—

1. बेल्लित इस्पातीय धरन खण्ड (Rolled Steel Beam Sections)
2. बेल्लित इस्पातीय चैनल खण्ड (Rolled Steel Channels Sections)
3. बेल्लित इस्पातीय टी-खण्ड (Rolled Steel T-sections)
4. बेल्लित इस्पातीय कोणी खण्ड (Rolled Steel Angles)
5. बेल्लित इस्पातीय नलिका खण्ड (Rolled Steel Tubes)
6. बेल्लित इस्पातीय छड़ खण्ड (Rolled Steel Bars)
7. बेल्लित इस्पातीय चपटी पत्ती (Rolled Steel flats)

इन इस्पातीय खण्डो के परिमाप, क्षेत्रफल, प्रति इकाई लम्बाई भार तथा अन्य विवरण स्टील टेबिल में दिया जाता है। यह आँकड़े पुस्तक के परिशिष्ट में भी दिये गये है।

**2.4-1. बेल्लित इस्पातीय धरन खण्ड** (Rolled Steel Beam)—यह I खण्ड होता है। खण्ड की चौड़ाई (Width) एवं गहराई (Depth) के अनुसार, इन्हे निम्नवत् वर्गीकृत किया जाता है—

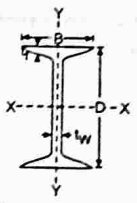
(i) ISJB = भारतीय मानक छोटी धरन (I.S. Junior Beam)
(ii) ISLB = भारतीय मानक हल्की धरन (I.S. Light Beam)
(iii) ISMB = भारतीय मानक मध्यम धरन (I.S. Medium Beam)
(iv) ISWB = भारतीय मानक चौड़ी धरन (I.S.Wide Beam)
(v) ISHB = भारतीय मानक भारी धरन (I.S. Heavy Beam)

उक्त खण्डो को गहराई (Depth) के साथ नामित किया जाता है जैसे—ISMB-400 अर्थात् भारतीय मानक मध्यम धरन, जिसकी गहराई 400 mm है।



स्टील टेबल में इन खण्डों के बारे में निम्न ब्यौरा दिया जाता है, चित्र 2.1 देखें—

$D$ = धरन की गहराई (mm),
$B$ = फ्लेंज की चौड़ाई (mm),
$t_w$ = वेब की मोटाई (mm),
$t_f$ = फ्लेंज की मोटाई (mm),
$w$ = भार प्रति मीटर लम्बाई (kg),
$A$ = खण्ड का क्षेत्रफल (mm²)



चित्र 2.1—धरन खण्ड

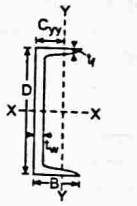
यह खण्ड $XX$ तथा $XY$ पथ पर सममित (Symmetrical) होता है। अभिकल्पन की दृष्टि से निम्न गुणधर्म महत्वपूर्ण हैं जो स्टील टेबल में दिये होते हैं—

$I_{xx}$ = $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण (Moment of Intertia)
$I_{yy}$ = $YY$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण
$Z_{xx}$ = $XX$ अक्ष पर परिच्छेद मापांक (Section Modulus)
$Z_{yy}$ = $YY$ अक्ष पर परिच्छेद मापांक
$r_{xx}$ = $XX$ अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या (Radius of Gyration)
$r_{yy}$ = $YY$ अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या

**2.4-2. बेल्लित इस्पातीय चैनल खण्ड** (Rolled Steel Channels)—चैनल खण्ड को नाली खण्ड भी कहा जाता है। धरन खण्डों की भाँति इन्हें निम्नवत् वर्गीकृत किया जाता है—

(i) ISJC—भारतीय मानक छोटी चैनल (I.S Junior Channel)
(ii) ISLC—भारतीय मानक हल्की चैनल (I.S. Light Channel)
(iii) ISMC—भारती मानक मध्यम चैनल (I.S. Medium Channel)
(iv) ISSC—भारतीय मानक विशेष चैनल (I.S. Special Channel)

इन्हें भी उक्त नामों के साथ गहराई के आधार पर नामित किया जाता है। जैसे ISLC—100 भारतीय मानक हल्की चैनल खण्ड है, जिसकी गहराई 100 mm होगी। यह खण्ड $XX$ अक्ष पर सममित (Symmetrical) होता है।



चित्र 2.2—चैनल खण्ड

स्टील टेबल में इन खण्डों के बारे में निम्न दूरियाँ भी दी जाती है—

$C_{YY}$ = चैनल खण्ड की पीठ (बैक) एवं $YY$ अक्ष के बीच लम्बवत् दूरी
$g$ = गेज की दूरी जो रिवेट रेखा को अंकित करती है।

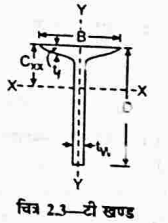
**2.4-3. बेल्लित इस्पातीय $T$ खण्ड** (Rolled Steel T–Section)—यह अंग्रेजी अक्षर $T$ के आकार (Shape) का होता है। इसमे एक फ्लेंज तथा एक वेब होती है। यह $YY$ अक्ष पर सममित होता है। (चित्र 2.3 देखे)। इन्हें निम्नवत् वर्गीकृत किया जाता है—

(i) ISNT—भारतीय मानक साधारण टी छड़ (I.S. Normal T-bar)
(ii) ISLT—भारतीय मानक हल्की टी छड़ (I.S. Light T-bar)
(iii) ISJT—भारतीय मानक छोटी टी छड़ (I.S. Junior T-bar)
(iv) ISHT—भारतीय मानक चौड़ी फ्लेज टी छड़ (I.S. Wide Flange T-bar)
(v) ISST—भारतीय मानक लम्बी टाँग टी छड़ (I.S. Long Leg T-bar)

इन्हें भी उपर्युक्त नामों के साथ गहराई के आधार पर नामित किया जाता है, जैसे ISNT 150 भारतीय मानक साधारण T खण्ड होगा जिसकी गहराई 150 mm होगी।

स्टील टेबल मे इस खण्ड के बारे मे भी पूरा ब्योरा दिया जाता है।

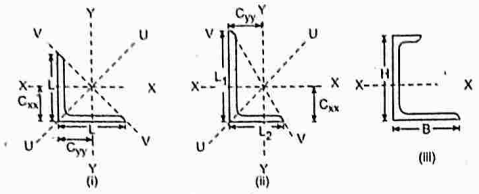
यह खण्ड $YY$ अक्ष पर सममित होने के कारण स्टील टेबल में फ्लेज के ऊपरी रेशे तथा $XX$ अक्ष के बीच लम्बवत् दूरी '$C_{XX}$' अंकित की जाती है।



चित्र 2.3—टी खण्ड

civilguru.com

**2.4-4. बेल्लित इस्पातीय कोणी खण्ड** (Rolled Steel Angles)—इस खण्ड को तीन वर्गों मे बाँटा गया है (चित्र 2.4 देखे) जो निम्नवत् है—




चित्र 2.4—एंगल-खण्ड

(i) ISA—भारतीय मानक समभुज कोण (Indian Standard Equal Angle)
(ii) ISA—भारतीय मानक असमभुज कोण (Indian Standard Unequal Angle)
(iii) ISBA—भारतीय मानक बल्ब कोण (I.S. Bulb Angle)

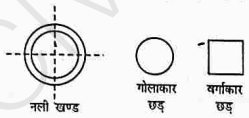
कोणी खण्ड की दो भुजाये (या टाँगे) (Legs) होती है। समभुज कोणी खण्ड में दोनों भुजाओं की लम्बाई समान होती है। इन खण्डो की लम्बी और छोटी टाँगो की लम्बाई क्रमशः लिखते हुये नामित किया जाता है, जैसे—ISA 50 50 समभुज कोणी खण्ड, जिसकी दोनो टाँगे (Legs) 50 mm लम्बी होगी।

ISA 60 40 असमभुज कोणी खण्ड, जिसकी लम्बी व छोटी टाँगे क्रमशः 60 mm व 40 mm लम्बी होगी। प्रत्येक खण्ड की टाँगो की मोटाई भी स्पष्ट की जाती है।

स्टील टेबल मे समभुज तथा असमभुजी कोणी खण्डो का ब्योरा अलग-अलग दिया जाता है।

यह खण्ड $XX$ व $YY$ अक्षो पर सममितीय (Symmetrical) न होने के कारण, इन अक्षों की खण्ड के पीठ (Back) से दूरियाँ क्रमशः $C_{XX}$ व $C_{YY}$ अंकित की जाती है। समभुज कोणी खण्डो के लिये दूरियाँ $C_{XX}$ व $C_{YY}$ समान होंगी। $XX$ एवं $YY$ अक्षो पर सममितीय न होने के फलस्वरूप इन खण्डो के लिये प्रधान अक्ष $UU$ व $VV$ अलग से दर्शित हैं। इन अक्षों पर खण्ड के जड़त्व आघूर्णों (Moments of Inertia) के मान $I_{UU}$ व $I_{VV}$ क्रमशः अधिकतम व न्यूनतम होगे। स्टील टेबल में $I_{VV}$ के आधार पर न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या "$r_{VV}$" दी जाती है जिसका संपीडांगो के विश्लेषण/अभिकल्पन में प्रयोग किया जाता है। प्रधान अक्षों की स्थिति चित्र 2.4 मे दर्शित है।

**2.4-5. बेल्लित इस्पातीय नलिका** (Rolled Steel Tubes)—यह हल्की (Light), मध्यम (Medium) व भारी (Heavy) खण्ड की होती है। यह स्तम्भ एवं सम्पीडांग या तनन अवयव के रूप मे प्रयोग में लायी जाती है। ट्यूबलर संरचनाओं (Tubular Structure) के लिये यह खण्ड उपयुक्त है। (चित्र 2.5 देखे)




चित्र 2.5

**2.4-6. बेल्लित इस्पाती छड़** (Rolled Steel Bars)—यह छड़े वर्गाकार तथा गोलाकार, दो आकारो मे उपलब्ध होती है (चित्र 2.5 देखे) इन्हे निम्न प्रकार वर्गीकृत किया जाता है—

(i) ISRO भारतीय मानक गोलाकार छड़ (I.S. Round Bar)
(ii) ISSQ भारतीय मानक वर्गाकार छड़ (I.S. Square Bar)

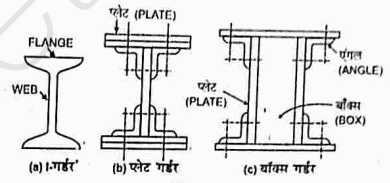
**2.4-7. बेल्लित इस्पातीय चपटी पत्ती** (Rolled Steel Flat)—इन्हे चौड़ाई एवं मोटाई में अंकित करते हुये नामित किया जाता है। यह जालक छड़ (Lacing Bar) एव तनन अवयव (Tension Memeber) के रूप में प्रयोग में लायी जाती है।

उपरोक्त खण्डो के अलावा बेल्लित इस्पातीय चादरे (Rolled Steel Sheets) तथा प्लेटें (Plates) भी निर्माण की जाती हैं, जो इसपातीय चिमनी या पानी की टंकी जैसी सरचनाओ के लिये उपयुक्त होती हैं। 5mm से कम मोटी पत्ती को चादर (Sheet) के अन्तर्गत लिया जाता है।

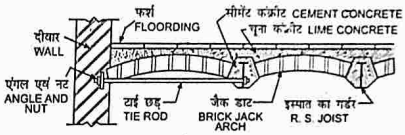


## § 2.5. इस्पातीय संरचनायें (Steel Structures) :

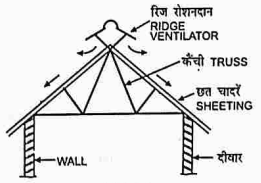
इस्पातीय संरचनायें मूलरूप में L, T, I, I प्रकार की प्लेटों को विशेष स्थिति में रख कर/जोड़ कर बनायी जाती है। स्थिति व अध्यारोपित भार के अनुसार ये तनन, सम्पीडन, आनमन अवयव कहलाते है। इनको धरन, स्तम्भ, टाई, सम्पीडांग इत्यादि नामों से जाना जाता है। लम्बे पाटों के लिये प्लेट गार्डर व कैंचियाँ (Trusses) प्रयोग की जाती हैं। ऊँचाई के लिये मांचिका (Trestle) व क्रेनें काम आती हैं। इस्पात की कुछ मुख्य संरचनाये चित्र 2.6 से 2.13 में दर्शायी गयी है।



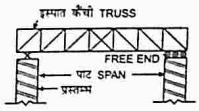

चित्र 2.6



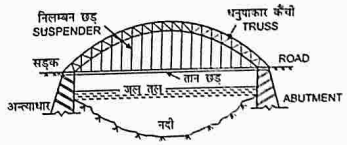

चित्र 2.7



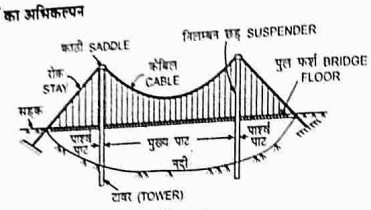

चित्र 2.8



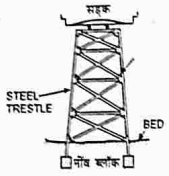

चित्र 2.9



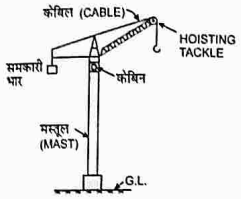

चित्र 2.10




चित्र 2.11




चित्र 2.12




चित्र 2.13

## § 2.6. संरचनाओं पर भार (Loads on Structures) :

संरचनाओ का अभिकल्पन उन पर आने वाले भारो के परिणाम को ध्यान में रखते हुये, इस प्रकार किया जाता है कि उनमें आवश्यक प्रतिरोध उत्पन्न हो।

संरचनाओ पर आने वाले भारो (Loads) को निम्नवत् वर्गीकृत किया गया है—

(i) अचल भार (Dead load), (ii) चल भाल (Live load),
(iii) पवन भार (Wind load), (iv) हिम भार (Snow load),
(v) भूकम्प भार (Seismic load)

**2.6-1. अचल भार** (Dead Load)—यह किसी संरचना पर आने वाला स्थायी भार है। इसमें संरचना का स्वयं का भार (Self Weight) तथा संरचना के साथ दृढ़ता से जुड़े उन सभी उपांगों व वस्तुओं का भार सम्मिलित होता है जैसे भवनों में—धरनों के लिये—धरन का स्वयं भार एवं छत का भार, छत कैंची के लिये—कैंची व स्वयं भार तथा पर्लिन, छत आवरण (Roof Covering) आदि का भार।

**2.6-2. चल भार** (Live Load)—भवन मे रहने वाले तथा अस्थायी तौर पर स्टोर की गयी वस्तुओं का भार, चल भार माना जाता है। इसका मान एवं तीव्रता बदलती रहती है। चल भारों से होने वाले परिणामो के विश्लेषण में चल भार की वह स्थिति निश्चित की जाती है जिसमें संरचना मे अधिकतम प्रतिबल उत्पन्न होता हो तथा इस स्थिति मे उत्पन्न प्रतिबलों की गणना की जाती है।

**2.6-3. पवन भार** (Wind Load)—पवन भार संरचना की भौगोलिक स्थिति, ऊँचाई, पवन का वेग, पवन की दिशा आदि पर निर्भर करता है। छत कैंचियो के विश्लेषण तथा चिमनियो के अभिकल्पन में पवन भार के परिणामों का मुख्य रूप से विचार किया जाता है।

**2.6-4. हिम भार** (Snow Load)—हिमपात वाले क्षेत्रों या पर्वतीय क्षेत्रों (Hilly Areas) में, जहाँ हिमपात (Snow Fall) होता है, इस भार को संरचना के अभिकल्पन हेतु विचार मे लिया जाता है।



**2.6-5. भूकम्प भार** (Seismic Load)—जहाँ भूकम्प आने की सम्भावना होती है, वहाँ इन भारों को विचार में लिया जाता है।

उक्त भारों के अलावा आवश्यकतानुसार स्थापना भार (Erection Load) तथा ताप प्रभाव एवं गतिज भार (Dynamic Loads), जिस से संरचना पर संघट्ट प्रभाव (Impact Effect) आता हो, अभिकल्पन के समय विचार में लिया जाता है।

सभी भारों का विस्तृत विवरण भारतीय मानक (I.S. 875-1964) मे दिया गया है।

## § 2.7. अभिकल्पन पद्धति (Design Procedure) :

किसी संरचना का अभिकल्पन निम्न चरणों मे किया जाता है—

**(1) संरचना पर आने वाले भारों की गणना**—सर्वप्रथम संरचना पर आने वाले सभी भारो (Loads) को अनुमानित किया जाता है। अचल भार की गणना के लिये विभिन्न उपांगो के संभाव्य परिच्छेद (Possible Sections) मान लिये जाते है एवं भार की गणना की जाती है। अचल भार की गणना आनुभाविक सूत्रो (Emperical Formulae) से भी की जा सकती है।

**(2) संरचना पर इन भारों के परिणामों का विश्लेषण**—इस चरण मे विभिन्न भारो के परिणाम जैसे बकन आघूर्ण, अपरूपण, मरोड़ (Torsion) आदि को अनुमानित किया जाता है। आवश्यकतानुसार भारो को क्षैतिज तथा ऊर्ध्वाधर घटको मे विभाजित कर यह विश्लेषण किया जाता है, जिसके फलस्वरूप संरचना के उपांगो मे उत्पन्न प्रतिबलो के स्वरूप तथा अधिकतम तीव्रता ज्ञात होती है।

**(3) खण्डों का चयन एवं जाँच**—उक्त विश्लेषण के आधार पर संरचना के लिये खण्डों का चयन किया जाता है। चयनित खण्डो की सुरक्षा के लिये जाँच की जाती है।

इस प्रक्रिया में चयित खण्डों पर उत्पन्न वास्तविक प्रतिबलों एवं अन्य परिणम जैसे विक्षेप (Deflection) आदि ज्ञात किये जाते हैं, जिनके वास्तविक मान अनुज्ञेय मानों की सीमा के अन्दर होने चाहिये।

**उदाहरण 2.1 : ISMB–250 खण्ड धरन के रूप में प्रयोग किया गया। यदि अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 165 N/mm² हो तो 5·5 मीटर विस्तृति (पाट) के लिये एक-समान वितरित भार (U.D.L) ज्ञात कीजिये।**

**हल—** $L$ = विस्तृति = 5·50 मीटर

परिच्छेद मापांक = $Z_{XX} = 410{\cdot}5 \times 10^3$ mm³ (स्टील टेबल से)

अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 165 N/mm² (अथवा 165 MPa)

∴ प्रतिरोध आघूर्ण $M = fZ_{XX} = 165 \times 410{\cdot}5 \times 10^3$ N.mm

$= 67732 \times 10^3$ N.mm अथवा = 67·732 kN.m

यदि $W$ = कुल एक-समान वितरित भार (kN)

तब $$M = \frac{WL}{8}$$

$$67{\cdot}732 = \frac{W \times 5{\cdot}5}{8}$$

तथा $$W = \frac{67{\cdot}732 \times 8}{8{\cdot}8} \text{ kN}$$

अत: सम-वितरित भार $$(UDL) = \frac{98{\cdot}52}{5{\cdot}5} = 17{\cdot}9 \text{ kN/मी०}$$ **उत्तर**

**उदाहरण 2.2 : धारा 2.3.4(1) में अंकित प्रतिबलों की सहायता से $l/r$ = 77·26 के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल ज्ञात कीजिये। $f_y$ = 250 N/mm² लीजिये।**

**हल—**तालिका 2.6 के अनुसार,

$l/r$ = 70 के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल = 112 N/mm²

$l/r$ = 80 के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल = 101 N/mm²

∴ तनुता अनुपात मे 10 की वृद्धि के प्रतिबल मे कटौती
$= 112 - 101 = 11\ N/mm^2$

तनुता अनुपात $= 77{\cdot}26$

अत: $7{\cdot}26$ की वृद्धि के लिये कटौती $= \frac{72{\cdot}16 \times 11}{10} = 7{\cdot}986\ N/mm^2$

अनुज्ञेय प्रतिबल $= 112 - 7{\cdot}986\ N/mm^2$

$= \mathbf{104{\cdot}014\ N/mm^2}$ **उत्तर**

## अभ्यास प्रश्न-2

1. इस्पातीय सरचनाओ मे मृदु इस्पात का सर्वाधिक प्रयोग क्यो किया जाता है?
2. ढलवाँ लोहा तथा पिटवाँ लोहा की क्या विशेषताएं है?
3. धारा 2.3-4(1) मे अंकित प्रतिबलो की सहायता से निम्न तनुता अनुपातो के लिये संबद्ध अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये। $f_y = 250\ N/mm^2$ लीजिये।
   $l/r = 34{\cdot}64$, $l/r = 82{\cdot}90$, $l/r = 137{\cdot}85$, $l/r = 209{\cdot}52$
   **[उत्तर**—142·21, 97·819, 52·295 तथा 25·142 $N/mm^2$]
4. स्टील टेबल से निम्न खण्डो के उनके सामने अंकित गुणधर्म लिखें—
   (i) ISMB—350—गहराई व $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण, फ्लेज मोटाई
   (ii) ISA—60 × 60 × 8—भार प्रति मी०, क्षेत्रफल
   (iii) ISA 75 × 75 × 8—गुरुत्व केन्द्र की स्थिति, न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या एवं न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण
   (iv) ISLC—400—फ्लेज चौड़ाई, न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या
   (v) ISA—90 × 60 × 8—न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या
   **[उत्तर**—(i) 350 mm, 13600 × $10^4$ $mm^4$, 14·2 mm, (ii) 70 N/m (7 kg/m), 896 $mm^2$
   (iii) $C_{xx} = C_{vv} = 21{\cdot}4$ mm, 14·5 mm, 23·97 × $10^4$ $mm^4$ (iv) 100 mm, 28·1 mm, (v) 12·8 mm]
5. चल भार तथा अचल भार मे क्या अन्तर है?
6. पवन भार किन बातो पर निर्भर करता है?
7. एक ISJB-200 खण्ड धरन के रूप मे प्रयोग किया गया। यदि अधिकतम अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 165 $N/mm^2$ तथा विक्षेप विस्तृति/325 तक सीमित हो तो धरन की विस्तृति तथा कुल एक-समान भार जो धरन वहन करेगी, ज्ञात कीजिये। $E = 2 \times 10^5$ $N/mm^2$ तथा परिच्छेद मापांक 169·7 × $10^3$ $mm^2$ कीजिये। **[उत्तर**—3·58 m, 62·57 kN]
8. एक स्तम्भ का काट क्षेत्रफल 8590 $mm^2$ तथा तनुता अनुपात (Slenderness Ratio) 456 हो तो धारा 2.3.4(1) के अनुसार $f_y = 250\ N/mm^2$ पराभव प्रतिबल के लिये अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल तथा स्तम्भ की भार क्षमता ज्ञात कीजिये।
   **[उत्तर**—135·08, $N/mm^2$, 1160·34 kN]
9. रिक्त स्थानो की पूर्ति कीजिये—
   (i) इस्पातीय सरचनाओ मे ..... का सर्वाधिक प्रयोग किया जाता है।
   (ii) ढलवाँ लोहे मे भुक्त कार्बन की मात्रा ..... होती है।
   (iii) पिटवाँ लोहे मे ..... रोकने की क्षमता होती है।
   (iv) मृदु इस्पात के लिये रेखिक प्रसार गुणाक ..... यंग मापांक ..... होता है।
   (v) यदि पराभव प्रतिबल $f_y = 240\ N/mm^2$ हो तो अनुज्ञेय अक्षीय तनन प्रतिबल ..... तथा बंकन प्रतिबल का मान ..... होगा।

# 3 संरचनात्मक इस्पातीय जोड़-I
## (STRUCTURAL STEEL CONNECTIONS-I)
## रिवेट जोड़ (RIVETTED JOINTS)

### § 3.1. इस्पातीय जोड़ (Steel Connections) :

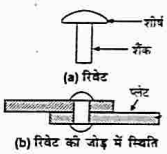
किसी बड़ी इस्पातीय संरचना का निर्माण करने के लिये अनेक अवयवो/उपागो को आपस में जोड़ा जाता है, जैसे बॉयलर शैल (Bioler Shell), पानी की टंकी, छत कैंची (Truss), पुल, वाहनों के ढाँचे, रेल गाड़ी के डिब्बो आदि को बनाने के लिये इस्पातीय प्लेटों, एंगलो, टी, चैनलों, I-खण्डों को जोड़ा जाता है। विभिन्न अवयवों को जोड़ने के लिये रिवेट (Rivets), बोल्ट (Bolts) लगाये जाते है अथवा वेल्डन (Welding) की जाती है। यह संरचनात्मक जोड़ कहलाते है। इन जोड़ों की सामर्थ्य इतनी अवश्य होनी चाहिये कि संरचना में उत्पन्न प्रतिबलों के प्रति सक्षम बने रहें। रिवेटन व वेल्ड स्थायी जोड़ कहलाते है। बोल्ट जोड़ आवश्यक होने पर, बाद में खोले भी जा सकते हैं। रिवेट IS 1929, 2155, बोल्ट-नट IS 1363, 1364, 1367, 3640, 3757, 6623, 6639 के अनुरूप होगे।

### § 3.2. रिवेट जोड़ (Rivetted Joints) :

इस अध्याय में रिवेट जोड़ों की चर्चा की गयी है।

**3.2-1. रिवेट** (Rivet)—रिवेट-इस्पात की एक गोल कील होती है जिसका एक सिरा कुछ मोटा बनाया जाता है। इसे शीर्ष (Head) कहा जाता है शेष भाग को दण्ड या शैंक (Shank) कहा जाता है। (चित्र 3.1 (a) देखे)।

शीर्ष के परिमाप शैंक (Shank) के व्यास के निश्चित अनुपात में रखे जाते हैं। अत: रिवेट का परिमाप उसके शैंक के व्यास द्वारा व्यक्त किया जाता है। उपरोक्त चित्र 3.1 (a) में एक रिवेट दिखाया गया है तथा 3.1 (b) में इसकी जोड़ में स्थिति दिखाई गयी है। जोड़ने के बाद रिवेट के दूसरे सिरे को भी पीट कर शीर्ष (Head) जैसा आकार दिया जाता है जैसा चित्र 3.1(b) में दिखाया गया है। अत: रिवेट दो प्लेटों को दृढ़ता से जोड़ता है।



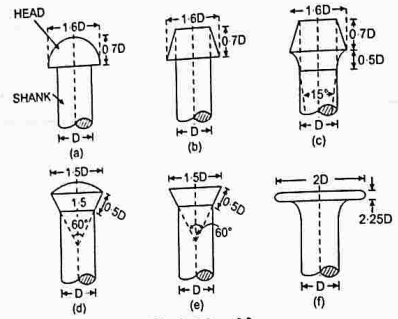
चित्र 3.1—रिवेट जोड़

**3.2-2. रिवेटों का वर्गीकरण** (Classification of Rivets)—रिवेटों का वर्गीकरण उनके (i) शीर्ष के आकार (Shape of Head) अथवा (ii) संरचना में उन्हें लगाये जाने की विधि के अनुसार अथवा (iii) उनके लगाने के स्थान व लगाने मे उपयुक्त शक्ति के अनुसार किया जाता है।

प्रत्येक वर्गीकरण में रिवेटों को अलग-अलग नामित किया जाता है।

**(i) शीर्ष के आकार के अनुसार**—इसके अनुसार रिवेटों को निम्नवत् वर्गीकृत् किया गया है—(चित्र 3.2 देखे)।
(a) कटा शीर्ष (Snap Head),
(b) शाँक्वीय शीर्ष (Pan Head),
(c) शाँक्वीय शीर्ष टेपर कंठ के साथ (Pan Head with Tapered Neck),
(d) गोलाकार शंकुखात शीर्ष (Rounded Countersunk Head),
(e) सपाट या चपटा शंकुखात शीर्ष (Flat Countersunk Head),
(f) सपाट या चपटा शीर्ष (Flat Head).
उपरोक्त चित्र 3.2 शीर्ष के सभी परिमाप रिवेट के शैंक के व्यास के अनुपात मे दिखाये गये हैं।

**(ii) लगाये जाने वाली विधि के अनुसार**—
(a) गर्म कर लगाये जाने वाले रिवेट (Hot driven),
(b) ठण्डे लगाये जाने वाले रिवेट (Cold driven).




चित्र 3.2—रिवेट के विभिन्न शीर्ष (Heads)

**(iii) लगाने के स्थान व शक्ति के प्रयोग के अनुसार—**

(a) हस्त चालित रिवेट (Hand driven rivets),

(b) शक्ति चालित स्थल रिवेट (Power driven field rivets),

(c) शक्ति चालित शॉप रिवेट (Power driven shop rivets).

स्पष्ट है कि हस्त चालित रिवेटो की सामर्थ्य न्यूनतम होगी। रिवेटों को लगाने हेतु उपलब्ध सुविधाओं के अनुसार शक्ति चालित शॉप रिवेटो की सामर्थ्य अधिकतम होगी तथा शक्ति चालित स्थल रिवेटों का सामर्थ्य मध्यम होगी।

**3.2-3. रिवेट जोड़ों के प्रकार** (Types of Rivetted Joints)—रिवेट जोड़ निम्न प्रकार के होते हैं—

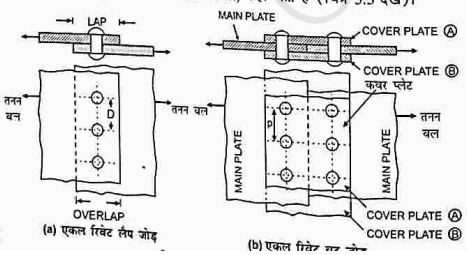
(i) लैप जोड़ या चढ़ाव जोड़ (Lap joint),

(ii) बट या टक्करी जोड़ (Butt joint).

लैप जोड़ या चढ़ाव जोड़ में दो प्लेटो को एक दूसरे के ऊपर रखकर रिवेट द्वारा जोड़ा जाता है (चित्र 3.1 (b) देखें)। बट या टक्करी जोड़ में प्लेटो को एक ही समतल में एक दूसरी से सटाते हुए रखा जाता है। इन पर एक या दो कवर प्लेटों को रखते हुए रिवेटो द्वारा जोड़ा जाता है। सामान्यत: कवर प्लेट की मोटाई मुख्य पलेट की मोटाई के 5/8 गुना रखी जाती है।

**लैप अथवा बट जोड़ में—**

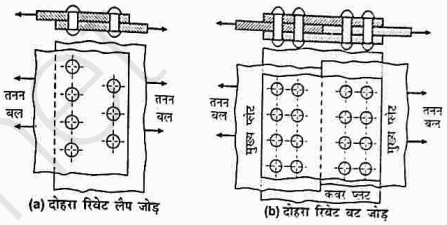
(a) यदि रिवेटो की एक पंक्ति हो तो जोड़ को क्रमश: एकल रिवेट लैप जोड़ (Simple Rivetted Lap Joint) अथवा एकल रिवेट बट जोड़ (Single Rivetted Butt Joint) कहा जाता है (चित्र 3.3 देखें)।




(a) एकल रिवेट लैप जोड़ (b) एकल रिवेट बट जोड़



(b) यदि रिवेटों की दो पंक्तियां हों तो जोड़ को क्रमश: "दोहरा रिवेट लैप जोड़ (Double Rivetted Lap Joint) अथवा रिवेट बट जोड़ (Double Rivetted Butt Joint) कहा जाता है (चित्र 3.4 देखें)।




चित्र 3.4—दोहरा रिवेट जोड़

(c) यदि रिवेटों की तीन पंक्तियाँ हों तो जोड़ को कमश: तिहरा या त्रि-रिवेट लैप जोड़ (Triple Rivetted Butt Joint) अथवा तिहरा या त्रि-रिवेट बट जोड़ (Triple Rivetted Butt Joint) कहा जाता है (चित्र 3.5 देखें)।

(d) यदि रिवेटों की तीन से अधिक पंक्तियाँ हों तो उसे क्रमश: "बहु रिवेट लैप जोड़ (Multiple Revetted Tap Joint)" या "बहु रिवेट बट जोड़ (Multiple Rivetted Butt Joint)" कहा जाता है।

**3.2-4. लैप व बट जोड़ों में तुलना—**लैप व बट जोड़ों में प्रमुख विभिन्नताओं की तुलना निम्न है—

**तालिका 3.1—लैप व बट जोड़ों की तुलना**

| लैप जोड़ (Lap Joint) | बट जोड़ (Butt Joint) |
|---|---|
| 1. इसमें कवर प्लेट (Cover plate) नहीं लगती। | 1. इसमें कवर प्लेट/प्लेटो लगती हैं। |
| 2. प्लेटों के अक्ष एक ही रेखा में नहीं होते। अत: जोड़ पर उत्केन्द्रिता के कारण बंकन आघूर्ण आता है। | 2. जोड़ी गई दोनो प्लेटें एक ही समतल मे होने से अक्ष एक ही रेखा मे होते हैं। अत: दो कवर प्लेटो के साथ जोड़ पर आ रहा बल अक्षीय होता है तथा उत्पकेन्द्रिता नहीं होती। |
| 3. रिवेट का एकतल अपरूपण होता है। | 3. प्राय: (दो कवर प्लेटे होने से) रिवेटो का द्वितल अपरूपण होता है। |
| 4. रिवेटों की (शैंक की) लम्बाई कम होती है। | 4. अधिक लम्बाई वाले रिवेट लगते हैं। |

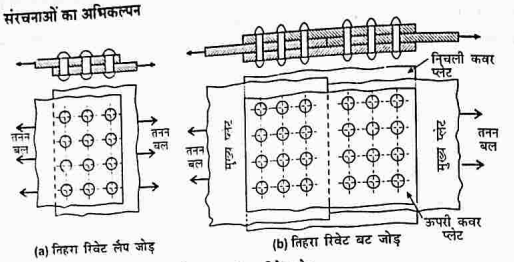
## § 3.3. जोड़ों में रिवेटों की व्यवस्था (Arrangement of Rivets in Joints):

जब किसी जोड़ में रिवेटों की दो या अधिक पंक्तियाँ होती हैं, तब रिवेटो की व्यवस्था निम्न प्रकार की जा सकती है—

(i) शृंखला रिवेट पद्धति (Chain rivetting),

(ii) विषम रिवेट पद्धति (Zig-zag rivetting).

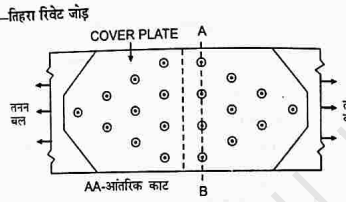
शृंखला रिवेट पद्धति में (चित्र 3.5 देखे) अनुदैर्ध्य काट (Longitudinal section) पर रिवेट एक-दूसरे के सामने आते हैं, जबकि विषम रिवेट पद्धति में (चित्र 3.4(a) देखें) ऐसा नहीं होता है।




(a) तिहरा रिवेट लैप जोड़ (b) तिहरा रिवेट बट जोड़

चित्र 3.5—तिहरा रिवेट जोड़

जब दो इस्पातीय चपटी पत्तियों (Flats) को तनन बल वहन करने हेतु तान अंग (Tie) के रूप में बट जोड़ (Butt Joint) द्वारा जोड़ा जाता है, तब रिवेटों की व्यवस्था इस प्रकार की जाती है कि (चित्र 3.6 देखें) आंतरिक काट *AA* से बाहरी ओर प्रत्येक काट पर रिवेटों की संख्या क्रमण में घटती जाती है। इस व्यवस्था को डायमण्ड रिवेट पद्धति (Diamond rivetting) कहा जाता है (चित्र 3.6)।




चित्र 3.6—बहु रिवेट जोड़

## § 3.4. जोड़ परिभाषाएँ (Connection Definitions) :

रिवेट जोड़ों के विश्लेषण के पूर्व उपयुक्त होगा कि हम रिवेट जोड़ों से संबद्ध संज्ञा (Terms) एवं उनकी परिभाषाओं को भली-भाँति समझें। यह निम्न दी जा रही है—

(1) **रिवेट का सामान्य या अंकलित व्यास** (Normal Diameter of Rivet)—यह जोड़ में लगने से पूर्व ठण्डी अवस्था में रिवेट का व्यास है।

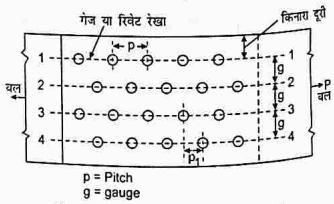
(2) **रिवेट का सकल व्यास** (Gross Diameter of Rivet)—यह जोड़ में लगे रिवेट का व्यास होता है। यह **रिवेट-छिद्र** के व्यास के बराबर लिया जाता है। इसे प्रभावी व्यास भी कहते हैं। रिवेट का सकल व्यास, इसके अंकलित व्यास से थोड़ा अधिक होता है, क्योंकि रिवेट का छिद्र कुछ बड़ा रखा जाता है ताकि रिवेट उसमें (छिद्र में) सरलता से घुस जाये।

(3) **गेज रेखा अथवा रिवेट रेखा** (Gauge Line or Rivet line)—प्रतिबल की दिशा समान्तर रेखा जिस पर रिवेट लगाये जाते हैं, को गेज रेखा अथवा रिवेट रेखा कहा जाता है (चित्र 3.7 में 1-1, 2-2 आदि गेज रेखाएँ हैं।

(4) **गेज दूरी** (Gaugae Distance)—यह दो निकटतम गेज रेखाओं (अथवा रिवेट रेखाओं) के बीच लम्बवत् दूरी है (चित्र 3.7 में इसे "g" से दर्शित किया गया है)। यह दूरी अवयव में उत्पन्न प्रतिबल की दिशा के लम्बवत् ली जाती है।

(5) **किनारा दूरी** (Edge Distance)—रिवेट जोड़ में प्लेट के किनारे से निकटतम रिवेट छिद्र के केन्द्र के बीच लम्बवत् दूरी को किनारा दूरी कहा जाता है। (चित्र 3.7)।

(6) **पिच या अंतराल** (Pitch)—किसी रिवेट रेखा पर स्थित दो निकटतम रिवेटों के मध्य केन्द्र से केन्द्र दूरी को पिच या अंतराल कहा जाता है। यह दूरी अवयव में उत्पन्न प्रतिबल की दिशा के समान्तर ली जाती है।




चित्र 3.7—पिच व गेज (Pitch and Gauge)



(7) **विषम पिच** (Staggered pitch)— यह दो निकटतम रिवेट रेखाओं पर स्थित दो क्रमागत रिवेटों (Two Consecutive Rivets) के बीच रेखाओं के समानान्तर केन्द्र से केन्द्र दूरी है। चित्र 3.7 में इसे "$p_1$" द्वारा दर्शित किया गया है।

## § 3.5. रिवेटों में अनुज्ञेय प्रतिबल (Permissible Stresses in Rivets) :

**3.5-1. उत्पन्न प्रतिबलों का स्वरूप**—चित्र 3.8 में एकल रिवेट लैप जोड़ दर्शित किया गया है। यहां दो प्लेटों को एक रिवेट रेखा पर स्थित रिवेटों द्वारा जोड़ा गया है। स्पष्ट है कि जोड़ पर आने वाला बल **रिवेटों के माध्यम** से प्लेटों के बीच स्थानान्तरित होता है। इस प्रक्रिया में—

(i) जोड़ पर आ रहे बल की प्रवृत्ति रिवेट को (रिवेट-शैंक को) काटने की होती है। इसके फलस्वरूप रिवेटों में **अपरूपण प्रतिबल** (Shear Stress) उत्पन्न होता है।

(ii) इस बल स्थानान्तरण प्रक्रिया में रिवेट-शैंक तथा प्लेट में बने रिवेट छिद्र के तलों के बीच **धारण प्रतिबल** (Bearing Stress) उत्पन्न होता है।

इस प्रकार रिवेटों में अपरूपण व धारण प्रतिबल उत्पन्न होते हैं। सुरक्षा के लिये उत्पन्न प्रतिबलों के मान निर्धारित सीमा के भीतर होना चाहिये जिससे रिवेट अपरूपण तथा धारण के कारण होने वाले प्लेट के विदरण (फटने) (Rupture) से विफल न हो।

**3.5-2. अनुज्ञेय प्रतिबल**—धारा 3.2 (iii) में वर्णित रिवेटों के वर्गीकरण के अनुसार मृदु इस्पात के शॉप रिवेटों में आगणित प्रतिबल (Calculated Stress) तथा हस्त चलित रिवेटों के लिये विभिन्न अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान तालिका 3.2 में दिये गये हैं—

**तालिका 3.2—रिवेटों में अनुज्ञेय अधिकतम प्रतिबल**
**(Permissible Maximum Stresess in Rivets) (MPa/Nmm$^2$ में)**

| विवरण | अक्षीय तनन (Axial tension) | अपरूपण (Shear) | धारण (Bearing) |
|---|---|---|---|
| (i) शक्ति चालित शॉप रिवेट (Power driven shop rivets) | 100 | 100 | 300 |
| (ii) हस्त चालित रिवेट (Hand driven rivets) | 80 | 80 | 250 |

**नोट**— शक्ति चालित स्थल रिवेटों के लिये अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान शक्ति चालित शॉप रिवेटों के लिये अनुज्ञेय प्रतिबलों के 90 प्रतिशत लिये जायेंगे।

## § 3.6. रिवेट जोड़ों की विफलता (Failure of Rivetted Joints) :

चित्र 3.8 (a) में एक रिवेट लैप जोड़ दिखाया गया है। जोड़ के विभिन्न परिमाप निम्नवत् लिये जायेंगे—

$d$ = रिवेट का सकल व्यास (Gross dia), mm में

$p$ = पिच (pitch), mm में

$t$ = मुख्य प्लेट की मोटाई, mm में

$t_1$ = बट जोड़ में प्रत्येक कवर प्लेट की मोटाई, mm में

$f_1$ = प्लेटों में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल, N/mm$^2$ में

$f_s$ = अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल, N/mm$^2$

$f_b$ = अनुज्ञेय धारण प्रतिबल, N/mm$^2$

उपरोक्त में रिवेट का सकल व्यास (Gross dia) निम्नवत् लिया जायेगा—

(a) 25 mm सामान्य व्यास तक के रिवेटों के लिये सकल व्यास = सामान्य व्यास = + 1·5 mm

(b) 25 mm से अधिक सामान्य व्यास के रिवेटों के लिये सकल व्यास = सामान्य व्यास + 2 mm

जोड़ की विफलता तीन प्रकार से हो सकती है—

(i) तनन विफलता (Tensile failure),

(ii) अपरूपण विफलता (Shear failure),

(iii) धारण विफलता (Bearing Failure).

प्रत्येक विफलता पर विचार निम्न है—

**3.6-1. तनन विफलता** (Tensile Failure)—चित्र 3.8 (a) मे दर्शित जोड़ को यदि हम क्रमागत रिवेटो के बीच पिच लम्बाईयो के समान अलग-अलग भागो मे विभाजित करे तो ऐसा एक भाग चित्र 3.8 (b) मे दर्शित किया गया है।

इस पिच लम्बाई पर तनन बल बढ़ने पर प्लेट मे उत्पन्न तनन प्रतिबल का मान बढ़ेगा। जब यह बल प्लेट की पूरी क्षमता तक बढ़ेगा तदोपरान्त प्लेट रिवेटो के बीच लम्बाई "*BC*" पर फटने से जोड़ मे अलग होगी तथा जोड़ प्लेट के फटने के फलस्वरूप विफल होगा जिसे "तनन विफलता (Shear failure) कहा जायेगा। यह स्थिति चित्र 3.8 (c) मे दर्शित है। इस स्थिति में प्लेट द्वारा वहन किया जाने वाला अधिकतम बल यदि ($P_t$) हो तब—

$P_t$ = (प्लेट का *BC* लम्बाई पर काट-क्षेत्रफल) × (अनुज्ञेय तनन प्रतिबल)

$= (p - d)\, t \cdot f_t$.

इसे जोड़ का तनन सामर्थ्य कहा जायेगा। यह रिवेट जोड़ द्वारा पिच लम्बाई के लिये वहन किया जाने वाला अधिकतम बल होगा। इस प्रकार तनन सामर्थ्य

$$= P_t = (p - d)\, t \cdot f_t \cdot (\text{N}) \qquad \text{...(3.1)}$$

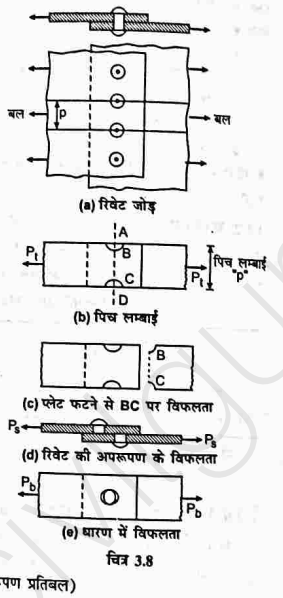
**3.6-2. कर्तन (अपरूपण) विफलता** (Shear Failure)—जैसा धारा 3.5-1 मे वर्णित किया गया है, जोड़ पर आ रहे बल की प्रवृति रिवेट को काटने की होगी। यदि जोड़ पर आ रहा बल रिवेट की अपरूपण क्षमता से अधिक होता है तो रिवेट कट जायेगा तथा प्लेट अलग हो जायेगी, फलस्वरूप जोड़ विफल होगा। इस विफलता को अपरूपण विफलता कहा जायेगा।

यह स्थिति चित्र 3.8 (d) मे दर्शित की गयी है।

इस प्रकार रिवेट द्वारा अपरूपण विफलता के पूर्व वहन किया जाने वाला अधिकतम बल यदि "$P_s$" हो तब—

$P_s$ = (रिवेट का क्षेत्रफल) × (अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल)

$$= \left(\frac{\pi}{4} d^2\right) \times f_s \cdot (\text{N}) = \frac{\pi}{4} d^2 f_s$$




चित्र 3.8

**(i) एक तल अपरूपण** (Single shear)—चित्र 3.8 (d) मे दर्शित अपरूपण विफलता में रिवेट को दोनों प्लेटों के बीच एक ही समतल पर अपरूपण (कर्तन) होगा अत: यहा उपरोक्त मान "$P_s$" को रिवेट जोड़ का एकतल अपरूपण में सामर्थ्य कहा जायेगा। इस प्रकार

$$P_s = \frac{\pi}{4} d^2 f_s \cdot (\text{N}) \qquad \text{...(3.2)}$$

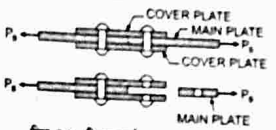
यहाँ $d$ = रिवेट का सकल व्यास (mm)

$f_s$ = अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल ($\text{N/mm}^2$ या MPa)



**(ii) द्वितल अपरूपण** (Double Shear)—सामान्यत: बट जोड़ में दो कवर प्लेटें लगायी जाती है, जैसा चित्र 3.9 मे दिखाया गया है।

ऐसी स्थिति मे विफलता के समय रिवेट का अपरूपण (Shear) मुख्य प्लेट (Main Plate) के ऊपरी एवं निचले समतलो पर होगा (चित्र 3.9 देखे)। इस प्रकार दो समतलो पर अपरूपण होने पर इसे रिवेट का **द्वितल अपरूपण** कहा जायेगा। इस स्थिति मे विफलता के पूर्व जोड़ द्वारा वहन किया जाने वाला अधिकतम बल "$P_s$" निम्नवत् ज्ञात होगा—




चित्र 3.9—द्वितल कर्तन (Double Shear)

$P_s$ = (अपरूपण क्षेत्रफल) × (अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल)

$$= \left(2 \times \frac{\pi}{4} d^2\right) \times f_s \cdot (\text{N}) \qquad \text{...(3.3)}$$

इसे जोड़ का द्वितल अपरूपण सामर्थ्य (Double Shear Strength) कहा जायेगा। स्पष्ट है कि चित्र 3.8 मे दर्शित जोड़ में पिच लम्बाई में एक ही रिवेट आता है, अस्तु एक ही रिवेट का अपरूपण होगा। अन्य रिवेट जोड़ो मे उक्त सामर्थ्य का मान रिवेटों की संख्या के अनुसार ज्ञात होगा।

**3.6-3. धारण विफलता** (Bearing Failure)—पुन: जैसा धारा 3.5-1 मे वर्णित किया गया है, जोड़ पर आने वाले बल के कारण रिवेट व प्लेट के बीच धारण प्रतिबल (Bearing Stress) उत्पन्न होगा। इस उत्पन्न धारण प्रतिबल का मान निर्धारित सीमा मे अधिक होने पर प्लेट या रिवेट का विदरण (Rupture) होगा, जिसके फलस्वरूप यदि प्लेट का विदरण होता है तो रिवेट छिद्र फैल जायेगा तथा जोड़ विफल होगा। अन्य संभावना में रिवेट के विदरण मे रिवेट व्यास रिवेट छिद्र की अपेक्षा कम होगा तथा जोड़ विफल होगा। यह स्थिति चित्र 3.8 (e) में दर्शित है। जोड़ की इस विफलता को धारण विफलता कहा जायेगा। इस प्रकार विफलता के पूर्व जोड़ द्वारा वहन किया जाने वाला अधिकतम बल यदि "$P_b$" हो तब—

$P_b$ = धारण क्षेत्रफल × अनुज्ञेय धारण प्रतिबल

धारण क्षेत्रफल रिवेट शैंक के प्रक्षेपित क्षेत्रफल (Projected Area) के समान लिया जायेगा जो (रिवेट का कुल व्यास × प्लेट की मोटाई) के समान होगा।

बट जोड़ में सामान्यत: दो कवर प्लेटें होती है। यदि—

$t$ = मुख्य प्लेट की मोटाई (mm)

तथा $t_1$ = एक कवर प्लेट की मोटाई (mm)

तब—

कवर प्लेटों की कुल मोटाई = $2\,t_1$ (mm)

मुख्य प्लेट की मोटाई = $t$(mm)

तथा "$P_b$" मान ज्ञात करने हेतु धारण क्षेत्रफल उपरोक्त "$2\,t_1$" अथवा "$t$" मे से **जो कम हो**, के आधार पर लिया जायेगा। अत: धारण क्षेत्रफल = $(d \times t)$ अथवा $(d \times 2t_1)$ जो कम हो।

$$P_b = (d \times t) f_b \quad \text{अथवा} \quad (d \times 2t_1) \times f_b (\text{N})$$

जो कम हो, इसे जोड़ की धारण सामर्थ्य (Bearing Strength) कहा जायेगा।

**3.6-4. जोड़ की सामर्थ्य**—उपरोक्त विवरण में जोड़ के विफलता की तीन संभावनाएँ वर्णित की गयी है। प्रत्येक विफलता के पूर्व जोड़ द्वारा वहन किये जाने वाले अधिकतम बल $P_t$, $P_s$ अथवा $P_b$ के मान उपरोक्त गणना से ज्ञात होगे। स्पष्ट है कि जोड़ पर आने वाले बल में क्रमश: वृद्धि होने पर बल का मान उपरोक्त ($P_t$, $P_s$ अथवा $P_b$) मे से जो कम होगा, के समान होने पर जोड़ उस स्थिति (तनन/अपरूपण अथवा धारण) मे विफल होगा तथा उस सामर्थ्य को जोड़ की **वास्तविक सामर्थ्य** (Actual Strength) कहा जायेगा।

इस प्रकार—

$$P_t = (p - d)\, t \cdot f_t$$

$$P_s = \left(\frac{\pi}{4} d^2 f_s\right)$$

अथवा $2 \times \frac{\pi}{4} d^2 f_s$ जैसी संभावना हो।

$P_b = (a \cdot t f_b)$ अथवा $d(2t_1) f_b$ जो कम हो।

तथा जोड़ की सामर्थ्य = $P_t$ अथवा $P_s$ अथवा $P_b$, जो कम हो।

**3.6-5. विश्लेषण के आधार**—विगत अनुच्छेदों से पाठकों को स्पष्ट होगा कि इन अनुच्छेदों में अंकित गणना में हमने पिच लम्बाई को विचार में लिया है तथा इस लम्बाई में आने वाले रिवेटों को विचार में लिया है। प्लेटों में घर्षण (Friction), जोड़ पर बंकन आघूर्ण जो उत्केन्द्रिता के फलस्वरूप आती है, विचार में नहीं लिया है। पुन: हमने उत्पन्न प्रतिबलों को तथा जोड़ पर आ रहे भार/प्रतिबल को समवितरित एक समान वितरित माना है। यह सभी रिवेट जोड़ों के विश्लेषण के आधार हैं। जो आगे अंकित हैं—

(i) प्लेटों में घर्षण नगण्य होता है।
(ii) प्लेटों में एक समान प्रतिबल वितरण होता है।
(iii) बंकन आघूर्ण विचार में नहीं ली जाती है।
(iv) विश्लेषण में गणना हेतु सकल व्यास (Gross Diameter) लिया जाता है।
(v) जोड़ पर आने वाला भार सभी रिवेटों पर समवितरित माना जाता है।
(vi) रिवेट की अनुप्रस्थ काट पर अपरूपण प्रतिबल एक समान (वितरित) माना जाता है।
(vii) धारण प्रतिबल (Bearing Stress) प्लेट व रिवेट के बीच एक समान (वितरित) माना जाता है।
(viii) विश्लेषण के लिये (सामान्यत:) पिच लम्बाई को विचार में लिया जाता है।

**उदाहरण 3.1: 10 mm मोटी दो प्लेटों को 18 mm व्यास के रिवेटों से एकल रिवेट लैप जोड़ द्वारा जोड़ा गया है। यदि पिच 55 mm हो तो जोड़ की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$, $f_s = 90$ तथा $f = 270$ N/mm² (अथवा MPa) लीजिये।**

**हल—**

रिवेट व्यास = 18 mm

सकल व्यास, $d = (18 + 1{\cdot}5)$ mm = 19·5 mm

पिच, $p$ = 55 mm

प्लेट मोटाई, $t$ = 10 mm

अत: जोड़ के पिच लम्बाई के लिये—

(i) तनन सामर्थ्य, $P_t = (p - d)\, t \times f_t$ ...(सूत्र)

$= (55 - 19{\cdot}5) \times 10 \times 150$ N

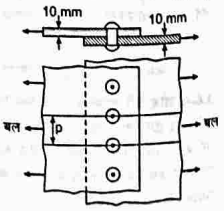
$= 53250$ N अथवा 53·25 kN

(ii) कर्तन (अपरूपण) सामर्थ्य जोड़ में रिवेटों की एक ही रेखा है। लैप जोड़ में पिच लम्बाई में एक रिवेट का एक तल अपरूपण (Single Shear) होगा। (चित्र 3.10 देखें) इस प्रकार

$$P_s = \frac{\pi}{4} d^2 f_s \quad \text{...(सूत्र)}$$

$= \frac{\pi}{4} \times (19{\cdot}5^2) \times 90$ N

$= 26880$ N अथवा 26·88 kN.




चित्र 3.10



(iii) धारण सामर्थ्य, $P_b = d\, t\, f_b$ (सूत्र)

$= 19{\cdot}5 \times 10 \times 270$ N

$= 52650$ N अथवा 52·65 N

इस प्रकार जोड़ के लिये $P_t = 53{\cdot}25$ kN, $P_s = 26{\cdot}88$ kN तथा $P_b = 52{\cdot}65$ kN होगा।

स्पष्ट है कि जोड़ पर भार आना शुरू होगा तथा भार बढ़ते-बढ़ते 26·88 kN होगा तथा अपरूपण-विफलता (Shear Failure) की स्थिति आयेगी।

अत: जोड़ तनन विफलता ($P_t = 53{\cdot}25$ kN) अथवा धारण विफलता ($P_b = 52{\cdot}65$ kN) के स्थिति में आने से पूर्व ही $P_s = 26{\cdot}88$ kN की स्थिति में **विफल** होगा।

अत; जोड़ का **वास्तविक सामर्थ्य = 26·88 kN** (पिच लम्बाई के लिये) **उत्तर**

**उदाहरण 3.2 : एक एकल रिवेट लैप जोड़ में 16 mm तथा 20 mm मोटाई की प्लेटें, 24 mm व्यास के रिवेटों द्वारा जोड़ी गयी हैं। यदि रिवेट पिच 75 mm हो तो इस जोड़ की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान निम्नवत् लीजिये—**

**$f_t = 150$, $f_s = 90$ तथा $f_b = 270$ N/mm² (अथवा सभी MPa में)**

**हल**—जोड़ो के लिये चित्र 3.3 देखें

रिवेट का सकल व्यास, $d = (24 + 1{\cdot}5)$ mm = 25·5 mm

दोनों प्लेटें अलग-अलग मोटाई की है अत: तनन सामर्थ्य के लिये गणना पतली प्लेट के आधार पर की जायेगी।

पतली प्लेट की मोटाई, $t$ = 16 mm

रिवेटों की पिच, $p$ = 75 mm

**(i) तनन सामर्थ्य** (Tensile Strength)—

$P_t = (p - d)\, t \cdot f_t$ ...(सूत्र)

$= (75 - 25{\cdot}5) \times 16 \times 150$ N

$= 118800$ N अथवा 118·8 kN

**(ii) अपरूपण सामर्थ्य** (Shear Strength)—लैप जोड़ में रिवेटों का एकतल अपरूपण होगा।

अत: $P_s = \frac{\pi}{4} d^2 f_s$ ...(सूत्र)

$= \frac{\pi}{4} \times 25{\cdot}5^2 \times 90$ N

$= 45960$ N अथवा 45·96 kN.

**(iii) धारण सामर्थ्य** (Bearing Strength)—धरण सामर्थ्य पतली प्लेट की मोटाई के लिये लिया जायेगा।

$P_b = d \cdot t f_b$

$= 25{\cdot}5 \times 16 \times 270$ N

$= 110160$ N अथवा **110·16 kN**

अत; जोड़ का वास्तविक सामर्थ्य, न्यूनतम सामर्थ्य ली जायेगी।

**= 45·96 kN** (जो न्यूनतम है) **उत्तर**

**3.6-6. जोड़ की दक्षता**—यदि ठोस प्लेट का प्रयोग किया जाये तो जोड़ की आवश्यकता नहीं होगी तथा ठोस प्लेट अपनी पूरी क्षमता से भार वहन करेगी।

जोड़ के विश्लेषण में पिच लम्बाई (Pitch Length) को विचार में लिया जाता है।

अत: पिच लम्बाई के लिये ठोस प्लेट की सामर्थ्य = $p_1 f_t$

जबकि जोड़ के लिये—

(i) तनन सामर्थ्य, $P_t = (p-d)\,t\,f_t$

(ii) अपरूपण सामर्थ्य, $P = \frac{\pi}{4}d^2 f_s$ अथवा $2\times\frac{\pi}{4}d^2 f_s$

(क्रमश: एकतल अथवा द्वितल अपरूपण के लिये)

(iii) धारण सामर्थ्य, $P_b = d\cdot t\,f_b$ अथवा $d(2t_1)\,f_b$ जो भी कम हो

यहाँ— $p$ = पिच, $d$ = रिवेट का कुल व्यास,

$t$ = मुख्य प्लेट की मोटाई,

$t_1$ = बट जोड़ मे कवर प्लेट की मोटाई,

$f_t, f_s$ व $f_b$ क्रमश: अनुज्ञेय तनन, अपरूपण व धारण प्रतिबल।

अत: जोड़ की दक्षता (Efficiency of Joint)—

$$= \frac{\text{जोड़ की वास्तविक सामर्थ्य}}{\text{ठोस प्लेट का सामर्थ्य}}\times 100\%$$

$$= \frac{P_t \text{ अथवा } P_s \text{ अथवा } P_b \text{ जो भी कम हो}}{P_1 f_t}\times 100\%$$

**उदाहरण 3.3 : एक टंकी में प्लेटों की मोटाई 8 mm है। इन्हें 16 mm व्यास की रिवेटों से एकल रिवेटदार लैप जोड़ द्वारा 55 mm पिच (pitch) पर जोड़ा गया है। वह तनन ज्ञात कीजिये जो यह प्लेटें प्रति सेमी० लम्बाई में ले सकती हैं। जोड़ की दक्षता भी ज्ञात कीजिये। $f_t = 150, f_s = 90$ तथा $f_b = 270$ N/mm² लीजिये।**

**हल**—इस जोड़ के लिये—

प्लेट की मोटाई, $t = 8$ mm

रिवेट का सकल व्यास, $d = (16+1{\cdot}5)$ mm

$= 17{\cdot}5$ mm.

रिवेट पिच $p = 55$ mm

अत: पिच की लम्बाई के लिये जोड़ की सामर्थ्य निम्नवत् होगी—

(i) तनन सामर्थ्य, $P_t = (p-d)\,t\cdot f_t$ ...(सूत्र)

$= (55-17{\cdot}5)\times 8\times 15$ N

$= 45000$ N अथवा 45 kN

(ii) अपरूपण सामर्थ्य, $P_s = \frac{\pi}{4}d^2 f_s$ (रिवेटों का एकतल अपरूपण होगा) ...(सूत्र)

$= \frac{\pi}{4}\times 17{\cdot}5^2\times 90$ N

$= 21640$ N अथवा 21·64 kN

(iii) धारण सामर्थ्य, $P_b = d\times t\times f_b$ ...(सूत्र)

$= 17{\cdot}5\times 8\times 270$ N

$= 37800$ N अथवा 37·8 kN



अत: वास्तविक सामर्थ्य = 21·64 kN (जो कम है)

$\therefore$ तनन प्रति सेमी० $= \frac{\text{वास्तविक सामर्थ्य}}{\text{पिच}}$

$= \frac{21{\cdot}64}{5{\cdot}5}$ kN/cm

$= 3{\cdot}93$ kN/cm.

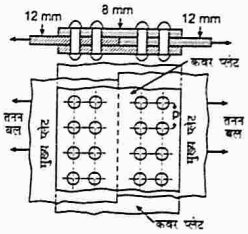
जोड़ की दक्षता $= \frac{\text{वास्तविक सामर्थ्य}}{\text{ठोस प्लेट की सामर्थ्य}}\times 100\%$

$= \frac{21640}{55\times 8\times 150}\times 100\%$

$= 32{\cdot}78\%$ उत्तर

**उदाहरण 3.4 : एक दोहरे रिवेट बट जोड़ में मुख्य प्लेटों की मोटाई 12 mm तथा कवर प्लेटों की मोटाई 8 mm है। यदि रिवेट व्यास 22 mm हो तथा पिच 70 mm हो तो जोड़ का सामर्थ्य एवं दक्षता ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$, $f_s = 100$ तथा $f_b = 300$ N/mm² लीजिये।**

**हल**—इस जोड़ के लिये चित्र 3.11 देखें।




चित्र 3.11

रिवेट का सकल व्यास, $d = (22+1{\cdot}5)$ mm $= 23{\cdot}5$ mm

रिवेट पिच, $p = 70$ mm

मुख्य प्लेट की मोटाई, $t = 12$ mm

कवर प्लेट की मोटाई, $t_1 = 8$ mm

अनुज्ञेय प्रतिबल, $f_t = 150, f_s = 100,$

$f_b = 300$ N/mm²

अत; पिच लम्बाई के लिये जोड़ की सामर्थ्य—

**(i) तनन सामर्थ्य** (Tensile Strength)—

$P_t = (p-d)\,t\,f_t$ ...(सूत्र)

$= (70-23{\cdot}5)\times 12\times 150$ N

$= 83700$ N अथवा **83·7 kN**

**(ii) अपरूपण सामर्थ्य** (Shear Strength)—इस जोड़े में दो कवर प्लेटें होने से रिवेटों का द्वितल अपरूपण (Double Shear) होगा तथा जोड़ दोहरा रिवेट होने से पिच लम्बाई में दो रिवेटों का द्वितल अपरूपण होगा।

अत: $P_s = 2\times 2\times\frac{\pi}{4}d^2 f_s$

$= 2\times 2\times\frac{\pi}{4}\times 23{\cdot}5^2\times 100$ N

$= 173520$ N अथवा **173·52 kN**

**(iii) धारण सामर्थ्य** (Bearing Strength)—

मुख्य प्लेट की मोटाई, $t = 12$ mm

कवर प्लेटों की कुल मोटाई, $2t_1 = 2\times 8 = 16$ mm

civilguru.net

अत: धारण 12 mm मोटाई पर होगा। पिच लम्बाई मे दो रिवेट होगे,

अत: $P_b = 2 \times d \cdot t \cdot f_b$ ...(सूत्र)

$= 2 \times 23{\cdot}5 \times 12 \times 300$ N

$= 169200$ N अथवा $169{\cdot}2$ kN

**(iv) ठोस प्लेट की सामर्थ्य** (Strength of Solid Plate)—

$= p \cdot t \cdot f_t = 70 \times 12 \times 150$ N

$= 126000$ N अथवा **126·0 kN**

इस प्रकार—जोड़ का वास्तविक सामर्थ्य = **83·7 kN** (जो न्यूनतम है)

$$\text{जोड़ की दक्षता} = \frac{\text{वास्तविक सामर्थ्य}}{\text{ठोस प्लेट की सामर्थ्य}} \times 100\%$$

$$= \frac{83{\cdot}7}{126} \times 100 = 66{\cdot}43\%$$ **उत्तर**

## § 3.7. रिवेट जोड़ों का अभिकल्पन (Design of Rivetted Joints) :

रिवेट जोड़ के अभिकल्पन मे जोड़ के सभी परिमाण निर्धारित किये जाते हैं। यह परिमाप भारतीय मानक IS-800-1984 के अनुसार सुनिश्चित किये जाते हैं। जोड़ मितव्ययी हो, इसके लिये आवश्यक है कि निर्धारित रिवेट पिच के साथ जोड़ की सामर्थ्य अधिकतम हो। परिमाप निर्धारित होने पर जोड़ की सामर्थ्य के लिये जाँच की जाती है। रिवेट जोड़ का अभिकल्पन निम्न चरणो मे किया जाता है—

(i) प्लेट की मोटाई के अनुसार रिवेट व्यास निश्चित करना।

(ii) अधिकतम सामर्थ्य के लिये रिवेट पिच (Rivet Pitch) अथवा जोड़ में रिवेटों की संख्या निश्चित करना।

(iii) विशिष्टियों के अनुसार जोड़ के परिमापों को निर्धारित करना।

(iv) अभिकल्पित जोड़ की सामर्थ्य के लिये जाँच करना।

**3.7-1. प्लेट की मोटाई एवं रिवेट व्यास**—प्लेट की मोटाई के अनुसार रिवेट का व्यास सामान्यत: **अनविन सूत्र** (Unwin's Formula) द्वारा ज्ञात किया जाता है, जो निम्नवत् है—

रिवेट व्यास, $(\phi) = 6{\cdot}05\sqrt{t}$ mm में ...(3.5)

यहाँ $t$ = प्लेट की मोटाई, mm में

यह रिवेट का सामान्य व्यास होगा। रिवेट का सकल व्यास (Gross Diameter) ज्ञात करने के लिये इसमें अनुच्छेद 3·6 के अनुसार 1·5 mm (25 mm व्यास तक) और 2 mm (25 mm से अधिक व्यास) जोड़ना होगा। यदि जोड़ में अलग-अलग मोटाई की प्लेटें हो तो उपरोक्त गणना पतली प्लेट की मोटाई के आधार पर की जाये। इस सूत्र के अनुसार विभिन्न मोटाईयों की प्लेटो के लिये रिवेट व्यास निम्नवत् होंगे—

**तालिका 3.3—प्लेट मोटाई तथा रिवेट व्यास**

| प्लेट मोटाई (mm) | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| रिवेट व्यास (mm) | 14·8 or 16 | 17·11 or 18 | 19·13 or 20 | 20·95 or 22 | 22·63 or 24 | 24·2 or 24 | 25·66 or 27 | 27·05 or 27 |

उपरोक्त के अलावा फ्रेंच व जर्मन सूत्र से भी रिवेट व्यास निर्धारित किये जा सकते हैं यद्यपि अनविन सूत्र का ही सामान्यत: प्रयोग किया जाता है।



**3.7-2. कवर प्लेट की मोटाई**—सामान्यत: कवर प्लेट की मोटाई "$t_1$" मुख्य प्लेट की मोटाई "$t$" के 5/8 गुना रखी जाती है।

अथवा $$t_1 = \frac{5}{8}t$$ ...(3.6)

**3.7-3. अधिकतम सामर्थ्य के लिये पिच अथवा जोड़ में रिवेटों की संख्या**—अनुच्छेद 3.6 के अनुसार जोड़ की पिच लम्बाई के लिये निम्न में न्यूनतम सामर्थ्य पर विचार किया जाता है—

**(i) तनन सामर्थ्य** (Tensile Strength)—

$$P_t = (p - d) \cdot t \cdot f_t$$

**(ii) अपरूपण सामर्थ्य** (Shear Strength)—

$$P_s = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot f_s \text{ (Single Shear)}$$

अथवा $$P_s = 2 \times \frac{\pi}{4} d^2 f_s \text{ (Double Shear)}$$

**(iii) धारण सामर्थ्य** (Bearing Strength)—

$$P_b = d \cdot t \cdot f_b \quad \text{अथवा} \quad d(2t_1) f_b$$

स्पष्ट है कि तीनों सामर्थ्य समान नहीं हो सकती है। यद्यपि पिच ऐसा निर्धारित किया जा सकता है जिससे उपरोक्त मे से दो सामर्थ्य समान हो सके। विगत अनुच्छेद 3.6.4 में स्पष्ट किया गया है कि जोड़ की वास्तविक सामर्थ्य $P_t$, $P_s$ तथा $P_b$ मे से न्यूनतम होगी।

अत: "$P_s$" तथा "$P_b$" में से जो न्यूनतम हो उसे "$P_t$" के समान रखने पर अधिकतम सामर्थ्य के लिये पिच ज्ञात होगा।

**3.7-4. रिवेट का सकल व्यास** (Gross Diameter)—जैसा अनुच्छेद 3.6 में वर्णित है, रिवेट का कुल व्यास "$d$" से दर्शित किया जाता है तथा विशिष्टयों के अनुसार 25 mm तक सामान्य व्यास के रिवेटो के लिये, $d$ = सामान्य व्यास + 1·5 mm

25 mm से अधिक व्यास के रिवेटों के लिये, $d$ = सामान्य व्यास + 2 mm

**3.7-5. रिवेटों के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल**—विशिष्टयो के अनुसार अनुज्ञेय प्रतिबल तालिका 3.1 के अनुसार लिये जायेगे। तालिका के अनुसार शक्ति चालित शॉप रिवेटो के लिये अक्षीय तनन, अपरूपण तथा धारण प्रतिबलो के अनुज्ञेय मान क्रमश: 100, 100 व 300 N/mm$^2$ निर्धारित हैं तथा शक्ति चालित स्थल रिवेटो के लिये अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान 10% घटाये जायेगे। इस प्रकार स्थल रिवेटों के लिये यह मान क्रमश: 90, 90 तथा 270 N/mm$^2$ होगे।

**3.7-6. जोड़ में रिवेटों की संख्या**—अधिकतम सामर्थ्य के लिये पिच निर्धारित किये जाने पर तद्नुसार रिवेट लगाये जाते है। यद्यपि जब विशिष्ट भार के लिये रिवेटों की संख्या निर्धारित करनी हो, तब इसे निम्नवत् ज्ञात किया जाता है—

$$n = \frac{F}{R}$$ ...(3.7)

जहाँ $n$ = आवश्यक रिवेटों की संख्या,

$F$ = जोड़ पर आने वाला भार (kN),

$R$ = रिवेट मान अथवा रिवेट सामर्थ्य (kN)।

**3.7-7. रिवेट मान अथवा रिवेट सामर्थ्य** (Rivet Value)—रिवेट मान एक रिवेट की सामर्थ्य होती है। यह एक रिवेट द्वारा वहन किया जाने वाला अधिकतम भार है। इससे अधिक भार आने पर रिवेट विफल हो जायेगा।

रिवेट अपरूपण (Shear) अथवा धारण (Bearing) द्वारा विफल हो सकता है। अत: रिवेट मान ज्ञात करने हेतु हमे रिवेट की अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength) तथा धारण सामर्थ्य (Bearing Strength) ज्ञात करनी होगी। इनमे से जो न्यूनतम हो वह रिवेट मान होगा।

**(i) अपरूपण सामर्थ्य** (Shear Strength)—लैप जोड़, मे रिवेट का एकतल अपरूपण (Single Shear) तथा दो आवरण/कवर प्लेटो के साथ बने बट जोड़ मे रिवेट का द्वितल अपरूपण (Double Shear) होगा। इस प्रकार एक रिवेट के लिये—

एक तल की सामर्थ्य (Singe Shear Strength)

$$= \frac{\pi}{4} d^2 \cdot f_s \qquad \text{...(सूत्र)}$$

द्वितल अपरूपण मे सामर्थ्य (Double Shear Strength)

$$= 2 \times \frac{\pi}{4} d^2 f_s \qquad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ $d$ = रिवेट का सकल व्यास (mm)

$f_s$ = अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल (N/mm$^2$)

**(ii) धारण सामर्थ्य** (Bearing Strength)—अनुच्छेद 3.6-3 के अनुसार, एक रिवेट का धारण सामर्थ्य

$$= (d \times t \times f_b) \quad \text{अथवा} \quad (d \times 2t_1 \times f_b),$$

जो भी कम हो।

यहाँ $d$ = रिवेट का सकल व्यास (mm),

$t$ = प्लेट की मोटाई (mm),

$t_1$ = बट जोड़ में प्रत्येक कवर प्लेट की मोटाई (mm),

$f_b$ = अनुज्ञेय धारण प्रतिबल।

रिवेट मान अपरूपण सामर्थ्य तथा धारण सामर्थ्य में से **न्यूनतम** सामर्थ्य होगी।

विभिन्न रिवेटो के लिये अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength) तथा धारण सामर्थ्य (Bearing Strength) के मान क्रमशः तालिकाओं 3.4 व 3.5 में दिये गये हैं।

**तालिका 3.4—रिवेटों की अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength of Rivets)**

| सामान्य व्यास (Nominal dia) (mm) | सकल व्यास (Gross dia) (mm) | अवरूपण सामर्थ्य (Shear Srength) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | स्थल रिवेट (Field Rivets) $f_s$ = 90 N/mm$^2$ | | शाप रिवेट (Shop Rivets) $f_s$ = 100 N/mm$^2$ | |
| | | एकतल अपरूपण (Single Shear) (kN) | द्वितल अपरूपण (Double Shear) (kN) | एकतल अवरूपण (Single Shear) (kN) | द्वितल अपरूपण (Double Shear) (kN) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 12 | 13·5 | 12·88 | 25·76 | 14·32 | 28·64 |
| 14 | 15·5 | 16·98 | 33·96 | 18·88 | 37·76 |
| 16 | 17·5 | 21·64 | 43·38 | 24·05 | 48·10 |
| 18 | 19·5 | 26·88 | 53·76 | 29·86 | 59·72 |
| 20 | 21·5 | 32·67 | 65·34 | 36·30 | 72·60 |
| 22 | 23·5 | 39·04 | 78·08 | 43·38 | 86·76 |
| 24 | 25·5 | 45·96 | 91·92 | 51·07 | 102·14 |
| 27 | 29·0 | 59·44 | 118·88 | 66·05 | 132·10 |
| 30 | 32·0 | 72·38 | 144·76 | 80·42 | 160·84 |
| 33 | 35·0 | 86·58 | 173·16 | | |



**तालिका 3.5—रिवेटों की धारण सामर्थ्य (Bearing Strength of Rivets) (सभी मान kN में)**

| रिवेट का सामान्य व्यास (mm) (Net) | रिवेट का सकल व्यास (mm) (Gross) | $f_b$ = 270 Mpa | | | | $f_b$ = 300 Mpa | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | प्लेट मोटाई, mm में | | | | प्लेट मोटाई, mm में | | | |
| | | 6 mm | 8 mm | 10 mm | 12 mm | 6 mm | 8 mm | 10 mm | 12 mm |
| 12 | 13·5 | 21·87 | 29·16 | 36·45 | 43·74 | 24·30 | 32·40 | 40·50 | 48·60 |
| 14 | 15·5 | 25·11 | 33·48 | 41·85 | 50·22 | 27·90 | 37·20 | 46·50 | 55·80 |
| 16 | 17·5 | 28·35 | 37·80 | 47·25 | 56·70 | 31·50 | 42·00 | 52·50 | 63·00 |
| 18 | 19·5 | 31·59 | 42·12 | 52·65 | 63·18 | 35·10 | 46·80 | 58·50 | 70·20 |
| 20 | 21·5 | 34·83 | 46·44 | 58·05 | 69·66 | 38·70 | 51·60 | 64·50 | 77·40 |
| 22 | 23·5 | 38·07 | 50·76 | 63·45 | 76·14 | 42·30 | 56·40 | 70·50 | 84·60 |
| 24 | 25·5 | 41·31 | 55·08 | 68·85 | 82·62 | 45·90 | 61·20 | 76·50 | 91·80 |
| 27 | 29·0 | 46·98 | 62·64 | 78·30 | 93·96 | 52·20 | 69·60 | 87·00 | 104·40 |
| 30 | 32·0 | 51·84 | 69·12 | 86·40 | 103·68 | 57·60 | 76·80 | 96·00 | 115·20 |
| 33 | 35·0 | 56·70 | 75·60 | 94·50 | 113·40 | 63·00 | 84·00 | 105·00 | 126·00 |

## § 3.8. विशिष्टयों के अनुसार जोड़ के परिमापों का निर्धारण (Fixing Dimensions of Joint) :

यह भारतीय मानक IS : 800–1984 के अनुसार निर्धारित किये जाते है, जो यहाँ दिये जा रहे हैं—

**(1) रिवेट का सकल व्यास** (Gross Diameter)—इसे अनुच्छेद 3.7-4 के अनुसार लिया जायेगा।

**(2) रिवेट पिच** (Rivet Pitch)—पिच का निर्धारण निम्नवत् किया जायेगा—

**(a) न्यूनतम पिच** (Minimum Pitch)—रिवेट रेखा पर स्थित दो निकटतम/क्रमागत रिवेटों के बीच केन्द्र से दूरी रिवेट के सामान्य व्यास के 2·5 गुना से कम नहीं होना चाहिये।

**(b) अधिकतम पिच** (Maximum Pitch)—

(i) रिवेट पिच (टैकिंग रिवेटो सहित) सभी रिवेटों के लिये **32 $t$** अथवा **300 mm** जो भी कम हो, से अधिक नहीं होना चाहिये। यहाँ $t$ = पतली बाह्य प्लेट की मोटाई

(ii) प्रतिबल की दिशा में स्थित रेखा पर दो निकटतम (Adjacent) रिवेट केन्द्रों के बीच दूरी निम्न से अधिक नहीं होनी चाहिये—

(क) तनन उपांगों के लिये 16 $t$ अथवा 200 mm, जो भी कम है।

(ख) संपीडन उपांगों के लिये 12 $t$ अथवा 200 mm, जो भी कम हो।

(ग) ऐसे संपीडन उपांग जिसमें बल सटे हुये समतलों (Butting Faces) के द्वारा स्थानांतरित होते हों, यह दूरी सटे हुये समतलों से उपांग के चौड़ाई के 1·5 गुना दूरी के लिये रिवेट व्यास के 4·5 गुना से अधिक नहीं होनी चाहिये।

(iii) बाह्य प्लेट के किनारे के समान्तर रिवेट रेखा पर स्थित किन्हीं दो क्रमागत रिवेटो के बीच दूरी (100 mm + 4 $t$) अथवा 200 mm, जो भी कम हो, से अधिक नहीं होनी चाहिये।

(iv) जब रिवेटो को समान अन्तर पर विषम व्यवस्था में लगाया हो (Staggered Rivets) तथा गेज दूरी 75 mm से अधिक न हो तब उपरोक्त (ii) व (iii) में अंकित रिवेट केन्द्रो के बीच की दूरियाँ 50% बढ़ायी जा सकती हैं।

**(c) किनारा दूरी**—भारतीय मानक IS : 800–1984 के अनुसार किनारा दूरियाँ निम्नवत् ली जा सकती हैं—

(i) किसी भी रिवेट छिद्र के केन्द्र की प्लेट के किनारे तक न्यूनतम दूरी तालिका 3.6 मे दी गयी दूरी से कम नहीं होनी चाहिये।

तालिका 3.6—छिद्रों की किनारा दूरियाँ (Edge Distance of Holes)

| सामान्य व्यास (Nominal dia:) (mm) | छिद्र का व्यास (Dia: of Hole) (mm) | कटे हुये अथवा हैण्डफ्लेम द्वारा कटे किनारे से दूरी (mm) | बेल्लित मशीन फ्लेम द्वारा कटी, चिरी हुयी अथवा रंदे-किनारे से दूरी (mm) |
|---|---|---|---|
| 12 व कम | 13·5 व कम | 19 | 17 |
| 14 | 15·5 | 25 | 22 |
| 16 | 17·5 | 29 | 25 |
| 18 | 19·5 | 32 | 29 |
| 20 | 21·5 | 32 | 29 |
| 22 | 23·5 | 38 | 32 |
| 24 | 25·5 | 44 | 48 |
| 27 | 29·0 | 51 | 44 |
| 30 | 32·0 | 57 | 51 |
| 33 | 35·0 | 57 | 51 |

(ii) जहाँ दो या अधिक घटक एक साथ जोड़े जाते हैं, रिवेट रेखा या बोल्ट रेखा की निकटतम किनारे से दूरी (37 mm + 4$t$) से अधिक नहीं रखी जानी चाहिये।

यहाँ $t$ = पतली बाह्य प्लेट की मोटाई (mm) में

जहाँ कार्य मौसम मे खुला नहीं छोड़ा जाता हो, इसे 12 $t$ तक बढ़ाया जा सकता है।

इस प्रकार अनुच्छेद 3.8 मे अंकित विशिष्टियों के अनुसार जोड़ के परिमाप इस प्रकार निर्धारित किये जाये कि—

(i) रिवेट पिच अनुच्छेद 3.8 (a) तथा 3.8 (b) द्वारा ज्ञात न्यूनतम व अधिकतम पिच के लिये निर्धारित सीमाओं के अन्दर होना चाहिये। यदि यह न्यूनतम पिच से कम हो तो न्यूनतम पिच (2·5 × रिवेट व्यास) रखा जाता है।

(ii) किनारा दूरी तालिका 3.5 की सहायता से निश्चित की जाती है।

## § 3.9. जोड़ की सामर्थ्य के लिये जाँच (Check for Strength of Joint) :

उपरोक्त अनुच्छेद 3.8 के अनुसार जोड़ के परिमाण निर्धारित करने के उपरान्त जोड़ की वास्तविक सामर्थ्य ज्ञात की जाती है। वास्तविक सामर्थ्य जोड़ पर आने वाले भार से अधिक होनी चाहिये।

**उदाहरण 3.5: 10 mm मोटी दो प्लेटों को एकल रिवेट लैप जोड़ द्वारा जोड़ने हेतु रिवेट जोड़ का अभिकल्पन करें। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$, $f_s = 90$ तथा $f_b = 270$ N/mm$^2$ लीजिये।**

**हल—** प्लेट की मोटाई, $t = 10$ mm

अनविन सूत्र से, रिवेट व्यास $= 6{\cdot}05\sqrt{t}$ ...(सूत्र)

$= 6{\cdot}05\sqrt{10}$ mm $= 19{\cdot}13$ mm

अत: 20 mm व्यास के रिवेटो का प्रयोग करने पर—

सकल व्यास $= (20 + 15)$ mm $= 21{\cdot}5$ mm

इस रिवेट के साथ पिच लम्बाई के लिये—

**(i) अपरूपण सामर्थ्य,** $P_s = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot f_s$ (लैप जोड़ में एकल कर्तन के लिये)

$= \frac{\pi}{4} \times 21{\cdot}5^2 \times 90$ N

$= 32670$ N अथवा $32{\cdot}67$ kN.

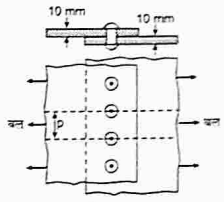


**(ii) धारण सामर्थ्य,** $P_b = dtf_b$

$= 21{\cdot}5 \times 10 \times 270$ N

$= 58050$ N अथवा $58{\cdot}05$ kN.

उपरोक्त में अपरूपण सामर्थ्य "$P_s$" न्यूनतम है, अत: इसे तनन सामर्थ्य के बराबर रखने पर



चित्र 3.12

$P_t = P_s$

अथवा $(p - d)\, t f_t = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot f_s$

अथवा $(p - 21{\cdot}5) \times 10 \times 150 = 3670$ N

अत: $p = \frac{32670}{1500} \times 21{\cdot}5$ mm

$= 21{\cdot}78 \times 21{\cdot}50$ mm

$= 43{\cdot}28$ अथवा $43{\cdot}3$ mm

न्यूनतम पिच $= 2{\cdot}5 \times$ रिवेट व्यास

$= 2{\cdot}5 \times 20$ (mm) अथवा 50 mm.

अत: जोड़ में 20 mm व्यास के रिवेट 50 mm पिच रखते हुये लगाये जायें। उत्तर

**उदाहरण 3.6 : 16 mm मोटी इस्पातीय प्लेटों के दो कवर प्लेटों के साथ एकल रिवेटदार बट जोड़ द्वारा जोड़ने के लिये, जोड़ का अभिकल्पन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$, $f_s = 100$ तथा $f_b = 300$ N/mm$^2$ मान लीजिये। (1 N/mm$^2$ = 1 MPa)।**

**हल—** मुख्य प्लेट की मोटाई, $t = 16$ mm

अत:; कवर प्लेटों की मोटाई, $t = \frac{5}{8}t = \frac{5}{8} \times 16 = 10$ mm रखी जाये।

तथा रिवेट व्यास $= 6{\cdot}05\sqrt{t}$ ...(सूत्र)

$= 6{\cdot}05\sqrt{16} = 24{\cdot}2$ mm

अत: 24 mm रिवेटों का प्रयोग किया जाये।

रिवेट का सकल व्यास, $d = (24 + 1{\cdot}5)$ अथवा $25{\cdot}5$ mm

इस प्रकार $t = 16$ mm, $t_1 = 10$ mm, $d = 25{\cdot}5$ mm तथा अनुज्ञेय प्रतिबल $f = 150$, $f_s = 100$ तथा $f_b = 300$ N/mm$^2$ लेते हुये जोड़ के पिच लम्बाई के लिये—

**(i) अपरूपण सामर्थ्य**—इस जोड़ में रिवेटों का द्वितल अपरूपण होगा। अत:

$P_s = 2 \times \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \times f_s$ ...(सूत्र)

$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 22{\cdot}5^2 \times 100$ N

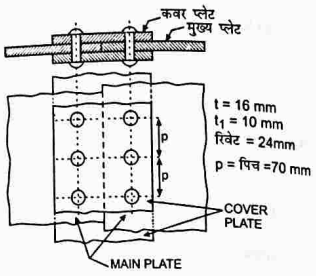
$= 102140$ N.

**(ii) धारण सामर्थ्य**—इस जोड़ के लिये, $t = 16$ mm तथा $2t_1 = 2 \times 10 = 20$ mm तथा $t < 2t$

अत: धारण सामर्थ्य 16 mm मोटाई के लिये ज्ञात की जायेगी। इस प्रकार

$$P_b = d \cdot t \cdot f_b$$
$$= 25{\cdot}5 \times 16 \times 300 \text{ N}$$
$$= 122400 \text{ N.}$$

$P_s = 102140$ N तथा $P_b = 122400$ N में $P_s$ न्यूनतम है। इसे तनन सामर्थ्य $P_t$ के समान रखने पर अधिकतम सामर्थ्य के लिये पिच ज्ञात होगा।



चित्र 3.13

अत: $P_t = P_s$

$P_t = (p - d) \cdot t \cdot f_t$

अथवा $(p - 25{\cdot}5) \times 16 \times 150 = 102140$

अथवा $(p - 25{\cdot}5) = \dfrac{102140}{16 \times 150} = 42{\cdot}558$ अथवा 42·6 mm

तथा पिच, $p = 42{\cdot}6 + 25{\cdot}5 = 68{\cdot}1$ mm

न्यूनतम पिच = 2·5 × रिवेट व्यास

= 2·5 × 24 (mm) अथवा 60 mm

रिवेट पिच 60 mm से कम नहीं होना चाहिये। अत: सुविधा के लिये 70 mm पिच रखा जा सकता है।

इस प्रकार जोड़ 10 mm कवर प्लेटों के साथ 24 mm व्यास के रिवेटों को 70 mm पिच रखते हुये लगाया जायेगा। **उत्तर**

**उदाहरण 3.7 : निम्नांकित रिवेटों के लिये रिवेट मान (Rivet Value) ज्ञात कीजिये—**

**(i) 18 mm व्यास एकतल अपरूपण में तथा 8 mm मोटी प्लेट के साथ धारण में।**

**(ii) 22 mm व्यास द्वितल अपरूपण, मुख्य प्लेट 14 mm, प्रत्येक कवर प्लेट 8 mm।**

**अनुज्ञेय प्रतिबल $f_s = 100$ N/mm² तथा $f_b = 300$ N/mm² लीजिये।**

**हल—(i) 18 mm व्यास रिवेट के लिये—**

सकल व्यास, $d = (18 + 1{\cdot}5)$ mm = 19·5 mm

प्लेट मोटाई, $t = 8$ mm

$f_s = 100$ N/mm² तथा $f_b = 300$ N/mm²

अत: कर्तन सामर्थ्य $= \dfrac{\pi}{4} d^2 f_s$ (Single shear)

$= \dfrac{\pi}{4} \times 19{\cdot}5^2 \times 100$ N

$= 29860$ N अथवा 29·86 kN

तथा धारण सामर्थ्य $= d \cdot t \cdot f_b$

$= 19{\cdot}5 \times 8 \times 300$ N

$= 46800$ N अथवा 46·8 kN

∴ रिवेट मान = **29·86 kN** (जो न्यूनतम है) **उत्तर**



**(ii) 22 mm व्यास के रिवेट के लिये—**

सकल व्यास, $d = (22 + 1{\cdot}5)$ mm + 23·5 mm

मुख्य प्लेट मोटाई, $t = 14$ mm, प्रत्येक कवर प्लेट की मोटाई, $t_1 = 8$ mm

$f_s = 100$ N/mm² तथा $f_b = 300$ N/mm²

कर्तन सामर्थ्य $= 2 \times \dfrac{\pi}{4} \times d^2 \times f_s$ (double shear)

$= 2 \times \dfrac{\pi}{4} \times 23{\cdot}5^2 \times 100$ N

$= 86760$ N अथवा 86·76 kN

तथा धारण समर्थ्य— $t = 14$ mm, $2t_1 = 16$ mm

इस प्रकार— $t < 2t_1$

अत: धारण सामर्थ्य मुख्य प्लेट के लिये ज्ञात की जायेगी।

अत: धारण सामर्थ्य $= d \cdot t \cdot f_b$

$= 23{\cdot}5 \times 14 \times 300$ N

$= 98700$ N अथवा **98·7 kN**

∴ रिवेट मान = **86·76 kN** (जो न्यूनतम है) **उत्तर**

**उदाहरण 3.8 : 12 mm मोटी दो इस्पातीय प्लेटों को 6 mm मोटी दो कवर प्लेटों के साथ 20 mm व्यास के रिवेटों द्वारा दोहरे रिवेट बट जोड़ में जोड़ना है। यदि अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$, $f_s = 100$ तथा $f_b = 300$ N/mm² हो तो जोड़ के लिये रिवेट पिच निर्धारित कीजिये।**

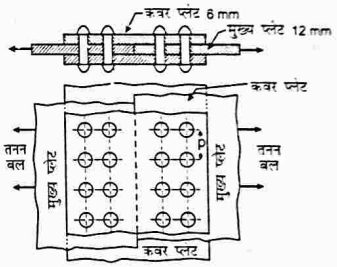
**हल—** रिवेट व्यास = 20 mm

अत: सकल व्यास, $d = (20 + 1{\cdot}5) = 21{\cdot}5$ mm

मुख्य प्लेट की मोटाई, $t = 12$ mm

कवर प्लेट की मोटाई, $t_1 = 6$ mm

पिच लम्बाई के लिये—



चित्र 3.14

**(i) अपरूपण सामर्थ्य**—यहाँ दो रिवेटों का **द्वितल** अपरूपण होगा।

∴ $P_s = 2 \times 2 \times \dfrac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot f_s$

$= 2 \times 2 \times \dfrac{\pi}{4} = 21{\cdot}5^2 \times 100$ N

$= 145200$ N अथवा 145·2 kN

**(ii) धारण सामर्थ्य—**

$P_b = 2 \times d \cdot t \cdot f_b$ (2 रिवेटों के धारण के लिये)

$= 2 \times 21{\cdot}5 \times 12 \times 300$ (यहाँ $t = 2t_1$)

$= 154800$ N अथवा 154·8 kN

उपरोक्त में अपरूपण सामर्थ्य न्यूनतम है। अत: इसमें तनन सामर्थ्य $P_t$ के समान रखते हुये—

$P_t = (p - d)\, t\, f_t = (p - 21{\cdot}5) \times 12 \times 150 = 145200$

civilguruji.net

$$p = 80{\cdot}66 + 21{\cdot}5 = 102{\cdot}16 \text{ mm}$$

∴ न्यूनतम पिच = $2{\cdot}5 \times 20 = 50$ mm.

अत: पिच 102·16 अथवा 105 mm रखा जा सकता है। उत्तर

**उदाहरण 3.9 : एक 75 × 50 × 8 (mm) कोणी खण्ड (Angle) 10 mm मोटी गसेट प्लैट के साथ तान अंग (Tension member or Tie) के रूप में जोड़ा गया है। यदि तनन बल 85 kN हो तथा अनुज्ञेय प्रतिबल $f_s = 100$ N/mm² तथा $f_b = 300$ N/mm² हो तो 18 mm व्यास के रिवेटों की संख्या ज्ञात कीजिये।**

**हल—** रिवेट का व्यास = 18 mm

∴ सकल व्यास = (18 + 1·5) mm = 19·5 mm

रिवेट मान (Rivet Value)—

**(i) अपरूपण सामर्थ्य**—रिवेट का एकल तल अपरूपण होगा।

अत: $$\text{सामर्थ्य} = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times f_s$$

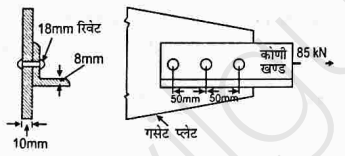
$$= \frac{\pi}{4} \times 19{\cdot}5^2 \times 100 \text{ N}$$

$$= 29860 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 29{\cdot}86 \text{ kN}$$

**(ii) धारण सामर्थ्य—**

कोणी खण्ड की मोटाई = 8 mm

गसेट प्लेट की मोटाई = 10 mm




चित्र 3.15

अत: धारण सामर्थ्य 8mm मोटाई के लिये (जो कम है) ज्ञात की जायेगी। (चित्र 3.15 देखें)

अत: धारण सामर्थ्य = $d \times t \times f_b$

$= 19{\cdot}5 \times 8 \times 300$ N

$= 46800$ N अथवा 46·80 kN

अत: रिवेट मान (Rivet value), $R = 29{\cdot}86$ kN

तथा $F$ = जोड़ पर बल = 85 kN

अत: आवश्यक रिवेटों की सख्या, $n = \frac{F}{R} = \frac{85}{29{\cdot}86} = 2{\cdot}84$ अथवा तीन

अत: **तीन** रिवेट आवयक होंगे। रिवेट व्यवस्था चित्र 3.15 में दर्शित है।

**उदाहरण 3.10 : 16 mm मोटी दो इस्पातीय प्लेटों को 22 mm व्यास के रिवेटों द्वारा तिहरें रिवेट लैप जोड़ में जोड़ना है। रिवेट जोड़ की दक्षता 75 % रखते हुये रिवेट पिच ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$, $f_s = 100$ तथा $f_b = 300$ N/mm² मान लें।**

**हल—** रिवेट व्यास = 22 mm

सकल व्यास, $d = (22 + 1{\cdot}5)$ mm

$= 23{\cdot}5$ mm

पिच लम्बाई के लिये जोड़ की समर्थ्य—

**(i) अपरूपण सामर्थ्य** (Shear Strength)—इस जोड़ में पिच लम्बाई (Pitch Length) में तीन रिवेटों का एकल तल अपरूपण (Single Shear) होगा।



अत: $$\text{सामर्थ्य} = 3 \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times f_s$$

$$= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 23{\cdot}5^2 \times 100 \text{ N}$$

$= 3 \times 43380$ N

$= 130140$ N

$= 130{\cdot}14$ kN

**(ii) धारण सामर्थ्य**—तीन रिवेटों की 16 mm मोटी प्लेट के लिये धारण सामर्थ्य—

$= 3 \times d \times t \times f_b$

$= 3 \times 23{\cdot}5 \times 16 \times 300$ N

$= 3 \times 112800$ N

$= 338400$ N अथवा 338·40 kN

अत: जोड़ की सामर्थ्य 130140 N (जो कम है) रखते हुये पिच ज्ञात किया जायेगा।

ठोस प्लेट सामर्थ्य = $p \cdot t \cdot f_{bt}$

$= p \times 16 \times 150$ N

यहाँ $p$ = पिच (mm) में

जोड़ की दक्षता = 75%

$$\text{दक्षता} = \frac{\text{जोड़ की सामर्थ्य}}{\text{ठोस प्लेट की सामर्थ्य}} \times 100$$

∴ $$75 = \frac{130140}{p \times 16 \times 150}$$

अथवा $$p = \frac{130140}{75 \times 16 \times 150} \times 100 \text{ mm}$$

$= 72{\cdot}3$ अथवा **73 mm** उत्तर

**उदाहरण 3.11 : 200 mm × 8 mm माप की दो प्लेटों के लिये जिन पर तनन बल आ रहा हो, दो कवर प्लेटों के साथ बट जोड़ का अभिकल्पन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$ N/mm², $f_s = 90$ N/mm² तथा $f_b = 270$ N/mm² मान कीजिये।**

**हल—** प्लेट की मोटाई, $t = 8$ mm

कवर प्लेट की मोटाई, $t_1 = \frac{5}{8} \times t = 5$ mm

अत: 6 mm मोटाई (न्यूनतम) रखी जाये।

$t_1 = 6$ mm

अनविन सूत्र से (By Unwin's Formula)—

रिवेट व्यास = $6{\cdot}05\sqrt{t}$ mm = $6{\cdot}05\sqrt{8}$

$= 17{\cdot}11$ mm अथवा 18 mm.

तथा सकल व्यास, $d = (18 + 1{\cdot}5)$ mm

$= 19{\cdot}5$ mm

civilguru.net

**रिवेट मान** (Rivet Value)—

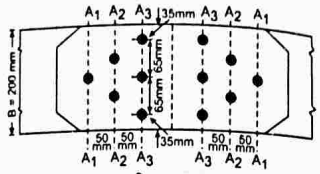
**(i) अपरूपण सामर्थ्य**—यहाँ रिवेट का द्वितल अपरूपण होगा अत:

$$\text{सामर्थ्य} = 2 \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times f_s$$

$$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 19{\cdot}5^2 \times 90 \text{ N}$$

$$= 2 \times 26880 \text{ N}$$

$$= 53760 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 53{\cdot}76 \text{ kN}$$



चित्र 3.16

**(ii) धारण सार्थ्य** (Bearing Strength)—मुख्य प्लेट की मोटाई $t$ (8 mm) कवर प्लेटों की कुल मोटाई $2t_1$ (12 mm) से कम है। अत: मुख्य प्लेट पर धारण के लिये—

$$\text{सामर्थ्य} = d \times t \times f_b$$

$$= 19{\cdot}5 \times 8 \times 270 \text{ N}$$

$$= 42120 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 42{\cdot}12 \text{ kN}$$

अत: रिवेट मान = 42120 N (42·12 kN) जो कम है। इस जोड़ के विषम रिवेट पद्धति (Diamond Rivetting) अपनाते हुये।

प्लेट की चौड़ाई, $B = 200$ mm.

अत: क्रांतिक खण्ड (Critical Section) $A_1A_1$ पर सामर्थ्य (चित्र 3.14)।

$$= (B - d)\, t \times f_t$$

$$= (200 - 19{\cdot}5) \times 8 \times 150 \text{ N} = 180{\cdot}5 \times 8 \times 150 \text{ N}$$

$$= 216600 \text{ N अथवा } 216{\cdot}6 \text{ kN}$$

अत: आवश्यक रिवेटों की संख्या $= \dfrac{\text{सामर्थ्य}}{\text{रिवेट मान}} = \dfrac{216600}{42120} = 5{\cdot}14$ अथवा 6

तालिका 3.5 के अनुसार न्यूनतम किनारा दूरी (Minimum Edge Distance) 29 mm तथा न्यूनतम पिच 2·5 × 18 अथवा 45 mm से कम नहीं होना चाहिये। तदनुसार किनारा दूरी 35 mm तथा पिच/विषम पिच 65 व 50 mm रखते हुये रिवेट व्यवस्था चित्र 3.16 में दर्शित है। विभिन्न खण्डों पर इस जोड़ की सामर्थ्य निम्नवत् होगी—

(i) खण्ड $A_1A_1$ पर सामर्थ्य = 216·6 kN.

(ii) खण्ड $A_2A_2$ पर सामर्थ्य—

$$= (B - 2d)\, t \cdot f_t + (\text{एक रिवेट की सामर्थ्य})$$

$$= (200 - 2 \times 19{\cdot}5) \times 8 \times 150 + 42120 \text{ N}$$

$$= 161 \times 8 \times 150 + 42120 \text{ N}$$

$$= 193200 + 42120 \text{ N}$$

$$= 235320 \text{ N अथवा } 235{\cdot}32 \text{ kN}$$

(iii) खण्ड $A_3A_3$ पर सामर्थ्य $= (B - 3d)\, t\, f_t +$ तीन रिवेटों का सामर्थ्य

$$= (200 - 3 \times 19{\cdot}5) \times 8 \times 150 + 3 \times 42120 \text{ N}$$

$$= 141{\cdot}5 \times 8 \times 150 + 126360 \text{ N}$$

$$= (169800 + 126360) \text{ N}$$

$$= 296160 \text{ N अथवा } 296{\cdot}16 \text{ kN}$$



सभी रिवेटों की सामर्थ्य $= 6 \times 42120$ N

$= 252720$ N अथवा 252·72 kN

अत: जोड़ की वास्तविक सामर्थ्य = 216600 N अथवा 216·60 kN जो न्यूनतम है।

टोस प्लेट की सामर्थ्य $= B \times t \times f_t = 200 \times 8 \times 150$ N

$= 240000$ N अथवा 240 kN

अत: $\text{जोड़ की दक्षता} = \dfrac{\text{जोड़ की सामर्थ्य}}{\text{प्लेट की सामर्थ्य}} \times 100$

$= \dfrac{216{\cdot}6}{240{\cdot}0} \times 100\%$ अथवा 90·25% **उत्तर**

**नोट**—सामान्यत: इस प्रकार के जोड़ में खण्ड $A_1A_1$ पर जोड़ की सामर्थ्य न्यूनतम होगी, जो जोड़ की वास्तविक सामर्थ्य होगी। इस खण्ड पर मात्र एक रिवेट-छिद्र के लिये कटौती होगी तथा प्लेट अपने अधिकतम तनन क्षमता के साथ जोड़ पर आ रहे बल को वहन करेगी। इस खण्ड को क्रांतिक खण्ड (Critical Section) कहा जाता है।

कई बार हमें तीन अंग के अभिकल्पन में उपयुक्त मोटाई की प्लेट का चयन करते हुये चौड़ाई $B$ निर्धारित करनी होगी। ऐसी स्थिति में क्रांतिक खण्ड पर सामर्थ्य की जोड़ पर आ रहे बल के समान रखने पर आवश्यक चौड़ाई ज्ञात होगी। यह ज्ञात होने पर न्यूनतम पिच एवं किनारा दूरी को ध्यान में रखते हुये, जोड़ में रिवेट व्यवस्था निश्चित की जाती है। यह आगे दिये गये उदाहरण से स्पष्ट होगा।

**उदाहरण 3.12 : 275 kN तनन बल वहन करने हेतु एक तान-अंग का अभिकल्पन कीजिये। उपलब्धता के आधार पर 14 mm मोटी चपटी पत्ती तथा 18 mm व्यास के रिवेटों का प्रयोग करना होगा। चपटी पत्ती की चौड़ाई निर्धारित कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल तनन $f_t = 120$ N/mm$^2$ रिवेटों में अपरूपण प्रतिबल $f_s = 80$ N/mm$^2$ तथा धारण प्रतिबल $f_b = 250$ N/mm$^2$ लीजिये।**

**हल**—चपटी पत्ती की मोटाई, $t = 14$ mm

माना चौड़ाई, $B$ (mm) $f_t = 120$, $f_s = 80$ तथा $f_b = 250$ N/mm$^2$ है।

उपलब्ध रिवेट का व्यास = 18 mm

रिवेट का सकल व्यास, $d = (18 + 1{\cdot}5)$ mm = 19·5 mm

जोड़ पर आ रहा बल = 275 kN = 275000 N

डायमण्ड रिवेट पद्धति (चित्र 3.17) में रिवेटों की संख्या आंतरिक खण्ड $A_3A_3$ से बाहरी ओर क्रमश: घटती है तथा बाहरी खण्ड (अथवा क्रांतिक खण्ड) पर मात्र एक रिवेट छिद्र की कटौती होगी। स्पष्ट है कि इस खण्ड $A_1A_1$ पर चपटी पत्ती द्वारा वहन किया जाने वाला तनन बल अधिकतम होगा।

अत: इस खण्ड पर चपटी पत्ती के तनन सामर्थ्य को जोड़ कर आ रहे बल के समान रखने पर, चपटी पत्ती की आवश्यक चौड़ाई ज्ञात होगी। इस प्रकार—

$$(B - d)\, t\, f_t = \text{जोड़ पर आ रहा बल}$$

अथवा $\quad (B - 19{\cdot}5) \times 14 \times 120 = 275000$ N

अथवा $\quad (B - 19{\cdot}5) = \dfrac{275000}{14 \times 120} = 163{\cdot}70$ mm

अथवा $\quad B = 163{\cdot}7 + 19{\cdot}5 = 183{\cdot}20$ mm

अत: उपलब्धता के आधार पर 200 mm चौड़ाई रखी जाये।

civilguruji.net

**रिवेट का सामर्थ्य—**

**(i) द्वितल अपरूपण सामर्थ्य** $= 2 \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times f_s$

$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 19{\cdot}5^2 \times 80$ N

$= 47780$ N अथवा **47·78 kN**

**(ii) धारण सामर्थ्य**—कवर प्लेट मोटाई $= \frac{5}{8} \times 14 = 8{\cdot}75$ mm

अत: 8 mm कवर प्लेट प्रयोग की जाये।

तथा धारण सामर्थ्य $= d \cdot t \cdot f_b$

$= 19{\cdot}5 \times 14 \times 250$ N

$= 68250$ N अथवा **68·25 kN**

अत: रिवेट मान = 47·78 kN (जो न्यूनतम है)

रिवेटो की संख्या $= \frac{275000}{47780} = 5{\cdot}755$ अथवा 6 रिवेट

रिवेट पिच $= 18 \times 25 = 45$ mm

किनारा दूरी = 29 mm (तालिका 3.5 देखें)

यह न्यूनतम मान है तथा वास्तविक मान इससे अधिक रखे जा सकते हैं।

$M_p$ = मुख्य प्लेट (Main Plate), $C_p$ = कवर प्लेट (Cover Plate)

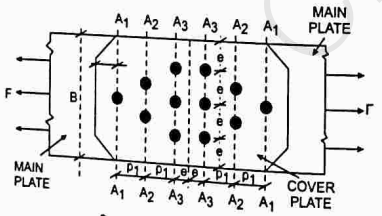
$e$ = किनारा दूरी (Edge Distance) = 40 mm,

$p_1$ = विषम पिच = 60 mm, $p$ = रिवेट पिच = 60 mm

$F$ = जोड़ पर आ रहा बल = 275 kN

**उत्तर**

अत: 40 mm किनारा दूरी (Edge Distance) तथा 60 mm पिच रखते हुये, रिवेट व्यवस्था चित्र 3.17 में दर्शित है।




**चित्र 3.17—डायमण्ड रिवेट पद्धति**



## अभ्यास प्रश्न-3

[नोट—जहाँ न दिया हो $f_t = 150$, $f_s = 90$ तथा $f_b = 270$ N/mm² (या MPa) लीजिये]

1. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—
   (i) सामान्य व्यास एवं सकल व्यास में अन्तर स्पष्ट करें।
   (ii) लैप व बट जोड़ में तुलना कीजिये।
   (iii) गेज रेखा एवं गेज दूरी में अंतर बताइये।
   (iv) रिवेट पिच से आप क्या समझते है?
   (v) रिवेट जोड़ के विश्लेषण के आधार बताइये।
   (vi) चित्र द्वारा रिवेट जोड़ो में शृंखला रिवेट पद्धति तथा विषम रिवेट पद्धति (zig-zag riveting) में अन्तर स्पष्ट करें।
   (vii) शक्ति चालित शाप रिवेट, स्थल रिवेटो से अधिक सामर्थ्यवान् क्यों होते है?
   (viii) रिवेट जोड़ की दक्षता से आप क्या समझते है? इसे आप कैसे ज्ञात करेंगे?
2. 10 mm मोटी प्लेटो को 60 mm पिच रखते हुये 20 mm व्यास के रिवेटो द्वारा एकल रिवेट लैप जोड़ द्वारा जोड़ा गया है। अनुज्ञेय प्रतिबल ($f_t = 150$, $f_s = 100$ तथा $f_b = 300$ N/mm²) लेते हुये जोड़ की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। [उत्तर—36·3 kN]
3. एक बॉयलर शैल की प्लेट 8 mm मोटी है। इन्हे एकल रिवेट लैप जोड़ द्वारा 18 mm व्यास के रिवेटो से 60 mm पिच रखते हुये जोड़ा गया है। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$, $f_s = 100$ तथा $f_b = 300$ N/mm² लेते हुए इस जोड़ की सामर्थ्य एवं दक्षता ज्ञात कीजिये। जोड़ में प्लेटों द्वारा प्रति सेमी० लम्बाई में वहन किया जाने वाला तनन बल ज्ञात कीजिये।
   [उत्तर—29·86 kN, 41·47%, 4·977 kN]
4. 16 mm मोटी दो इस्पातीय प्लेटो को दोहरा रिवेट लैप जोड़ से 22 mm व्यास के रिवेटो द्वारा जोड़ा गया है। शृंखला रिवेट पद्धति अपनाते हुये रिवेट पिच 90 mm रखा गया है। इस जोड़ का सामर्थ्य एवं दक्षता ज्ञात कीजिये। [उत्तर—78·08 kN, 36·14%]
5. निम्न लैप जोड़ो की सामर्थ्य एवं दक्षता ज्ञात कीजिये—
   (i) एकल रिवेट लैप जोड़-प्लेटें 10 mm, रिवेट 20 mm, रिवेट पिच 80 mm।
   (ii) दोहरा रिवेट लैप जोड़-प्लेटें 12 mm, रिवेट 22 mm, रिवेट पिच 70 mm.
   [उत्तर—(i) 32·6 kN, 27.17 %, (ii) 78·08 kN, 61·97%]
6. निम्नांकित बट जोड़ों की सामर्थ्य एवं दक्षता ज्ञात कीजिये—
   (i) एकल रिवेट बट जोड़—मुख्य प्लेटें 16 mm, कवर प्लेटें 10 mm रिवेट 24 mm, तथा रिवेट पिच 90 mm।
   (ii) दोहरा रिवेट बट जोड़—मुख्य प्लेटें 10 mm, कवर प्लेटें 6 mm, रिवेट व्यास 16 mm, रिवेट पिच 50 mm।
   [उत्तर—(i) 91·92 kN, 42·55 %, (ii) 48·75 kN, 65%]
7. 14 mm प्लेटों को जोड़ने हेतु दो एकल रिवेट लैप जोड़ निम्नवत् बनाये गये—
   (i) रिवेट व्यास 24 mm, पिच 65 mm,
   (ii) रिवेट व्यास 27 mm, पिच 80 mm इनमे से कौन सा जोड़ अधिक सामर्थ्यवान् होगा?
   [उत्तर—जोड़ (ii) जिसकी दक्षता अधिक है]
8. विषम रिवेट पद्धति से बने दोहरा रिवेट लैप जोड़ का सामर्थ्य एवं दक्षता ज्ञात कीजिये। प्लेटो की मोटाई 10 mm, रिवेट व्यास 20 mm, रिवेट पिच 80 mm, अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$, $f_s = 100$, $f_b = 300$ N/mm² लीजिये। [उत्तर—72·6 kN, 60·5%]
9. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—
   (i) रिवेट के लिये सामान्य व्यास (Nominal dia) के निर्धारण हेतु अनविन सूत्र (Unwin's Formula) बताइये। इस सूत्र से 12 mm मोटी प्लेटो के लिये उपयुक्त रिवेट व्यास निर्धारित कीजिये। [उत्तर 20·95 अथवा 22 mm]
   (ii) रिवेट पिच से आप क्या समझते है? रिवेट जोड़ के अधिकल्पन में आप जोड़ की अधिकतम सामर्थ्य हेतु, पिच कैसे निर्धारित करेंगे?

civilguruji

## 72 इस्पातीय संरचनाओं का अभिकल्पन

(iii) रिवेट जोड़ मे न्यूनतम पिच कितना रखा जाता है?

(iv) विषम पिच (Staggered Pitch) से आप क्या समझते है? चित्र द्वारा स्पष्ट कीजिये।

(v) रिवेट जोड़ो के किनारा दूरी का महत्व बताइये।

(vi) तान अंग (Tie) के संदर्भ मे ज्यामितिक खण्ड चित्र द्वारा स्पष्ट करे।

(vii) लैप जोड़ मे रिवेट का अपरूपण एवं धारण सामर्थ्य समान रखना हो तो आवश्यक रिवेट व्यास निर्धारित कीजिये।

$$\left[\text{संकेत } d = 1{\cdot}273\frac{f_b}{f_s}.t\right]$$

(viii) रिवेट जोड़ो के अभिकल्पन मे रिवेट मान (Rivert value) का महत्व बताइये। रिवेट मान का क्या उपयोग है?

10. 12 mm एवं 14 mm मोटी इस्पातीय प्लेटो को लैप जोड़ मे जोड़ने हेतु रिवेट व्यास निर्धारित कीजिये। रिवेटों का न्यूनतम पिच भी निर्धारित करे। [उत्तर—22 mm, 55 mm]

11. निम्नांकित रिवेटो के लिये रिवेट मान ज्ञात कीजिये—

(i) 16 mm रिवेट, बट जोड़ मे मुख्य प्लेटे 10 mm, कवर प्लेटें 6 mm मोटी।

(ii) 18 mm रिवेट, लैप जोड़ मे प्लेटे 10 mm मोटी।

(iii) 16 mm रिवेट—10 mm मोटी गसेट प्लेट के साथ 60 × 60 × 8 mm कोणी खण्ड जोड़ने हेतु।

(iv) 22 mm रिवेट एक तान अंग (Tie) मे प्रयोग हेतु प्लेटे 12 mm, कवर प्लेटें 8 mm।

[उत्तर—(i) 43·28 kN (ii) 26·88 kN (iii) 21·64 kN (iv) 76·14 kN]

12. निम्नांकित रिवेट जोड़ो का अभिकल्पन कीजिये—

अनुज्ञेय प्रतिबल— $f_t = 150$, $f_s = 100$ तथा $f_b = 300$ N/mm$^2$ लीजिये, अधिकतम सामर्थ्य के लिये पिच ज्ञात करे तथा पिच निर्धारित करे।

(क) एकल रिवेट लैप जोड़—

(i) प्लेटो 14 mm मोटी 22 mm रिवेटों के साथ।

(ii) 12 mm व 10 mm मोटी प्लेटों को जोड़ने हेतु।

(ख) एकल रिवेट बट जोड़—

(i) मुख्य प्लेटे 14 mm, कवर पलेटें 8 mm, रिवेट व्यास 24 mm.

(ii) मुख्य प्लेटें 10 mm, कवर प्लेटे 8 mm तथा रिवेट व्यास 24 mm

[उत्तर—पिच न्यूनतम/आवश्यक/प्रस्तावित, सामर्थ्य, दक्षता, किनारा दू

(क) (i) 55, 44·15, 55 mm; 43·38 kN, 37·55 %, 40 mm (ii) रिवेट 20 mm, 50, 45·7, 50 m
36·30 kN, 48·4%, 35 mm (ख) (i) 60, 73·2, 75 mm, 102·14 kN, 64·85 %, 50 m
(ii) रिवेट व्यास 20 mm, 50 mm, 64·5, 65 mm, 64·5 kN, 64·15 %, 35 m.

13. 10 mm मोटी चद्दरो (Sheets) को तिहरे रिवेटदार लैप जोड़ (Triple rivetted lap joint) में 20 mm रिवेटों द्वारा जोड़ा गया है। यदि जोड़ की दक्षता 85% हो तो रिवेट पिच ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 140$, $f_s = 80$ तथा $f_b = 250$ N/mm$^2$ लीजिये।

[उत्तर—74 mm]

14. प्रश्न 13 पुनः हल कीजिये यदि प्लेट 14 mm, रिवेट 24 mm तथा अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$, $f_s = 100$ तथा $f_b = 300$ N/mm$^2$ हो। [उत्तर—86 mm]

15. 14 mm मोटी प्लेटो को जोड़ने हेतु दोहरे आवरण वाले दोहरे रिवेटदार बट जोड़ का प्रयोग किया गया। यदि कवर प्लेटें 8 mm मोटी हो तथा $f_t = 120$, $f_s = 80$ तथा $f_b = 250$ N/mm$^2$ हो तो 20 mm व्यास के रिवेटों का पिच निर्धारित कीजिये। जोड़ की दक्षता ज्ञात कीजिये।

[उत्तर—90·6 अथवा 95 mm, 72·8%]



16. 300 mm × 12 mm चपटी पत्तियों को तान अंग (Tie) के रूप में 6 mm मोटी कवर प्लेटों के साथ 18 mm व्यास के रिवेटों द्वारा जोड़ने हेतु बट जोड़ का अभिकल्पन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 140$ N/mm$^2$, $f_s = 80$ N/mm$^2$ तथा $f_b = 250$ N/mm$^2$ लीजिये। डायमण्ड रिवेट पद्धति अपनाइये।

[उत्तर—सामर्थ्य = 471·24 kN, 10 रिवेट/व्यवस्था चित्र 3.17 के अनुसार 4–3–2–1
रिवेट लगाते हुये प्रस्तावित परिमाप $e = 45$ mm, $p = 70$ mm, $p_1 = 60$ mm]

17. 370 kN तनन बल वहन करने हेतु 14 mm मोटी चपटी पत्तियों (Flats) को 20 mm व्यास के रिवेटों द्वारा डायमण्ड रिवेट पद्धति अपनाते हुये जोड़ का अभिकल्पन करे। 8 mm कवर प्लेटो का प्रयोग करें। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$ N/mm$^2$, $f_s = 90$ N/mm$^2$, $f = 270$ N/mm$^2$ लीजिये।

[उत्तर—चपटी पत्ती की चौड़ाई 200 mm, 6 रिवेट प्रस्तावित परिमाप चित्र 3.17 देखें $e = 40$ mm, $p = 60$ mm, $p_1 = 60$ mm]

18. 10 mm मोटी इस्पातीय प्लेट के लिये एकल रिवेट लैप जोड़ का उपयुक्त पिच निर्धारित कीजिए, जबकि $f_t = 150$ MPa, $f_s = 100$ MPa, व $f_b = 300$ MPa हो। जोड़ की दक्षता भी ज्ञात करें। [उत्तर—पिच = 50 mm, जोड़ दक्षता = 48·4%]

19. 10 mm मोटी प्लेटो के लिये पिच ज्ञात करें यदि लैप जोड़ मे दोहरे रिवेट लगे हो। इस्पात के लिये अधिकतम अनुमत प्रतिबल है— $f_t = 150$ MPa, $f_s = 100$ MPa तथा $f_b = 300$ MPa। जोड़ की दक्षता भी ज्ञात करे।

[उत्तर—पिच = 70 mm, दक्षता = 69·3%]

civilguru.net

# 3A संरचनात्मक इस्पातीय जोड़-IA
## (STRUCTURAL STEEL CONNECTIONS-IA)
## बोल्ट जोड़ (BOLT JOINTS)

### § 3A.1. परिचय (Introduction) :

एक इस्पात सरचना मे, विभिन्न तत्व जैसे तनाव उपांग, सपीडन उपांग और नम्य उपांग संयोजकों या बंधकों (connectors or fasteners) से जुड़े होते है। कई मामलो मे, संघटित खण्ड (built-up sections) प्रदान किए जाते हैं ताकि वे भारी भार और लंबी विस्तृतियो (long spans) की आवश्यकताओ को पूरा कर सकें। इन खण्डों को एक साथ जोड़ा जाता है ताकि वे एक साथ और एक इकाई के रूप मे कार्य कर सकें। इसके अलावा, उपांग की लंबाई उआधूर्णब्ध खंड की लंबाई से अधिक हो सकती है और इसलिए आवश्यक लंबाई बनाने के लिए दो लंबाई जोड़ने की आवश्यकता उत्पन्न होगी। इसलिए, एक अवयव से दूसरे पर लगाए गए बल को सयोजको के माध्यम से स्थानांतरित किया जाता है, और उन्हें बल को सुरक्षित रूप से स्थानांतरित करने के लिए पर्याप्त होना चाहिए। इसलिए, बलो को ऊपर से नीव तक सुरक्षित रूप से स्थानांतरित करने के लिए, ठीक से जुड़े और विस्तृत उपाग और सयोजक है—रिवेट, बोल्ट, पिन और वेल्ड। संयोजक का अभिकल्पन आवश्यक है क्योंकि एक अनुचित अभिकल्पन के परिणामस्वरूप एक कुशलतापूर्वक अभिकल्पन किए गए उपांग के बावजूद खराब संरचना हो सकती है।

**ध्यान देने योग्य बिंदुः (Point to Note) :**

- इस्पात सरचनाओ मे अधिकाश विफलताओ से पता चला है कि संरचना में संयोजक (connectors) सबसे कमजोर कड़ी है।
- एक संरचना मे बलो की प्रकृति और प्रतिबल वितरण (stress distribution) का उचित मूल्यांकन और स्थापित करने की आवश्यकता है।
- ज्यामितीय खामियो और जटिलताओ, फिट की कमी, अवशिष्ट प्रतिबल (residual stresses) आदि के कारण कुछ सयोजनो (connections) का व्यवहार जटिल होता है।
- जोड़ो तक पहुचना और उनका विश्लेषण करना कठिन होता है।
- विश्लेषण को सरल बनाने के लिए, अनुमानो (assumptions and approximations) को पिछले परिणामों को आधार बनाया जा सकता है।
- संयोजनो के अभिकल्पन को उचित महत्व दिया जाना चाहिए।

### § 3A.2. बोल्ट (Bolts) :

जैसा कि आप जानते हैं कि बोल्ट एक प्रकार का बंधक (fastener) होता है, जो आमतौर पर धातु से बना होता है, जिसमें आमतौर पर एक सिरे पर एक शीर्ष (head), दूसरे पर एक चैम्फर और एक बाहरी कुंडलिनी (helical) रिज की विशेषता वाला एक शैफ्ट होता है जिसे 'चूड़ी (thread)' कहा जाता है। बोल्ट आमतौर पर सामग्री या वस्तुओं को एक साथ रखने के लिए या वस्तुओ को रखने के लिए उपयोग किया जाता है (चित्र 3A.1 देखें)।

सिरे के विपरीत छोर पर चैम्फर थोड़ा बेवलित कोर (beveled edge) प्रदान करता है जो बोल्ट को छिद्र और नट में डालने मे मदद करता है। बोल्ट को आम तौर पर लेकिन हमेशा एक नट की आवश्यकता नहीं होती है जो कि बल-आधूर्ण के माध्यम से लगाया जाता है जबकि बोल्ट को जगह मे रखा जाता है। कंपन या गतिशील भार नट को ढीला कर सकते हैं, जिससे लॉक नट, लॉ वाशर या चूड़ी लॉकर के उपयोग की आवश्यकता होती है जो ढीलेपन को प्रतिरोध प्रदान कर सकते हैं।





**क्या आप जानते हैं? (Do You Know) :**

**(i) क्या बोल्ट और पेंच में कोई अंतर है?**

**उत्तरः** शब्द 'बोल्ट' और 'पेच' को कभी-कभी एक-दूसरे के स्थान पर इस्तेमाल किया जाता है, और उनके बीच का अंतर जटिल हो सकता है, हालांकि, सरल शब्दो में, बोल्ट उस सामग्री मे होकर गुजरता है जिसे वह एक साथ ठीक कर रहा है (आमतौर पर दूसरी तरफ एक नट में), जबकि एक पेंच सीधे उनमे चूड़ी करता है। बोल्ट अक्सर इस्पात से बने होते हैं, और जहां मौसम या जंग के लिए प्रतिरोध की आवश्यकता होती है, वे जस्तेदार (galvanised) हो सकते हैं, या जंगरोधी इस्पात, पीतल, जस्ता या टाइटेनियम का उपयोग किया जा सकता है।

**(ii) बोल्टेड संयोजन या रिवेटेड संयोजन में से कौन बेहतर है! क्यों? क्या बोल्ट के उपयोग की कोई सीमा है?**

**संकेत (Hint): लाभ (Advantages):**

- संरचना के निर्माण में तेजी लाई जा सकती है।
- कम कुशल व्यक्तियों की आवश्यकता है।
- बोल्टेड निर्माण की कुल लागत रिवेटेड निर्माण की तुलना में सस्ती है क्योंकि श्रम और उपकरण की लागत कम होती है और समान भार का विरोध करने के लिए आवश्यक बोल्टों की कम संख्या होती है।

**सीमाएं (Limitations) :**

- सामग्री की लागत अधिक है, रिवेटों की तुलना में लगभग दोगुनी।
- चूड़ी की जड़ में क्षेत्रफल में कमी के कारण और प्रतिबल की सघनता के कारण बोल्ट की तनन सामर्थ्य कम हो जाती है।
- आम तौर पर, ये मुड़े हुए बोल्ट को छोड़कर ढीले फिट के होते हैं और इसलिए इनकी सामर्थ्य कम हो जाती है।
- कंपन या झटके के अधीन, बोल्ट ढीले हो सकते हैं।

**ध्यान देने योग्य बिंदुः (Point to Note) :**

बोल्ट को धातु के पिन के रूप में परिभाषित किया जा सकता है जिसके एक सिरे पर एक शीर्ष (Head) होता है जो दूसरे सिरे पर एक नट लगाने के लिए चूड़ीदार शैंक होता है। जबकि बोल्ट की लंबाई, बोल्ट की लंबाई के पीछे से बोल्ट के अंत तक की दूरी है, बोल्ट की पकड़ बोल्ट के शीर्ष के पीछे से नट या वॉशर के पीछे की दूरी है। बोल्ट के साथ-साथ नट के नीचे इस्पात वाशर प्रदान किए जाते हैं—

- बोल्ट किए गए उपांग पर ग्राभी दबाव (clamping pressure) वितरित करें, और
- बोल्ट के चूड़ीदार हिस्से को संयोजी टूकड़ों पर वियरिंग से रोकें।

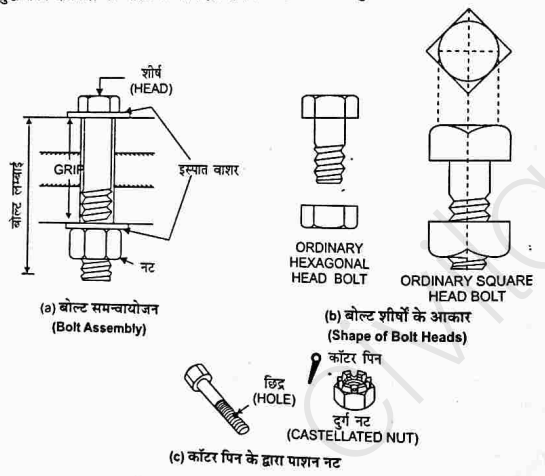
बोल्ट का उपयोग तनाव और संपीडन उपांगों (Members) में अंत संयोजन बनाने और संघटित और संयुक्त उपांगो (built-up and compound members) (प्लेटों 1 और 2) के निर्माण में किया जा सकता है। उनका उपयोग स्तम्भ आधार को स्थिति में रखने के लिए, कैंचियों (trusses) की पाद प्लेटों के साथ स्तम्भ कैप को जोड़ने के लिए भी किया जा सकता है, और कैंची में पर्लिन के लिए विभाजक के रूप में और नींव में बीम आदि के लिए भी इस्तेमाल किया जा सकता है। संयोजन के उचित कामकाज को सुनिश्चित करने के लिए, जिन भागो को जोड़ा जाना है उन्हें बोल्ट शीर्ष और नट के बीच कसकर जकड़ना चाहिए। यदि संयोजन कंपन के अधीन है, तो नट को स्थिति (position) में बंद कर दिया जाना चाहिए।

### § 3A.3. बोल्टों के प्रकार (Types of Bolts) :

संरचनात्मक तत्वों को जोड़ने के लिए कई प्रकार के बोल्ट का उपयोग किया जाता है। लेकिन, सबसे अधिक इस्तेमाल किए जाने वाले बोल्ट अधूरे बोल्ट और उच्च सामर्थ्य वाले बोल्ट हैं।

### अपरिष्कृत बोल्ट (Unfinished Bolts)

अपरिष्कृत बोल्ट को साधारण, सामान्य, खुरदुरे या काले बोल्ट के रूप में भी जाना जाता है। इनका उपयोग स्थैतिक भार के अधीन हल्की संरचनाओ के लिए और द्वितीयक उपांगो जैसे कि पर्लिन, ब्रेसिंग आदि के लिए और छत कैंचियों (roof trusses) के लिए किया जाता है। उन्हे प्रभाव भार, कंपन और श्रांति (fatigue) के अधीन संयोजन के लिए अनुशंसित नहीं किया जाता है। इन बोल्टो को निम्न कार्बन वेल्लित इस्पात वृत्ताकार छड़ से फोर्जित किया जाता है, जिससे बड़ी सहिष्णुता की अनुमति मिलती है। जैसा कि चित्र 3A.1(b) मे दिखाया गया है, साधारण संरचनात्मक बोल्ट वर्गाकार या षट्कोणीय शीर्ष वाली हल्की इस्पात की छड़ो से बनाए जाते है। वर्गाकार शीर्ष वाले बोल्ट कम लागत के होते हैं लेकिन षट्कोणीय शीर्ष वाले बोल्ट बेहतर रूप देते हैं, रिंच द्वारा पकड़ना आसान होता है और कम टर्निंग स्पेस की आवश्यकता होती है। बोल्ट 5 से 36 mm व्यास में उआधूर्णब्ध हैं और उन्हे M5 से M36 के रूप मे नामित किया गया है। लेकिन, सरचनात्मक इस्पात कार्यों में सबसे आम उपयोग हैं—M16, M20, M24 से M30। IS: 800 के अनुसार, बोल्ट के शुद्ध तनन (net tensile) क्षेत्र पर विचार किया जाना चूड़ियों की जड़ का क्षेत्र है (तालिका 3A.1 देखे)। इस क्षेत्र को प्रतिबल क्षेत्र या प्रूफ क्षेत्र कहा जाता है। इस तालिका के अभाव में, चूड़ियों की जड़ पर शुद्ध तनन क्षेत्रफल का बोल्ट के अभिहित सादे शैंक क्षेत्रफल से अनुपात 0.78 के रूप में लिया जा सकता है।



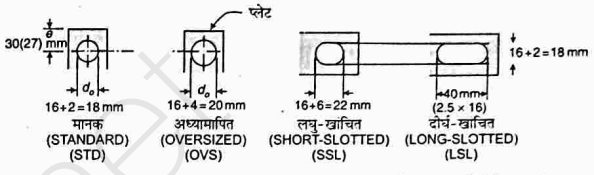

चित्र 3A.1—साधारण बोल्ट (Ordinary bolts)

तालिका 3A.1—बोल्ट का तनन प्रतिबल क्षेत्रफल (मिमी² में)
(Tensile stress area of bolt (in mm²))

| बोल्ट आकार (Bolt Size), $d$ (mm) | (12) | 16 | 20 | (22) | 24 | (27) | 30 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| तनन प्रतिबल क्षेत्रफल (Tensile Stress Area) ($mm^2$) | 84.3 | 157 | 245 | 303 | 353 | 459 | 561 | 817 |



बोल्ट को मानक माप, अध्यामाप, छोटे खांचित या लंबे खांचित छिद्र मे रखा जा सकता है (चित्र 3A.2 देखें)।




चित्र 3A.2—16 mm व्यास वाले बोल्ट के लिए विशिष्ट बोल्ट छिद्र प्रतिनिधित्व
(Typical bolt holes representation for a 16 mm diameter bolt)

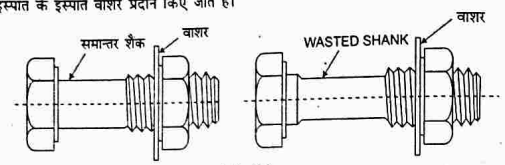
Table 3A.2. इस्पात निर्माण में बोल्ट के तनन गुणधर्म (Tensile properties of bolts in steel construction)

| ग्रेड/वर्गीकरण (Grade/Classification) | | बोल्टों के गुणधर्म (Properties of Bolts) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | पराभव प्रतिबल (Yield stress) $f_y$ MPa (min | चरम तनन प्रतिबल (Ultimate Tensile Stress) $f_{ub}$ MPa (min) | प्रतिशत दीर्घीकरण (Elongation Percentage) (min) |
| Specification IS 1367 (part 3) (ISO 898) Specifications of fasteners threaded steel for technical supply conditions | 3.6 | 180 | 330 | 25 |
| | 4.6 | 240 | 400 | 22 |
| | 4.8 | 320 | 420 | 14 |
| | 5.6 | 300 | 500 | 20 |
| | 5.8 | 400 | 520 | 10 |
| | 6.8 | 480 | 600 | 8 |
| | 8.8: ($d$ < 16 mm) | 640 | 800 | 12 |
| | ($d$ > 16 mm) | 660 | 830 | 12 |
| | 9.8 | 720 | 900 | 10 |
| | 10.9 | 940 | 1040 | 9 |
| | 12.9 | 1100 | 1220 | 8 |

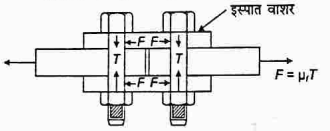
### उच्च सामर्थ्य बोल्ट (High-Strength Bolts)

उच्च सामर्थ्य वाले बोल्ट (चित्र 3A.3 देखें) मध्यम कार्बन ऊष्मा-उपचारित इस्पात और मिश्र धातु इस्पात से बने होते हैं। उनकी उच्च सामर्थ्य मज्जशीतन और मृदुकरण (quenching and tempering) प्रक्रियाओं या मिश्र धातु इस्पात द्वारा प्राप्त की जाती है। इन बोल्टों को तब तक कड़ा (tightened) किया जा सकता है जब तक कि उनके पास सामान्य बोल्टो की तुलना में बहुत अधिक तनन प्रतिबल न हो, ताकि जुड़े हुए हिस्से बोल्ट और नट शीर्षों के बीच एक साथ कसकर जकड़े हो; यह भार को मुख्य रूप से घर्षण द्वारा स्थानांतरित करने की अनुमति देता है न कि अपरूपण द्वारा। संपर्क मे आने वाली तले भ्रमिकर्तक स्केल (mill scale), जंग, पेंट, ग्रीस आदि से मुक्त होनी चाहिए, जो तलो और टॉवर सर्पण गुणक के बीच ठोस सपर्क को रोकेगी। इसलिए, उच्च सामर्थ्य वाले बोल्ट वाले जोड़ों के लिए बलो के इस हस्तांतरण को टॉड ले जाने वाले तत्वो के बीच बने अंतरपृष्ठ के बीच घर्षण के माध्यम से पूरा किया जाता है। इस घर्षण के कारण सामान्य बोल्ट वाले जोड़ो मे जो सर्पण होतो है, वह समाप्त हो जाती है। इन बोल्टों को प्रूफ भार पर कस कर जोड़ पर सामान्य भार लगाकर इस घर्षण को विकसित किया

जाता है। इसलिए, इन बोल्टो को घर्षण-प्रकार के बोल्ट के रूप मे भी जाना जाता है। उच्च-सामर्थ्य घर्षण-ग्रिप बोल्टों का इस्तेमाल करने वाले जोड़ को असर्पी संयोजन (non-slip connection) या अक्रांतिक संयोजन (non-cricital connection) या घर्षण-प्रकार संयोजन (friction-type connection) कहा जाता है। बोल्ट वाले उपांग पर ग्राभी दबाव को समान रूप से वितरित करने और बोल्ट के चूड़ीदार हिस्से को संयोजी टुकड़ो पर बियरिंग से रोकने के लिए कठोर इस्पात या कार्बन व्यापन (carburized) इस्पात के इस्पात वाशर प्रदान किए जाते हैं।




(a) उच्च सामर्थ्य बोल्टों के प्रकार
(Types of High-strength Bolts)




(b) सर्पण प्रतिरोध (Slip Resistance)

**चित्र 3A.3. उच्च सामर्थ्य बोल्ट संयोजन (High-strength bolted connection)**

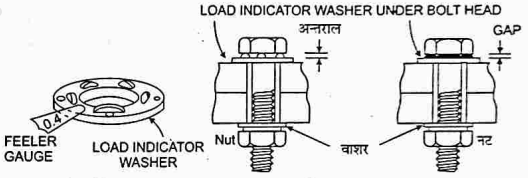
इस बात का ध्यान रखा जाना चाहिए कि बोल्ट को आवश्यक तनाव तक कस दिया जाए, अन्यथा सेवा भार पर सर्पण (slip) हो सकती है और जोड़ सामान्य बोल्ट वाले जोड़ के रूप में कार्य करेगा। सही शैंक तनाव या तो भाग-खरादन विधि (part-turning method) या बल-आघूर्ण नियंत्रण विधि (torque control method) द्वारा या भार-सूचक वाशर (load-indicating washer) का उपयोग करके प्राप्त किया जा सकता है। यदि बोल्ट को आघूर्ण-टर्निंग विधि द्वारा कड़ा किया जाता है, जिसे टर्न ऑफ नट विधि भी कहा जाता है, नट को निकटतम (snug) बनाया जाता है और हस्त रिंच द्वारा आधा मोड़ अधिक कड़ा किया जाता है, तो वाशर की आवश्यकता नहीं होती है। बोल्ट को कसने की इस पद्धति का उपयोग बियरिंग-प्रकार के संयोजन बनाने के लिए किया जाता है, जहां बोल्ट की स्थापना के लिए एकमात्र व्यावहारिक आवश्यकता यह है कि उन्हें पर्याप्त रूप से तनाव दिया जाए ताकि संयोजन में संपर्क की तल एक दूसरे पर मजबूती से टिकी रहे। बल-आघूर्ण नियंत्रण विधि में नट को एक निर्दिष्ट बल-आघूर्ण देने के लिए सामर्थ्य संचालित या हस्त-बल-आघूर्ण रिंच का इस्तेमाल किया जाता है। भार-सूचक वॉशर और बोल्ट विधि में, वाशर में अनुमान होते हैं जैसा कि चित्र 3A.4 (a) में दिखाया गया है जो वोल्ट को कसने के साथ नीचे दबाता है। एक फीलर गेज का उपयोग तनाव को मापने के लिए किया जाता है जब अंतराल आवश्यक आकार तक पहुंच गया हो। बोल्ट को कसने पर, बोल्ट शीर्ष के नीचे और भार सूचक फलक के बीच का अंतर कम हो जाता है क्योंकि उभार (protrusions) कम हो जाते हैं। जब यह अंतर लगभग 0.4 mm है, तो बोल्ट तनाव आवश्यक न्यूनतम से कम नहीं होगा। चित्र 3A.4 (b) बोल्ट को कसने से पहले और बाद में बोल्ट किए गए जोड़ को दिखाता है।

उच्च सामर्थ्य वाले बोल्ट वाले जोड़ तंग (snug-tight) और, सर्पी-क्रांतिक (slip-critical) प्रकार के हो सकते हैं। उपयोग किए जाने वाले जोड़ का प्रकार उस भार के प्रकार पर निर्भर करता है जिसे बोल्ट को ढोना (carry) होगा। स्नग-टाइट बोल्ट वाले जोड़ो के लिए, स्पड रिंच (spud wrench) का उपयोग करने वाले व्यक्ति के पूरे प्रयास का उपयोग करके या वायवीय (pneumatic) रिंच के कुछ प्रभावों के बाद प्राप्त जकड़न का उपयोग करके जकड़न प्राप्त की जाती है। स्नग टाइट बोल्ट स्थापित करने के लिए बहुत अधिक किफायती हैं और जहां अनुमति हो, उनका उपयोग किया जाना चाहिए। भवन निर्माण में, ज्यादातर



मामलों के लिए स्नग-टाइट बियरिंग-प्रकार संयोजन का उपयोग किया जा सकता है, जिसमें वायु या कम भूकंपीय लोडिंग के कारण प्रतिबल उत्क्रमण (stress reversal) के अधीन संयोजन शामिल हैं। उन स्थितियों में जहां श्रांति (fatigue) की आशंका होती है, स्नग-टाइट बोल्ट की सिफारिश नहीं की जाती है।

एक सर्पी-क्रांतिक संयोजन तब प्राप्त होता है जब स्नग-टाइट बोल्ट को तब तक कड़ा किया जाता है जब तक कि वे पूरी तरह से तनावपूर्ण स्थिति तक नहीं पहुंच जाते। चूंकि बोल्ट प्रूफ भार तक तनाव में है, नट और वॉशर के ढीले होने की जाँच की जाती है। इस गुण के कारण, जोड़ के कंपन और संघट्ट प्रतिरोध (impact resistance) में भी सुधार होता है। पर्याप्त बियरिंग क्षेत्र प्रदान करने के लिए बोल्ट के नट और शीर्ष को पर्याप्त रूप से बड़ा रखा जाता है। इन बोल्टो में सामान्य बोल्टो की तुलना में कई गुना अधिक तनन सामर्थ्य होती है। साधारण (काले) बोल्ट की तुलना में उनकी उच्च तनन सामर्थ्य के कारण, संयोजन बनाने के लिए कम बोल्ट की आवश्यकता होती है। सर्पी-क्रांतिक संयोजन उन पुलो के लिए सबसे उपयुक्त हैं जहा तनाव उत्क्रमण हो सकता है या स्खलन (slippage) अवांछनीय है। संयोजन पर भार उत्क्रमण (reversal) के कई चक्रो से गुजर सकता है, बंधकों की श्रांति गंभीर हो सकती है यदि संयोजन को प्रत्येक उत्क्रमण के साथ खिसकने दिया जाए और सर्पी-क्रांतिक संयोजन की सलाह दी जाए। इसलिए, भूकंपीय भार और श्रांति भार के लिए ये आदर्श हैं।




(a) लोड संकेतक वाशर (Load Indicator Washer) (b) कषण पूर्व (Before Tightening) (c) कषण पश्चात (After Tightening)

**चित्र 3A.4. Bolt installation with load indicating washers**

उच्च सामर्थ्य वाले बोल्ट 16 से 36 mm के आकार में उआघूर्णब्ध हैं और इन्हें Mi6, M20, M24 और M30 के रूप में नामित किया गया है। इन बोल्टों को बोल्ट के शीर्ष पर उभरा हुआ 8S, 8.8S, 10S या 10.9S जैसे गुर्ण वर्ग पहचान चिह्न द्वारा पहचाना जाता है। यहाँ, S का अर्थ उच्च सामर्थ्य है। सबसे अधिक इस्तेमाल किए जाने वाले बोल्ट 8.8S और 10.9S संपत्ति वर्ग के हैं। उच्च सामर्थ्य वाले बोल्ट के विनिर्देश IS: 3757-1985 और IS: 4000-1992 में दिए गए है। उनके तनन गुण तालिका3A.2 में दिए गए हैं। उच्च सामर्थ्य वाले बोल्ट ने रिवेटो और साधारण (काले) बोल्टो को बदल दिया है और संरचनाओं में उपयोग किया जा रहा है, जैसे कि ऊंची इमारतों, पुलों, मशीनों आदि।

**उच्च सामर्थ्य बोल्टों के लाभ** *(Advantages of High-Strength Bolts):* उच्च-सामर्थ्य घर्षण-पकड़ बोल्ट (High-Strength Friction-Grip (HSFG)) ने रिवेटों और साधारण बोल्टो को उनके विशिष्ट लाभो के कारण बदल दिया है, जैसा कि नीचे चर्चा की गई है। हालांकि, सामग्री की लागत सामान्य बोल्ट की तुलना में लगभग 50% अधिक है और इन बोल्टो को स्थापित करने और कसने में विशेष कारीगरी की आवश्यकता होती है।

1. HSFG बोल्ट एक कठोर जोड़ प्रदान करते हैं। जुड़े तत्वों के बीच कोई सर्पण नही होता है।
2. बोल्ट में बड़े तनन प्रतिबल विकसित होते हैं, जो बदले में जुड़े तत्वों को बड़ा ग्राभी बल (clamping force) प्रदान करते हैं। उच्च घर्षण प्रतिरोध विकसित किया गया है जो संयुक्त की उच्च स्थैतिक सामर्थ्य प्रदान करता है।
3. ग्राभी क्रिया के कारण, भार केवल घर्षण द्वारा प्रेषित होता है और बोल्ट अपरूपण (shear) और बियरिंग के अधीन नहीं होते हैं।

4. घर्षण प्रतिरोध छिद्र के बाहर प्रभावी होता है और इसलिए कम भार नेट सेक्शन के माध्यम से प्रेषित होता है; नेट सेक्शन मे फेल होने की संभावना कम से कम होती है।
5. छिद्रो मे प्रतिबल सकेन्द्रण नही होता है, और इसलिए, श्रांति सामर्थ्य (fatigue strength) अधिक होती है।
6. बोल्ट मे तनाव एक समान होता है। इसके अलावा, बोल्ट को प्रूफ भार तक तनाव दिया जाता है जिससे नटों को ढीला होने से रोका जा सके।
7. संयोजन बनाने के लिए कुछ व्यक्तियो की आवश्यकता होती है, इस प्रकार लागत कम हो जाती है।
8. शोर बाधा नहीं है और कीलक (pivot) के उछालने का कोई खतरा नहीं है।
9. परिवर्तन आसानी से किया जा सकता है।
10. समान मजबूती के लिए, रिवेटो/साधारण बोल्टों की तुलना में कम संख्या में बोल्ट की आवश्यकता होती है जो समग्र मितव्ययता लाते है।

## 3A.4. इस्पात संरचनाओं में अनुज्ञेय प्रतिबल (Permissible Stresses in steel structures)

| केस (Case) | अनुज्ञेय प्रतिबल (Permissible stress) | (F.O.S.) |
|---|---|---|
| 1. अक्षीय तनाव और संपीडन (axial tension and compressions) | $0.60 f_y$ | 1.6 |
| 2. बंकन (Bending) | $0.66 f_y$ | 1.5 |
| 3. बियरिंग (Bearing (ex. at support)) | $0.75 f_y$ | 1.3 |
| 4. अपरूपण (Shear) | | |
| Max. permissible) | $= 0.45 f_y$ | 2.22 |
| Max. Aug. permissible) | $= 0.40 f_y$ | 2.5 |

$$FOS = \frac{f_{yield}}{f_{permissible}} f_y \rightarrow \text{पराभव प्रतिबल (yield stress)}$$

### इस्पात संरचनाओं में अधिकतम संभव विक्षेपण (Maximum Possible Deflection in Steel Structures)

(a) अधिकतम अनुज्ञेय क्षैतिज और ऊर्ध्वाधर विक्षेपण $= \frac{\text{span}}{325}$ (WSM)

(b) अधिकतम अनुज्ञेय विक्षेपण जब समर्थित (supported) अवयव भंजन (cracking) के लिए अतिसंवेदनशील होते हैं

$$= \frac{\text{span}}{360} \text{ (LSM)}$$

(c) अधिकतम अनुज्ञेय विक्षेपण जब समर्थित अवयव क्रैकिंग के लिए सुग्राही (susceptible) नहीं होते हैं

$$= \frac{\text{span}}{300} \text{ (LSM)}$$

**नोट:** जब हवा और भूकंप के भार को अनुज्ञेय माना जाता है, तो इस्पात संरचनाओं में तनाव में 33.33% और रिवेटों और बोल्ट में 25% की वृद्धि होती है।



### रिवेटों और बोल्ट में अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल (Maximum permissible stress in rivets & bolts)

| बंधकों के प्रकार (Type of fasteners) | अक्षीय तनाव (Axial tension), $\sigma_{at}$ (MPa) | अपरूपण (Shear), $\tau_{vt}$ (MPa) | बियरिंग (Bearing), $\sigma_{pt}$ (MPa) |
|---|---|---|---|
| (i) शक्ति चालित (Power driven) | | | |
| (a) शॉप रिवेटो (Shop rivets) | 100 | 100 | 300 |
| (b) होल्ड रिवेटों (Held rivets) | 90 | 90 | 270 |
| (ii) हस्त चालित रिवेटों (Hand driven rivets) | 80 | 80 | 250 |
| (iii) बंद सहिष्णुता और टर्न बोल्ट (Close tolerance and turned bolts) | 120 | 100 | 300 |
| (iv) अवकाश छिद्र में बोल्ट (Bolts in clearance holes) | 120 | 80 | 250 |

*IS800 : 1984 Recommendation.

### रिवेट व्यास, पिच (Rivet Diameter, Pitch)

| न्यूनतम पिच (Minimum pitch) | रिवेट के अभिहित व्यास का 2.5 गुना (2.5 times of nominal diameter of the rivet) |
|---|---|
| अधिकतम पिच के लिए (Maximum pitch for)— | |
| (i) कोई भी दो आसन्न रिवेटों (टाँका रिवेटों सहित) | $32t$ या 300 mm जो भी कम हो |
| (ii) उपांग में बल के समानांतर एक रेखा में स्थित रिवेटों— | |
| (a) तनाव में (in tenstion) | $16t$ या 200 mm जो भी कम हो |
| (b) संपीडन में (Incompression) | $12t$ या 200 mm जो भी कम हो |

यहाँ $t$ = पतली बाहरी प्लेट की मोटाई।

### § 3A.5. बोल्ट जोड़ों के प्रकार (Types of Bolted Joints) :

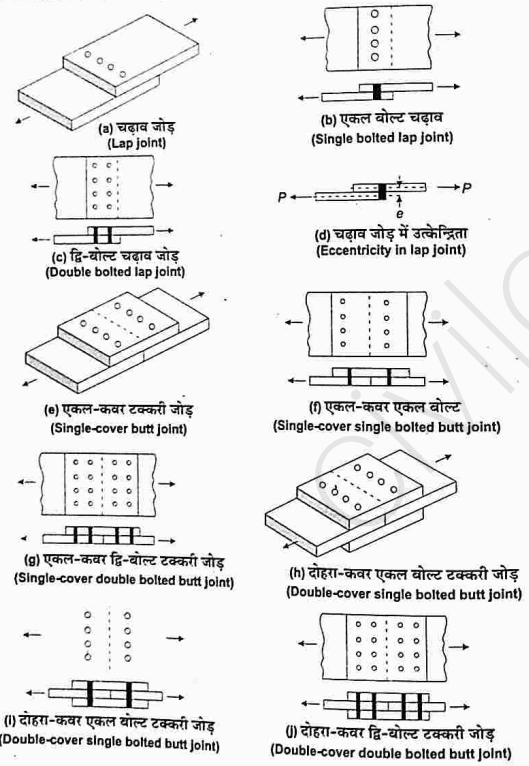
अक्षीय बलों के अधीन दो प्रकार के बोल्ट वाले जोड़ होते हैं (भार बोल्ट के समूह के गुरुत्वाकर्षण के केंद्र से होकर गुजरते हैं) और इन्हें चढ़ाव जोड़ और बट या टक्करी जोड़ (lap joint and butt joint) कहा जाता है।

**चढ़ाव जोड़ (Lap Joint):** चढ़ाव जोड़ में, संयोजन (Connect) होने वाले दो उपांगों को ओवरलैप किया जाता है और एक साथ जोड़ा जाता है। इस तरह के जोड़ को चढ़ाव जोड़ कहा जाता है जैसा कि चित्र 3A.5 (a) में दिखाया गया है। एक एकल बोल्टेड चढ़ाव जोड़ और एक द्वि-बोल्टेड चढ़ाव जोड़ को चित्र 3A.5 (b और c) में दिखाया गया है। चढ़ाव जोड़ में भार में उत्केन्द्रता होती है, क्योंकि एक उपांग में भार के गुरुत्वाकर्षण का केंद्र और दूसरे उपांग में भार के गुरुत्वाकर्षण का केंद्र एक ही लाइन में नहीं होते हैं, जैसा कि चित्र 3A.5 (d) में दिखाया गया है। इसलिए, एक युगल बनता है जो संयोजन में अवांछनीय बंकन का कारण बनता है और बोल्ट तनाव में विफल हो सकते है। चढ़ाव जोड़ो में बंकन के प्रभाव को कम करने के लिए एक लाइन में कम से कम दो बोल्ट लगाए जाने चाहिए। इसके अलावा, उत्केन्द्रता के कारण बोल्ट और उपांगो के बीच संपर्क क्षेत्र में असमान रूप से तनाव वितरित किया जाता है। यह चढ़ाव जोड़ो के उपयोग पर एक सीमा डालता है।

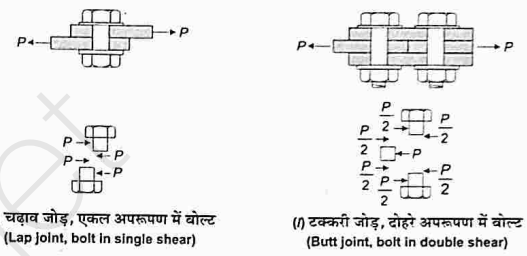
**बट या टक्करी जोड़ (Butt Joint):** संयोजन (Connected) होने वाले दो उपांगो को सिरे से सिरा मिलाकर रखा जाता है। एक या दोनों तरफ प्रदान की गई अतिरिक्त प्लेट/प्लेटें, जिन्हें कवर प्लेट कहा जाता है, रखी जाती हैं और उन्हें मुख्य प्लेटो से जोड़ा जाता है जैसा कि चित्र 3A.5 (e और h) में दिखाया गया है। यदि कवर प्लेट एक तरफ चित्र. 3A.5 (e, f और g)

मे प्रदान की जाती है, तो इसे एकल कवर टक्करी जोड़ कहा जाता है, लेकिन यदि कवर प्लेट मुख्य प्लेटों के दोनो किनारों पर प्रदान की जाती है, तो इसे दोहरा कहा जाता है चित्र 3A.5 (h, i और j) मे दिखाए अनुसार टक्करी जोड़ को कवर करें। चित्र 3A.5 (k और l) एक चढ़ाव जोड़ और द्वि-कवर टक्करी जोड़ मे बलो के हस्तांतरण को दर्शाता है। दो मुख्य कारणो से स्नग-टाइट बोल्ट के लिए चढ़ाव जोड़ के बजाय टक्करी जोड़ प्रदान करना अधिक वांछनीय है—

1. द्वि-कवर टक्करी जोड़ के मामले मे, उपांगो द्वारा प्रेषित किए जाने वाले कुल अपरूपण बल को दो भागों में विभाजित किया जाता है और बल प्रत्येक आधे पर कार्य करता है जैसा कि चित्र 3A.5 (l) मे दिखाया गया है। लेकिन चढ़ाव जोड़ों (चित्र 3A.5 (k)) के मामले मे, केवल एक तल है जिस पर बल कार्य करता है और इसलिए, द्वि-कवर टक्करी जोड़ मे बोल्ट की अपरूपण-वहन क्षमता एक चढ़ाव के जोड़ बोल्ट की तुलना में दोगुनी होती है।







P
P
P

**कोर और अंत दूरी (Edge and End distance)** *(IS 800:2007)*

- किसी भी छिद्र के केंद्र से प्लेट के निकटतम किनारे तक न्यूनतम किनारे और अंत की दूरी अपरूपण या हस्त-ज्वाला से कटे किनारो के लिए छिद्र के व्यास के 1.7 गुना से कम नहीं होनी चाहिए; और वेल्लित, मशीन-ज्वाला से कटे, आरी और नियोजित किनारो के लिए छिद्र के व्यास का 1.5 गुना होनी चाहिए।
- छिद्र के केंद्र से निकटतम किनारे तक अधिकतम किनारे की दूरी $12t\varepsilon$ से अधिक नहीं होनी चाहिए, जहां $\varepsilon$ = sqrt $(250/f_y)$ और $t$ पतली बाहरी प्लेट की मोटाई है।

**टाँका बोल्ट (Tacking Bolts)** *(IS 800:2007)*

- ये सामर्थ्य पर विचार के अलावा प्रदान किए गए अतिरिक्त बोल्ट है।
- इन बोल्टो की अधिकतम पिच $32t$ या 300 mm, जो भी कम हो, होनी चाहिए, जहां $t$ पतली प्लेट की मोटाई है।
- यदि उपांग मौसम के संपर्क मे है, तो पिच बाहरी प्लेट की मोटाई के 16 गुना या 200 mm, जो भी कम हो, से अधिक नहीं होनी चाहिए।

**सामर्थ्य प्रावधान (Strength Provisions):**

बोल्ट की अभिकल्पन स्ट्रेंथ $V_{db}$ कम से कम होती है—

1. बोल्ट की अभिकल्पन अपरूपण सामर्थ्य $V_{dsb}$, और
2. बोल्ट की अभिकल्पन बियरिंग सामर्थ्य $V_{dph}$।

**एक बोल्ट की अपरूपण क्षमता (Shear Capacity of a Bolt)** *(IS 800:2007)*

बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य अपरूपण $V_{dsb}$ में इस प्रकार है—

$$V_{dsb} = \frac{V_{nsb}}{Y_{mb}}$$

$$V_{nsb} = \frac{f_u}{\sqrt{3}} \times [n_n A_{nb} + n_s A_{sb}]$$

यहाँ, $V_{nsb}$ = बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता

$f_u$ = बोल्ट सामग्री की चरम तनन सामर्थ्य

$n_n$ = अपरूपण तलो को अवरुद्ध करने वाली चूड़ियों के साथ अपरूपण तलों की संख्या

$n_s$ = अपरूपण तल को अंत:रूद्ध (intercept) किए विना अपरूपण तल की संख्या।

$A_{sb}$ = बोल्ट का अभिहित सादा शैंक क्षेत्रफल

$A_{nb}$ = चूड़ियो पर बोल्ट का शुद्ध अपरूपण क्षेत्रफल
= चूड़ियो पर मूल व्यास के अनुरूप क्षेत्रफल
$= \frac{\pi}{4}[d - 0.9382p]^2$ (I.S. 1367 भाग-1)
= शैंक के सकल क्षेत्रफल का 0.78 से 0.80 (तालिका देखें)

$Y_{mb}$ = बोल्ट सामग्री = 1.25 के लिए सुरक्षा का आंशिक सुरक्षा गुणक *(IS 800:2007)*



**एक बोल्ट की बियरिंग क्षमता (Bearing Capacity of a Bolt)** *(IS 800:2007)*

बियरिंग $V_{dph}$ में एक बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य दी जाती है—

$$V_{dph} = \frac{V_{nph}}{Y_{mb}}$$

$$V_{nph} = 2.5\, k_b\, dtf_u$$

यहाँ, $V_{nph}$ = एक बोल्ट की अभिहित बियरिंग सामर्थ्य

$k_b = \frac{e}{3d_0}, \frac{p}{3d_0} - 0.25, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1$ सबसे छोटा

$e, p$ = बियरिंग दिशा के साथ बंधक के सिरे और पिच दूरी

$d_0$ = गोले का व्यास

$d$ = बोल्ट का अभिहित व्यास

$t$ = एक ही दिशा में तनाव का सामना करने वाली जुड़ी प्लेटों की मोटाई का योग (summation), या यदि बोल्ट शंकुखात (countersunk) हैं, तो प्लेट की मोटाई में से घटाये शंकुखात गहराई का एक आधा।

**एक बोल्ट की तनन क्षमता (Tension Capacity of a Bolt)** *(IS 800:2007)*

तनन में एक बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य

$$T_{db} = \frac{T_{nb}}{Y_{mb}}$$

$$T_{nb} = 0.9\, f_{ub} A_{nb} < f_{yb} A_{sh} \frac{Y_{mb}}{Y_{mo}}$$

यहाँ, $T_{nb}$ = बोल्ट की अभिहित तनन क्षमता, जैसे गणना कि गई है,

$f_{ub}$ = बोल्ट का पराभव प्रतिबल

$A_n$ = शुद्ध तनन प्रतिबल क्षेत्रफल = चूड़ियों के बॉटम का क्षेत्रफल, और

$A_{sh}$ = बोल्ट का शैंक क्षेत्रफल

$Y_{mo}$ = पराभव द्वारा अधिनियंत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.10

$Y_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक

**बोल्ट जोड़ अपरूपण और मरोड़ के अधीन (Bolt subjected to Combined Shear and Torsion)** *(IS 800:2007)*

एक बोल्ट एक साथ अपरूपण और मरोड़ के अधीन एक स्थिति को पूरा करना चाहिए

$$\left(\frac{V_{sf}}{V_{db}}\right)^2 + \left(\frac{T_b}{T_{db}}\right)^2 \le 1$$

यहाँ, $V_{sb}$ = बोल्ट पर कार्यरत अपरूपण बल

$V_{db}$ = बोल्ट की अभिकल्पन अपरूपण क्षमता

$T_b$ = बोल्ट पर कार्यरत तनन बल

$V_{db}$ = बोल्ट की अभिकल्पन तनन क्षमता

**बोल्ट घर्षण के अधीन (Bolt subjected to Friction)** *(IS 800:2007)*

$$V_{dsf} = \frac{V_{nsf}}{Y_{mf}}$$

civilguru.net

$$V_{msf} = \mu_f n_e K_h F_0$$

यहाँ, $\mu_f$ = तालिका मे निर्दिष्ट घर्षण (सर्पण गुणक) का गुणांक ($\mu_f = 0.55$)

$n_e$ = सर्पण के लिए घर्षण प्रतिरोध की पेशकश करने वाले प्रभावी अंतरपृष्ठ की संख्या

$K_h$ = अवकाश छिद्र मे बधको के लिए 1.0.

= अध्यामापित (Oversized) और लंबवत् भारित किए गए छोटे खांचित छिद्र में बंधकों के लिए 0.85

$V_{msf}$ = 1.10 (यदि सर्पण प्रतिरोध सेवा भार पर अभिकल्पन किया गया है)

= 1.25 (यदि सर्पण प्रतिरोध चरम भार पर अभिकल्पन किया गया है)

$F_o$ = स्थापना मे न्यूनतम बोल्ट तनन (प्रुफ भार) और इसे $A_{nb} f_o$ के रूप मे लिया जा सकता है

$A_{nb}$ = चूड़ियो एर बोल्ट का शुद्ध अपरूपण क्षेत्रफल

$f_o$ = प्रुफ प्रतिबल ($= 0.70 f_{ub}$)

## § 3A.7. बोल्ट जोड़ों की विफलता (Failure of Bolted Joints) :

बोल्ट वाले जोड़ निम्न मे से किसी भी तरीके से विफल हो सकते है, जिनमें से कुछ विफलताओं को किनारे की दूरी के विनिर्देशो के अनुपालन से जाचा जा सकता है। विफलता की दो मुख्य श्रेणियां हैं—बोल्ट की विफलता और भागों की विफलता जुड़ी हुई है।

**बोल्ट की अपरूपण विफलता (Shear Failure of Bolts)**—लागू बलों के कारण प्लेटो के फिसलने पर अपरूपण तनाव उत्पन्न होते है। बोल्ट मे अधिकतम गुणक अपरूपण बल बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता से अधिक हो सकता है। बोल्ट की अपरूपण विफलता बोल्ट अपरूपण तल मे होती है। बोल्ट एकल अपरूपण या दोहरे अपरूपण में विफल हो सकता है (चित्र 3A.6 (a) देखें)।

**बोल्ट की बियरिंग विफलता (Bearing Failure of Bolts)**—इस स्थिति में, बोल्ट को लगभग आधे परिधि को संदलित (crushed) कर दिया जाता है। प्लेट बियरिंग मे मजबूत हो सकती है और सबसे भारी तनाव वाली प्लेट बोल्ट शैंक को दबा सकती है (चित्र 3A.6 (b) देखें)। बोल्ट की बियरिंग विफलता आमतौर पर व्यवहार में नहीं होती है, सिवाय इसके कि जब प्लेटे उच्च सामर्थ्य इस्पात से बनी होती है और बोल्ट बहुत कम ग्रेड इस्पात होते है

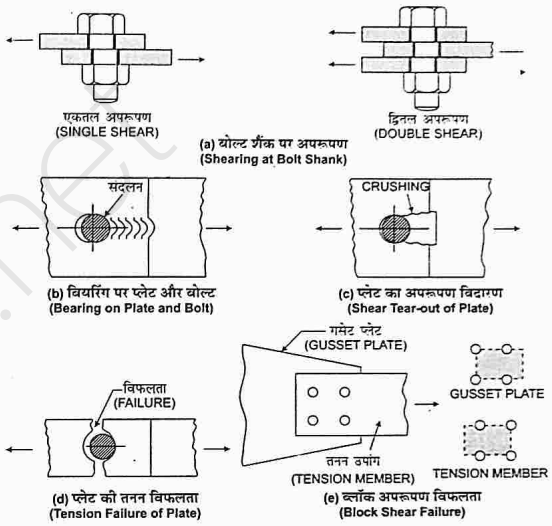
**प्लेटों की बियरिंग विफलता (Bearing Failure of Plates):** जब एक साधारण बोल्ट अपरूपण बलों के अधीन होता है, तो सर्पण (slip) होता है और बोल्ट प्लेटो के सपर्क मे आती है। यदि प्लेट सामग्री बोल्ट सामग्री की तुलना मे कमजोर है, प्लेट संदलित हो सकती है (चित्र 3A.6 (b) देखें)। बियरिंग समस्या को भार की दिशा में बोल्ट या किनारे की निकटता की उपस्थिति से जटिल हो सकती है। बोल्ट स्पेसिंग और सिरा-दूरी बियरिंग सामर्थ्य को प्रभावित करेगी (चित्र 3A.6 (c) देखें)।

**तनाव के अधीन बोल्ट (Tension Failure of Bolts)**—बोल्ट की तनाव विफलता तनाव क्षेत्र में असफल हो सकती है। यदि किसी भी संयोजी प्लेटो मे से कोई भी बोल्ट में प्रेरित अतिरिक्त बलो पर भी विचार किया जाना चाहिए।

**तनाव या प्लेटों की विफलता (Tension or Tearing Failure of Plates)**— विदारण (rupture) विफलता तब होती है जब बोल्ट प्लेटो की तुलना मे मजबूत होते है। सकल क्षेत्र (पराभवी) और शुद्ध प्रभावी क्षेत्र (विदारण) दोनों पर तनाव माना जाना चाहिए। विदारण मे एक प्लेट की तनाव विफलता (चित्र 3A.6 (d) देखें)।

**ब्लॉक अपरूपण विफलता (Block Shear Failure)**—बोल्ट को आवश्यक की तुलना में कम अंत दूरी पर रखा जा सकता है जिससे प्लेटो को अपरूपण करना है, हालांकि, अंत दूरी के लिए विनिर्देशों को देखकर जांच की जा सकती है। ब्लॉक अपरूपण मे सयोजन की विफलता (चित्र 3A.6 (e) देखे) तब हो सकती है जब बोल्ट किए गए क्षेत्र के भीतर सामग्री का एक ब्लॉक शेष क्षेत्र से दूर हो जाता है।






**चित्र 3A.6. बोल्ट किए गए जोड़ों की विफलता मोड (Failure modes of bolted joints)**

## § 3A.8. बोल्ट जोड़ों के लिए विनिर्देश (Specifications for Bolted Joints) :

### बोल्ट का व्यास (Diameter of Bolts)

आम तौर पर, कुछ बड़े व्यास बोल्ट के साथ एक संयोजन कई छोटे व्यास बोल्ट के साथ एक ही क्षमता मे से एक से भी कम खर्च करता है। बोल्ट कम, छिद्र की संख्या कम हो जाती है और कम स्थापना कार्य। बड़े व्यास बोल्ट संयोजनो मे विशेष रूप से अनुकूल है जहां अपरूपण मुख्य गुणक है, क्योंकि अपरूपण में बोल्ट क्षमता बोल्ट व्यास के वर्ग के रूप मे भिन्न होती है।

### बोल्ट छिद्र की दूरी (Spacing of Bolt Holes)

पिच, किनारा-दूरी और सिरे-दूरी एक संयुक्त में बोल्ट छिद्र की दूरी को परिभाषित करती है (चित्र 3A.7 देखें)।

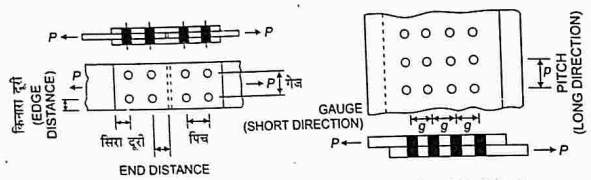
**पिच (Pitch) ($p$):** पिच बोल्ट की एक पंक्ति (row) के साथ मापित दो क्रमागत बोल्टों के केंद्रो के बीच की दूरी है। एक पंक्ति आम तौर पर एक उपांग मे तनाव के समानांतर बोल्ट की एक पंक्ति को संदर्भित करती है। चौड़ी प्लेटों के लिए पिच को उपांग या संयोजन की लंबाई के साथ मापित बोल्ट की c/c दूरी के रूप मे भी परिभाषित किया जा सकता है। यदि बोल्ट को घेर लिया जाता है तो पिच को असंमुखी पिच (staggered pitch) के रूप मे जाना जाएगा।

(a) **न्यूनतम पिच** *(Minimum Pitch):* बोल्ट को पर्याप्त दूरी पर अलग रखा जाना चाहिए और दो बोल्ट के बीच उपागो की विफलता को रोकने के लिए न्यूनतम पिच सुनिश्चित की जाती है, और बोल्ट को कुशल स्थापना को अनुमति देने के लिए,

यानी बोल्ट को कसने के लिए पर्याप्त जगह सुनिश्चित करने के लिए, वाशर के अतिव्यापन (overlapping) को रोकने के लिए सुनिश्चित किया जाता है, और बोल्ट के विदारण को रोकने के लिए पर्याप्त प्रतिरोध प्रदान करते हैं।

**(b) अधिकतम पिच** (*Maximum Pitch*): संयोजन और गसेट प्लेट की लंबाई को कम करने के लिए बोल्ट को पर्याप्त रूप से बंद करना आवश्यक है, यानी, एक संहत (compact) जोड़ और बोल्ट मे एक समान तनाव रखने के लिए।

**गेज (Gauge) (g):** गेज निकटवर्ती बोल्ट लाइनो के बीच की दूरी है, या वेल्लित खंड (rolled section) के पीछे की दूरी और पहली बोल्ट लाइन, या उपांग या संयोजन की चौड़ाई के साथ मापित दो क्रमागत बोल्ट के बीच केंद्र से केंद्र तक की दूरी है।




(a) दोहरा-कवर टक्करी जोड़ (Double-Cover Butt Joint)

(b) चढ़ाव जोड़ चौड़ी प्लेटों सहित (Lap Joint With Wide Plates)

चित्र 3A.7. बोल्ट छिद्र की दूरी (Spacing of bolt holes)

### कोर दूरी (Edge Distance)

कोर दूरी बोल्ट छिद्र के केंद्र से उपांग के आसन्न किनारे तक तनाव की दिशा में समकोण पर दूरी है, जबकि तत्व के अंत तक एक छिद्र के केंद्र से तनाव की दिशा में दूरी को अंत दूरी कहा जाता है। बोल्ट छिद्र को किनारों के पास भी नहीं रखा जाना चाहिए अन्यथा तनाव में प्लेट की विफलता हो सकती है, और छिद्र के विपरीत प्लेट का इस्पात बाहर हो सकता है और दरार हो सकती है।

तालिका 3A.3. बोल्ट की न्यूनतम कोर दूरी (Minimum Edge Distance of Bolts)

| बोल्ट का अभिहित व्यास (Nominal Diameter of Bolt) (mm) ($d$) | गोले का व्यास (Diameter of Hole) (mm) ($d_o$ or $d_h$) | अपरूपण या हस्त ज्वाला कट कोर की दूरी (Distance to Sheared or Hand Flame Cut Edge) (mm) | वेल्लित, मशीन ज्वाला कट, चीरी या सादी कोर दूरी (Distance to Rolled, Machine Flame Cut, Sawn or Plained Edge) ($e$) (mm) |
|---|---|---|---|
| 12 | 13 | 20 | 19 |
| 14 | 15 | 26 | 23 |
| 16 | 18 | 30 | 27 |
| 18 | 20 | 34 | 30 |
| 20 | 22 | 37 | 33 |
| 22 | 24 | 40 | 36 |
| 24 | 26 | 44 | 39 |
| 27 | 30 | 51 | 45 |
| 30 | 33 | 56 | 50 |
| Over 33 mm | Bolt diameter + 3 mm | 1.7 × hole diameter | 1.5 × hole diameter |



### टाँका बोल्ट (Tacking Bolts)

टाँका या बिंदुकित (Tack or Stitch) बोल्ट का उपयोग खण्ड को एकजुट करने के लिए किया जाता है, और संपीड़न उपांगों में व्याकुंचन (buckling) को कम करने के लिए, जब दो या दो से अधिक खण्ड सपर्क मे होते हैं। जब ऐसे मामलो में क्रमागत दो बोल्ट के केंद्रों के बीच की दूरी $12t$ या 200 mm की अधिकतम निर्दिष्ट पिच से अधिक है, जो भी संपीड़न उपांगो मे कम है; और $16\,t$ या 200 mm, जो भी तनन उपांगो मे कम हो, अतिरिक्त बोल्ट प्रदान किए जाते हैं। इन बोल्ट को गणना किए गए तनन के अधीन नहीं किया जाता है और उन्हें टाँका या बिंदुकित बोल्ट कहा जाता है।

### बंधकों का संयोजन (Combination of Fasteners)

जब अपरूपण भार ले जाने के लिए बंधकों के विभिन्न रूपों का उपयोग किया जाता है या जब वेल्डिंग और बंधकों को जोड़ा जाता है, तो बंधकों का एक रूप सामान्य रूप से कुल भार ले जाने के लिए अभिकल्पन किया जाना चाहिए।

## § 3A.9. बोल्ट जोड़ों के सिद्धांत में धारणाएं (Assumptions in the Theory of Bolted Joints) :

बोल्ट संयोजन बियरिंग के अभिकल्पन में किए गए धारणाएं हैं—

(i) प्लेटों के बीच घर्षण नगण्य है।

(ii) अपरूपण अनुप्रस्थ-काट (Cross-section) पर समान है।

(iii) प्रत्यक्ष भार के अधीन एक समूह में बोल्ट भार को समान रूप से साझा करते हैं।

ध्यान दें कि बोल्ट को एक घर्षण रहित पिन माना जाता है, बोल्ट और बोल्ट छिद्र के बीच शून्य अवकाश होता है। बोल्ट को कठोर माना जाता है, कोई ग्राभी बल (clamping force) नहीं माना जाता है। पूरे वितरित कोर भार को बोल्ट द्वारा अपने केंद्र में लागू एक केंद्रित बल के रूप में प्रतिक्रिया दी जाती है।

## § 3A.10. बोल्ट जोड़ की सामर्थ्य और दक्षता (Strength and Efficiency of Bolted Joint) :

एक बोल्ट जोड़ की सामर्थ्य नेट सेक्शन में मुख्य उपांग की जोड़ और सामर्थ्य में, अपरूपण और बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य के आधार पर न्यूनतम सामर्थ्य है। एक बोल्ड जोड़ की दक्षता ($\eta$) को जोड़ की प्रतिशत सामर्थ्य भी कहा जाता है जो मुख्य उपांग की सामर्थ्य के लिए संयुक्त की सामर्थ्य का अनुपात प्रतिशत के रूप में व्यक्त किया जाता है। एक विशेष बोल्ट जोड़ की प्रभावशीलता को इसकी दक्षता से मापा जाता है।

$$\eta \text{ (प्रतिशत में)} = \frac{\text{बोल्ट जोड़ की सामर्थ्य/पिच लम्बाई}}{\text{ठोस प्लेट की सामर्थ्य/पिच लम्बाई}} \times 100$$

## § 3A.11. बियरिंग-प्रकार संयोजन (Bearing-Type Connections) :

बियरिंग-प्रकार के संयोजन में, यह माना जाता है कि स्थानांतरित होने वाला भार बोल्ट को कसने के कारण घर्षण प्रतिरोध से बड़ा होता है, नतीजतन उपांग एक-दूसरे पर थोड़ा सा फिसलते हैं, बोल्ट को अपरूपण और बियरिंग मे रखते हैं। अतः, संयोजन बनाने के लिए आवश्यक बोल्टों की संख्या बोल्ट की सामर्थ्य से विभाजित भार द्वारा दी जाती है। आम तौर पर, एक न्यूनतम दो या तीन बोल्ट प्रदान किए जाते हैं, भले ही एक की आवश्यकता हो, क्योंकि एक बोल्ट अनुचित स्थापना, भौतिक कमजोरी इत्यादि के कारण अपनी निर्दिष्ट सामर्थ्य तक रहने में असफल हो सकता है, लेकिन यदि कई बोल्ट प्रभावो का उपयोग किया जाता है समूह में एक खराब बोल्ट को दूर किया जाएगा। एक बोल्ट की सामर्थ्य अपरूपण, बियरिंग और तनन (जैसा भी मामला हो) में बोल्ट की न्यूनतम सामर्थ्य है। जोड़ रूप से बोल्ट की संख्या के साथ गुणा एक बोल्ट की सामर्थ्य बोल्ट के आधार पर संयुक्त की सामर्थ्य देती है। लेकिन, एक जोड़ की विफलता बोल्ट या प्लेट मे हो सकती है। इसलिए, जोड़ की सामर्थ्य प्लेट की जोड़ और शुद्ध तनन सामर्थ्य में बोल्ट की सामर्थ्य के आधार पर जोड़ की सामर्थ्य होगी।

### बोल्ट की अपरूपण सामर्थ्य (Shearing Strength of Bolts)

सर्पण के तल के साथ बोल्ट शैंक अपरूपण, जिसका अर्थ है अंतरपृष्ठ (interface)। उन तलों की संख्या जिनके साथ बोल्ट को अपरूपित (sheared) किया जा सकता है, वह अपरूपण की संख्या इंगित करता है, यानी एकल या दोहरा अपरूपण। एक बोल्ट की अपरूपण के प्रतिरोध को अपरूपण में बोल्ट की अभिहित क्षमता कहा जाता है और $V_{nsb}$ द्वारा दर्शाया जाता है। अभिहित क्षमता बोल्ट की चरम तनन सामर्थ्य $f_{ub}$ पर निर्भर करती है, अपरूपण तलों की संख्या $n$, अभिहित शैंक क्षेत्रफल $A_{sb}$ और प्रत्येक अपरूपण तल में बोल्ट के शुद्ध तनन प्रतिबल क्षेत्रफल $A_{nb}$। बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता दी जाती है—

$$V_{nsb} = \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}} (n_n A_{nb} + n_s A_{sb}) \qquad \ldots(i)$$

लम्बे जोड़ो के लिए बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता, लम्बी पकड़ की लंबाई और पैकिंग प्लेटों के साथ कम होगी—

$$V_{nsb} = \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}} (n_n A_{nb} + n_s A_{sb}) \beta_{lj} \beta_{lg} \beta_{pkg} \qquad \ldots(ii)$$

यहाँ, $f_{ub}$ = बोल्ट का चरम तनन प्रतिबल

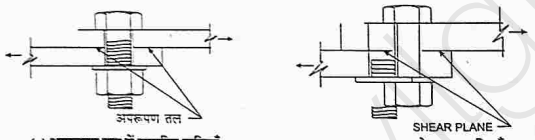
$n_n$ = अपरूपण तल को रोकने वाली चूड़ियों सहित अपरूपण तलों की संख्या

$n_s$ = अपरूपण तल को रोकने वाली चूड़ियों के बिना अपरूपण तलों की संख्या

$\beta_{lj}$ = लम्बे संयोजन में होने वाले अंत बोल्ट के ओवरलोडिंग की अनुमति देने के लिए एक लघुकरण गुणक (Reduction Factor)

$\beta_{lg}$ = बड़ी पकड़ की लंबाई के प्रभाव की अनुमति देने के लिए एक लघुकरण गुणक

$\beta_{pkg}$ = 6 mm से अधिक पैकिंग प्लेटो के लिए एक लघुकरण गुणक।




(a) अपरूपण तल में समाहित चूड़ियाँ (Threads Included in the Shear Plane)

(a) अपरूपण तल से बाहर चूड़ियाँ (Threads Excluded from the Shear Plane)

चित्र 3A.8. अपरूपण में बोल्ट (Bolt in shear)

अपरूपण में बोल्ट की सुरक्षा के लिए, बोल्ट की सामर्थ्य $V_{sb}$, अर्थात्, बोल्ट जो अधिकतम फैक्टरड अपरूपण बल कैरी कर सकता है वह बोल्ट की अभिकल्पित अपरूपण सामर्थ्य से कम होना चाहिए ($V_{sb} \le V_{dsb}$)। अपरूपण में बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य दी जाती है—

$$V_{dsb} = \frac{V_{nsb}}{\gamma_{mb}} \qquad \ldots(iii)$$

यहाँ $\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

### लम्बे जोड़ों के लिए लघुकरण गुणक (Reduction Factor for Long Joints) ($\beta_{lj}$)

जब जोड़ो की लंबाई $15d$ ($d$ बोल्ट का अभिहित व्यास है) से अधिक हो जाती है तो जोड़ की अपरूपण क्षमता जोड़ के चरम बोल्ट में अत्यधिक तनाव से बचने के लिए कम हो जाती है। लघुकरण गुणक को अग्र प्रकार में व्यक्त किया जाता है—



$$\beta_{lj} = 1.075 - \frac{l_j}{200d} \quad \text{for} \quad 0.75 \le \beta_{lj} \le 1.0 \qquad \ldots(iv)$$

यहाँ $l_j$ जोड़ की लंबाई है और भार स्थानांतरण की दिशा में मापा जोड़ रूप से बोल्ट की पहली और आखिरी पंक्ति के बीच की दूरी के रूप में लिया जाता है।

ध्यान दें कि जोड़ों के लिए पूरे लंबाई पर समान अपरूपण वाले जोड़ों के लिए $\beta_{lj} = 1.0$, उदाहरण के लिए वेब का संयोजन और एक प्लेट गर्डर का फ्लेंज।

### बड़ी पकड़ की लंबाई के लिए लघुकरण गुणक (Reduction Factor for Large Grip Lengths) ($\beta_{lg}$)

जब एक बोल्ट की पकड़ की लंबाई बढ़ जाती है, तो बोल्ट अपने शैंक पर लगने वाले अपरूपण बलों के कारण एक बड़ा बंकन आघूर्ण के अधीन होता है। इसलिए, यदि जुड़ी प्लेटों की कुल मोटाई बोल्ट के अभिहित व्यास के पांच गुना से अधिक हो जाती है, तो बोल्ट की अपरूपण क्षमता कम हो जाती है।

$$\beta_{lg} = \frac{8d}{3d + l_g} \qquad \ldots(v)$$

यहाँ $l_g$ पकड़ की लंबाई है।

### पैकिंग प्लेटों के लिए लघुकरण गुणक (Reduction Factor for Packing Plates) ($\beta_{pkg}$)

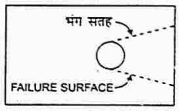
जब पैकिंग प्लेटें मोटाई में छह mm से अधिक होती हैं, तो बोल्ट का शैंक बंकन के अधीन होता है जो बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता को प्रभावित करता है। एक लघुकरण गुणक का उपयोग करके इस तरह के बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता कम हो जाती है—

$$\beta_{pkg} = 1 - 0.0125 t_{pkg} \qquad \ldots(vi)$$

यहाँ $t_{pkg}$ mm में मोटी पैकिंग प्लेट की मोटाई है।

### बोल्ट की सामर्थ्य बियरिंग (Bearing Strength of Bolt)

बोल्ट किए गए जोड़ों पर परीक्षणों से पता चलता है कि बोल्ट की अभिहित बियरिंग सामर्थ्य बोल्ट के ग्रेड और धातु के संपर्क में स्वतंत्र होती है। बोल्ट के संपर्क में न तो बोल्ट और न ही धातु बियरिंग में विफल रहती है। इसके अलावा, परीक्षणों ने यह भी दिखाया है कि बियरिंग प्रतिबलों का परिमाण (magnitude) संयोजित (connect) किए गए हिस्सों की दक्षता को प्रभावित करता है। इसलिए, विनिर्देश सीमा से ऊपर अभिहित बियरिंग सामर्थ्य के मान को सीमित करता है, जिससे वे महसूस करते हैं कि जुड़े हिस्सों की सामर्थ्य खराब होने की उम्मीद है। इसलिए, ये बियरिंग प्रतिबल केवल जुड़े हिस्सों की क्षमताओं की सूचकांक हैं और बियरिंग असफलताओं से बोल्ट की रक्षा के लिए निर्दिष्ट नहीं है क्योंकि उन्हें ऐसी सुरक्षा की आवश्यकता नहीं है।




चित्र 4.9. अत्यधिक बियरिंग में विफलता—चरम अपरूपण विदारण (Failure in Excessive Bearing—End Shear Tear-out)

बोल्ट-छिद्र की अत्यधिक लम्बाई को रोकने के लिए, बोल्ट की अभिहित बियरिंग सामर्थ्य पर ऊपरी सीमा रखी जाती है। बोल्ट की अभिहित बियरिंग सामर्थ्य दी जाती है—

$$V_{npb} = 2.5 k_b d t f_u \qquad \ldots(vii)$$

### बोल्ट की तनन सामर्थ्य (Tensile Strength of Bolt)

बोल्ट की अभिहित तनन क्षमता एक तथ्यात्मक तनन बल ($T_b$) के अधीन दी गई है—

$$T_{nb} = 0.9 f_{ub} A_{nb} \qquad \ldots(viii)$$

$$< f_{ub} A_{sb} \frac{\gamma_{mb}}{\gamma_{m0}} \quad \text{...(ix)}$$

यहाँ, $f_{ub}$ = बोल्ट का चरम तनन प्रतिबल

$f_{yb}$ = बोल्ट का पराभव प्रतिबल

$A_{nb}$ = बोल्ट का शुद्ध तनन प्रतिबल क्षेत्रफल

$A_{sb}$ = बोल्ट का शैंक क्षेत्रफल

बोल्ट तनन मे सुरक्षित है यदि गुणक तनन बल बोल्ट की अभिकल्पन तनन सामर्थ्य से कम है ($T_b \le T_{db}$)। तनन में बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य दी जाती है—

$$T_{db} = \frac{T_{ob}}{\gamma_{mb}} \quad \text{...(x)}$$

यहाँ, $\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$\gamma_{m0}$ = पराभव द्वारा अधिनियंत्रित सामग्री प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.10

## कार्यकारी प्रतिबल अभिकल्पन (Working Stress Design)

### बोल्ट में अपरूपण प्रतिबल *(Shear Stress in Bolt)*

एक बोल्ट मे वास्तविक अपरूपण प्रतिबल, $f_{sb} = \frac{V_{sb}}{A_{sb}}$ ...(xi)

एक बोल्ट में स्वीकार्य अपरूपण प्रतिबल, $f_{asb} = \frac{0.6 V_{nsb}}{A_{sb}}$ ...(xii)

यहाँ, $V_{sb}$ = कार्यकारी (सेवा) भार के तहत वास्तविक अपरूपण बल

$V_{nsb}$ = बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता; $A_{sb}$ = बोल्ट का अभिहित तल शैंक क्षेत्रफल

### बोल्ट में बियरिंग प्रतिबल *(Bearing Stress in a Bolt)*

किसी भी प्लेट पर बोल्ट का वास्तविक बियरिंग तनाव, $f_{pb} = \frac{V_{sb}}{A_{pb}}$ ...(xiii)

बोल्ट में अनुमत अपरूपण प्रतिबल, $f_{apb} = \frac{0.6 V_{npb}}{A_{pb}}$ ...(xiv)

यहाँ $V_{npb}$ = किसी भी प्लेट पर बोल्ट की अभिहित बियरिंग क्षमता

$A_{pb}$ = किसी भी प्लेट पर बोल्ट का अभिहित बियरिंग क्षेत्रफल

### बोल्ट में प्रतिबल तनन *(Tensile Stress in a Bolt)*

बोल्ट का वास्तविक तनन प्रतिबल, $f_{tb} = \frac{T_s}{A_{sb}}$ ...(xv)

बोल्ट का स्वीकार्य तनन प्रतिबल, $f_{atb} = \frac{0.6 T_{nb}}{A_{sb}}$ ...(xvi)

यहाँ $T_s$ = कार्यकारी सर्विस भार के तहत बोल्ट में तनाव; $T_{nb}$ = बोल्ट की अभिहित तनन क्षमता



### अपरूपण और तनाव के अधीन बोल्ट *(Bolts Subjected to Shear and Tension)*

जब बोल्ट जोड़ अपरूपण और तनाव के अधीन होते हैं, तो बोल्ट को दिए गए पारस्परिक सूत्र (interaction formula) द्वारा जांचा जाना चाहिए। इसके अलावा, वास्तविक अपरूपण और तनन प्रतिबल स्वतंत्र रूप से स्वीकार्य अपरूपण और तनन प्रतिबल से अधिक नहीं होना चाहिए।

$$\left(\frac{f_{sb}}{f_{asb}}\right)^2 + \left(\frac{f_{tb}}{f_{atb}}\right)^2 \le 1 \quad \text{...(xvii)}$$

## § 3A.12. बोल्ट संयोजन अभिकल्पन में सामान्य सिद्धांत (General Principles in Bolted Connection Designs) :

संरचनात्मक संयोजन की आवश्यकता तब उत्पन्न होती है जब दो अलग-अलग उपांगों को एक साथ जोड़ना होता है। बीम को कॉलम से या बीम को बीम से जोड़ना या एक लंबा उपांग बनाने के लिए एक जोड़ पट्टी (splice) प्रदान करना, बोल्ट किए गए संयोजन के कुछ उदाहरण हैं।

**बोल्टेड संयोजन बनाने में निम्नलिखित सामान्य सिद्धांतों का पालन किया जाना चाहिए—**

(i) संघट्ट, कंपन, भार रिवर्सल के लिए उत्तरदायी उपांगों की स्थितियों में संयोजन को अवकाश छिद्र में बोल्ट का उपयोग नहीं करना चाहिए।

(ii) व्यास 30 mm और अधिक के बोल्ट, विशेष रूप से HSFG बोल्ट संस्थापन समस्याओं (installation problems) का कारण बन सकते हैं। वैकल्पिक रूप से, कम व्यास के अधिक संख्या में बोल्ट प्रदान करने की सलाह दी जाती है।

(iii) एक संरचना के संयोजन में बोल्ट के एक विशेष ग्रेड पर मानकीकरण करना अच्छा है। एक संरचना मे बोल्ट के विभिन्न आकारों और ग्रेडों की संख्या को सीमित करना भी अच्छा है। जहां सम्मोहक स्थितियों मे बोल्ट के विभिन्न ग्रेड के उपयोग की आवश्यकता होती है, अनजाने में बोल्ट के निर्दिष्ट उच्च ग्रेड के स्थान पर निचले ग्रेड के बोल्ट का उपयोग करके स्पष्ट रूप से ग्रेड और आकार को रिकॉर्ड करके टाला जा सकता है, उदाहरण के लिए, 16 mm ब्लैक बोल्ट, 20 mm ग्रेड 4.6 आदि।

(iv) HSFG बोल्ट का सुझाव देने से पहले, संभावित संस्थापन समस्याओं की जांच करना आवश्यक है। इन बोल्टों का उपयोग केवल तभी किया जा सकता है जब अत्यंत आवश्यक हो।

(v) कॉलम में अनावश्यक सिरा सन्धियों (splicing) से बचना बेहतर है जब तक कि सामग्री की काफी बचत न हो या विशेष गुणकों को ऐसी सिरा सन्धियों की आवश्यकता हो। यह संभावना है कि कॉलम को अपने बड़े सेक्शन के माध्यम से चलने देना सस्ता हो सकता है।

**बोल्ट छिद्र (Bolt Holes):** उपांगों के लिए सामग्री की एक से अधिक मोटाई के माध्यम से छिद्र, जैसे कि संयुक्त स्थाणुक (compound stanchions) और गर्डर फ्लैंजों, जहां संभव हो, उपांगों को समन्वायोजित करने और कसकर क्लैंप या एक साथ बोल्ट करने के बाद ड्रिल किए जाना चाहिए। बोल्ट के लिए एक गोल छिद्र या तो मशीन ज्वाला कट या पूर्ण आकार का ड्रिल किया हुआ होना चाहिए, या आकार के तहत 3 mm उप-छिद्रण (sub-punch) किया जाना चाहिए और आकार मे फिर से बनाया जाना चाहिए या पूर्ण आकार में छिद्रित होना चाहिए।

कॉलम बेस प्लेट में छिद्र के लिए साइट सुधार उपाय के अलावा बोल्ट छिद्र की हस्त ज्वाला कट (hand flame cut) की अनुमति नहीं दी जाएगी।

**छिद्रण (Punching):** एक छिद्रित छिद्र की अनुमति केवल उस सामग्री में दी जानी चाहिए जिसका पराभव प्रतिबल $f_y = 360$ MPa से अधिक न हो और जहां मोटाई $5600/f_y$ mm से अधिक न हो। चक्रीय रूप से भार किए गए विवरण मे, 12 mm से अधिक मोटाई की प्लेटों मे छिद्रण से बचा जाना चाहिए। अधिक मोटाई और चक्रीय रूप से भार किए गए विवरण के लिए, छिद्रों को या तो ठोस से ड्रिल किया जाना चाहिए या उप-छिद्रण या उप-ड्रिल और परिवेधित (reamed) किया जाना चाहिए।

civilguru.com

सभी उप-छिद्रण छिद्रो के लिए डाई या सभी उप-ड्रिल्ड छिद्रो के लिए ड्रिल तैयार छिद्र के आवश्यक व्यास से कम से कम 3 mm छोटा होना चाहिए।

**अध्यामाप छिद्र (Oversize Holes):** नट के नीचे न्यूनतम मोटाई 4 mm की एक विशेष प्लेट वॉशर का उपयोग किया जाएगा, यदि छिद्र का व्यास बोल्ट के व्यास से 3 mm या अधिक बड़ा है। अध्यामाप छिद्र $1.25\,d$ या $(d+8)$ mm व्यास से अधिक नही होना चाहिए, यहां $d$ mm मे बोल्ट का अभिहित व्यास है।

एक छोटा खांचित छिद्र चौड़ाई मे उपयुक्त छिद्र के आकार और लंबाई मे $1.33d$ से अधिक नहीं होना चाहिए। एक लंबा खांचित छिद्र चौड़ाई मे उपयुक्त छिद्र के आकार और लंबाई मे $2.5d$ से अधिक नहीं होना चाहिए। यदि खांचे की लंबाई निर्दिष्ट लंबाई से अधिक है, तो घर्षण प्रकार के संयोजन मे भी खांचे की दिशा मे अपरूपण स्थानांतरण स्वीकार्य नहीं है।

खांचित छिद्र को या तो एक ऑपरेशन मे छिद्रित किया जाएगा या फिर दो गोल छिद्रो को अलग करके या ड्रिलिंग करके बनाया जाएगा और उच्च गुणवत्ता वाले यांत्रिक रूप से नियंत्रित ज्वाला कर्तन और गढ़ाई (flame cutting and dressing) द्वारा पूरा किया जाएगा ताकि यह सुनिश्चित हो सके कि बोल्ट खांचे की पूरी लंबाई में स्वतंत्र रूप से प्रगमन कर सके।

**आसंजित बोल्ट छिद्र (Fitted Bolt Holes):** खरादित और आसंजित (turned and fitted) बोल्ट के लिए छिद्र IS 919 (भाग 1 और 2) मे निर्दिष्ट सहिष्णुता के अधीन शैंक या बैरल के अभिहित व्यास के बराबर व्यास में ड्रिल किए जाने चाहिए। अधिमानत:, निकट सहिष्णुता या बैरल बोल्ट के साथ जुड़े भागों को बोल्ट या क्लैम्प्स और एक ऑपरेशन में सभी मोटाई के माध्यम से ड्रिल किए गए छिद्रो को एक साथ मजबूती से रखा जाएगा और बाद में आकार में बदल दिया जाएगा।

एक ऑपरेशन मे सभी मोटाई के माध्यम से ड्रिल नहीं किए गए सभी छिद्र छोटे आकार में ड्रिल किए जाएंगे और असेंबली के बाद फिर से तैयार किए जाएंगे। जहां यह व्यावहारिक नहीं है, वहां कठोर बुश इस्पात जिग्स के माध्यम से भागों को अलग से ड्रिल किया जाएगा और फिर से तैयार किया जाएगा।

बोल्ट के लिए छिद्र आमतौर पर गैस कर्तन की प्रक्रिया द्वारा नहीं बनाया जाना चाहिए। हालांकि, उन्नत गैस कर्तन की प्रक्रिया जैसे प्लाज्मा कर्तन का उपयोग केवल स्थिर रूप से भार किए गए उपांगों में छिद्र बनाने के लिए किया जा सकता है। चक्रीय रूप से भार किए गए उपांगो मे तनन प्रतिबल के अधीन होते हैं जो श्रांति (fatigue) के कारण कमजोर होते हैं, गैस कर्तन का उपयोग तब तक नहीं किया जाएगा जब तक कि छिद्र के आसपास ऊष्मा प्रभावित क्षेत्र में सामग्री को हटाने के लिए बाद में परिवेधन (reaming) न किया जाए।

**बोल्ट संयोजन का समन्वायोजन (Assembly of Bolted Connection):** बोल्ट किए गए उपांगों के सभी हिस्सों को समन्वायोजन के दौरान पिन या बोल्ट किया जाना चाहिए और मजबूती से एक साथ रखा जाना चाहिए।

घटक भागों को इस तरह से समन्वायोजित और संरेखित किया जाएगा कि वे न तो मुड़े और न ही अन्यथा क्षतिग्रस्त हों और इस तरह से तैयार किए जाएं कि निर्दिष्ट कैम्बर, यदि कोई हो, प्रदान किया जाए।

**समन्वायोजन में छिद्र (Holes in Assembly):** जब दो या दो से अधिक अलग-अलग हिस्सों के माध्यम से एक ऑपरेशन में छिद्र संचालित होते हैं, तो इन हिस्सो को, जब इंजीनियर द्वारा निर्दिष्ट किया जाता है, ड्रिलिंग के बाद अलग किया जाएगा और बर्र हटा दिए जाएंगे। ब्लैक बोल्ट के लिए सुमेलन छिद्र (matching hole) एक-दूसरे के साथ सुमेलित (register) होने चाहिए ताकि 1.3 mm या 2.0 mm (जैसा भी मामला हो, इस पर निर्भर करता है कि बोल्ट का व्यास 25 mm से कम है या 25 mm से अधिक है) के व्यास से कम व्यास बोल्ट छिद्र स्वतंत्र रूप से ऐसे उपांगो के लिए समकोण पर समन्वायोजित उपांगो से होकर गुजरेगा।

छिद्रो को संरेखित करने के लिए समन्वायोजन के दौरान की गई ड्रिलिंग धातु को विकृत नहीं करेगी या छिद्रों को बड़ा नहीं करेगी। बोल्ट के आसान प्रवेश की अनुमति देने के लिए आसन्न भाग में छिद्र पर्याप्त रूप से मेल खाना चाहिए। यदि आवश्यक हो, तो बड़े आकार या खांचित छिद्र को छोड़कर छिद्रो को मध्यम मात्रा मे परिवेधन (reaming) द्वारा बोल्ट स्वीकार करने के लिए बढ़ाया जा सकता है।



**चूड़ियों की लंबाई (Thread Length):** जब अभिकल्पन अपरूपण तल में बिना चूड़ी वाले शैंकों वाले बोल्ट पर आधारित हो, तो यह सुनिश्चित करने के लिए उपयुक्त उपाय निर्दिष्ट किए जाने चाहिए कि सहिष्णुता की अनुमति देने के बाद, अपरूपण तल में न तो चूड़ियाँ और न ही चूड़ी रन-आउट हो।

बोल्ट की लंबाई ऐसी होनी चाहिए कि नट के ऊपर कम से कम एक स्पष्ट चूड़ी दिखाई दे और कसने के बाद कम से कम एक चूड़ी और चूड़ी रन-आउट नट के नीचे स्पष्ट हो। घुमाए गए हिस्से के नीचे एक वॉशर उआघूर्णव्य कराया जाएगा।

**समन्वायोजन कंपन के अधीन (Assembly Subjected to Vibration):** जब गैर-पूर्व-भारित बोल्ट कंपन के अधीन संरचना में उपयोग किए जाते हैं, तो नटों को पाशन युक्ति या अन्य यांत्रिक माध्यम से सुरक्षित किया जाना चाहिए। पूर्व-भारित बोल्ट के नट को सामान्य कषण प्रक्रिया द्वारा पर्याप्त रूप से सुरक्षित माना जा सकता है।

**वाशर (Washers):** गैर-पूर्व-भारित बोल्ट पर सामान्य रूप से वाशर की आवश्यकता नहीं होती है, जब तक कि अन्यथा निर्दिष्ट न हो। पतला वाशर का उपयोग किया जाएगा जहां तल बोल्ट अक्ष के लंबवत एक तल के लिए 3 डिग्री से अधिक झुका हुआ है।

कठोर वाशर का उपयोग पूर्व-भारित बोल्ट या नट, जो भी घुमाया जाना है, के लिए किया जाएगा। बोल्ट की पकड़ के भीतर सभी सामग्री इस्पात की होनी चाहिए और किसी भी संपीड़ित सामग्री को पकड़ में रखने की अनुमति नहीं होगी।

**बोल्ट कसना (Bolting):** सभी मामलों में जहां बोल्ट के पूर्ण वियरिंग क्षेत्र को विकसित किया जाना है, बोल्ट के किसी भी चूड़ीदार हिस्से को मोटाई के भीतर होने या एक साथ बोल्ट किए गए हिस्सों से बचने के लिए बोल्ट को नट के नीचे पर्याप्त मोटाई के वॉशर के साथ प्रदान किया जाना चाहिए।

पूर्व तनन बोल्टों को एक उपयुक्त पूर्व-अंशांकित विधि द्वारा प्रारंभिक तनाव (प्रूफ प्रतिबल) के अधीन किया जाएगा।

**एक बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य** *(Design Strength of a Bolt)* **($V_{db}$):** एक बोल्टेड संयोजन को इस तरह से अभिकल्पन किया जाना चाहिए कि गुणक अपरूपण $V_{sb}$ बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य $V_{db}$ से अधिक न हो।

अर्थात् $$V_{sb} = V_{dh}$$

**बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य $V_{db}$ निम्न में से कम होती है—**

(i) बोल्ट की अभिकल्पन अपरूपण सामर्थ्य $V_{dsb}$, और

(ii) बोल्ट की अभिकल्पन बियरिंग सामर्थ्य $V_{dpb}$।

**(i) अभिकल्पन अपरूपण सामर्थ्य $V_{dsb}$ द्वारा दी गई है—**

$$V_{dsb} = \frac{V_{nsb}}{Y_{mb}}$$

यहाँ $V_{nsb}$ = बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता

$$= \frac{f_u}{\sqrt{3}}[n_n A_{nb} + n_s A_{sb}]$$

यहाँ $f_u$ = बोल्ट सामग्री की चरम तनन सामर्थ्य

$n_n$ = अपरूपण तल को अवरुद्ध करने वाले चूड़ियों के साथ अपरूपण तलो की संख्या

$n_s$ = अपरूपण तल को अवरुद्ध किए बिना अपरूपण तलों की संख्या

$A_{sb}$ = बोल्ट का अभिहित सादा शैंक क्षेत्रफल

$A_{nb}$ = चूड़ियों पर बोल्ट का शुद्ध अपरूपण क्षेत्रफल

= चूड़ियों पर मूल व्यास के अनुरूप क्षेत्रफल

$$A_{nb} = \frac{\pi}{4}[d - 0.9382p]^2$$

यहाँ $p$ = mm मे चूड़ियो की पिच = शैंक के सकल क्षेत्रफल का 0.78 से 0.80

$[\ ]_{mb}$ = बोल्ट सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

नीचे दी गई तालिका ग्रेड 4.6 बोल्ट के लिए चूड़ियो पर शुद्ध क्षेत्रफल देती है।

**चूड़ीदार सेक्शन या बोल्टों पर शुद्ध क्षेत्रफल (Net area at threaded section or Bolts)**

| बोल्ट व्यास (mm) | 12 | 16 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| चूड़ियो के मूल मे क्षेत्रफल ($mm^2$) | 84.3 | 157 | 245 | 303 | 353 | 459 | 561 | 817 |

ऊपर दिए गए बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता को लंबे जोड़ो के मामले मे, बड़ी पकड़ लंबाई के मामले में और जब मोटी पैकिंग प्लेट प्रदान की जाती है, कम करना पड़ता है।

**लंबे जोड़ों के लिए लघुकरण गुणक (Reduction factor for long joints) $[\ ]_{lj}$ :** जब दो से अधिक बोल्ट वाले सपीडन या तनाव उपाग मे एक जोड़ या सिरा सयोजन की जोड़ $l_j$ की लंबाई (जो भार हस्तांतरण की दिशा में मापे गये जोड़ मे बोल्ट की पहली और चरम पंक्तियो के बीच की दूरी है) लोड की दिशा में 15 $d$ से अधिक अभिहित अपरूपण क्षमता गुणक $[\ ]_{lj}$ द्वारा कम हो जाएगी—

$$\beta_{lj} = 1.075 - \frac{l_j}{200d} \quad \text{for} \quad 0.75 \le \beta_{lj} \le 1.0,$$

यहाँ $d$ = बोल्ट का अभिहित व्यास

**नोट (Note):** यह प्रावधान तब लागू नही होता जब जोड़ की लंबाई पर अपरूपण का वितरण एक समान होता है, जैसा कि एक खंड के वेब के फ्लैजो के सयोजन मे होता है।

**बड़ी पकड़ लंबाई के लिए लघुकरण गुणक (Reduction factor for large grip lengths) $[\ ]_{lg}$ :** जब ग्रिप की लबाई (जुड़े प्लेटो की कुल मोटाई के बराबर) बोल्ट के व्यास $d$ के 5 गुना से अधिक हो जाती है, तो अपरूपण क्षमता को गुणक $[\ ]_{lg}$ द्वारा कम किया जाएगा—

$$\beta_{lg} = \frac{8d}{3d + l_g}$$

$[\ ]_{lg}$ ग्रिप लबाई के ऊपर दिए गए $[\ ]_{lg}$ से अधिक नही होना चाहिए $l_g$ किसी भी स्थिति में $8d$ से अधिक नहीं होना चाहिए।

**पैकिंग प्लेट के लिए लघुकरण गुणक (Reduction Factor for Packing Plate) $[\ ]_{pk}$ :**

6 mm से अधिक की पैकिंग प्लेट के माध्यम से अपरूपण ले जाने वाले बोल्ट की अभिकल्पन अपरूपण क्षमता को एक गुणक $[\ ]_{pk}$ द्वारा कम किया जाएगा—

$$[\ ]_{pk} = (1 - 0.0125\, t_{pk}),$$

यहाँ $t_{pk}$ = mm मे मोटी पैकिंग प्लेट की मोटाई।

उपरोक्त सभी प्रावधानो को ध्यान मे रखते हुए, बोल्ट की अभिहित अपरूपण क्षमता निम्न द्वारा दी गई है—

$$V_{nsb} = \frac{f_u}{\sqrt{3}}[n_n A_{nn} + n_s A_{sh}]\beta_{lj}\,\beta_{lg}\,\beta_{pk}$$



(ii) किसी भी प्लेट पर बोल्ट की अभिकल्पन बियरिंग क्षमता $V_{dpb}$ दी जाती है—

$$V_{dpb} = \frac{V_{npb}}{\gamma_{mb}}$$

यहाँ $V_{npb}$ = एक बोल्ट की अभिहित बियरिंग सामर्थ्य = $2.5\, K_b\, dt f_u$

यहाँ $K_b$ $\frac{e}{3d_o}, \frac{p}{3d_o} - 0.25, \frac{f_{nb}}{f_n}, 1.0$ से छोटा है।

$e, p$ : बियरिंग दिशा के साथ बोल्ट के अंत और पिच की दूरी

$d_o$ : छिद्र का व्यास

$f_{ub}, f_u$ : बोल्ट का चरम तनन प्रतिबल और प्लेट का चरम तनन प्रतिबल।

$d$ : बोल्ट का अभिहित व्यास और

$t$ : एक ही दिशा में बियरिंग प्रतिबल का अनुभव करने वाली संयोजित प्लेटो की मोटाई का योग, या यदि बोल्ट शंकुखात (counter sunk) है, तो प्लेट की मोटाई शंकुखनन (counter sinking) की गहराई का आधा है।

$[\ ]_{mb}$ : बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

**बोल्ट की तनाव क्षमता (*Tension Capacity of Bolts*) :** एक गुणक तनन बल $T_b$ के अधीन एक बोल्ट संतुष्ट करेगा—

$$T_b \le T_{db}$$

यहाँ $T_{db} = \frac{T_{nb}}{\gamma_{mb}}$

$T_b$ = बोल्ट की अभिहित तनन क्षमता की गणना की जाती है—

$$T_{nb} = 0.90\, f_{ub} A_n < f_{yb} A_{sh} \frac{\gamma_{mb}}{\gamma_{mo}}$$

यहाँ $f_{ub}$ = बोल्ट का चरम तनन प्रतिबल

$f_{yb}$ = बोल्ट का पराभव तनाव

$A_n$ = शुद्ध तनन प्रतिबल क्षेत्र = चूड़ियों का बॉटम क्षेत्रफल, और

$A_{sh}$ = बोल्ट का शैंक क्षेत्र

$[\ ]_{mo}$ = पराभव द्वारा अधिनियंत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.10

$[\ ]_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक

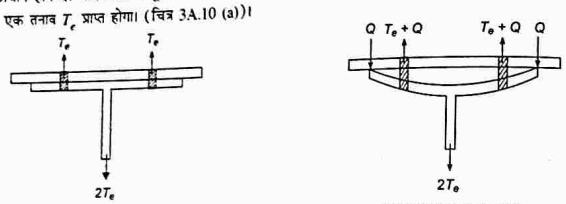
**4.6 ग्रेड साधारण बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य (Design Strengths of 4.6 Grade Ordinary Bolts)**

| बोल्ट व्यास (Bolt Diameter) $d$ (mm) | तनन प्रतिबल क्षेत्रफल (Tensile stress Area) $A_n$ ($mm^2$) | एकल अपरूपण क्षमता (Single Shear Capacity) kN | दोहरी अपरूपण क्षमता (Double Shear Capacity) kN | तनन क्षमता (Tension capacity) kN |
|---|---|---|---|---|
| 12 | 84.3 | 15.57 | 31.14 | 24. 28 |
| 16 | 157 | 29.01 | 58.02 | 45.22 |
| 20 | 245 | 45.26 | 90.52 | 70.56 |
| 22 | 303 | 55.98 | 111.96 | 87.26 |
| 24 | 353 | 65.22 | 130.44 | 101.66 |
| 27 | 459 | 84. 80 | 169.60 | 132.19 |
| 30 | 561 | 103.65 | 207.30 | 161.57 |
| 36 | 817 | 150.94 | 301.88 | 235.30 |

civilguru.org

## § 3A.13. बोल्ट संयोजन में प्राइइंग बल (Prying Forces in Bolted Connection) :

दो बोल्टों द्वारा एक निश्चित कठोर क्षैतिज उपांग से जुड़े एक T-स्टब आलम्ब पर विचार करें। आलम्ब को कर्षण (pull) $2T_e$ के अधीन होने दें। यदि आलम्ब पूरी तरह से कठोर है और इसलिए किसी विरूपण विकृति से नहीं गुजरता है तो प्रत्येक बोल्ट को एक तनाव $T_e$ प्राप्त होगा। (चित्र 3A.10 (a))।




(a) दृढ़ T-तनुक आलम्ब (Rigid T-stub hanger)

(b) नम्य T-तनुक आलम्ब (Flexible T-stub hanger)

चित्र 3A.10.

वास्तविक मामलो मे उपाग लचीले होते हैं। आलम्ब के विरूपण के परिणामस्वरूप इसके सिरे प्रत्येक सिरे पर एक प्रणोद $Q$ लगाएंगे और परिणामस्वरूप प्रत्येक बोल्ट को एक अतिरिक्त कर्षण (pull) $Q$ प्रेषित किया जाएगा। इस स्थिति में प्रत्येक बोल्ट मे वास्तविक तनाव $T_e + Q$ होगा। जुड़े हुए उपांग के लचीलेपन के कारण प्रत्येक बोल्ट में प्रेरित इस अतिरिक्त कर्षण को प्राइइंग बल कहा जाता है। बोल्ट को कर्षण ($T_e + Q$) के लिए अभिकल्पन किया जाना चाहिए।

**I.S. कोड विशिष्टता (I.S. Code Specification):** जहां प्राइइंग बल $Q$ महत्वपूर्ण है; इसकी गणना नीचे दी गई है और बोल्ट मे तनाव में जोड़ा जाएगा।

$$Q = \frac{l_r}{2l_e}\left[T_e - \frac{\beta\eta\, f_o b_e t^4}{27 l_e l_v^2}\right]$$

जहाँ $l_r$ = बोल्ट केंद्र रेखा से फिलेट वेल्ड के पराग्र (toe) तक या वेल्लित खंड के लिए रूट त्रिज्या के आधे हिस्से तक की दूरी

$l_e$ = प्राइइंग बल और बोल्ट केंद्र रेखा के बीच की दूरी और या तो अंत दूरी या इसके द्वारा दिए गए मान का न्यूनतम है,

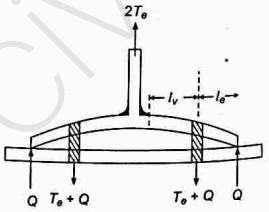
$$l_e = 1.1t\sqrt{\frac{\beta f_o}{f_y}}$$

where, [] = गैर-पूर्व-तनन बोल्ट के लिए 2 और पूर्व-तनन बोल्ट के लिए 2

[] = 1.5

$b_e$ = बोल्ट की प्रति जोड़ी फ्लैंज की प्रभावी चौड़ाई

$t$ = अंत प्लेट की मोटाई।




चित्र 4.11. संयुक्त प्राइइंग बल और तनाव (Combined prying force and tension)



**बोल्ट अपरूपण और तनाव के अधीन** *(Bolt Subjected to Shear and Tension):* एक ही समय में अपरूपण बल और तनाव दोनों का विरोध करने के लिए बोल्ट आवश्यक शर्त को पूरा करेगा—

$$\left[\frac{V_{sb}}{V_{db}}\right]^2 + \left[\frac{T_b}{T_{db}}\right]^2 \le 1$$

यहाँ $V_{sb}$ = बोल्ट पर कार्यकारी गुणक अपरूपण बल

$V_{db}$ = बोल्ट की अभिकल्पन अपरूपण क्षमता

$T_b$ = बोल्ट पर कार्यकारी गुणक तनन बल

$T_{db}$ = बोल्ट की अभिकल्पन तनन क्षमता।

### प्लेटों की तनन सामर्थ्य के लिए अभिकल्पन (Design for Tensile Strength of Plates) :

(a) **सकल खंड की पराभव के कारण अभिकल्पन की सामर्थ्य:** अक्षीय तनाव $T_{dg}$ के तहत प्लेट को अभिकल्पन सामर्थ्य सकल खंड की पराभव द्वारा अधिनियंत्रित की जाती है, निम्न प्रकार दी जाती है—

$$T_{dg} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{mo}}$$

where, $f_y$ = प्लेट का पराभव प्रतिबल

$A_g$ = प्लेट खंड का सकल क्षेत्रफल

$[]_{mo}$ = पराभव द्वारा विफलता की तीव्रता के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.10

(b) **क्रांतिक खंड के विदारण के कारण अभिकल्पन की सामर्थ्य:** प्लेट के तनाव $T_{dn}$ मे अभिकल्पन की सामर्थ्य विदारण (rupture) द्वारा अधिनियंत्रित होती है, जो छिद्रों पर शुद्ध अनुप्रस्थ काट क्षेत्र के टूटने से नियंत्रित होती है।

$$T_{dn} = 0.9\frac{A_n f_u}{\gamma_{ml}}$$

where, $[]_{ml}$ = चरम तनाव पर विफलता के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$f_u$ = प्लेट का चरम तनाव

$A_n$ = उपांग का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल निम्न प्रकार है—

$$A_n = \left[b - nd_h + \sum \frac{p_s^2}{4g}\right]t$$

where, $b, t$ = प्लेट की चौड़ाई और मोटाई

$d_h$ = बोल्ट छिद्र का व्यास (छिद्र के व्यास के अलावा 2 mm, सीधे छिद्रित छिद्रो के मामले मे)

$g$ = बोल्ट के छिद्रों के बीच गेज की लंबाई जैसा कि चित्र 3A.12 में दिखाया गया है।

$p_s$ = जैसा कि चित्र 3A.12 में दिखाया गया है, बोल्ट के छिद्रो की रेखा के बीच कंपित पिच की लंबाई।

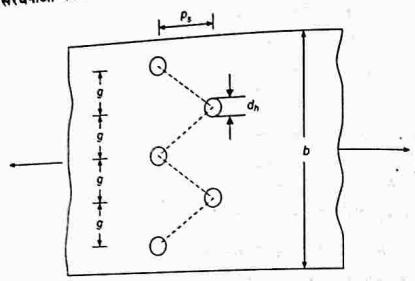
$n$ = क्रांतिक खंड में बोल्ट छिद्रों की संख्या।

निम्नलिखित गुणधर्मों का उपयोग करना सुविधाजनक हो सकता है, अर्थात् अभिकल्पन अपरूपण प्रतिबल $v_{dsb}$ और नीचे दिए गए प्लेटों के अभिकल्पन तनन प्रतिबल—

बोल्ट की अभिकल्पन अपरूपण सामर्थ्य $V_{dsb} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}}[n_u A_{nb} + x_n A_{sb}]$

बोल्ट का अभिकल्पन अपरूपण प्रतिबल $v_{dsb} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = \frac{400}{\sqrt{3}\times 1.25} = 184.75\ \text{N/mm}^2$

civilguru.net




चित्र 3A.12. बोल्ट छिद्र के साथ प्लेट, तनाव में (Plate with bolt holes, in tension)

बोल्ट की अभिकल्पन बियरिंग सामर्थ्य $V_{dpb} = \dfrac{2.5\,K_b\,dt\,f_u}{\gamma_{mb}}$

बोल्ट की अभिकल्पन बियरिंग प्रतिबल $V_{dpb} = \dfrac{2.5\,K_b\,f_u}{\gamma_{mb}} = \dfrac{2.5}{1.25}K_b \times 400 = 800\,K_b \text{N/mm}^2$

प्लेट की अभिकल्पन तनन सामर्थ्य (विदारण के कारण) = $T_{db} = \dfrac{0.9\,A_n\,f_u}{\gamma_{ml}}$

प्लेट का अभिकल्पन तनन प्रतिबल (विदारण के कारण) = $t_{db} = \dfrac{0.9\,f_u}{\gamma_{ml}} = \dfrac{0.9 \times 410}{1.25} = 295 \text{ N/mm}^2$

प्लेट की अभिकल्पन तनन सामर्थ्य (पराभव के कारण) = $T_{dg} = \dfrac{A_g f_y}{\gamma_{mo}}$

प्लेट का अभिकल्पन तनन प्रतिबल (पराभव के कारण) = $t_{dg} = \dfrac{f_y}{\gamma_{mo}} = \dfrac{250}{1.10} = 227 \text{ N/mm}^2$

**क्या आप जानते हों (Do You Know):**
बोल्ट की कई अलग-अलग किस्में हैं जिन्हें विशेष आवश्यकता या शामिल सामग्री के आधार पर चुना जा सकता है। कुछ सबसे आम प्रकारो मे शामिल हैं—

**स्थिरक बोल्ट (Anchor bolt):** आमतौर पर संरचनात्मक अनुप्रयोगों के लिए कंक्रीट या चिनाई में एम्बेडेड।

**यान बोल्ट (Carriage bolt):** धातु को लकड़ी से जकड़ने के लिए उपयोग किया जाता है, शीर्ष पर एक चौकोर अध:काट (undercut) के साथ जो बोल्ट को कसने के बाद जगह पर रखता है।

**उत्थापक बोल्ट (Elevator bolts):** वाहित्र प्रणाली (conveyor systems) में प्रयुक्त, एक उत्थापक बोल्ट में एक फ्लैट, सादा या शंकुखात (countersunk) शीर्ष होता है जो कसने पर बोल्ट को जगह में रखता है।

**फ्लैंज बोल्ट (Flange bolt):** इसे फ्रेम बोल्ट भी कहा जाता है, इस प्रकार का बोल्ट शीर्ष के अध:काट पर वॉशर का उपयोग करके बियरिंग भार को वितरित करता है।

**आलम्ब बोल्ट (Hanger bolt):** इसमें शीर्ष होने के बजाय दो चूड़ीदार सिरों का समावेश होता है, जिनमें से एक में लकड़ी का पेंच होता है।

**षट्कोणीय बोल्ट/टैप बोल्ट (Hexagon bolt/Tap bolt):** इसमें एक शीर्ष होता है जिसमें छह साइडें होती हैं, जिसमें चूड़ियाँ होती है जो शैंक के नीचे से शुरू होती है, जबकि एक टैप बोल्ट की शैंक पूरी लंबाई में पिरोई जाती है।



**हक बोल्ट (Huck bolt):** एक मालिकाना बोल्ट जिसमें एक स्थायी फिक्सिंग बनाने के लिए एक विशेषज्ञ उपकरण का उपयोग करके पिन और कॉलर को एक साथ घुमाया जाता है।

**लैग बोल्ट (Lag bolt):** इसे लैग पेंच भी कहा जाता है, यह एक भारी बंधक है जो कड़े होने पर लकड़ी और अन्य नरम सामग्री में अपना स्वयं की मेली चूड़ी (mating thread) बनाता है।

**मशीन बोल्ट (Machine bolt):** इसमें एक छोटा शैंक होता है और इसे पूर्व-ड्रिल किए गए छिद्रों के माध्यम से धातु के घटकों को समन्वायोजित करने के लिए बनाया गया है।

**प्लो बोल्ट (Plow bolt):** इसकी स्थायित्व के कारण निर्माण उपकरण और अन्य उपकरणों में उपयोग किया जाता है, और इसके फ्लैट शंकुखात शीर्ष और चौकोर शैंक ग्रीवा की विशेषता है।

**चौकोर शीर्ष बोल्ट (Square head bolt):** मशीन बोल्ट के समान इसमें चार-तरफा बोल्ट शीर्ष के अलावा एक छोटा शैंक होता है।

**स्टड बोल्ट (Stud bolt):** दोनों सिरों पर षट्कोणीय नट होते हैं। घटकों को दो बोल्टों के बीच बांधा जाता है।

**प्रकाष्ठ बोल्ट (Timber bolt):** लकड़ी के बड़े घटकों के साथ प्रयोग के लिए अभिप्रेत है।

**T-शीर्ष बोल्ट (T-head bolt):** इसमें एक T-आकार का शीर्ष होता है जिसे एक रिंच द्वारा पकड़ा जा सकता है और यह आसानी से एक खांचे में फिट हो सकता है।

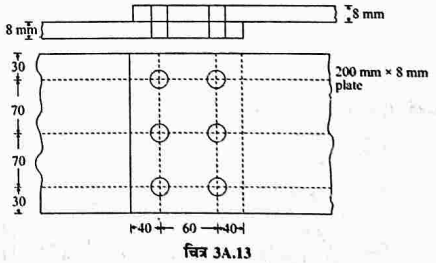
**टॉगल बोल्ट (Toggle bolt):** इसमें एक विस्तारित पंख जैसा नट होता है जो वस्तुओं को दीवारों पर माउंट करने में मदद करता है।

**बोल्ट और बोल्टेड जोड़ों की विफलता (Failure of Bolts and Bolted Joints):** बोल्ट और बोल्ट वाले जोड़ों की विफलता, विशेष रूप से, इंजीनियरों के लिए चिंता का एक महत्वपूर्ण स्रोत हो सकता है। अक्सर, यह आकलन करने के लिए अनुमान लगाया जाता है कि क्या जोड़ उस पर लागू बलों को बनाए रखने मे सक्षम है या नहीं।

**तंत्र विफलता (Mechanism Failures):**

- बोल्ट पूर्वभारित लागू बलों का विरोध करने के लिए अपर्याप्त है।
- आंतरिक या बाहरी चूड़ियों को अलग करना।
- बोल्ट की श्रांति विफलता (fatigue)।
- बोल्ट को सीधे लागू बल द्वारा अधिभारित (overload) किया जा रहा है
- नट के फलक के नीचे, बोल्ट के शीर्ष के नीचे या जोड़ के भीतर ही अत्यधिक बियरिंग तनाव।

**उदाहरण 3A.1. दो प्लेटों 200 mm × 8 mm को एक चढ़ाव जोड़ में 16 mm व्यास के बोल्ट से जोड़ा जाना है। काले प्रकार (बियरिंग प्रकार के बोल्ट) के लिए सामर्थ्य की गणना करें। 4.6 ग्रेड के बोल्ट लें। प्लेट की चरम तनन सामर्थ्य = 410 N/mm² लें।**




चित्र 3A.13

**हल :** दिया गया डेटा: $d = 16$ mm

$d_o = 16 + 2 = 18$ mm

$t$ = प्लेट की मोटाई = 8 m

- **अपरूपण सामर्थ्य** *(IS 800:2007)*

$$V_{dsb} = \frac{V_{nsb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{nsb} = \frac{f_u}{\sqrt{3}} \times [n_n A_{nb} + n_s A_{sb}]$$

$$V_{dsb} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} \times \left[\left(1 \times 0.78 \times \frac{\pi}{2} \times 16^2\right) + \left(0 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2\right)\right]$$

$$= 28.97 \text{ kN}$$

- **बियरिंग क्षमता :** *(IS 800:2007)*

$$V_{dpb} = \frac{V_{npb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{npb} = 2.5\, k_b\, dt\, f_u$$

$$V_{dpb} = \frac{2.5 \times 0.741 \times 16 \times 8 \times 410}{1.25}$$

$K_b$ is least of $e/3d_o = 40/(3 \times 18) = 0.741$;

$p/3d_o - 0.25 = [60/(3 \times 18)] - 0.25 = 0.86$;

$f_{ub}/f_u = 400/410 = 0.976$; = 77.77 kN

**उदाहरण 3A.2. नीचे दिए गए केसों के लिए 22 mm व्यास के बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य निर्धारित करें—**

1. **चढ़ाव जोड़**
2. **12 mm कवर प्लेट के साथ एकल कवर टक्करी जोड़।**
3. **10 mm कवर प्लेट के साथ द्वि-कवर टक्करी जोड़।**

**मान लें कि मुख्य प्लेट 16 mm मोटी है। 4.6 ग्रेड के बोल्ट लें।**

**प्लेट की चरम तनन सामर्थ्य = 410 N/mm².**

**हल :** दिया गया डेटा: $d = 22$ mm

$d_o = 22 + 2 = 24$ mm

$t$ = प्लेट की मोटाई = 16 mm

**केस I**

- **अपरूपण सामर्थ्य** *(IS 800:2007)*

$$V_{dsb} = \frac{V_{nsb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{nsb} = \frac{f_u}{\sqrt{3}} \times [n_n A_{nb} + n_s A_{sb}]$$

$$V_{dsb} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} \times \left[\left(1 \times 0.78 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2\right) + \left(0 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2\right)\right] = 54.78 \text{ kN}$$



- **बियरिंग क्षमता :** *(IS 800:2007)*

$$V_{dpb} = \frac{V_{npb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{npb} = 2.5\, k_b\, dt\, f_u$$

$$V_{dpb} = \frac{2.5 \times 0.556 \times 22 \times 16 \times 410}{1.25} = 160.48 \text{ kN}$$

- $e = 1.5d_o = 1.5 \times 24 = 36 \approx 40$ mm
- $p = 2.5d = 2.5 \times 22 = 55 \approx 60$ mm
- $K_b$ is least of
  - $e/3d_o = 40/(3 \times 24) = 0.556$;
  - $p/3d_o - 0.25 = [(60/(3 \times 24)] - 0.25 = 0.58$;
  - $f_{ub}/f_u = 400/410 = 0.976$;
  - 1
- $t = 16$ mm
- $d = 22$ mm

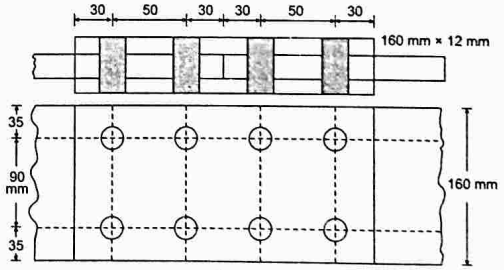
**केस 2: 12 mm कवर प्लेट के साथ एकल कवर टक्करी जोड़**

- **अपरूपण सामर्थ्य** *(IS 800:2007)* $V_{dsb} = 54.78$
- **बियरिंग सामर्थ्य** *(IS 800:2007)* $V_{dpb} = \dfrac{2.5 \times 0.556 \times 22 \times 12 \times 410}{1.25} = 120.36$ kN

**केस 3: 10 mm कवर प्लेट के साथ द्वि-कवर टक्करी जोड़**

- **अपरूपण सामर्थ्य** *(IS 800:2007)* $V_{dsb} = 2 \times 54.78 = 109.56$ kN
- **बियरिंग सामर्थ्य** *(IS 800:2007)* $V_{dpb} = \dfrac{2.5 \times 0.556 \times 22 \times 16 \times 410}{1.25} = 160.48$ kN

**उदाहरण 3A.3. चित्र 3A.14. में दर्शाए गए टक्करी जोड़ की दक्षता ज्ञात कीजिए। बोल्ट 4.6. ग्रेड के 16 mm व्यास के हैं। कवर प्लेट 8 mm मोटी हैं।**




चित्र 3A.14

- **अपरूपण सामर्थ्य** *(IS 800:2007)*

$$V_{dsb} = \frac{V_{nsb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{nsb} = \frac{f_u}{\sqrt{3}}[n_a A_{nb} + n_s A_{sb}]$$

$$V_{dsb} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25}\left[\left(2 \times 0.78 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2\right) + \left(0 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2\right)\right]$$

$$= 57.95 \text{ kN}$$

- **बियरिंग सामर्थ्य** *(IS 800:2007)*

$$V_{dpb} = \frac{V_{npb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{npb} = 2.5\, k_b\, dt\, f_u$$

$$V_{dpb} = \frac{2.5 \times 0.56 \times 16 \times 12 \times 410}{1.25}$$

$$= 88.16 \text{ kN}$$

- $e = 30$ mm
- $p = 50$ mm
- $K_b$ is least of
  - $e/3d_o = 30/(3 \times 18) = 0.56$;
  - $p/3\, d_o - 0.25 = [(50/(3 \times 18)] - 0.25 = 0.67$;
  - $f_{ub}/f_u = 400/410 = 0.976$;
  - 1
- $t = 16$ mm
- $d = 12$ mm

जोड़ की दक्षता $= \left[\dfrac{\text{Strength of the joint per pitch length}}{\text{Strength of solid plate per pitch length}}\right] \times 100$

- प्रति पिच लंबाई के जोड़ की सामर्थ्य = 57.95 kN
- प्रति पिच लंबाई ठोस प्लेट की सामर्थ्य $= \dfrac{0.9 A_n f_u}{\gamma_{m1}}$

$$= \frac{0.9 \times (50 - 16) \times 12 \times 410}{1.25} = 120.44 \text{ kN}$$

जोड़ की दक्षता $= \left[\dfrac{57.95}{120.44}\right] \times 100 = 48.11\%$



**उदाहरण 3A.4. एक ISA 100 mm × 100 mm × 10 mm 100 kN का एक गुणक तनन भार वहन करता है। इसे 12 mm मोटी गसेट प्लेट के साथ जोड़ना है। उच्च सामर्थ्य बोल्ट जोड़ का अभिकल्पन करें जब,**

**(a) कोई सर्पण (slip) की अनुमति नहीं है।**

**(b) सर्पण की अनुमति है। 16 mm व्यास के साथ बोल्ट ग्रेड = 8.8 लें।**

**हल :** $f_{ub} = 800$ N/mm$^2$ for 8.8 grade.

**(a) सर्पण क्रांतिक संयोजन (Slip Critical Connection):**

- **घर्षण सामर्थ्य** *(IS 800:2007)*

$$V_{dsf} = \frac{V_{nsf}}{\gamma_{mf}}$$

$$V_{nsf} = \mu_f n_e K_h F_o$$

यहाँ, $\mu_f$ = निर्दिष्ट के अनुसार घर्षण गुणांक (सर्पण गुणक) ($\mu_f = 0.55$) = 0.55

$n_e$ = सर्पण के लिए घर्षण प्रतिरोध की पेशकश करने वाले प्रभावी अंतरपृष्ठ की संख्या = 1

$K_h$ = 1.0 अवकाश छिद्र में बंधकों के लिए,

= 0.85 खांचे के लंबवत भार किए गए बड़े और छोटे खांचित छिद्र में बंधकों के लिए

$\gamma_{mf}$ = 1.10 (यदि सर्पण प्रतिरोध सेवा भार पर अभिकल्पन किया गया है)

= 1.25 (यदि सर्पण प्रतिरोध चरम भार पर अभिकल्पन किया गया है)

$A_{nb}$ = चूड़ियों पर बोल्ट का शुद्ध अपरूपण क्षेत्रफल $= \left(0.78 \times \dfrac{\pi}{4} \times 16^2\right) = 157$ mm$^2$

$f_o$ = प्रुफ प्रतिबल ($= 0.70\ f_{ub}$) $= 0.70 \times 800 = 560$ N/mm$^2$

$F_o$ = स्थापना पर न्यूनतम बोल्ट तनाव (प्रूफ भार) और निम्न के रूप में लिया जा सकता है—

$A_{nb} f_o = 560 \times 0.157 = 87.9$ kN

$$V_{dsf} = \frac{\mu_f n_e K_h F_o}{\gamma_{mf}}$$

$$V_{dsf} = \frac{0.55 \times 1 \times 1 \times 87.9}{1.25} = 38.65 \text{ kN}$$

- **बोल्ट की तनाव क्षमता** *(IS 800:2007)*

तनाव में बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य

$$T_{db} = \frac{T_{nb}}{\gamma_{mb}}$$

$$T_{nb} = 0.9\, f_{ub}\, A_{nb}$$

$$T_{db} = \frac{0.9\, f_{ub} A_{nb}}{\gamma_{mb}} = \frac{0.9 \times 800 \times 157}{1.25} = 90.32 \text{ kN}$$

बोल्ट मान = 38.65 kN

बोल्ट की संख्या $= \dfrac{100}{38.65} \cong 3$

civilguruji.net

**(b) सर्पण अनुमत संयोजन (Slip allowed connection):**

- **अपरूपण सामर्थ्य** *(IS 800:2007)*

$$V_{dsb} = \frac{V_{nsb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{nsb} = \frac{f_u}{\sqrt{3}} \times [n_n A_{nb} + n_s A_{sb}]$$

$$V_{dsb} = \frac{800}{\sqrt{3} \times 1.25} \left[ \left( 1 \times 0.78 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 \right) + \left( 0 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 \right) \right] = 58 \text{ kN}$$

- **बियरिंग सामर्थ्य :** *(IS 800:2007)*

$$V_{dsb} = \frac{V_{nsb}}{\gamma_{mb}}$$

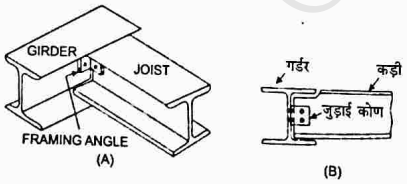
$$V_{npb} = 2.5\, k_b\, dt f_u$$

$$V_{dpb} = \frac{2.5 \times 0.56 \times 16 \times 10 \times 410}{1.25} = 73.47 \text{ kN}$$

- $e = 30$ mm
- $p = 50$ mm
- $K_b$ is least of
  - $e/3d_o = 30/(3 \times 18) = 0.56$;
  - $p/3d_o - 0.25 = [(50/(3 \times 18)] - 0.25 = 0.67$;
  - $f_{ub}/f_u = 800/410 = 1.951$;
  - 1
- $t = 10$ mm
- $d = 16$ mm

बोल्ट मान = 58 kN

बोल्ट की संख्या $= \frac{100}{58} = 1.72 \cong 2$



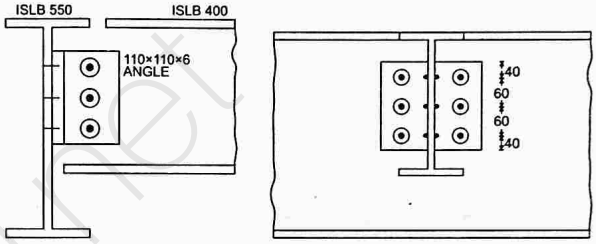




चित्र 3A.15



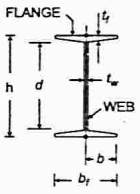
**उदाहरण 3A.5. एक I बीम ISLB400@558.2 N/m को मुख्य बीम ISLB550@846.6 N/m के वेब से जोड़ा जाना है। 220 kN की गुणक प्रतिक्रिया। चित्र 3A.16 में दर्शाए अनुसार यदि क्लीट कोण का माप 110 × 110 × 6 है, तो संयोजन को अभिकल्पन करें। 20 mm व्यास के बोल्ट का प्रयोग करें।**




चित्र 3A.16

**इस्पात टेबल से गुणधर्म (Properties from Steel Table)**

| Properties | Notation | ISLB400 | ISLB550 |
|---|---|---|---|
| ऊंचाई (Height) | $h$ | 400 mm | 550 mm |
| फ्लैंज की चौड़ाई (Whidth of flange) | $b_f$ | 165 mm | 190 mm |
| फ्लैंज की मोटाई (Thickness of flange) | $t_f$ | 12.5 mm | 15 mm |
| वेब की मोटाई (Thickness of web) | $t_w$ | 8 mm | 9.9 mm |




चित्र 3A.17

**द्वितीयक बीम के कोणों और वेब के बीच संयोजन:** संयोजन बोल्ट दोहरे अपरूपण में हैं—

- **अपरूपण सामर्थ्य** *(IS 800:2007)*

$$V_{dsb} = \frac{V_{nsb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{nsb} = \frac{f_u}{\sqrt{3}} \times [n_n A_{nb} + n_s A_{sb}]$$

$$V_{dsb} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} \times \left[ \left( 2 \times 0.78 \times \frac{\pi}{4} \times 20^2 \right) + \left( 0 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 \right) \right] = 90.54 \text{ kN}$$

- **बियरिंग सामर्थ्य :** *(IS 800:2007)*

$$V_{dpb} = \frac{V_{nsb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{npb} = 2.5\, k_b\, dt\, f_u$$

$$V_{dpb} = \frac{2.5 \times 0.606 \times 20 \times 8 \times 410}{1.25} = 79.51 \text{ kN}$$

civilguru.in

- $e = 1.5\, d_o = 1.5 \times 22 = 33 \approx 40$ mm
- $p = 2.5\, d = 2.5 \times 20 = 50 \approx 60$ mm
- $K_b$ is least of
  - $e/3d_o = 40/(3 \times 22) = 0.606$;
  - $p/3d_o - 0.25 = [(60/(3 \times 20)] - 0.25 = 0.659$;
  - $f_{ub}/f_u = 400/410 = 0.976$;
  - 1

$t = 16$ mm

$d = 22$ mm

बोल्ट मान = 79.51 kN

आवश्यक बोल्टो की संख्या $= \dfrac{220}{79.51} = 2.78 \cong 3$ बोल्ट

**मुख्य धरन के कोणों और वेब के बीच संयोजन:**

संयोजन बोल्ट एकल अपरूपण मे हैं—

- **अपरूपण सामर्थ्य** *(IS 800:2007)*

  एकल अपरूपण मे बोल्ट की अभिकल्पन सामर्थ्य = 45.27 kN

- **बियरिंग सामर्थ्य** *(IS 800:2007)*

$$V_{dpb} = \frac{V_{nsb}}{\gamma_{mb}}$$

$$V_{npb} = 2.5\, k_b\, dt\, f_u$$

$$V_{dpb} = \frac{2.5 \times 0.606 \times 20 \times 9.9 \times 410}{1.25}$$

$$= 98.39 \text{ kN}$$

बोल्ट मान = 45.27 kN

आवश्यक बोल्टो की संख्या $= \dfrac{220}{45.27} = 4.85 \cong 5$ बोल्ट

**उदाहरण 3A.6. निम्नलिखित केसों के लिए ग्रेड 4.6 के 20 mm व्यास बोल्ट की सामर्थ्य की गणना करें। जुड़ने वाली मुख्य प्लेटें 12 mm मोटी हैं—**

**(a) चढ़ाव जोड़**

**(b) एकल कवर टक्करी जोड़; कवर प्लेट 10 mm मोटी हो रही है**

**(c) दोहरा-कवर टक्करी जोड़; प्रत्येक कवर प्लेट 8 mm मोटी है।**

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

ग्रेड 4.6 के बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 400$ MPa

$\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$A_{nb}$ = 20 mm व्यास बोल्ट का शुद्ध तनन प्रतिवल क्षेत्र = 245 mm$^2$ (तालिका 3A.1 से)



(a) बोल्ट एकल सामर्थ्य और बियरिंग में होंगे।

बोल्ट का व्यास, $d = 20$ mm

एकल अपरूपण में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = A_{nb} = \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 245 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} \times 10^{-3} = 45.26 \text{ kN}$$

बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य, $V_{dpb} = 2.5\, k_b\, dt\, \dfrac{f_u}{\gamma_{mb}}$

तालिका 3A.3 से, 20 mm व्यास के बोल्ट के लिए, $d_o = 22$ mm और $e = 33$ mm. माना पिच = 50 mm $k_b$ कम से कम $\dfrac{e}{3d_o} = \dfrac{33}{3 \times 22} = 0.5$; $\dfrac{p}{3d_o} - 0.25 = \dfrac{50}{3 \times 22} - 0.25 = 0.5$; $\dfrac{f_{ub}}{f_u} = \dfrac{400}{410} = 0.975$; और 1.0 का है

अतः, $k_b = 0.5$ (अंत दूरी, $e$ के मान को वेल्डित कोर के लिए माना गया है।)

$$V_{dpb} = 2.5 \times 0.5 \times 20 \times 12 \times \frac{410}{1.25} = 98.4 \text{ kN}$$

बोल्ट की सामर्थ्य अपरूपण और बियरिंग में न्यूनतम सामर्थ्य होगी और 45.26 kN होगी।

(b) बोल्ट एकल सामर्थ्य और बियरिंग में होगा। बियरिंग के लिए विचार की जाने वाली मोटाई कवर प्लेटों की कुल मोटाई और जुड़ी हुई मुख्य प्लेटों की न्यूनतम मोटाई होगी। इसलिए, $t = 10$ mm।

एकल सामर्थ्य में बोल्ट की सामर्थ्य = 45.26 kN (जैसा कि (a) में पाया गया है)

बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5\, k_b dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}} = 2.5 \times 0.5 \times 20 \times 10 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 82.0 \text{ kN}$$

बोल्ट की सामर्थ्य अपरूपण और बियरिंग में न्यूनतम सामर्थ्य होगी और 45.26 kN होगी।

(c) बोल्ट दोहरी सामर्थ्य और बियरिंग में होगा। बियरिंग के लिए विचार की जाने वाली मोटाई कवर प्लेटों की कुल मोटाई और जुड़ी हुई मुख्य प्लेटों की न्यूनतम मोटाई होगी। इसलिए, $t = 12$ mm।

दोहरे अपरूपण में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = 2 \times A_{nb} \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 2 \times 245 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} \times 10^{-3} = 90.52 \text{ kN}$$

बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5\, k_b dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}} = 2.5 \times 0.5 \times 20 \times 12 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 98.4 \text{ kN}$$

बोल्ट की सामर्थ्य अपरूपण और बियरिंग में न्यूनतम सामर्थ्य होगी और 90.52 kN होगी।

**उदाहरण 3A.7. एक एकल-बोल्ट दोहरे-कवर टक्करी जोड़ का उपयोग दो प्लेटों को जोड़ने के लिए किया जाता है जो 8 mm मोटी होती हैं। ग्रेड 4.6 के 16 mm व्यास के बोल्ट और कवर प्लेट को 6 mm मोटा मानते हुए, जोड़ की सामर्थ्य और दक्षता की गणना करें, यदि 4 बोल्ट बोल्ट लाइन में 45 mm की पिच पर प्रदान किए जाते हैं जैसा कि चित्र 3A.18 (a) में दिखाया गया है।**

**इसके अलावा, जोड़ की दक्षता निर्धारित करें यदि प्रत्येक पंक्ति में दो बोल्टों के साथ बोल्ट की दो पंक्तियों को दोहरे-बोल्ट दोहरे-कवर टक्करी जोड़ में परिणाम के लिए व्यवस्थित किया गया है।**

civilguru.net

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

ग्रेड 4.6 के बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 400$ MPa

16 mm व्यास बोल्ट के लिए: $A_{nb} = 157$ mm$^2$ (तालिका 3A.1 से)

$\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$\gamma_{m1}$ = चरम प्रतिबल द्वारा अधिनियत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

बोल्ट दोहरी सामर्थ्य और बियरिंग मे होगे। बियरिंग मे बोल्ट की सामर्थ्य की गणना के लिए, बियरिंग के लिए विचार की जाने वाली मोटाई कवर प्लेटो की कुल मोटाई और मुख्य प्लेटो की न्यूनतम मोटाई होगी। इसलिए, $t$ = 8 mm।

प्रति पिच लबाई मे अपरूपण मे बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = 2 \times A_{nb} \times \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\gamma_{mb}} = 2 \times 157 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} \times 10^{-3} = 58 \text{ kN}$$

प्रति पिच लबाई मे बियरिंग मे बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5\, k_b\, dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}}$$

यहाँ, $k_b$ कम से कम $\frac{e}{3d_o} = \frac{30}{3 \times 18} = 0.55$; $\frac{p}{3d_o} - 0.25 = \frac{45}{3 \times 18} - 0.25 = 0.58$;

$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{410} = 0.975$ और 1.0 है

अत:, $k_b$ = 0.55.

$k_b$ के मान की गणना मे, बोल्ट छिद्र व्यास का मान तालिका 3A.3 से संदर्भित है। साथ ही, अंत दूरी का मान अपरूपण कोर के लिए माना गया है।

$$V_{dpb} = 2.5 \times 0.55 \times 16 \times 8 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 57.73 \text{ kN}$$

प्रति पिच लबाई प्लेट की शुद्ध तनन सामर्थ्य,

$$T_{dn} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{m1}} A_n$$

$$T_{dn} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{m1}} (p - d_h)\, t \quad \text{(छिद्र का व्यास } d_h = 18 \text{ mm, तालिका 3A.3)}$$

$$= 0.9 \times \frac{410}{1.25} \times (45 - 18) \times 8 \times 10^{-3} = 63.76 \text{ kN}$$

प्रति पिच लबाई ठोस प्लेट की सामर्थ्य

$$= 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{m1}} pt = 0.9 \times \frac{410}{1.25} \times 45 \times 8 \times 10^{-3} = 106.27 \text{ kN}$$

अत:, प्रति पिच लबाई के जोड़ की सामर्थ्य अपरूपण मे प्रति पिच लबाई की सामर्थ्य, बोल्ट के लिए बियरिंग और प्लेट की शुद्ध सामर्थ्य से कम से कम होगी। इसलिए, प्रति पिच लबाई के जोड़ की सामर्थ्य = 57.73 kN

$$\text{जोड़ की क्षमता} = \frac{57.73}{106.27} \times 100 = 54.32\%$$



जब बोल्ट को दो पंक्तियो मे व्यवस्थित किया जाता है, तो प्रति पिच लबाई के जोड़ की सामर्थ्य—

(a) अपरूपण के आधार पर होगी = 2 × 58 = 116 kN

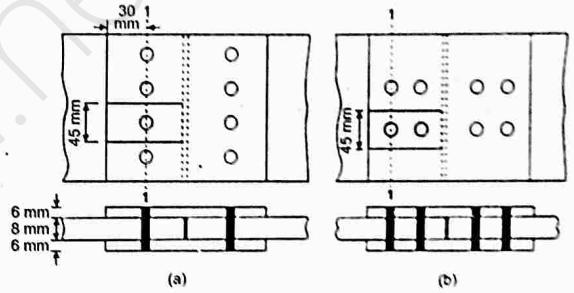
(b) बियरिंग के आधार पर होगी = 2 × 57.73 = 115.46 kN

(c) प्लेट की शुद्ध तनन सामर्थ्य के आधार पर होगी = 63.76 kN।

ध्यान दें कि शेक्शन 1-1 मे केवल एक बोल्ट गिरेगा। (चित्र देखें 3A.18(b))

अत:, प्रति पिच लंबाई के जोड़ की सामर्थ्य 63.76 kN होगी।

$$\text{जोड़ की क्षमता} = \frac{63.76}{106.27} = 59.99\%$$




चित्र 3A.18.

**उदाहरण 3A.8. चित्र 3A.19 में दिखाए गए खड़ाव जोड़ की सामर्थ्य और दक्षता निर्धारित करें। बोल्ट 20 mm व्यास और ग्रेड 4.6. के हैं। जुड़ने वाली दो प्लेटें 10 mm और 12 mm मोटी है (इस्पात ग्रेड Fe 410) का है)।**

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

ग्रेड 4.6 के बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 400$ MPa

20 mm व्यास बोल्ट के लिए: $A_{nb} = 245$ mm$^2$ (तालिका 3A.1 से)

$d_h$ and $d_o$ = 22 mm (तालिका 3A.3 से)

$\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$\gamma_{m1}$ = चरम प्रतिबल द्वारा नियंत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

बोल्ट एकल सामर्थ्य और बियरिंग में होगे। बोल्ट की बियरिंग क्षमता पतली प्लेट की मोटाई से नियंत्रित होगी। इसलिए, $t$ = 10 mm।

एकल अपरूपण में बोल्ट की सामर्थ्य,

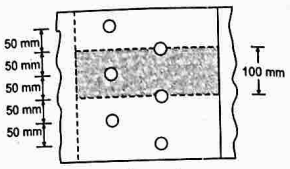
$$V_{dsb} = A_{nb} = \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 245 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} \times 10^{-3} = 45.26 \text{ kN}$$

civilguru.net

अपरूपण में प्रति पिच लंबाई के जोड़ की सामर्थ्य = 2 × 45.26 = 90.52 kN (एक पिच में दो बोल्ट आते हैं)

बियरिंग मे बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5\, k_b dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}}$$




चित्र 4.19

यहाँ, $k_b$ is least of $\frac{e}{3d_o} = \frac{33}{3\times 22} = 0.50$;

$$\frac{p}{3d_o} - 0.25 = \frac{50}{3\times 22} - 0.25 = 0.50;$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{410} = 0.975; \text{ और } 1.0$$

अत:, $k_b = 0.50$.

अंत दूरी $e$ को तालिका 3A.3 से वेल्लित कोर के लिए माना गया है।

$$V_{dpb} = 2.5 \times 0.50 \times 20 \times 10 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 82.0 \text{ kN}$$

बियरिंग में प्रति पिच लंबाई के जोड़ की सामर्थ्य = 2 × 80.0 = 160.0 kN (प्रत्येक पिच में दो बोल्ट आते हैं)

प्रति पिच लंबाई प्लेट की शुद्ध तनन सामर्थ्य,

$$T_{dn} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{m1}} A_n = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{m1}} (p - d_h)\, t$$

$$= 0.9 \times \frac{410}{1.25} \times (100 - 22) \times 10 \times 10^{-3} = 230.25 \text{ kN}$$

इसलिए, प्रति पिच लंबाई के जोड़ की सामर्थ्य = 90.52 kN

प्रति पिच लंबाई ठोस प्लेट की सामर्थ्य $= 0.9 \times \frac{410}{1.25} \times 100 \times 10 \times 10^{-3} = 295.2$ kN

जोड़ की दक्षता $= \frac{90.52}{295.2} \times 100 = 30.66\%$

**उदाहरण 3A.9. चढ़ाव जोड़ बनाने के लिए दो प्लैट (Fe 410 ग्रेड इस्पात), प्रत्येक 210 mm × 8 mm, को 20 mm व्यास, 4.6 ग्रेड बोल्ट का उपयोग करके जोड़ा जाना है। जोड़ को 250 kN के एक गुणक भार को स्थानांतरित करना चाहिए। जोड़ का अभिकल्पन करें और बोल्ट के लिए उपयुक्त पिच निर्धारित करें।**

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

ग्रेड 4.6 के बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 400$ MPa

20 mm व्यास बोल्ट के लिए: $A_{nb} = 245$ mm$^2$ (तालिका 3A.1 से)

$d_h$ और $d_o = 22$ mm (तालिका 3A.3 से)

$\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$\gamma_{m1}$ = चरम प्रतिबल द्वारा अधिनियंत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

चूंकि बोल्ट की पिच ज्ञात नहीं है, गुणक $k_b$ और इस प्रकार बोल्ट की बियरिंग सामर्थ्य को शुरुआत में निर्धारित नहीं किया जा सकता है। हालांकि, चूंकि यह सर्वविदित है कि, सामान्य तौर पर, अपरूपण जोड़ की सामर्थ्य को नियंत्रित करती है और



बियरिंग को नहीं, अपरूपण के आधार पर जोड़ की सामर्थ्य का उपयोग आवश्यक बोल्टों की संख्या की गणना के लिए किया जाएगा। इसके बाद, पत्ती (Flat) की चौड़ाई की सीमा को ध्यान में रखते हुए बोल्ट के उपयुक्त पैटर्न का निर्णय लिया जाएगा। फिर बोल्ट पर अपरूपण में जोड़ प्रति पिच लंबाई की सामर्थ्य को पत्ती की शुद्ध तनन सामर्थ्य के बराबर करके, पिच निर्धारित किया जा सकता है। एक बार, पिच ज्ञात हो जाने पर, अंत-और कोर-दूरी भी ज्ञात हो जाएगी और बाद में $k_b$ और बियरिंग मे बोल्ट की सामर्थ्य निर्धारित की जा सकती है। यदि बोल्ट की बियरिंग सामर्थ्य का मान बोल्ट की अपरूपण सामर्थ्य से कम आता है, तो अभिकल्पन को एक संशोधन की आवश्यकता होगी, जो निश्चित रूप से द्वि-कवर टक्करी जोड़ो को छोड़कर दुर्लभ होगा।

बोल्ट एकल सामर्थ्य में होंगे,

$$V_{dsb} = A_{nb} \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 245 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} = 45.26 \text{ kN}$$

आवश्यक बोल्टों की संख्या $= \frac{250}{45.26} = 5.52 = 6$

बोल्ट को तीन पंक्तियों में व्यवस्थित करें जैसा कि चित्र 3A.20 में दिखाया गया है।

अब, बोल्ट पर अपरूपण के आधार पर प्रति पिच लंबाई के जोड़ की सामर्थ्य = 2 × 45.26 = 90.52 kN

इसे प्रति पिच लंबाई पत्ती (Flat) की शुद्ध तनन सामर्थ्य के बराबर करते हुए,

$$T_{dn} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{m1}} (p - d_h)\, t = 90.52 \times 10^3$$

या $0.9 \times \frac{410}{1.25} \times (p - 22) \times 8 = 90.52 \times 10^3$

$\Rightarrow$ $p = 60.32$ mm = 65 mm

$> 2.5 \times 20$ mm (*i.e.* 50 mm) जो सब ठीक है।

अब, उआघूर्णब्ध कोर दूरी $= \frac{1}{2}(210 - 2 \times 65) = 40$ mm

$k_b$ is least of $\frac{e}{3d_o} = \frac{40}{3\times 22} = 0.60$; $\frac{p}{3d_o} - 0.25 = \frac{65}{3\times 22} - 0.25 = 0.73$;

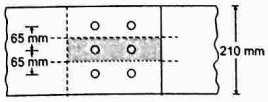
$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{410} = 0.975; \text{ और } 1.0.$$

अत:, $k_b = 0.60$

बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5\, k_b\, dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}} = 2.5 \times 0.6 \times 20 \times 8 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 78.72 \text{ kN} > 45.26 \text{ kN}$$

इसलिए, अभिकल्पन को किसी संशोधन की आवश्यकता नहीं है।




चित्र 3A.20

**उदाहरण 3A.10. दो ISF खंड 200 mm × 10 mm प्रत्येक और 1.5 मीटर लंबे एक उपांग की लंबाई 3.0 मीटर बनाने के लिए जोड़ दिए जाने हैं। हीरक (Diamond) पैटर्न में व्यवस्थित बोल्ट के साथ एक टक्करी जोड़ का अभिकल्पन करें। पत्तियों (Flats) में 450 kN का गुणक तनन बल होना चाहिए। इस्पात ग्रेड Fe 410 का है। संयोजन (Connection) बनाने के लिए ग्रेड 4.6 के 20 mm व्यास बोल्ट का उपयोग किया जाता है। इसके अलावा, मुख्य प्लेट और कवर प्लेटों की शुद्ध तनन सामर्थ्य निर्धारित करें।**

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

ग्रेड 4.6 के बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 400$ MPa

20 mm व्यास बोल्ट के लिए: $A_{nb} = 245$ mm$^2$ (तालिका 3A.1 से)

$d_h$ और $d_o = 22$ mm (तालिका 3A.3 से)

$\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$\gamma_{m1}$ = चरम प्रतिबल द्वारा अधिनियंत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

आइए हम एक दोहरे-कवर टक्करी जोड़ प्रदान करें।

दोहरे अपरूपण मे बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = 2 \times A_{nb} \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 2 \times 245 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} = 10^{-3} = 90.52 \text{ kN}$$

बियरिंग मे बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5\, k_b\, dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}}$$

यहाँ, $k_b$ is least of $\frac{e}{3d_o} = \frac{33}{3 \times 22} = 0.50$; $\frac{p}{3d_o} - 0.25 = \frac{50}{3 \times 22} - 0.25 = 0.50$;

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{410} = 0.975; \text{ and } 1.0.$$

यहाँ $k_b = 0.50$.

अंत दूरी $e$ को तालिका 3A.3 से वेल्लित कोर (rolled edge) के लिए माना गया है। साथ ही, न्यूनतम पिच = 2.5 × 20 = 50 mm मान लिया गया है।

बियरिंग मे बोल्ट की सामर्थ्य, $V_{dpb} = 2.5 \times 0.50 \times 20 \times 10 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 82.0$ kN

अत: बोल्ट की प्रबलता = 82.0 kN

जोड़ बनाने के लिए आवश्यक बोल्टो की संख्या $= \frac{450}{82.0} = 5.48 = 6$

हीरक पैटर्न में बोल्ट को व्यवस्थित करें जैसा कि चित्र 3A.21 में दिखाया गया है। कवर प्लेट की मोटाई $\leq \frac{5}{8}t$

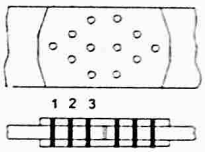
$$t_{cp} = \frac{5}{8} \times 10 = 6.2 \text{ mm} \simeq 8 \text{ mm}$$

एक द्वि-कवर टक्करी जोड़ बनाने के लिए 8 mm मोटी कवर प्लेट प्रदान करें।

मुख्य प्लेटों (पत्ती खंड) को कवर प्लेटो के साथ टक्करी जोड़ किया जाता है। मुख्य प्लेटों में बल बोल्ट के माध्यम से कवर प्लेटो मे स्थानातरित हो जाएगा। इस प्रकार, मुख्य प्लेट मे सेक्शन 1-1 से पहले और लागू भार के बराबर अधिकतम भार



होगा। इसलिए सेक्शन 1-1 में मुख्य प्लेट क्रांतिक होगी। जैसे ही यह सेक्शन 1-1 को पार करता है, बोल्ट अपनी सामर्थ्य के बराबर बल को अवशोषित करते हैं और इसे कवर प्लेटों में स्थानांतरित कर देते हैं। इसलिए सेक्शन 1-1 के बाद की कवर प्लेटो इस स्थानांतरित बल को मुख्य प्लेट मे आगे ले जाएंगी। इस प्रकार, मुख्य प्लेट मे बल कम हो जाता है क्योंकि यह 2-2, आदि जैसे क्रमिक वर्गों को पार करता है, और कवर प्लेटों में स्थानांतरित बल बढ़ जाता है। वर्तमान केस में, मुख्य प्लेट से पूरी सामर्थ्य बोल्ट द्वारा सेक्शन 3-3 को पार करने के बाद कवर प्लेट में स्थानांतरित कर दी जाएगी। इसलिए, कवर प्लेटों के लिए सेक्शन 3-3 महत्वपूर्ण होगी।



चित्र 3A.21

मुख्य प्लेट की तनन सामर्थ्य सेक्शन 1-1 में महत्वपूर्ण होगी ।

$$T_{dn1} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{m1}} (b - nd_h)\, t = 0.9 \times \frac{410}{1.25} \times (200 - 1 \times 22) \times 10 \times 10^{-3} = 525.45 \text{ kN}$$

कवर प्लेट की तनन सामर्थ्य सेक्शन 3-3 में महत्वपूर्ण होगी।

$$T_{dn2} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{m1}} (b - nd_h)\, t = 0.9 \times \frac{410}{1.25} \times (200 - 3 \times 22) \times 16 \times 10^{-3} = 632.90 \text{ kN}$$

**उदाहरण 3A.11. 10 mm और 18 mm मोटी दो प्लेटों को द्वि-कवर टक्करी जोड़ द्वारा जोड़ा जाना है। निम्नलिखित डेटा के लिए जोड़ का अभिकल्पन करें—**

| | |
|---|---|
| **गुणक अभिकल्पन भार** | **750 kN** |
| **बोल्ट व्यास** | **20 mm** |
| **इस्पात का ग्रेड** | **Fe 410** |
| **बोल्ट का ग्रेड** | **4.6** |
| **कवर प्लेट 2 (प्रत्येक तरफ एक)** | **8 mm मोटी** |

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

ग्रेड 4.6 के बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 400$ MPa

20 mm व्यास बोल्ट के लिए: $A_{nb} = 245$ mm$^2$ (तालिका 3A.1 से)

$d_h$ और $d_o = 22$ mm (तालिका 3A.3 से)

$\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$\gamma_{m1}$ = चरम प्रतिबल द्वारा अधिनियंत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

बियरिंग से प्लेट की मोटाई कम से कम 10 mm, 18 mm और 16 mm (2 × 8) होगी और इसलिए 10 mm होगी।

बोल्ट दोहरे अपरूपण और बियरिंग में होंगे। चूंकि दो प्लेटों को जोड़ने के लिए मोटाई 10 mm और 18 mm है, मोटाई 8 mm (18 – 10) की पैकिंग प्लेट की आवश्यकता होगी। साथ ही, चूंकि पैकिंग की मोटाई 6 mm से अधिक है, इसलिए गुणांक के उपयोग से जोड़ की अपरूपण सामर्थ्य को कम करना होगा।

$$\beta_{pkg} = 1 - 0.0125 \times t_{pkg} = 1 - 0.0125 \times 8 = 0.9$$

प्रति पिच लंबाई दोहरे अपरूपण में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = 2A_{nb} \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} \beta_{pkg} = 2 \times 245 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} \times 0.9 \times 10^{-3} = 81.47 \text{ kN}$$

प्रति पिच लंबाई बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य को अपरूपण से अधिक मानते हुए, आवश्यक बोल्टो की संख्या,

$$= \frac{750}{81.47} = 9.20 = 10$$

चित्र 3A.22 मे दर्शाए अनुसार बोल्ट को दो पंक्तियो (शृंखला पैटर्न (chain pattern)) में प्रदान करें। चूंकि प्रति पिच लंबाई मे दो बोल्ट होगे, बोल्ट की अपरूपण सामर्थ्य के आधार पर प्रति पिच लंबाई के जोड़ की सामर्थ्य

$$= 2 \times 81.47 = 162.94 \text{ kN}$$

अब, प्रति पिच लंबाई मे अपरूपण मे बोल्ट की सामर्थ्य को प्लेट की प्रति पिच लंबाई की शुद्ध तनन सामर्थ्य के बराबर करके, बोल्ट की पिच निर्धारित की जा सकती है।

$$T_{dn} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{m1}} (p - nd_h) t = 2 \times 81.47 \times 10^3$$

या $$0.9 \times \frac{410}{1.25} \times (p - 1 \times 22) \times 10 = 162.94 \times 10^3$$

$\Rightarrow$ $$p = 77.19 \text{ mm} < 50 \text{ mm} (> 2.5 \times 20 \text{ mm})$$

आइए हम 80 mm की पिच प्रदान करें।

$$k_b \text{ is least of } \frac{e}{3d_o} = \frac{33}{3 \times 22} = 0.5; \frac{p}{3d_o} - 0.25 = \frac{80}{3 \times 22} - 0.25 = 0.96;$$

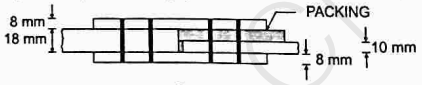
$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{410} = 0.975; \text{ और } 1.0$$

**नोट (Note):** अंत दूरी का मान कोड मे निर्दिष्ट न्यूनतम मान (तालिका 3A.3) के बराबर माना गया है। यह देखा जा सकता है कि यह $k_b$ का कारण बन रहा है, मान अन्य सीमित मानों (0.58, 0.975 और 1.0) से काफी कम है। इसलिए, यदि नीचे निर्धारित बियरिंग सामर्थ्य बोल्ट की अपरूपण सामर्थ्य से कम या लगभग समान है, तो अंत दूरी मान बढ़ाया जा सकता है और फलस्वरूप बियरिंग सामर्थ्य।

प्रति पिच लंबाई बियरिंग मे बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5 k_b \, dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}} = 2.5 \times 0.5 \times 20 \times 10 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 82.0 \text{ kN} > 81.47 \text{ kN}$$

अत:, अंत दूरी को बढ़ाने की कोई आवश्यकता नहीं है।




चित्र 3A.22.

**उदाहरण 3A.12. दो जुड़ाई कोण (Framing angles) ISA 150 mm × 150 mm × 10 mm बीम से कॉलम संयोजन बनाने के लिए उपयोग किए जाते हैं। चित्र 3A.23 में दर्शाए अनुसार बीम के वेब के दोनों ओर एक कोण रखा गया है। कोण पादों (Legs) को बीम वेब से जोड़ने के लिए 16 mm व्यास और 4.6 ग्रेड के तीन बोल्ट का उपयोग किया जाता है। उस प्रतिक्रिया का निर्धारण करें जिसे जोड़ के माध्यम से स्थानांतरित किया जा सकता है। दिया हुआ,**

**कॉलम सेक्शन ISHB 300 @ 618.03 N/m $t_f$ = 10.6 mm**

**बीम सेक्शन ISMB 350 @ 514.04 N/m $t_w$ = 8.1 mm**



**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u$ = 410 MPa

ग्रेड 4.6 के बोल्ट के लिए: $f_{ub}$ = 400 MPa

16 mm व्यास बोल्ट के लिए: $A_{nb}$ = 157 mm$^2$ (तालिका 3A.1 से)

$d_h$ and $d_o$ = 18 mm (तालिका 3A.3 से)

$\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$\gamma_{m1}$ = चरम प्रतिबल द्वारा नियंत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

बीम के वेब के साथ कोण पादों (Legs) के ढाँचेदार जोड़ (Framing Connection) बनाने के लिए बोल्ट दोहरे अपरूपण और बियरिंग में होगे।

दोहरे अपरूपण में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = 2 \times A_{nb} \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 2 \times 157 \times \frac{410}{\sqrt{3} \times 1.25} \times 10^{-3} = 58.0 \text{ kN}$$

बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5 k_b \, dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}}$$

मान लें कि अंत दूरी $e$ = 40 mm, और पिच = 65 mm (> 2.5 × 20)

$$k_b \text{ is least of } \frac{e}{3d_o} = \frac{40}{3 \times 18} = 0.74; \frac{p}{3d_o} - 0.25 = \frac{65}{3 \times 18} - 0.25 = 0.95;$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{410} = 0.975; \text{ और } 1.0.$$

अत:, $k_b$ = 0.74

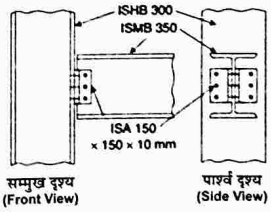
बीम के वेब पर बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5 \times 0.74 \times 16 \times 8.1 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 78.64 \text{ kN}$$

अत: एक बोल्ट की प्रबलता = 58.0 kN

चूंकि तीन बोल्ट प्रदान किए गए हैं, अधिकतम अंत प्रतिक्रिया जिसे स्थानांतरित किया जा सकता है

$$= 3 \times 58.0 = 174.0 \text{ kN}.$$




चित्र 3A.23

**उदाहरण 3A.13. निम्नलिखित डेटा के लिए एक आठ मंजिला इमारत के भूतल के एक आंतरिक कॉलम के लिए अभिकल्पन भार ज्ञात करें:**

| | |
|---|---|
| (i) प्रत्येक मंजिल की ऊंचाई | = 3.5 m |
| (ii) प्रत्येक दिशा में कॉलम c/c की रिक्ति (Spacing) | = 3.8 m |
| (iii) छत पर चल भार | = 1.5 kN/m$^2$ |
| (vi) प्रत्येक मंजिल पर चल भार | = 2.5 kN/m$^2$ |
| (v) आर०सी० की मोटाई पत्थर की पटिया | = 120 mm |
| (vi) मंजिल फिनसिभो का मृत वजन | = 1 kN/m$^2$ |
| (vii) दीवार और बीम का वजन | = 10.8 kN/m |

**5वीं मंजित के कॉलम पर अभिकल्पन भार कितना है?**

**हल : (a) पहली मंजिल के कॉलम पर—**

**अभिलाक्षणिक भार (Characteristic Loads):**

**अचल भार (Dead Load):** आर०सी० स्लैब का वजन = 0.120 × 1 × 1×25 = 3.0 kN/m$^2$

फर्श की फिनिशिंग का वजन = 1 kN/m$^2$

फर्श पर कुल अचल भार = 4 kN/m$^2$

यह मान लेना उचित है कि प्रत्येक आंतरिक कॉलम एक क्षेत्र से भार लेता है = 3.8 × 3.8 = 14.44 m$^2$

∴ फर्श से अचल भार = 4 × 14.44 = 57.76 kN

**दीवार और बीम का अचल भार (Dead Load of Wall and Beam):**

यह मान लेना उचित है कि प्रत्येक आंतरिक कॉलम बीम की लंबाई 3.8 + 3.8 = 7.6 मीटर से भार लेता है।

∴ दीवार का अचल भार और बीम का स्वयं का भार = 10.8 × 7.6 = 82.08 kN

∴ प्रत्येक मंजिल से कुल अचल भार = 82.08 + 57.76 = 139.84 kN

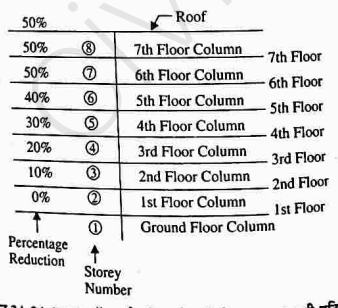
कॉलम के स्व-वजन सहित, प्रत्येक मंजिल से भार 150 kN है।

∴ आठ मंजिला इमारत के भूतल के कॉलम पर अचल भार = 150 × 8 = 1200 kN.

चल भार: ऊपर की मंजिल से चल भार = 1.5 × 3.8 × 3.8 = 21.66 kN

प्रत्येक अन्य मंजिल से चल भार = 2.5 × 3.8 × 3.8 = 36.1 kN

कॉलम पर भार की गणना करते समय चल भार मे कटौती की जानी है, क्योंकि सभी मंजिलें एक बार में पूरी तरह से भारित नहीं हो सकते है। इसके लिए लघुकरण गुणकों (Reduced Factors) का उपयोग किया जाना है। चित्र 3A.24 भूतल के कॉलम पर चल भार का पता लगाते हुए विभिन्न मंजिलो से चल भार पर लागू होने वाली प्रतिशत कटौती को दर्शाता है और तालिका 3A.4 विचार किए जाने वाले अभिलाक्षणिक भार (Characteristic Loads) को दर्शाती है।




**चित्र 3A.24. भूतल कॉलम के लिए सेट ढूंढते समय LL की प्रतिशत कटौती (Percentage reduction of LL while finding set for ground floor column)**



**Table 3A.4. चल भार के लिए अभिलाक्षणिक भार (Characteristic loads for live load)**

| तल के कॉलम (Column of Floor) | चल भार kN में (Live Load in kN) | kN में कम किया जाने वाला भार (Load to be reduced in kN) | kN में विचार किया जाने वाला भार (Load to be considered in kN) |
|---|---|---|---|
| 8$^{th}$ (Roof) | 21.66 | 0.50 × 21.66 = 10.83 | 10.83 |
| 7$^{th}$ | 36.1 | 0.50 × 36.1 = 18.05 | 18.05 |
| 6$^{th}$ | 36.1 | 0.50 × 36.1 = 18.05 | 18.05 |
| 5$^{th}$ | 36.1 | 0.40 × 36.1 = 14.44 | 21.66 |
| 4$^{th}$ | 36.1 | 0.30 × 36.1 = 10.83 | 25.27 |
| 3$^{rd}$ | 36.1 | 0.20 × 36.1 = 7.22 | 28.88 |
| 2$^{nd}$ | 36.1 | 0.10 × 36.1 = 3.61 | 32.49 |
| 1$^{st}$ | 36.1 | 0 | 36.1 |
| | | | Σ = 191.33 kN |

इस प्रकार, अभिलाक्षणिक अचल भार = 1200 kN

अभिलाक्षणिक चल भार = 191.33 kN

∴ अभिकल्पन भार = 1.5 DL + 1.5 WL

= 1.5 (1200 + 191.33)

= 2087.0 kN **Ans.**

5वीं मंजिल के कॉलम पर भार—

अचल भार = इसके ऊपर की प्रत्येक मंजिल से 150 kN

इसके ऊपर 3 मंजिल हैं।

∴ 5वीं मंजिल के कॉलम में अचल भार = 150 × 3 = 450 kN

चित्र 3A.25 5वीं मंजिल पर भार के लिए विचार की जाने वाली प्रतिशत कटौती को दर्शाता है।

| % Reduction of Live Load | |
|---|---|
| 20% | Roof (8th floor) |
| 10% | 7th floor |
| 0% | 6th floor |
| | 5th floor column |

**चित्र 3A.25—5वीं मंजिल भार गणना के लिए चल भार के लिए प्रतिशत में कटौती (Percentage reduction for live load for 5$^{th}$ floor load calculation).**

छत से चल भार (8वीं मंजिल) = 21.66 × (1 – 0.2) = 17.328 kN

7वीं मंजिल से चल भार = 36.1 × (1 – 0.1) = 32.490 kN

छठी मंजिल से चल भार = 36.1 kN

∴ कुल चल भार = 17.328 + 32.490 + 36.100 = 85.918 kN

∴ 5वीं मंजिल के कॉलम पर अभिकल्पन भार = 1.5 × 450 + 1.5 × 85.918

= 803.877 kN **उत्तर**

Civilguruji.net

**उदाहरण 3A.14. चित्र 3A.26 (i) में दर्शाए अनुसार छत कैंची के जोड़ *B* का अभिकल्पन करें। उपांग ग्रेड 4.6 के 16mm व्यास बोल्ट के साथ 12 mm मोटी गसेट प्लेट से जुड़े हुए हैं।**

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

ग्रेड 4.6 के बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 400$ MPa (तालिका 3A.1 से)

16 mm व्यास बोल्ट के लिए: $A_{nb} = 157$ mm$^2$ (तालिका 3A.3 से)

$d_h$ और $d_o = 18$ mm

$\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$\gamma_{m1}$ = चरम प्रतिबल द्वारा नियंत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

एकल अपरूपण मे बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = A_{nb}\frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 157 \times \frac{410}{\sqrt{3}\times 1.25}\times 10^{-3} = 29.0 \text{ kN}$$

दोहरे अपरूपण मे बोल्ट की सामर्थ्य = 2 × 29 = 58.0 kN

बियरिंग मे बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5\,k_t\,dt\,\frac{f_u}{\gamma_{mb}}$$

$k_b$ is least of $\frac{e}{3d_o} = \frac{40}{3\times 18} = 0.74$; $\frac{p}{3d_o} - 0.25 = \frac{50}{3\times 18} - 0.25 = 0.67$;

$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{410} = 0.975$; और 1.0. (मान लें कि $e = 40$ mm और $p = 50$ mm)

अत: $k_b = 0.67$

बियरिंग मे 16 mm व्यास बोल्ट की सामर्थ्य

(i) $t = 6$ mm, $V_{dpb} = 2.5 \times 0.67 \times 16 \times 6 \times \frac{410}{1.25}\times 10^{-3} = 52.74$ kN

(ii) $t = 8$ mm, $V_{dpb} = 2.5 \times 0.67 \times 16 \times 8 \times \frac{410}{1.25}\times 10^{-3} = 70.32$ kN

(iii) $t = 12$ mm, $V_{dpb} = 2.5 \times 0.67 \times 16 \times 12 \times \frac{410}{1.25}\times 10^{-3} = 105.48$ kN

उपांग *AB*: गुणक बल = 180 kN

उपांग दोहरे कोण खंड ISA 70 mm × 70 mm × 10 mm से बना है और 12 mm मोटी गसेट प्लेट के विपरीत साइड़ों से जुड़ा हुआ है। बोल्ट दोहरे अपरूपण में होंगे और 12 mm मोटी (कम से कम 12 और 2 × 10 mm) गसेट प्लेट के खिलाफ होंगे।

इसलिए, बोल्ट की सामर्थ्य कम से कम 58.0 kN और 105.48 kN, यानी 58.0 kN होगी।

आवश्यक बोल्टो की संख्या $= \frac{180}{58} \times 3.10 = 4$

उपांग *BC*: गुणक बल = 225 kN

उपांग दोहरे एंगल सेक्शन ISA 80 mm × 80 mm × 10 mm से बना है और 12 mm मोटी गसेट प्लेट के विपरीत किनारों पर जुड़ा हुआ है। जैसा कि उपांग *AB* के लिए ऊपर वर्णित है, बोल्ट की सामर्थ्य 58.0 kN होगी।



आवश्यक बोल्टों की संख्या $= \frac{225}{58.0} = 3.876 = 4$

उपांग *ED*: गुणक बल = 75 kN

उपांग एकल कोण खंड ISA 60 mm × 60 mm × 6 mm है और 12 mm मोटी गसेट प्लेट से जुड़ा है। बोल्ट एकल अपरूपण में होंगे और 6 mm मोटे कोण पाद (कम से कम 6 mm और 12 mm) के खिलाफ बियरिंग करेंगे।

इसलिए, बोल्ट की सामर्थ्य 29.0 kN (कम से कम 29.0 kN और 52.74 kN) होगी।

आवश्यक बोल्टों की संख्या $= \frac{75}{29} = 2.58 = 3$

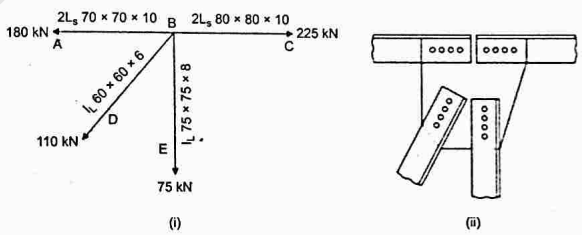
उपांग *BE*: गुणक बल = 110 kN

उपांग एकल कोण खंड ISA 75 mm × 75 mm × 8 mm है और 12 mm मोटी गसेट प्लेट से जुड़ा है। बोल्ट एकल अपरूपण में होंगे और 8 mm मोटे कोण पाद (कम से कम 8 mm और 12 mm) के खिलाफ बियरिंग करेंगे।

इसलिए, बोल्ट की सामर्थ्य 29.0 kN (कम से कम 29.0 kN और 70.32 kN) होगी।

आवश्यक बोल्टो की संख्या $= \frac{110}{29} = 3.79 = 4$

उपांगों के संयोजन का विवरण चित्र 3A.21(ii) में दिखाया गया है।




चित्र 3A.26.

**उदाहरण 3A.15. एक तान उपांग (Tie Member) में बल की दिशा के साथ ग्रेड 4.6 के 6, 20 mm व्यास बोल्ट के साथ एक गसेट प्लेट से जुड़ा था। यदि बोल्ट 75 mm की पिच पर और 40 mm के कोर-दूरी पर प्रदान किए गए थे, तो जांच लें कि जोड़ की अपरूपण क्षमता कम हो जाएगी या नहीं। यदि हाँ तो कितने प्रतिशत तक।**

**हल :** बोल्ट कां अभिहित व्यास, $d = 20$ mm

जोड़ की लंबाई, $l_j = 5 \times 75 = 375$ mm (6 बोल्ट हैं, इसलिए 5 पिचे)

चूंकि जोड़ की लंबाई (375 mm) $15d$ ($15 \times 20 = 300$ mm) से अधिक है, इसलिए जोड़ की अपरूपण क्षमता कम हो जाएगी।

लघुकरण गुणक $\beta_{lj} = 1.075 - \frac{l_j}{200\,d}$ $0.75 \le \beta_{lj} \le 1.0 = 1.075 - \frac{375}{200\times 20} = 0.98125$

अपरूपण क्षमता मे प्रतिशत कमी = (1 – 098125) × 100 = 1.875%

**उदाहरण 3A.16. निर्धारित करें कि चित्र 3A.27 में दिखाया गया जोड़ सुरक्षित है या नहीं। सेक्शन 1-1 में संयोजन बनाने के लिए ग्रेड 4.6 के 8, 16 mm व्यास के बोल्ट का उपयोग किया गया है। प्राइइंग क्रिया के प्रभाव की उपेक्षा करें।**

**इसके अलावा, T-ब्रैकेट के वेब के साथ दोहरे एंगल सेक्शन (8 mm मोटी प्रत्येक) उपांग को जोड़ने के लिए ग्रेड 4.6 के 16 mm व्यास बोल्ट की संख्या पाएं।**

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

ग्रेड 4.6 के बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 400$ MPa; $f_{yb} = 240$ MPa

16 mm व्यास बोल्ट के लिए: $A_{nb} = 157$ mm$^2$ (तालिका 3A.1 से)

$d_h$ and $d_o = 18$ mm (तालिका 3A.3 से)

$\gamma_{mb}$ = बोल्ट की सामग्री के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

$\gamma_{m1}$ = चरम प्रतिबल द्वारा नियंत्रित प्रतिरोध के लिए आंशिक सुरक्षा गुणक = 1.25

गुणक तनन बल, $T = 200$ kN

क्षैतिज घटक, $T_H = 200 \cos 45° = 141.42$ kN

इससे बोल्टों में तनाव पैदा होगा।

प्रत्येक बोल्ट में तनाव, $t_b = \dfrac{141.42}{8} = 17.68$ kN

ऊर्ध्वाधर घटक, $T_v = 200 \sin 45° = 141.42$ kN

यह बोल्ट में अपरूपण का कारण होगा।

प्रत्येक बोल्ट में अपरूपण, $V_{sb} = \dfrac{141.42}{8} = 17.68$ kN

एकल अपरूपण में बोल्ट की सामर्थ्य, $V_{nb} = A_{nb} \dfrac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_b} = 157 \times \dfrac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} \times 10^{-3} = 29.0$ kN

तनाव में बोल्ट की सामर्थ्य, $T_{db} = T_{nb}/\gamma_{mb}$

$T_{db} = 0.9\, f_{ub} A_{nb} = 0.9 \times 400 \times 157 \times 10^{-3} = 56.52$ kN

या $f_{yb} = \dfrac{\gamma_{mb}}{\gamma_{m_o}} A_{sb} \left( i.e., 240 \times \dfrac{1.25}{1.10} \times 201 \times 10^{-3} = 54.82 \text{ kN} \right)$

अतः, $T_{db} = \dfrac{T_{nb}}{\gamma_{mb}} = \dfrac{54.82}{1.25} = 43.85$ kN

**जाँच:** $\left(\dfrac{V_{sb}}{V_{dsb}}\right)^2 + \left(\dfrac{T_b}{T_{db}}\right)^2 \le 1$

या $\left(\dfrac{17.68}{29}\right)^2 + \left(\dfrac{17.68}{43.85}\right)^2 \le 1 = 0.53 < 1$

जो ठीक है, और सेक्शन 1-1 में जोड़ सुरक्षित है।

उपांग प्रत्येक पाद 8 mm की मोटाई के साथ दोहरे कोण सेक्शन से बना है। कोणों को T-ब्रैकेट के वेब के विपरीत दिशा में रखा गया है। बोल्ट दोहरे सामर्थ्य और बियरिंग में होंगे।



दोहरे अपरूपण में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = 2 \times A_{nb} \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 2 \times 157 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 1.25} = 58.00 \text{ kN}$$

बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dpb} = 2.5\, k_b\, dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}}$$

$k_b$ is least of $\dfrac{e}{3d_o} = \dfrac{40}{3 \times 18} = 0.74$; $\dfrac{p}{3d_o} - 0.25$

$= \dfrac{50}{3 \times 18} - 0.25 = 0.67$;

$\dfrac{f_{ub}}{f_u} = \dfrac{400}{410} = 0.975$; and 1.0.

अतः, $k_b = 0.67$

यहां, अंत दूरी को 40 mm और पिच को 50 mm माना जाता है।

बोल्ट T-ब्रैकेट के 10 mm मोटे वेब (10 mm से कम और $2 \times 8$ mm से कम) पर होगा

$$V_{dpb} = 2.5 \times 0.67 \times 16 \times 10 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3}$$

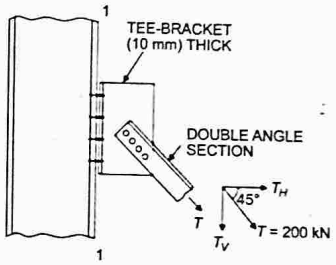
$= 87.90$ kN

अतः, बोल्ट की सामर्थ्य = 58.00 kN

आवश्यक बोल्टों की संख्या $= \dfrac{200}{58.00}$

$= 3.44 = 4$

संयोजन बनाने के लिए 4, 16 mm व्यास के बोल्ट प्रदान करें।




चित्र 4.27

**उदाहरण 3A.17. चित्र 3A.28 में दिखाए गए आलम्ब संयोजन (Hanger Connection) की पर्याप्तता की जाँच करें। चित्र में दिखाए गए एंड-प्लेट वेल्डित संयोजन को अभिकल्पन करने की आवश्यकता नहीं है। बोल्ट की अंत दूरी 50 mm है। संयोजन बनाने के लिए 30 mm व्यास के दो बोल्ट का उपयोग किया जाता है। अंत प्लेट 260 × 150 mm आकार में है। यदि संयोजन अपर्याप्त पाया जाता है, तो इसे सुरक्षित बनाने का एक तरीका सुझाएं।**

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

$f_y = 240$ MPa $(20 < t < 40)$ mm

4.6 ग्रेड के बोल्ट के लिए; $f_{ub} = 400$ MPa

30 mm व्यास बोल्ट के लिए: $A_{nb} = 561$ mm$^2$ (तालिका 3A.1 से)

$d_h$ और $d_o = 33$ mm (तालिका 3A.3 से)

civilguru.net

प्रूफ प्रतिबल, $f_o = 0.7\ f_{ub} = 0.7 \times 400 = 280\ \text{N/mm}^2 = 0.28\ \text{kN/mm}^2$

बोल्ट को गैर-पूर्व-तनन रहने दें (साधारण बोल्ट); $\beta = 2$

$$l_v = \frac{260}{2} - \frac{16}{2} - 8 - 50$$

$$= 64\ \text{mm}$$

$$2T_e = 200\ \text{kN}$$

अत:, $T = 100\ \text{kN}$

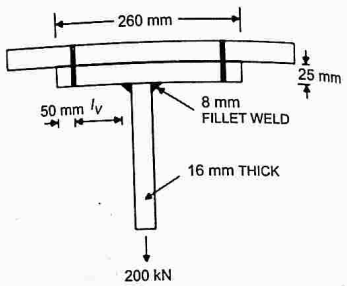
$$l_e = 1.1\, t \sqrt{\beta \frac{f_o}{f_y}}$$

$$= 1.1 \times 25 \times \sqrt{2 \times \frac{280}{240}}$$

$$= 42.0\ \text{mm}$$

$l_e$ 41.158 mm या 50 mm (अंत दूरी) से कम है

अत:, $l_e = 42\ \text{m}$




चित्र 3A.28

प्राइंग बल, $$Q = \frac{l_v}{2l_e}\left[T_e - \frac{\beta\eta\, f_o b_e\, t^4}{27\, l_e\, l_v^2}\right] = \frac{64}{2 \times 42} \times \left[100 - \frac{2 \times 1.5 \times 0.28 \times 150 \times 25^4}{27 \times 42 \times 64^2}\right]$$

$$= 68.11\ \text{kN}$$

बोल्ट पर कुल भार, $B = T_e + Q = 100 + 68.11 = 168.11\ \text{kN}$

30 mm व्यास बोल्ट की तनन क्षमता, $T_{db} = \frac{T_{nb}}{\gamma_{mb}}$

$$T_{nb} = 0.9\ A_{nb} f_{ub} = 0.9 \times 561 \times 400 \times 10^{-3} = 201.96\ \text{kN}$$

$$\text{या}\quad A_{sb} f_{yb} \frac{\gamma_{mb}}{\gamma_{m0}} = 706 \times 240 \times \frac{1.25}{1.10} \times 10^{-3} = 192.54\ \text{kN}$$

अत:, $$T_{db} = \frac{192.54}{1.25}\ \text{kN} = 154.03\ \text{kN}$$

जो असुरक्षित है। $< 168.11\ \text{kN}$

प्राइंग बल को कम करने के लिए हम एक मोटी प्लेट, मान लीजिए 32 mm प्रदान करते हैं। बोल्ट में तन्यता बल, $T_e$ = 100 kN, और बोल्ट की तनन क्षमता, $T_{db}$ = 154.03 kN।

$$l_e = 1.1 \times 32 \times \sqrt{2 \times \frac{280}{240}} = 53.76\ \text{mm} > 50\ \text{mm};\ \text{अत:},\ l_e = 50\ \text{mm}$$

प्राइंग सामर्थ्य जिसे अनुमति दी जा सकती है, $Q = 154.03 - 100 = 54.03\ \text{kN}$

वेल्ड के पदाग्र पर आघूर्ण = $T_e l_v - Q l_e = 100 \times 64 - 54.03 \times 50 = 3698.5\ \text{kNmm}$

$$\text{आघूर्ण क्षमता} = \frac{f_y}{1.1} \times \frac{b_e t^2}{4} = \frac{240}{1.1} \times \frac{150 \times 32^2}{4} \times 10^{-3}$$

$$= 8378.18\ \text{kN mm} > 3698.5\ \text{kNmm}$$

जो ठीक है।



प्राइंग बल, $$Q = \frac{l_v}{2l_e}\left[T_e - \frac{\beta\eta\, f_o b_e\, t^4}{27\, l_e\, l_v^2}\right] = \frac{64}{2 \times 50} \times \left[100 - \frac{2 \times 1.5 \times 0.28 \times 150 \times 32^4}{27 \times 50 \times 64^2}\right]$$

$$= 48.70\ \text{kN} < 54.03\ \text{kN}$$

जो ठीक है।

**उदाहरण 3A.18. एक ISA 100 mm × 100 mm × 10 mm में 100 kN का एक गुणक तन्यता बल होता है। इसे 12 mm मोटी गसेट प्लेट के साथ जोड़ा जाना है। जब (a) कोई सर्पण की अनुमति नहीं है, (b) जब सर्पण की अनुमति है तो एक उच्च सामर्थ्य बोल्ट जोड़ अभिकल्पन करें। इस्पात Fe 410. ग्रेड का है।**

**हल :** आइए हम ग्रेड 8.8S और व्यास 16 mm के HSFG बोल्ट प्रदान करें।

8.8S ग्रेड बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 800\ \text{MPa}$ (तालिका 3A.2 से)

$A_{nb} = 157\ \text{mm}^2$

Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410\ \text{MPa}$

जब सर्पण की अनुमति नहीं है तो जोड़ सर्पी-क्रांतिक संयोजन (Slip-Critical Connection) होगा और जब जोड़ किए गए सेक्शन को सर्पण करने की अनुमति होगी, तो जोड़ एक बियरिंग-प्रकार संयोजन होगा।

**(a) सर्पी-क्रांतिक संयोजन (Slip-critical connection)**

प्रूफ भार, $F_o = A_{nb} \times 0.7\ f_{ub} = 157 \times 0.7 \times 800 \times 10^{-3} = 87.9\ \text{kN}$

$$\text{बोल्ट का सर्पण प्रतिरोध} = \mu_f\, n_e\, k_h \frac{F_o}{\gamma_{mf}}$$

यहाँ, $\mu_f = 0.5$ (मानते हुए)

$n_e$ = सर्पण के लिए घर्षण प्रतिरोध की पेशकश करने वाले प्रभावी अंतरपृष्ठ की संख्या = 1

$\gamma_{mf} = 1.25$ चरम भार पर

$k_h = 1.0$ (अवकाश छिद्र में बोल्ट मानकर)

$$\text{बोल्ट का सर्पण प्रतिरोध} = 0.5 \times 1 \times 1 \times \frac{87.9}{1.25} = 35.16\ \text{kN}$$

$$\text{आवश्यक बोल्टों की संख्या} = \frac{100}{35.16} = 2.84 \simeq 3$$

संयोजन बनाने के लिए 3, 16 mm व्यास 8.8S ग्रेड HSFG बोल्ट प्रदान करें।

**(b) बियरिंग-प्रकार संयोजन (Bearing-type connection)**

एकल अपरूपण में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = A_{nb} = \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 157 \times \frac{800}{\sqrt{3} \times 1.25} \times 10^{-3} = 58\ \text{kN}$$

बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य, (मानते हुए $k_b = 1.0$)

$$V_{dpb} = 2.5\, k_b\, dt = \frac{f_u}{\gamma_{mb}} = 2.5 \times 1 \times 16 \times 10 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 131.2\ \text{kN}$$

अत: बोल्ट की प्रबलता = 58 kN

आवश्यक बोल्टों की संख्या $= \frac{100}{58} = 1.72 \simeq 2$

ग्रेड 8.8S के 2, 16 mm व्यास के HSFG बोल्ट प्रदान करें।

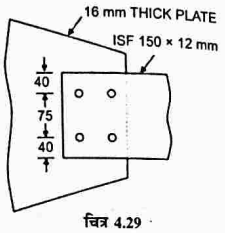
civilguruone

**उदाहरण 3A.19. चित्र 3A.24 में दिखाया गया संयोजन ISF 150 × 12 mm को गसेट प्लेट से जोड़ने के लिए अपरूपण तल में चूड़ियों के साथ 20 mm व्यास 10.9S ग्रेड बोल्ट का उपयोग करता है। जोड़ की सामर्थ्य निर्धारित करें यदि—**
**(a) सर्पण की अनुमति नहीं है (b) सर्पण की अनुमति है**
**जोड़ की ब्लॉक अपरूपण सामर्थ्य पर विचार नहीं किया जाना चाहिए।**

**हल :** Fe 410 ग्रेड इस्पात के लिए: $f_u = 410$ MPa

10.9 ग्रेड बोल्ट के लिए: $f_{ub} = 1040$ MPa (तालिका 3A.2 से)

$A_{nb} = 245$ mm$^2$



चित्र 4.29

**(a) सर्पी-क्रांतिक संयोजन (सर्पण की अनुमति नहीं है)**

प्रुफ भार, $F_o = A_{nb} \times 0.7 f_{ub}$
$= 245 \times 0.7 \times 1040 \times 10^{-3}$
$= 178.36$ kN

बोल्ट का सर्पण प्रतिरोध $= \mu_f n_e \times k_h = \dfrac{F_o}{\gamma_{mf}}$

मान लो कि $\mu_f = 0.5, K_h = 1$

$n = 1, \gamma_{mf} = 1.25,$ (चरम भार पर)

20 mm व्यास बोल्ट का सर्पण प्रतिरोध $= 0.5 \times 1 \times 1 \times \dfrac{178.36}{1.25} = 71.34$ kN

जोड़ में 4 बोल्ट होते हैं।

इसलिए, संयोजन की सामर्थ्य $= 4 \times 71.34 = 285.36$ kN

**(b) बियरिंग-प्रकार संयोजन (सर्पण की अनुमति है)**

एकल अपरूपण में बोल्ट की सामर्थ्य,

$$V_{dsb} = A_{nb} = \frac{f_{ub}}{\sqrt{3}\,\gamma_{mb}} = 245 \times \frac{1040}{\sqrt{3} \times 1.25} \times 10^{-3} = 117.68 \text{ kN}$$

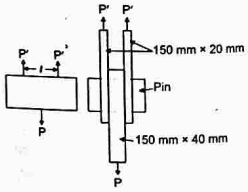
बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य, (Let $k_b = 1$)

$$V_{dpb} = 2.5\, k_b dt \frac{f_u}{\gamma_{mb}} = 2.5 \times 1 \times 20 \times 12 \times \frac{410}{1.25} \times 10^{-3} = 196.8 \text{ kN}$$

अपरूपण और बियरिंग में बोल्ट की सामर्थ्य न्यूनतम सामर्थ्य होगी। इसलिए, 20 mm व्यास वाले बोल्ट की सामर्थ्य 117.68 kN है। जोड़ में 4 बोल्ट होते हैं।

इसलिए, संयोजन की सामर्थ्य
$= 4 \times 117.68 = 470.72$ kN.

**उदाहरण 3A.20. चित्र 3A.30 में दर्शाए गए तनन लिंक के लिए एक पिन अभिकल्पन करें। प्लेट सेक्शन दिखाए गए हैं और Fe 410 ग्रेड इस्पात के हैं।**
**नोट: घूर्णन की आवश्यकता नहीं है और पिन को हटाने का इरादा नहीं है।**



चित्र 3A.30



**हल :** प्रत्येक 20 mm प्लेट द्वारा प्रेषित चरम कर्षण (Ultimate Pull),

$$P' = f_{yp} ht = 250 \times 150 \times 20 \times 10^{-3} = 750 \text{ kN}$$

चरम भार, $P_u = 2 \times 750 = 1500$ kN

चरम आघूर्ण, $M_u = \dfrac{P_u l}{4} = \dfrac{1500 \times 10^3 \times (40 + 10 + 10)}{4} = 22.5 \times 10^6$ Nmm

पिन का व्यास, $d = \left(21.33 \times \dfrac{M_n}{\pi f_{yp}}\right)^{1/3} = \left(21.33 \times \dfrac{22.5 \times 10^6}{\pi \times 250}\right)^{1/3} = 84.858$ mm

90 mm व्यास का पिन प्रदान करें।

**उदाहरण 3A.21. चित्र 3A.31 में दिखाए अनुसार समानांतर 175 mm × 40 mm आई बार (Eye Bar) (Fe 410 ग्रेड इस्पात) के दो जोड़े को जोड़ने के लिए एक पिन का अभिकल्पन करें।**

**हल :** आई बार में चरम तनन बल, $P' = f_{yp} bt = 250 \times 175 \times 40 \times 10^{-3} = 1750$ kN

अधिकतम वंकन आघूर्ण $B$ और $C$ पर होगा।

चरम आघूर्ण, $M_n = 1750 \times (20 + 3 + 20) = 75250$ kNmm $= 75.25 \times 10^6$ Nmm

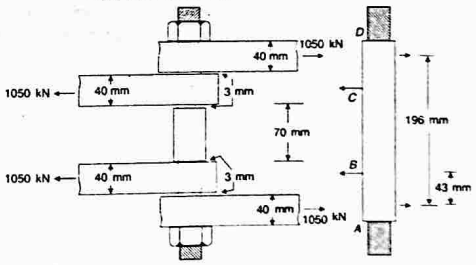
पिन का व्यास, $d = \left(21.33 \times \dfrac{M_n}{\pi f_{yp}}\right)^{1/3} = \left(21.33 \times \dfrac{75.25 \times 10^6}{\pi \times 250}\right)^{1/3} = 126.90$ mm

130 mm व्यास पिन प्रदान करें।

**जाँच *(Checks)***

1. पिन की अपरूपण क्षमता $= 0.6 f_{yp} A = 0.6 \times 250 \times \dfrac{\pi \times 130^2}{4} \times 10^{-3}$
$= 1990.98$ kN $> 1750$ kN जो ठीक है।

2. पिन की बियरिंग क्षमता $= 1.5 f_{yp}\, dt = 1.5 \times 250 \times 130 \times 40 \times 10^{-3}$
$= 1950$ kN $> 750$ kN जो ठीक है।



चित्र 3A.31

**जाँच (*Checks*)**

1. पिन की अपरूपण क्षमता $= 0.6 f_{up} A = 0.6 \times 250 \times \frac{\pi \times 90^2}{4} \times 10^{-3} = 954.25 \text{ kN} < 1500 \text{ kN}$

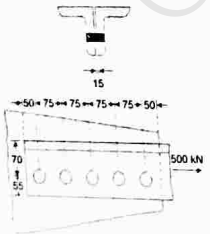
पिन सुरक्षित नहीं है। आइए पिन का आकार बढ़ाकर 115 mm करें।

पिन की अपरूपण क्षमता $= 0.6 \times 250 \times \frac{\pi \times 115^2}{4} \times 10^{-3} = 1558 \text{ kN} > 1500 \text{ kN}$ जो ठीक है।

2. पिन की बियरिंग क्षमता $= 1.5 f_{up} dt = 1.5 \times 250 \times 115 \times 20 \times 10^{-3} = 862.5 \text{ kN} > 750 \text{ kN}$ जो ठीक है।

## प्रश्नावली – 4

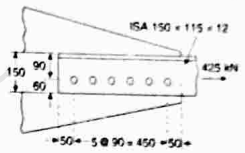
1. (a) संयोजक (Connectors) क्या है?
   (b) संयोजन (Connections) का अभिकल्पन क्यों महत्वपूर्ण है?
   (c) बोल्ट क्या है? विभिन्न प्रकार के बोल्टों की सूची बनाएं।
   (d) बोल्ट में अनुज्ञेय प्रतिबलों (Permissible Stresses) का उल्लेख करें।
   (e) विभिन्न प्रकार के बोल्ट वाले जोड़ क्या है? ISA 800 के अनुसार उनके विनिर्देशों की सूची बनाएं।
   (f) बोल्ट वाले जोड़ों की विफलता पर एक संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।
   (g) बोल्ट वाले जोड़ों के सिद्धांत में क्या मान्यताएं हैं।
   (h) बोल्ट वाले जोड़ों की सामर्थ्य और दक्षता की व्याख्या करें।
   (i) अक्षीय रूप से धारित उपांगों के लिए बोल्ट वाले जोड़ों के अभिकल्पन पर एक संक्षिप्त टिप्पणी लिखें।
2. इस्पात संरचनाओं में प्रयुक्त बोल्टों के प्रकारों का वर्णन कीजिए।
3. प्राइइंग बल (Prying Forces) क्या है?
4. श्रांति (Fatigue) के अधीन जोड़ों के लिए, किस प्रकार के संयोजकों का प्रयोग किया जाता है?
5. बोल्ट वाले जोड़ों के प्रकारों का वर्णन कीजिए।
6. बोल्ट वाले जोड़ की सामर्थ्य और दक्षता की व्याख्या कीजिए।
7. बोल्ट जोड़ों के लिए IS-800 सेक्शन के अनुसार विनिर्देशन की व्याख्या करें।
8. 10 mm मोटी प्लेटों में पानी की टंकी बनाई जाती है। प्लेटों को 50 mm की पिच पर 16 mm व्यास के साधारण बोल्ट का उपयोग करके एकल बोल्टेड चढ़ाव जोड़ से जोड़ा जाता है। जोड़ की दक्षता का पता लगाएं।
9. व्याख्या करें कि मान्यता (assumption बोल्ट जोड़ का सिद्धांत है।
10. एक दोहरे-कोण तनन उपांग में 2 ISA 125 × 95 × 10 mm होते हैं जो 10 mm मोटी गसेट प्लेट से जुड़े होते हैं, जिसमें ग्रेड 8.8S के 20 mm व्यास उच्च सामर्थ्य वाले बोल्ट होते हैं, जैसा कि चित्र 3A.32 में दिखाया गया है। क्या संयोजन में अपरूपण और बियरिंग के आधार पर पर्याप्त क्षमता है।




चित्र 3A.32

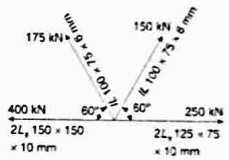


11. दो प्लेटों को जोड़ने के लिए एक दोहरे-कवर टक्करी जोड़ का अभिकल्पन करें, प्रत्येक 12 mm मोटी और 300 mm चौड़ी है। स्थानांतरण किया जाने वाला सेवा भार 200 kN है।
12. चित्र 3A.33 में दिखाए गए सर्पी-क्रांतिक संयोजन की सुरक्षा की जांच करें। कोण खंड ISA 150 × 115 × 12 mm, 30 mm व्यास उच्च-सामर्थ्य घर्षण-पकड़ बोल्ट का उपयोग करके, 10 mm मोटी गसेट प्लेट से जुड़ा हुआ है।




चित्र 3A.33.

13. छत कैंची के उपांगों के लिए 10 mm मोटी गसेट प्लेट के साथ संयोजन का अभिकल्पन करें, जैसा कि चित्र 3A.34 में दिखाया गया है। ग्रेड 4.6 के 16 mm व्यास के बोल्ट का प्रयोग करें।




चित्र 3A.34.

14. एक कॉलम ISHB 200 @ 392.4 N/m में 550 kN का अक्षीय संपीडन गुणक भार होता है। उच्च सामर्थ्य वाले बोल्ट का उपयोग करके कॉलम सेक्शन के साथ गसेट सामग्री के संयोजन का अभिकल्पन करें।
15. ग्रेड 4.6 के 20 mm व्यास बोल्ट का उपयोग करके 300 mm चौड़ी और 16 mm मोटी दो प्लेटों को जोड़ने के लिए एक चढ़ाव जोड़ अभिकल्पन करें। अनुप्रयुक्त सेवा भार 375 kN है।

civilguru.net

# 4 संरचनात्मक इस्पातीय जोड़-II
## (STRUCTURAL STEEL CONNECTIONS-II)
## वेल्डित (झलाई) जोड़ (WELDED JOINTS)

### § 4.1. वेल्डन या झलाई (Welding) :

वेल्डन (झलाई) संरचनात्मक अवयवो को आपस मे जोड़ने की प्रक्रिया है। इस प्रक्रिया से विभिन्न अवयव या उपांगो (जैसे प्लेट या अन्य खण्ड) के जोड़ने वाले किनारो या सतह को दाब द्वारा या गर्म करके पिघलने की स्थिति मे लाया जाता है। द्रव ठंडा होने पर ये अवयव या उपाग आपस मे मजबूती से जुड़ जाते है तथा इनमे संयुक्त रूप मे कार्य करने की क्षमता आ जाती है।

वेल्डिंग की अनेक विधियाँ है, जिनमे सामान्यत: निम्न विधियाँ प्रयोग की जाती हैं—

(i) मेटल आर्क वैल्डन (Metal Arc Welding),

(ii) गैस वेल्डन (Gas Welding)।

इन विधियो मे वेल्डन की प्रक्रिया निम्नवत् की जाती है—

सर्वप्रथम उपागो के जोड़ने वाले किनारो या सतहो को पास-पास लाया जाता है तथा इन्हें गर्म कर संगलित (Fused) किया जता है। संगलित अवस्था मे, इनमे स्थित दूरी (Gap) मे पूरक पदार्थ (Filler Material) भर दिया जाता है। ठंडा होने पर उपांग एक-दूसरे से भली-भाँति जुड़ जाते है।

उपांगो के संगलित होने वाले भाग को संगलन क्षेत्र (Fusion Zone) कहा जाता है। (चित्र 4.2 (a))। दूरियों (Gaps) में भरे जाने वाले पदार्थ को पूरक धातु (Filler Metal) कहा जाता है। पूरक धातु (Filler Metal) वेल्डिंग छड़ों (Electrode) द्वारा प्राप्त होता है।

(वेल्डिंग प्रक्रिया की अधिक जानकारी के लिये सम्बद्ध-विषय की पाठ्य-पुस्तक देखें) (इस विषय से सम्बन्धी I.S. : 1278, 72, 80, 3613, 6419, 6560 देखे)।

### § 4.2. वेल्ड जोड़ों की लाभ व हानियाँ (Advantages and Disadvantages) :

वेल्ड जोड़ो (Welded Joints) के लाभ व हानियाँ निम्नलिखित हैं—

**लाभ (Advantages)—**

(i) वेल्डिंग प्रक्रिया मे कम समय लगता है।

(ii) रिवेटिंग की अपेक्षा वेल्डिंग कार्य मे कम शोर उत्पन्न होता है।

(iii) वेल्ड जोड़ अन्य जोड़ो की अपेक्षा दृढ़ (Rigid) होते है।

(iv) वेल्ड जोड़ो की दक्षता अधिक होती है।

(v) जोड़ कम भारी होता है क्योंकि संयोजक एंग्ल, गेसेट प्लेट आदि लगाने की आवश्यकता नहीं रहती है।

(vi) अवयव के परिच्छेद (Section) के मापों का कोई सीमा-बन्धन नहीं है। छोटे से छोटे अवयव पर भी वेल्डन की जा सकती है।

(vii) वेल्डन गोलाकार सतह व पाइपो पर भी आसानी से की जा सकती है, जहाँ रिवेटन नहीं हो पाती है।

(viii) वेल्ड जोड़ देखने मे अच्छा लगता है।

(ix) वेल्ड जोड़ मितव्ययी होते है। इनके अनुरक्षण की कम आवश्यकता रहती है।

**हानियाँ (Disadvantages)—**

(i) वेल्डिंग प्रक्रिया के दौरान अत्यधिक गर्मी उत्पन्न होने के कारण उपांगो में विरूपण हो सकता है।

(ii) वेल्डिंग प्रक्रिया मे सक्षम कारीगर की आवश्यकता होती है।





(iii) उपांगो में दरार पड़ने की सम्भावना होती है।

(iv) वेल्डन जोड़ो मे पूरक धातु पूरे गहराई तक पहुँचने तथा संगलन (Fusion) पूरे गहराई या मोटाई तक होने के बारे में आशंका बनी रहती है तथा इसका निरीक्षण करना कठिन होता है।

(v) रिवेटित जोड़ की अपेक्षा वेल्डिगं जोड़ जल्दी विफल हो सकता है।

### § 4.3. वेल्ड जोड़ों के प्रकार (Types of Welded Joints) :

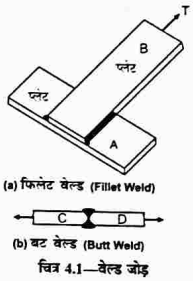
वेल्ड जोड़ो के निम्न प्रकार होते हैं—

(i) फिलेट वेल्ड (Fillet Welds), (ii) बट या टक्करी वेल्ड (Butt Welds)।

चित्र 4.1 मे फिलेट वेल्ड जोड़ एवं बट वेल्ड जोड़ दिखाये गये है।

फिलेट वेल्ड जोड़ एवं बट वेल्ड जोड़ों की कल्पना रिवेट लैप जोड़ तथा रिवेट बट जोड़ से की जा सकती है।

फिलेट वेल्ड जोड़ में रिवेट लैप जोड़ की भाँति एक प्लेट को दूसरे प्लेट पर रखा जाता है। चित्र 4.1 (a) में दर्शित फिलेट वेल्ड जोड़ मे प्लेट "*A*" पर प्लेट "*B*" रखी जाती है तथा लगने वाले बल की दिशा के समानांतर प्लेट "*B*" के किनारो पर वेल्डिंग किया जाता है। पूरक धातु (Fillet Material) संगलन प्रक्रिया के माध्यम से प्लेट "*B*" को प्लेट "*A*" से भली-भाँति जोड़ देता है (प्लेट *A* व प्लेट *B* को क्रमश: उपांग *A* व उपांग *B* कहा जाता है)। स्पष्ट है कि वेल्डिंग प्रक्रिया रिवेटिंग की अपेक्षा सरल है तथा कम समय मे प्लेटें (अथवा उपांग) एक दूसरे से स्थाई तौर से जुड़ जाते हैं।



चित्र 4.1—वेल्ड जोड़

बट वेल्ड जोड़ में रिवेट बट जोड़ों की भाँति प्लेटों को एक ही समतल में एक दूसरी से **सटाते** हुए रखा जाता है जैसे चित्र 4.1 (b) में प्लेटें *C* व *D* (अथवा उपांग *C* व *D*) एक दूसरी से सटाते हुये रखी गयी हैं। इसे जोड़ में प्लेटों के सटे हुए किनारों को संगलन प्रक्रिया से एक-दूसरे के साथ जोड़ा जाता है।

संगलन प्रक्रिया एवं जोड़ों से सम्बन्धित संज्ञाएँ एवं उनका विस्तृत विवरण आगे प्रत्येक जोड़ के विश्लेषण में दिया गया है तथा इन्हे उदाहरणों द्वारा स्पष्ट किया गया है।

**4.3-1. उत्पन्न प्रतिबलों का स्वरूप** (Nature of Stresses Developed)—फिलेट वेल्ड जोड़ में उपांग *A* व *B* जोड़े गये है (चित्र 4.1 (a))। यदि उपांग "*B*" पर बल *T* कार्य करता है तो यह फिलेट वेल्ड की पूरी लम्बाई (जो उपांग *A* की चौड़ाई की दो गुनी होगी) द्वारा प्रतिरोधित होगा। इस बल की प्रवृत्ति वेल्ड को पूरी लम्बाई में काटने की होगी। अत: फिलेट वेल्ड जोड़ मे **अपरूपण प्रतिबल** उत्पन्न होगा।

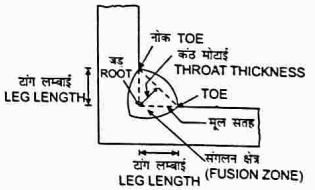
**बट वेल्ड** जोड़ में उपांग *C* तथा *D* एक ही समतल में पास-पास रखते हुए जोड़े गये हैं (चित्र 4.1.b)। इस स्थिति में यदि उपांगों पर, बल *T* आता है तो यह पूरी वेल्ड लम्बाई द्वारा प्रतिरोधित होगा। यद्यपि इससे जोड़ में (अक्षीय) **तनन प्रतिबल** उत्पन्न होगा।

जोड़ की स्थिरता एवं सुरक्षा के लिये आवश्यक है कि उत्पन्न वास्तविक प्रतिबलों (फिलेट वेल्ड मे अपरूपण प्रतिबल तथा बट वेल्ड में तनन प्रतिबल) के मान अनुज्ञेय प्रतिबलों से अधिक न हो।

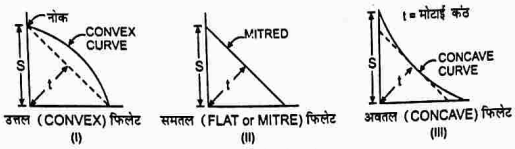
### § 4.4. फिलेट वेल्ड (Fillet Welds) :

फिलेट वेल्ड सामान्यत: लैप जोड़ों में अथवा जहाँ उपांग समकोण पर मिलते हों, दिये जाते हैं।

जोड़ में वेल्ड की सतह के अनुसार इसे उत्तल (Convex) फिलेट, समतल या कल्मी फिलेट (Flat or Mitre Fillet) या अवतल (Concave) फिलेट वेल्ड कहा जाता है। यह जोड़ चित्र 4.2 (a) तथा (b) में दिखाये गये है।



चित्र 4.2(a)—फिलेट वेल्ड




उत्तल (CONVEX) फिलेट (I) समतल (FLAT or MITRE) फिलेट (II) अवतल (CONCAVE) फिलेट (III)

**चित्र 4.2(b)—फिलेट वेल्ड के प्रकार**

**4.4-1. फिलेट वेल्ड के परिमाप**—फिलेट वेल्ड के निम्न परिमाप होते हैं—

(i) **टाँग लम्बाई** (Leg Length)—यह संगलन क्षेत्र में बने त्रिभुज की दो समान भुजाओं में से किसी एक के बराबर होती है (चित्र 4.2 a)।

(ii) **वेल्ड का माप** (Size of Weld)—एक सामान्य फिलेट वेल्ड का माप उसकी न्यूनतम टाँग लम्बाई के बराबर लिया जाता है। इसे "S" से दर्शित किया जाता है।

(iii) **कंठ मोटाई** (Throat Thickness)—यह वेल्ड की नोकों (Toes) को मिलाने वाली रेखा (त्रिभुज या कर्ण) से वेल्ड के जड़ (Root) तक की लम्बवत् दूरी होती है। प्रतिबल की गणना करने के लिये प्रभावी कंठ मोटाई ली जाती है। इसे '$t$' से प्रदर्शत किया जाता है।

**4.4-2. परिमापों की गणना**—फिलेट वेल्ड के विश्लेषण में जोड़ की सामर्थ्य आदि की गणना हेतु जोड़ के विभिन्न परिमापों की गणना भारतीय मानक IS : 816–1969 के अनुसार निम्नवत् की जा सकती है—

**(1) न्यूनतम माप** (Minimum Size)—यह तालिका 4.1 में दिये गये हैं।

**तालिका 4.1—फिलेट वेल्ड के न्यूनतम माप**

| मोटे भाग की मोटाई | न्यूनतम माप mm में |
|---|---|
| 10 mm तक | 3·0 |
| 10 mm से अधिक तथा 20 mm तक | 5·0 |
| 20 mm से अधिक तथा 32 mm तक | 6·0 |
| 32 mm से अधिक तथा 50 mm तक | 8·0 First Run 10·0 फिलेट माप |

**नोट**—फिलेट वेल्ड का न्यूनतम माप पतले भाग की मोटाई से कम नहीं होना चाहिये।

अधिक मोटाई के उपांगो के वेल्डन हेतु उन्हें पहले गरम (Pre-heating) करने हेतु सावधानी बरती जानी चाहिये।

**(2) अधिकतम माप** (Maximum Size)—यह निम्न प्रकार लिया जाता है—

(i) वर्गाकार किनारे के लिये (For Square Edge)—

$S$ = प्लेट की मोटाई – 1·5 mm

(ii) गोलाकार किनारे के लिये (For Rounded Edge)

$$S = \frac{3}{4} \times \text{प्लेट की मोटाई}$$

**(3) प्रभावी कंठ मोटाई** (Effective Throat Thickness)—इसका मान निम्न प्रकार लिया जाता है—

$$t = k \cdot S$$

यहाँ $t$ = प्रभावी कंठ की मोटाई ...(4.1)

$k$ = स्थिरांक

$S$ = वेल्ड की माप

"$k$" एक स्थिरांक है जो संगलित सतहों के बीच कोण पर निर्भर करता है। इसके मान तालिका 4.2 में दिये गये हैं।



**तालिका 4.2 : स्थिरांक $k$ के मान (I.S. 816-1969)**

| संगलित सतहों (Fusion face) के बीच कोण | | | "$k$" स्थिरांक | टिप्पणी |
|---|---|---|---|---|
| 60° | से | 90° | 0·70 | सामान्यत: यह कोण 60° से 90° तक होता है, जिसके लिये $k$ = 0·70 लिया जाता है |
| 91° | से | 100° | 0·65 | |
| 101° | से | 106° | 0·60 | |
| 107° | से | 113° | 0·55 | |
| 114° | से | 120° | 0·50 | |

**नोट**—संगलित सतहों के मध्य 60° से कम और 120° से अधिक कोण मान्य नही है।

**(4) फिलेट वेल्ड की प्रभावी लम्बाई** (Effective Length of Fillet Weld)—फिलेट वेल्ड की प्रभावी लम्बाई निम्नवत् ली जाती है—

प्रभावी लम्बाई = वास्तविक लम्बाई – 2 × वेल्ड का माप

**4.4-3. फिलेट वेल्ड की सामर्थ्य** (Strength of Fillet Weld)—

यदि $t$ = प्रभावी कंठ मोटाई

$S$ = वेल्ड की माप

$f_s$ = वेल्ड में अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल

$L$ = वेल्ड की प्रभावी लम्बाई

$P$ = वेल्ड का सामर्थ्य

यदि $t, S, L$ मिमी० (mm) में तथा $f_s$, N/mm$^2$ में हो तो सामर्थ्य ($P$), ($N$) न्यूटन मे प्राप्त होगी तथा अनुच्छेद 4.3-1 के अनुसार फिलेट वेल्ड में अपरूपण प्रतिबल उत्पन्न होगा। यदि अपरूपण क्षेत्रफल ज्ञात हो तो वेल्ड की सामर्थ्य ज्ञात होगी।

अत; सामर्थ्य = अपरूपण क्षेत्रफल × अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल

अपरूपण क्षेत्रफल निम्न प्रकार लिया जाता है—

अपरूपण क्षेत्रफल = प्रभावी कंठ मोटाई × प्रभावी लम्बाई

$$= t \times L$$

परन्तु प्रभावी कंठ मोटाई, $t = k \cdot s$ ...(सूत्र)

अत: सामर्थ्य = प्रभावी कंठ मोटाई × प्रभावी लम्बाई × अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल

अथवा $P = t \times L \times f_s$ ...(4.2)

अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल का मान 110 N/mm$^2$ मे लिया जाता है।

**उदाहरण 4.1 : एक फिलेट वेल्ड की माप (size) 6 mm है। यदि वेल्ड की प्रभावी लम्बाई 60 mm हो तो वेल्ड की समार्थ्य ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 110 N/mm$^2$ मान लो।**

**हल**— वेल्ड की माप (size), $S$ = 6 mm

अत: प्रभावी कंठ मोटाई, $t = k \cdot s = 0{\cdot}7 \times 6{\cdot}0 = 4{\cdot}20$ mm

प्रभावी लम्बाई, $L$ = 60 mm

अनुज्ञेय प्रतिबल, $f_s$ = 110 N/mm$^2$

अत: सामर्थ्य $= P = t \times L \times f_s$

$= 4{\cdot}20 \times 60 \times 110$ N

$= 27720$ N अथवा **27·72 kN** **उत्तर**

**उदाहरण 4.2 : निम्नांकित प्लेट मोटाइयों के लिये न्यूनतम तथा अधिकतम वेल्ड माप ज्ञात कीजिये। प्लेट मोटाइयाँ 5, 6, 8, 10, 12, 14, 20 (mm में)**

**हल**—वेल्ड के न्यूनतम माप तालिका 4.1 के अनुसार ज्ञात होगा तथा अधिकतम माप वर्गाकार किनारे के लिये = मोटाई—1·5 mm

गोलाकार (Rounded) किनारे के लिये = [3/4 × मोटाई] mm में।

उक्त प्लेट मोटाइयो के लिये वेल्ड के न्यूनतम व अधिकतम माप ($S$) निम्नलिखित होगे—

**तालिका 4.3**

| प्लेट मोटाई (mm) | वेल्ड का न्यूनतम माप (mm) | वेल्ड का अधिकतम माप | |
|---|---|---|---|
| | | वर्गाकार किनारा (mm) | गोलाकार किनारा (mm) |
| 5 | 3·0 | 3·5 | 3·75 |
| 6 | 3·0 | 4·5 | 4·50 |
| 8 | 5·0 | 6·5 | 6·00 |
| 10 | 5·0 | 8·5 | 7·50 |
| 12 | 5·0 | 10·5 | 9·00 |
| 14 | 6·0 | 12·5 | 10·5 |
| 20 | 6·0 | 18·5 | 15·00 |

नोट—वेल्ड का वास्तविक माप उक्त मानो (न्यूनतम व अधिकतम) के बीच सुविधानुसार निश्चित किया जा सकता है।

**उदाहरण 4.3 : एक 150 × 10 mm चपटी पत्ती (Flat) गसेट प्लेट के साथ 6 mm फिलेट वेल्ड द्वारा जोड़ी गयी है। यदि प्लेट पर तनन प्रतिबल 150 N/mm² हो तथा अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 110 N/mm² हो तो फिलेट वेल्ड की आवश्यक लम्बाई ज्ञात कीजिये।**

**हल**— वेल्ड की माप, $S = 6$ mm

तनन प्रतिबल, $f_t = 150$ N/mm² या 150 MPa

अपरूपण प्रतिबल, $f_s = 110$ N/mm² या 110 MPa

यदि $P$ = वेल्ड की सामर्थ्य, ($N$) में

$L$ = वेल्ड की आवश्यक लम्बाई, (mm) में

$t$ = प्रभावी कंठ मोटाई, (mm में)

तब $P = t \times L \times f_s$ ...(सूत्र)

यहाँ $t = 0{\cdot}70\, S = 0{\cdot}70 \times 6{\cdot}0 = 4{\cdot}20$ mm

$P$ = वेल्ड की सामर्थ्य = चपटी पत्ती की तनन क्षमता

= चपटी पत्ती का काट क्षेत्रफल × अनुज्ञेय तनन प्रतिबल

चपटी पत्ती (Flat) का माप = 150 × 10 mm

अत: क्षेत्रफल = 1500 mm²



तनन प्रतिबल = 150 N/mm²

अत: $P = 1500 \times 150$ N

$= 225000$ N

अत: $P = t \times L \times f_s$

$225000 = 4{\cdot}2 \times L \times 110$

$\therefore \quad L = \dfrac{225000}{4{\cdot}20 \times 100}$ mm

चपटी पत्ती की चौड़ाई = 150 mm

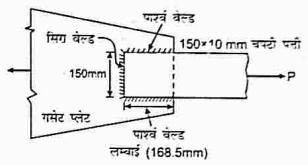
अत: पार्श्व वेल्ड (Side Welds) की कुल लम्बाई = 487 – 150 mm

= 337 mm

अत: प्रत्येक पार्श्व वेल्ड (Side Weld) की लम्बाई $= \dfrac{337}{2}$

= 168·5 mm

वेल्ड व्यवस्था चित्र 4.3 में दर्शायी गई है।




चित्र 4.3

**उदाहरण 4.4 : चित्र 4.3 में दर्शित जोड़ में यदि गसेट प्लेट के साथ 120 × 8·0 mm माप की चपटी पत्ती जोड़ी गई हो तथा उस पर 120 kN भार लगा हो तो 6·5 mm फिलेट वेल्ड की आवश्यक लम्बाई ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल, $f_s = 110$ N/mm² मान लें।**

**हल**— वेल्ड की परिमाप = 6·5 mm

अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल = 110 N/mm²

अत: वेल्ड की प्रति मिमी० सामर्थ्य $= t \times L \times f_s$, यहाँ $t = 0{\cdot}7 \times s$

$= 0{\cdot}7 \times 6{\cdot}5 \times 1{\cdot}0 \times 110$ N

$= 500{\cdot}5$ N

वेल्ड पर आने वाला भार = 120 kN = 120000 N

अत: वेल्ड की लम्बाई $= \dfrac{\text{भार}}{\text{सामर्थ्य प्रति मिमी}}$ mm

$= \dfrac{120000}{500{\cdot}5}$ mm

**= 239·80 mm** **उत्तर**

civilguru.net

**उदाहरण 4.5 : एक 100 × 8 mm चपटी पत्ती (Flat) गसेट प्लेट के साथ फिलेट वेल्ड से जुड़ी है। फिलेट वेल्ड का परिमाप 6 mm है। यदि वेल्ड की लम्बाई 300 mm हो तथा चपटी पत्ती पर 105 kN तनन आ रहा हो तो वेल्ड में उत्पन्न प्रतिबल ज्ञात कीजिये।**

**हल—** वेल्ड की लम्बाई = 300 mm

वेल्ड का परिमाप = 6·0 mm

प्रभावी कंठ मोटाई, $t = 0{\cdot}7 \times 6{\cdot}0$ mm

$= 4{\cdot}2$ mm

यदि $f_s$ = उत्पन्न अपरूपण प्रतिबल (N/mm²)

तब वेल्ड की सामर्थ्य $= f_s \times t \times L$ ...(सूत्र)

$= f_s \times 4{\cdot}2 \times 300$ N

यह चपटी पत्ती पर आ रहे तनन बल 105 kN अथवा 105000 N के बराबर होगा।

अत: $f_s \times 4{\cdot}2 \times 300 = 105000$

अथवा $f_s = \dfrac{105000}{4{\cdot}2 \times 300}$ N/mm²

$= 83{\cdot}33$ N/mm² अथवा **83·33 MPa** **उत्तर**

**4.4-4. फिलेट वेल्ड की प्रति इकाई लम्बाई सामर्थ्य**—अनुच्छेद 4.4-3 से के अनुसार—

फिलेट वेल्ड की सामर्थ्य $= t \times L \times f_s = (k \times S) \times L \times f_s$

$= (k \times S) \times f_s$ (यदि $L = 1$ mm)

यहां $k$ = स्थिरांक (तालिका 4.2)

$S$ = फिलेट वेल्ड परिमाप (mm)

$L$ = वेल्ड की लम्बाई (mm)

$f_s$ = अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल (N/mm²) इसका मान सामान्यत: 110 N/mm² लिया जाता है।

उपरोक्त मे $L = 1{\cdot}0$ mm रखने पर वेल्ड का प्रति इकाई लम्बाई (mm) के लिये सामर्थ्य ज्ञात होगा। विभिन्न परिमापों के लिये यह मान महत्वपूर्ण है। इससे विशिष्ट सामर्थ्य के लिये वेल्ड को विशिष्ट परिमाप की आवश्यक लम्बाई ज्ञात होगी।

विभिन्न परिमापो के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल 110 N/mm² के आधार पर प्रति mm लम्बाई के लिये सामर्थ्य तालिका 4.4 दी गयी है।

**तालिका 4.4—फिलेट वेल्ड की प्रति इकाई लम्बाई (प्रति mm) सामर्थ्य**

| परिमाप (mm) (s) | सामर्थ्य (N/mm) | परिमाप (mm) (s) | सामर्थ्य (N/mm) |
|---|---|---|---|
| 5·0 | 385·0 | 9·0 | 693·0 |
| 6·0 | 462·0 | 9·5 | 731·5 |
| 6·5 | 500·5 | 10·0 | 770·0 |
| 7·5 | 539·0 | 10·5 | 808·5 |
| 7·5 | 577·5 | 11·0 | 847·0 |
| 8·0 | 616·0 | 11·5 | 885·5 |
| 8·5 | 654·5 | 12·0 | 924·0 |

वेल्ड की प्रति इकाई लम्बाई सामर्थ्य से, वेल्ड की आवश्यक लम्बाई = $\dfrac{\text{वेल्ड पर आ रहा बल}}{\text{सामर्थ्य प्रति इकाई लम्बाई}}$



**उदाहरण 4.6 : चित्र 4.3 में दर्शित जोड़ में यदि चपटी पत्ती (Flat) का माप 100 × 12 mm हो तथा चौड़ाई व पार्श्व वेल्ड की लम्बाइयाँ निम्न हों तो जोड़ का सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 110 N/mm² व तनन प्रतिबल 150 N/mm² मान लें। चौड़ाई पर वेल्ड माप—6mm, लम्बाई 100 mm पार्श्व वेल्ड का माप—8 mm, प्रत्येक लम्बाई 105 mm।**

**हल**—उदाहरण के अनुसार,

6 mm वेल्ड की लम्बाई = 100 mm

8 mm वेल्ड की कुल लम्बाई = 105 mm = 210 mm

$f_s = 110$ N/mm²

वेल्ड की सामर्थ्य, $P = k\,s \times L \times f_s$

$k$ का मान 0·7 रखने पर (संगलित सतहों के मध्य कोण)

6 mm वेल्ड का सामर्थ्य = $0{\cdot}7 \times 6 \times 100 \times 110$ N

$= 46200$ N अथवा 46·20 kN

8 mm वेल्ड की सामर्थ्य = $0{\cdot}7 \times 8 \times 210 \times 110$ N

$= 129360$ N अथवा 129·36 kN

अत: वेल्ड की सामर्थ्य = 46·20 + 129·36 = 175·56 kN

चपटी पत्ती की तनन सामर्थ्य = $100 \times 12 \times 150$ N

$= 180000$ N अथवा 180 kN

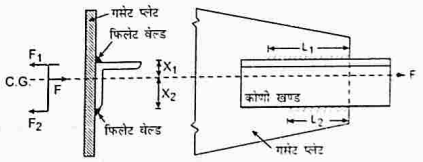
अत: जोड़ की सामर्थ्य = 175·56 kN। यह पत्ती की सामर्थ्य से कम है **उत्तर**

**उदाहरण 4.7 : एकल 70 × 70 × 8 mm कोणी खण्ड (angle) एक गसेट प्लेट के साथ 6 mm फिलेट वेल्ड द्वारा जोड़ा गया है। यदि इस खण्ड पर 140 kN अक्षीय बल आ रहा हो तो किनारों पर वेल्ड की लम्बाईयाँ ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 110 N/mm² लीजिये।**

**हल**—खण्ड पर आने वाले भार की क्रिया रेखा खण्ड के अक्ष पर स्थित होगी।

जब खण्ड के किनारो पर वेल्डिंग किया जायेगा तब उनके द्वारा प्रतिरोधित बलो की क्रिया रेखाएं खण्ड के किनारो पर स्थित होगी।

अत: यह वेल्ड लम्बाइयाँ $L_1$ व $L_2$ (चित्र 4.4 देखे) ऐसी होनी चाहिये कि उनके द्वारा प्रतिरोधित बलो क्रमश: $F_1$ व $F_2$ के परिणामी बल "$P$" की क्रिया रेखा खण्ड के अक्ष पर स्थित होगी।




चित्र 4.4

यहाँ $F = 140$ kN तथा $F_1$ व $F_2$ के मान ज्ञात किये जायेंगे।
स्टील टेबल से अक्ष की स्थिति ज्ञात होती है।

यहाँ $L$ = जुड़े टांग की लम्बाई $(x_1 + x_2) = 70$ mm

$x_1 = C_y$ = अक्ष की ऊपरी किनारे से दूरी = 20·2 mm

$x_2 = L - C_y$ = अक्ष की निचले किनारे से दूरी
= (70 – 20·2) mm
= 49·8 mm.

यदि ऊपरी किनारे पर वेल्ड लम्बाई = $L_1$

तथा निचले किनारे पर वेल्ड लम्बाई = $L_2$

यदि इनके द्वारा प्रतिरोधित बल क्रमश: $F_1$ व $F_2$ हो तब,

$$F = F_1 + F_2 = 140 \text{ kN} \quad ...(i)$$

तथा $$F_1 \times 20{\cdot}2 = F_2 \times 49{\cdot}8$$

अथवा $$F_1 = F_2 \times \frac{49{\cdot}8}{20{\cdot}2}$$

$$F = F_2 \times \frac{49{\cdot}8}{20{\cdot}2} + F_2$$

अथवा $$F = F_2\left[\frac{49{\cdot}8}{20{\cdot}2} + 1\right] = 140$$

$\therefore$ $$F = F_2\left[\frac{70}{20{\cdot}2}\right] = 140$$

पुन: (i) पर विचार करते हुये—

$$F_1 + F_2 = F_2\left(\frac{49{\cdot}8}{20{\cdot}2} + 1\right) = 140 \text{ kN}$$

$\therefore$ $$F_2 \times \frac{70}{20{\cdot}2} = 140 \text{ kN}$$

तथा $$F_2 = \frac{140 \times 40{\cdot}2}{70} = 40{\cdot}4 \text{ kN}$$

अत: $$F = 140 - 40{\cdot}4 = 99{\cdot}6 \text{ kN}$$

अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 110 N/mm$^2$ के आधार पर 6 mm फिलेट वेल्ड की प्रति mm लम्बाई सामर्थ्य
= (0·7 × 6) × 1·0 × 110 N = 462 N/mm

अत: आवश्यक वेल्ड लम्बाइयाँ—

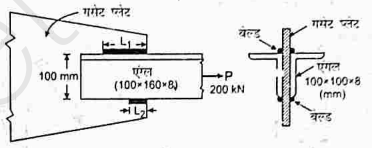
$$L_1 = \frac{90{\cdot}6 \times 1000}{462} = 215{\cdot}6 \text{ mm} \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{216 \text{ mm}} \qquad \text{उत्तर}$$

$$L_2 = \frac{40{\cdot}4 \times 1000}{462} = 87{\cdot}4 \text{ mm} \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{88 \text{ mm}} \qquad \text{उत्तर}$$



**उदाहरण 4.8 : एक तनन अवयव दो एंगल-खण्डों 100 × 100 × 8 (सभी mm) से बना है, जो एक गसेट प्लेट के दोनों तरफ वेल्डन करके लगाये गये हैं। तनन अवयव पर 200 kN का अक्षीय बल लग रहा है और वेल्ड का परिमाप 6 mm है। वेल्ड-जोड़ की लम्बाईयाँ निर्धारित करें। अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 110 N/mm$^2$ मान लें।**

हल—माना वेल्ड की ऊपरी व नीचे की लम्बाईयाँ क्रमश: $L_1$ व $L_2$ हैं (चित्र 4.5)।




चित्र 4.5

अत: वेल्ड की प्लेट पर दोनों तरफ की कुल लम्बाई, $L = 2[L_1 + L_2]$ mm; में 6 mm कंठ का प्रभावी क्षेत्रफल = 0·7 × 6 = 4·2 mm

अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल = 110 N/mm$^2$

अत: 6 mm फिलेट वेल्ड की प्रति mm लम्बाई की सामर्थ्य
= (0·7 × 6) × 1 × 100 N
= 462 N/mm

$$\text{वेल्ड जोड़ की प्रभावी लम्बाई} = \frac{\text{कुल तनन बल}}{\text{प्रति वेल्ड mm जोड़ की सामर्थ्य}}$$

$$L = \frac{200000}{462} = 432{\cdot}9 \text{ अर्थात् } 434 \text{ mm}$$

अथवा $$2(L_1 + L_2) = 434 \quad \text{या} \quad L_1 + L_2 = 217 \text{ mm}$$

$L_1$ व $L_2$ की लम्बाई इस प्रकार रखी जाती है कि वेल्ड की परिणामी सामर्थ्य (Resultant Strength), परिच्छेद के गुरुत्व केन्द्र (C.G.) से पारित हो।

एंगल की ऊपरी सतह (किनारे) से C.G. रेखा की दूरी (Steel table से),

$\bar{x}$ = 27·6 mm

ऊपरी वेल्ड जोड़ की सतह से आघूर्ण लेने पर—

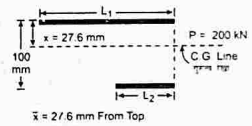
$F \times \bar{x}$ = (प्रति mm वेल्ड जोड़ की सामर्थ्य × $L_2$) × 100

$200000 \times 27{\cdot}6 = [462 \times 2 \times L_2] \times 100$

$\therefore$ $$L_2 = \frac{200000 \times 27{\cdot}6}{462 \times 2 \times 100}$$
= 59·7 mm अर्थात् 60 mm

$\therefore$ $L_1 = 217 - 60 = 157$ mm

अत: $L_1 = \mathbf{157 \text{ mm}}$, $L_2 = \mathbf{60 \text{ mm}}$ उत्तर




चित्र 4.6

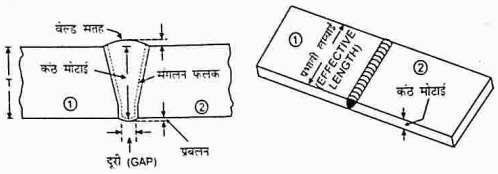
## § 4.5. बट वेल्ड (Butt Weld) :

बट वेल्ड में दोनों प्लेटों के किनारों को (जो जुड़ने हैं), एक दूसरे में सटा कर, एक ही समतल में रखा जाता है और वेल्ड किया जाता है।

civilguruji.net

इकहरे वेल्ड जोड़ो मे पूरक धातु जोड़ की पूरी गहराई तक नही पहुँचती है, अत: प्रभावी कंठ मोटाई प्लेट की मोटाई का 5/8 गुना ली जाती है। चित्र 4.7 मे बट (टक्करी) वेल्ड दर्शाया गया है। बट वेल्ड कई प्रकार के होते है। यदि दोनो प्लेटो (या उपांगो) के किनारे वर्गाकार हो, तब इसे खुला वर्ग बट वेल्ड (Open Square Butt Weld) कहा जाता है। यदि किनारो को कोई विशिष्ट आकार (Shape) दिया जाता है, तब किनारे के आकार के अनुसार वेल्ड को नाम दिया जाता है।

विभिन्न प्रकार के बट वेल्ड चित्र 4.8 मे दर्शाये गये है।




**चित्र 4.8—बट (टक्करी) वेल्ड (But Weld)**

**4.5-1. बट वेल्ड की सामर्थ्य (Strength of Butt Weld)—**

यदि $t$ = प्रभावी कँठ गहरायी, mm में

$L$ = प्रभावी लम्बाई, mm में

$P$ = वेल्ड की सामर्थ्य, N में

$f_t$ = अनुज्ञेय तनन प्रतिबल, N/mm$^2$ में

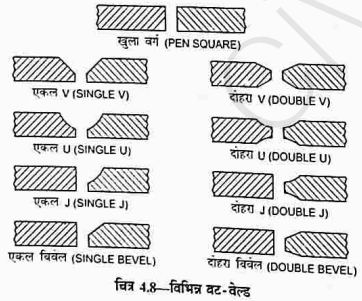
चित्र 4.1 व अनुच्छेद 4.3-1 के अनुसार बट वेल्ड मे तनन प्रतिबल उत्पन्न होगा।

अत: वेल्ड की सामर्थ्य = प्रभावी क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$$= (L \times t) \times f_t$$

$$= L \times t \times f_t \quad \ldots(4.3)$$

**4.5-2. बट वेल्ड की परिमाप (Dimensions of Butt Weld)—**




**चित्र 4.8—विभिन्न बट-वेल्ड**



**(i) प्रभायी लम्बाई** (Effective Length)—बट वेल्ड की प्रभावी लम्बाई वास्तविक लम्बाई के समान ली जाती है।

**(ii) प्रभावी कंठ मोटाई** (Effective Throat Thickness)—यदि पूरक धातु (Filler Metal) पूरी गहराई तक पहुँची हो तो प्रभावी कंठ मोटाई प्लेट की मोटाई के बराबर ली जायेगी।

जब पूरक धातु पूरी गहराई तक नहीं पहुँचती है, तब प्रभावी कंठ मोटाई प्लेट की मोटाई के 5/8 गुनी ली जाती है।

यदि जुड़ी हुयी प्लेटों की मोटाइयाँ अलग-अलग हो तो प्रभावी कंठ मोटाई पतली प्लेट की मोटाई के आधार पर ज्ञात की जायेगी।

**उदाहरण 4.9: 100 mm × 10 mm माप की दो चपटी पत्तियाँ (Flats) बट वेल्ड द्वारा जोड़ी गयी हैं। यदि अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 142N/mm$^2$ हो तो निम्न प्रकार के वेल्ड की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये।**

**(i) यदि वेल्ड इकहरा V बट वेल्ड हो।**

**(ii) यदि वेल्ड दोहरा U (Double U) बट वेल्ड हो।**

**हल—(i) इकहरा V बट वेल्ड**—यहाँ पूरक धातु (Filler Metal) पत्ती की पूरी गहराई तक नही पहुँचेगी। अत: प्रभावी कंठ पत्ती की मोटाई का 5/8 लिया जायेगा।

चपटी पत्ती की मोटाई = 10 mm

प्रभावी कंठ की मोटाई = $\frac{5}{8} \times 10 = 6{\cdot}25$ mm

प्रभावी लम्बाई, $L$ = चपटी पत्ती की चौड़ाई

= 100 mm.

अनुज्ञेय तनन प्रतिबल = 142 N/mm$^2$

अत: सामर्थ्य = $L \times t \times f_t$

$= 100 \times 6{\cdot}25 \times 142$ N

= 88750 N अथवा **88·75 kN.** **उत्तर**

**(ii) दोहरा U बट वेल्ड**—यहाँ पूरक धातु पूरी गहराई तक पहुँचेगी।

∴ प्रभावी कंठ की मोटाई = 10 mm

अनुज्ञेय तनन प्रतिबल = 142 N/mm$^2$

अत: सामर्थ्य = $L \times t \times f_t = 100 \times 100 \times 142$ N

$= 100 \times 10 \times 142$ kN

= 142000 N अथवा **142 kN.** **उत्तर**

**उदाहरण 4.10 : 110 × 12 (mm) तथा 110 × 8 (mm) की दो चपटी पत्तियाँ (Flats) दोहरे V बट वेल्ड द्वारा जोड़ी गयी हैं। यदि अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 142N/mm$^2$ हो तो वेल्ड की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये।**

**हल—**दोहरे बट वेल्ड में पूरक धातु पूरी गहराई तक जायेगी।

चपटी पत्तियों की मोटाईयाँ अलग-अलग है। यद्यपि प्रभावी कण्ठ मोटाई पतली प्लेट की मोटाई के आधार पर ली जायेगी।

अत: प्रभावी कंठ की मोटाई, $t$ = 8 mm

वेल्ड की लम्बाई, $L$ = 100 mm

अनुज्ञेय प्रतिबल, $f_t$ = 142 N/mm$^2$

अत: सामर्थ्य = $L \times t \times f$

$= 110 \times 8 \times 142$ N

= 124960 N अथवा **124·96 kN.** **उत्तर**

civilguruji.com

## § 4.6. वेल्ड जोड़ों का अभिकल्पन (Design of Welded Joints) :

वेल्ड जोड़ो का अभिकल्पन भारतीय मानक IS : 816–1969 द्वारा निर्धारित विशिष्टियो के अनुसार किया जाता है। अभिकल्पन मे वेल्ड जोड़ के सभी परिमाप निर्धारित किये जाते है।

**4.6-1. फिलेट वेल्ड का अभिकल्पन** (Design of Filet Weld)—फिलेट वेल्ड का अभिकल्पन करते समय निम्न नियमो के अनुसार परिमाप निश्चित किय जाते है।

**(1) फिलेट वेल्ड के न्यूनतम एवं अधिकतम माप**—फिलेट वेल्ड के न्यूनतम माप तालिका 4.1 के अनुसार लिये जाते है। अधिकतम माप निम्न प्रकार लिये जाते है—

(i) वर्गाकार किनारे (Square Edge) के लिये—

$$S = \text{प्लेट की मोटाई} - 1{\cdot}5 \text{ mm} \qquad \ldots(i)$$

(ii) गोलाकार किनारे (Rounded Edge) के लिये—

$$S = \frac{3}{4} \times \text{प्लेट की मोटाई} \qquad \ldots(ii)$$

न्यूनतम व अधिकतम माप ज्ञात करने पर जोड़ पर आ रहे बल के अनुसार सुविधाजनक माप निश्चित किया जा सकता है।

**(2) लैप** (Lap)—लैप जोड़ मे प्लेटे एक-दूसरे पर रखी जाती है, जिसे चढ़ाव कहा जाता है। चढ़ाव की न्यूनतम लम्बाई **पतली प्लेट** की मोटाई की पाँच गुनी होनी चाहिये।

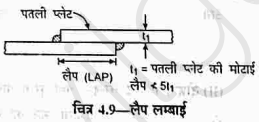
यदि $t_1$ = पतली प्लेट की मोटाई

तब लैप $\leq 5t_1$ ...(iii)

**(3) अनुदैर्घ्य पार्श्व फिलेट वेल्ड** (Longitudinal Side Fillet Weld)—

(i) अनुदैर्घ्य पार्श्व वेल्ड की लम्बाई $L$ इन दोनो के बीच लम्बवत् दूरी '$d$' से कम नही होनी चाहिये। (चित्र 4.9)।

$$L < d \qquad \ldots(iv)$$



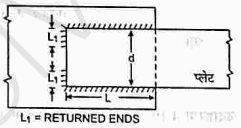

चित्र 4.9—लैप लम्बाई

(ii) अनुदैर्घ्य पार्श्व वेल्ड के बीच लम्बवत् दूरी '$d$' पतली प्लेट की मोटाई ($t_1$) के 16 गुना से अधिक नही होनी चाहिये। (चित्र 4.10)

$$L > 16t_1 \qquad \ldots(v)$$

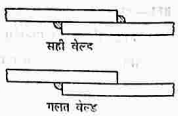
(iii) सिरो पर समाप्त होने वाले वेल्ड (End Welds) की न्यूनतम लम्बाई $L_1$ वेल्ड माप (Weld Size) '$S$' के दो गुना से कम नहीं होनी चाहिये। (चित्र 4.10)।

$$L_1 < 2S$$




चित्र 4.10

**(4) एकल फिलेट वेल्ड** मे अनुदैर्घ्य अक्ष पर बंकन आघूर्ण नहीं आना चाहिये। अत: वेल्डिंग चित्र 4.11 के अनुसार होना चाहिये।




चित्र 4.11

**(5) प्रभावी लम्बाई**—फिलेट वेल्ड की प्रभावी लम्बाई निम्न प्रकार ली जायेगी—

प्रभावी लम्बाई = वास्तविक लम्बाई – 2 × वेल्ड की माप

**4.6-2. बट वेल्ड का अभिकल्पन** (Design of Butt Weld)—बट वेल्ड के अभिकल्पन मे प्रमुख बात यह है कि यदि पूरक धातु (Filter Metal) पूरी गहराई तक गयी हो तो प्रभावी कंठ-मोटाई पतली प्लेट की मोटाई के बराबर ली जायेगी अन्यथा इसे



उक्त मोटाई की 5/8 गुना लेनी होगा (यह इकहरे बट वेल्ड के लिये है)। बट वेल्ड की प्रभावी लम्बाई वास्तविक लम्बाई के समान ली जायेगी।

**4.6-3. अनुज्ञेय प्रतिबल**—वेल्ड जोड़ो के अभिकल्पन मे अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान निम्न प्रकार लिये जाते है—

तालिका 4.5

| प्रतिबल का स्वरूप | अनुज्ञेय प्रतिबल N/mm² |
|---|---|
| (i) वेल्ड के कंठ-काट पर अक्षीय तनन/संपीडन | 142·0 |
| (ii) बंकन मे रेशा प्रतिबल | 157·5 |
| (iii) अपरूपण प्रतिबल | 110·0 |

**4.6-4. अभिकल्पन पद्धति—**

(i) अनुच्छेद 4.4-2 के अनुसार फिलेट वेल्ड का परिमाप निर्धारित कीजिये। यह न्यूनतम व अधिकतम निर्धारित सीमाओ के भीतर होना चाहिये।

(ii) अनुज्ञेय प्रतिबल के आधार पर निर्धारित परिमाप के वेल्ड की प्रति इकाई लम्बाई (mm) सामर्थ्य ज्ञात कीजिये।

(iii) प्रति मिमी० सामर्थ्य के आधार पर जोड़ की पूरी सामर्थ्य प्राप्त करने हेतु वेल्ड की आवश्यक लम्बाई ज्ञात कीजिये।

(iv) तदोपरांत अनुच्छेद 4.6 में अंकित विशिष्टयो के अनुसार वेल्ड की वास्तविक लम्बाइयाँ निर्धारित कीजिये। यह वेल्ड परिमाप के दो गुना अधिक होनी चाहिये। इसे पुन: व्यावहारिकता से निश्चित करें।

(v) जोड़ को चित्र द्वारा दर्शित कीजिये। सभी परिमाप सप्ट रूप से अंकित कीजिये।

**उदाहरण 4.11 : एक 120 × 8 (mm) चपटी पत्ती (Flat) गसेट प्लेट के साथ जोड़ने के लिये फिलेट वेल्ड जोड़ का अभिकल्पन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान निम्नवत् लीजिये—तनन प्रतिबल = 150 N/mm² व अपरूपण प्रतिबल = 110 N/mm²**

**हल—** चपटी पत्ती (Flat) का सामर्थ्य = काट क्षेत्रफल × अनुज्ञेय तनन प्रतिबल

$= 120 \times 8 \times 150$ N

$= 144000$ N

अत: वेल्ड का सामर्थ्य = 144000 N.

फिलेट वेल्ड की न्यूनतम माप = 3 mm

फिलेट वेल्ड की अधिकतम माप = 8 – 1·5 = 6·5 mm

अत: टांग, $S = 6{\cdot}0$ mm रखने पर,

प्रभावी कंठ मोटाई = 0·7 × 6·0 = 4·2 mm.

अत: अनुज्ञेय प्रतिबल 110 N/mm² के आधार पर 6 mm फिलेट वेल्ड की प्रति mm सामर्थ्य

$= 4{\cdot}2 \times 1{\cdot}0 \times 110$ N

अत: वेल्ड की आवश्यक लम्बाई $L = \frac{144000}{462} = 311{\cdot}7$ mm अथवा 312 mm.

तथा प्रत्येक पार्श्व वेल्ड (Side Weld) की लम्बाई

$= \frac{312}{2} = 156$ mm.

**विशिष्टियों के अनुसार जाँच—**

(1) पार्श्व वेल्ड के बीच लम्बवत् दूरी "$d$" प्लेट की मोटाई के 16 गुना से अधिक नही होनी चाहिये—

प्लेट की मोटाई = 8 mm

अधिकतम लम्बवत् दूरी = 16 × 8 = 128 mm

वास्तविक लम्बवत् दूरी = प्लेट की चौड़ाई = 120mm, यह 128 mm से कम है, अत: ठीक है।

(2) पार्श्व वेल्ड की लम्बाई इनके बीच लम्बवत् दूरी से कम नहीं होनी चाहिये—

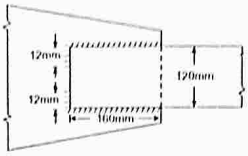
लम्बवत् दूरी = 120 mm

वेल्ड की लम्बाई = 156 mm > 120 mm, अत: ठीक है।

(3) यह वेल्ड सिरों पर समाप्त होगे, अत: यहाँ न्यूनतम लम्बाई वेल्ड माप "$S$" के दो गुना होनी चाहिये—

$S = 6$ mm

तथा लम्बाई = 2 × 6 = 12 mm (1·2 cm)




चित्र 4.12

उपरोक्त परिमाप न्यूनतम है। वास्तविक माप इससे अधिक रखे जा सकते है। अत: वेल्ड लम्बाई व्यावहारिकता से 160 mm रखते हुये जोड़ चित्र 4.12 मे दर्शित है।

**उदाहरण 4.12 : 140 × 10 (mm) तथा 140 × 16 (mm) चपटी पत्तियों को जोड़ने हेतु फिलेट वेल्ड का परिमाप निर्धारित कीजिये, जिससे 140 × 10 (mm) चपटी पत्ती में पूरा तनन सामर्थ्य विकसित हो सके। अनुज्ञेय प्रतिबल– तनन 150 N/mm² तथा अपरूपण 110 N/mm² मान लें।**

**हल**—140 × 10 (mm) चपटी पत्ती का तनन सामर्थ्य = 140 × 10 × 150 = 210000 N

चपटी पत्तियों अलग-अलग मोटाई की है तथा मोटाइयो का अनुपात 10 : 16 अथवा 1 : 1·6 है।

फिलेट वेल्ड के डगड़ कार पर अपरूपण प्रतिबल आता है तथा प्रत्येक फिलेट वेल्ड पर यह प्रतिबल समान होना चाहिये। इसके लिये निर्धारित वेल्ड परिमापो का अनुपात भी 1 : 1·6 होना चाहिये।

यदि पतली प्लेट का वेल्ड परिमाप = "$S$"

तब मोटी प्लेट पर वेल्ड परिमाप = 1·6 $S$

प्रत्येक वेल्ड की लम्बाई = 140 mm.

तथा जोड़ का सामर्थ्य = ($S$ × 0·7 × 140 × 110) + (1·6 $S$ × 0·7 × 140 × 100)

= 210000 N

अथवा 140 × 77 × 2·6 $S$ = 210000

तथा $S = \dfrac{210000}{140 \times 77 \times 2{\cdot}6} = 7{\cdot}49$ mm अथवा 7·5 mm

चित्र 4.13

तथा 1·6 $S$ = 7·5 × 1·6 = 12 mm.

अत: पतली प्लेट पर 7·5 mm तथा मोटी प्लेट (पत्ती) पर 12 mm. फिलेट वेल्ड लगाये जायें। जोड़ चित्र 4.13 मे दर्शित है।

**उदाहरण 4.13 : 8 mm मोटी इस्पात चादरों को 6 mm फिलेट वेल्ड द्वारा जोड़ते हुये एक पानी की टंकी बनानी है। यदि टंकी का व्यास 8 मीटर हो तो इस टंकी में रखी जाने वाली पानी की गहराई ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 110 N/mm² तथा पानी का घनत्व 10000 N/m³ लीजिये।**

**हल**—अनुज्ञेय प्रतिबल 110 N/mm² के आधार पर 6 mm फिलेट वेल्ड का प्रति मिमी० लम्बाई सामर्थ्य

= 6·0 × 0·7 × 1·0 × 110 N = 462 N

यदि पानी की गहराई = $H$ (मी०)



तब पानी की दाब = 10000 × $H$ N/m²

$= \dfrac{10000 \times H}{1000 \times 1000}$ N/mm²

$= \dfrac{H}{100}$ N/mm²

टंकी का व्यास = 8 मीटर = 8000 mm

अत: जोड़ के प्रति मिमी० लम्बाई पर आने वाला दाब (Hoop Tension)

$= \dfrac{pD}{2}$ यहाँ $p$ = पानी का दाब, $D$ = टंकी का व्यास

$= \dfrac{H}{100} \times \dfrac{8000}{2}$ (N) = 40 $H$ (N)

चित्र 4.13 के अनुसार यह दाब 6 mm फिलेट वेल्ड की 1 mm लम्बी दो वेल्डों द्वारा प्रतिरोधित होगा, अत:

चित्र 4.14

$40H = 2 \times 462$

अथवा $H = \dfrac{2 \times 462}{40}$

= 23·1 (m) उत्तर

[नोट—"$H$" प्रारम्भ मे मीटरों मे माना गया है।]

**उदाहरण 4.14 : 12 mm मोटी गसेट प्लेट से जुड़ी 10 mm मोटी चपटी पत्ती (Flat) की चौड़ाई निर्धारित कीजिये यदि इस जोड़ पर 190 kN तनन बल आ रहा हो तथा 8·5 mm परिमाप के पार्श्व फिलेट वेल्ड का प्रयोग किया गया हो। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 तथा $f_s$ = 110 N/mm² लीजिये। जोड़ द्वारा सहन किया जाने वाला अधिकतम तनन बल तथा प्रत्येक पार्श्व वेल्ड (Side Weld) की लम्बाई भी निर्धारित कीजिये।**

**हल**—जोड़ पर आ रहा बल, $T$ = 190 kN = 190000 N

फिलेट वेल्ड परिमाप, $S$ = 8·5 mm

अनुज्ञेय प्रतिबल— तनन, $f_t$ = 150 N/mm²

अपरूपण, $f_s$ = 110 N/mm²

अत: 8·5 mm फिलेट वेल्ड का प्रति मिमी० लम्बाई पर सामर्थ्य—

0·7 × 8·5 × 110 = 654·5 N/mm

यदि $B$ = चपटी पत्ती (Flat) की चौड़ाई (mm)

$t$ = मोटाई (Thickness) = 10 mm

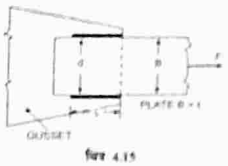
तब चपटी पट्टी का सामर्थ्य = $B \cdot t \cdot f_t$

= $B$ × 10 × 150 (N)

= 1500 $B$ N

तथा $B = \dfrac{190000}{10 \times 150} = 126{\cdot}67$ mm

यह आवश्यक चौड़ाई है अत: अगली उपलब्ध चौड़ाई 130 mm रखी जाये।




चित्र 4.15

civilguru.net

अत: 130 x 10 mm चपटी पत्ती का प्रयोग करते हुये जोड़ की सामर्थ्य

$$= 130 \times 10 \times 150 \text{ N}$$

$$= 195000 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 195 \text{ kN}$$

इसके लिये 8·5 mm फिलेट वेल्ड की आवश्यक लम्बाई—

$$L = 160 \text{ mm}$$

$$d = 130 \text{ mm}$$

$$= \frac{195000}{654{\cdot}5} = 297{\cdot}93 \quad \text{अथवा} \quad 298 \text{ mm}$$

यह आवश्यक लम्बाई है। वास्तविक लम्बाई इससे (वेल्ड परिमाप x 2) ज्यादा रखी जायेगी।

आवश्यक वास्तविक लम्बाई = 298 + 2 x 8·5 = 315 mm

इस प्रकार प्रत्येक पार्श्व वेल्ड की वास्तविक लम्बाई $= \frac{315}{2}$ mm

$$= 157{\cdot}5 \text{ mm}$$

अत: वास्तविक लम्बाई 160 mm रखी जाये। (चित्र 4.15 देखें)

$B$ = प्लेट (चपटी पत्ती) की चौडाई (mm) = 130 mm

$t$ = प्लेट मोटाई (mm) = 10 mm

$L$ = प्रत्येक पार्श्व वेल्ड की लम्बाई (mm) = 160 mm

$d$ = पार्श्व वेल्डो के बीच लम्बवत् दूरी (mm) = 130 mm

## विशिष्टयों के अनुसार जांच–

उपरोक्त चित्र 4.15 के अनुसार,

$d$ = पार्श्व वेल्डो के बीच लम्बवत् दूरी, $B$ = 130 mm

पार्श्व वेल्ड की लम्बाई = $L$ = 160 mm

विशिष्टयो के अनुसार,

$d > 16t$ तथा $L < d$,

$B = d = 130$ mm तथा $L = 160$ mm

इस प्रकार विशिष्टियो के अनुसार—

$16t = 16 \times 10 = 160$ mm

तथा $d$(= 130 mm) > $16t$ (160 mm), ठीक है।

पुन: $L$(160 mm) < $d$(130 mm), ठीक है।

अत: निर्धारित परिमाप विशिष्टयो के अनुकूल है। जोड़ चित्र 4.15 मे दर्शित है।

### अभ्यास प्रश्न-4

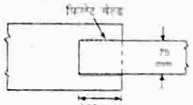
**नोट**—यदि न दिये गये हो, अनुज्ञेय प्रतिबल, $f_t$ = 142 MPa, $f_s$ = 110 MPa मान ले।

1. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—
   (i) रिवेट जोड़ व वेल्ड जोड़ो की तुलना कीजिए।
   (ii) वेल्ड जोड़ो के महत्वपूर्ण लाभ व हानियां लिखे।



   (iii) फिलेट एवं बट वेल्ड मे उत्पन्न होने वाले प्रतिबलो के स्वरूप कारण सहित लिखे।
   (iv) फिलेट वेल्ड के संदर्भ मे प्रभावी कंठ मोटाई चित्र द्वारा स्पष्ट करे।
   (v) फिलेट वेल्ड का सामर्थ्य आप कैसे ज्ञात करेगे? $f_s$ = 110 N/mm² लेते हुये 8·5 mm फिलेट वेल्ड की 10 mm लम्बाई के लिये सामर्थ्य ज्ञात कीजिये।
   (vi) चित्र द्वारा निम्न वेल्ड दर्शित कीजिये—
   (क) एक U बट वेल्ड (ख) दोहरा विवेल बट वेल्ड (ग) दोहरा V बट वेल्ड
   (vii) चित्र द्वारा बट वेल्ड के निम्न परिमाप स्पष्ट करें—
   (क) प्रभावी लम्बाई, (ख) प्रभावी कंठ मोटाई।
   (viii) चित्र द्वारा फिलेट वेल्ड के समस्त परिमाप दर्शित करे।

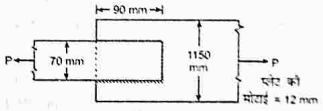
2. चित्र 4.16 मे दर्शाये गये फिलेट वेल्ड जोड़ मे वेल्ड का माप 8 mm है। अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 110 N/mm² मान कर, जोड़ के लिये सुरक्षित भार ज्ञात करे।
   [उत्तर—16·94 kN]



चित्र 4.16

3. अपरूपण सामर्थ्य 100 N/mm² लेते हुये निम्न फिलेट वेल्डो की प्रति मेमी सामर्थ्य ज्ञात करे—
   6, 6·5, 7·0, 7·5, 8·0, 8·5 mm [उत्तर—4·2, 4·55, 4·9, 5·25, 5·60, 5·95 kN]

4. दो प्लेटें फिलेट वेल्ड से जुड़ी है जैसा चित्र 4.17 मे दर्शित है। यदि वेल्ड परिमाप 10 mm हो तो वह अधिकतम तनन बल (Pull) ज्ञात कीजिये जो इस उपांग द्वारा वहन किया जा सकता है। अनुज्ञेय प्रतिबल तनन 150 N/mm² तथा अपरूपण 110 N/mm² लीजिये। [उत्तर—126 kN (लगभग)]



चित्र 4.17

5. एक 120 x 12 (mm) चपटी पत्ती (Flat) को अन्य 160 x 12 (mm) चपटी पत्ती के साथ लैप जोड़ द्वारा जोड़ना है। इसके लिये 10 mm फिलेट वेल्ड की लम्बाई तथा प्रत्येक पार्श्व वेल्ड की आवश्यक लम्बाई ज्ञात कीजिये। जोड़ की तनन क्षमता पतली प्लेट की तनन क्षमता के समान लीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल तनन 150 N/mm² तथा अपरूपण 110 N/mm² मान ले।
   [उत्तर—280·5 mm प्रत्येक पार्श्व वेल्ड 80·25 mm, तनन क्षमता 216 kN]

6. एक 100 x 8 (mm) चपटी गसेट पत्ती गसेट के साथ सम्बद्ध है। इसे अपनी पूरी क्षमता के साथ भार वहन करने हेतु 6·5 (mm) फिलेट वेल्ड की आवश्यक लम्बाई ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल—तनन—150 N/mm², अपरूपण—110 N/mm²।
   [उत्तर—239·8 mm]

7. दो चपटी पत्तियाँ (Flats) 120 x 8 mm बट वेल्ड द्वारा जुड़ी है। यदि अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 142 N/mm² हो तो निम्न स्थितियो मे वेल्ड की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये—
   (i) यदि पूरक धातु (Filler metal) पूरी गहराई तक पहुँची हो।
   (ii) यदि पूरक धातु पूरी गहराई तक न पहुँची हो। [उत्तर—136·32 kN, 85·2 kN]

8. दो प्लेटें 140 x 20 (mm) तथा 140 x 14 (mm) दोहरे V बट वेल्ड द्वारा जोड़ी गयी है। यदि अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 142 N/mm² हो तो जोड़ की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। [उत्तर—278·32 kN]

9. एक 125 x 75 x 8 (mm) असमभुजीय कोणी खण्ड तनन उपांग के रूप मे कार्य कर रहा है तथा इसको लम्बा टांग गसेट प्लेट के साथ 6·5 mm फिलेट वेल्ड द्वारा सम्बद्ध है। यदि इस खण्ड पर 160 kN अक्षीय बल आ रहा हो तो फिलेट वेल्ड की उपयुक्त लम्बाइयां ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल 110 N/mm² लीजिये। खण्ड के गुरूत्व केन्द्र की दूरियां निम्नवत् है—
   $C_{xx}$ = 4·15 mm, $C_{yy}$ = 16·8 mm (चित्र 4.4 देखें) [उत्तर—213·6 mm तथा 106·1 mm]

10. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—

(i) फिलेट वेल्ड की परिमाप आप कैसे निर्धारित करेंगे? 10 mm मोटी प्लेट के लिये फिलेट वेल्ड का अधिकतम परिमाप क्या होगा?

(ii) 12 mm तथा 10 mm मोटी प्लेटो को बट वेल्ड से जोड़ना हो तो प्रभावी कंठ मोटाई क्या होगी?

(iii) फिलेट वेल्ड अभिकल्पन मे प्रभावी कठ मोटाई कैसे निर्धारित की जाती है? 6·5 mm परिमाप के वेल्ड की प्रभावी कठ मोटाई ज्ञात करें।

(iv) अनुदैर्ध्य पार्श्व वेल्ड मे आप क्या समझते है? विशिष्टियो के अनुसार इनमे लम्बवत् दूरी कितनी रखी जानी चाहिये?

(v) विशिष्टियो के अनुसार सिरो पर समाप्त होने वाले पार्श्व वेल्ड की लम्बाई कितनी रखी जानी चाहिये?

(vi) फिलेट वेल्ड के अभिकल्पन मे चढ़ाव (Lap) चित्र द्वारा दर्शित करे। विशिष्टियो के अनुसार इसकी न्यूनतम लम्बाई कितनी रखी जानी चाहिये?

(vii) वेल्ड जोड़ व रिवेट जोड़ मे किस जोड़ की दक्षता अधिक होगी और क्यो?

11. किसी जोड़ मे यदि 6·5 (mm) फिलेट वेल्ड की लम्बाई 300 (mm) हो तो वेल्ड का सामर्थ्य क्या होगा?

[**उत्तर**—प्रभावी लम्बाई = 317 mm, $f_v$ = 110 N/mm$^2$ लेते हुये सामर्थ्य = 158·7 kN]

12. एक 120 × 12 (mm) चपटी पत्ती (Flat) को अन्य 160 × 12 (mm) चपटी पत्ती के साथ लैप जोड़ मे जोड़ने हेतु फिलेट वेल्ड जोड़ का अधिकल्पन कीजिये। वेल्ड परिमाप निर्धारित करते हुये अधिकल्पन 120 × 12 (mm) चपटी पत्ती मे पूरा तनन बल विकसित होने हेतु उपयुक्त हो। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 N/mm$^2$ तथा $f_s$ = 102·5 N/mm$^2$ लीजिये।

[**उत्तर**—8·5 mm वेल्ड के साथ आवश्यक लम्बाई 355 mm, वास्तविक लम्बाई 372 mm, प्रत्येक पार्श्व वेल्ड 126 mm, सामर्थ्य = 216 kN]

13. निम्न तान छड़ो (Tie bars) को गसेट प्लेट के साथ जोड़ने हेतु फिलेट वेल्ड जोड़ का अधिकल्पन कीजिये—

(i) चपटी पत्ती 60 mm × 8 mm, गसेट प्लेट 12 mm, $f_t$ = 150 N/mm$^2$ तथा $f_s$ = 102·5 N/mm$^2$

(ii) चपटी पत्ती 90 × 10 (mm), गसेट प्लेट 12 mm, $f_t$ = 150 N/mm$^2$ तथा $f_s$ = 108 N/mm$^2$

(iii) चपटी पत्ती (Flat) 120 × 10 mm गसेट पलेट 10 mm, $f_t$ = 142 N/mm$^2$ तथा $f_s$ = 110 N/mm$^2$

**उत्तर—**

| | प्रस्तावित परिमाप | आवयक वेल्ड लम्बाई | वास्तविक लम्बाई | वेल्ड लम्बाई पार्श्व |
|---|---|---|---|---|
| (i) | 6 mm | 167·2 mm | 180 mm | 90 mm |
| (ii) | 8 mm | 224·0 mm | 256 mm | 112 mm + सिरे पर 16 mm |
| (iii) | 8 mm | 277·0 mm or 280 mm | 312 mm | (140 + 16) mm |

14. निम्न कोणी खण्डो (Angles) को तान अंग के रूप मे उन पर आने वाले अक्षीय भारो के लिये गसेट प्लेट के साथ जोड़ने हेतु फिलेट वेल्ड की लम्बाइयां निर्धारित कीजिये। (चित्र 4.4 देखें)

(i) 70 × 70 × 8 (mm) कोणी खण्ड, $C_{xx} = C_{yy}$ = 20·2 mm, अक्षीय भार 120 kN, वेल्ड परिमाप 6 mm, गसेट प्लेट 10 mm, अनुज्ञेय प्रतिबल $f_s$ = 110 N/mm$^2$

(ii) 75 × 50 × 8 (mm) कोणी खण्ड, लम्बी टाग गसेट प्लेट से सम्बद्ध, $C_{xx}$ = 24·4 mm, अक्षीय भार 100 kN, गसेट प्लेट 10 mm, $f_s$ = 102·5 N/mm$^2$, वेल्ड परिमाप 6·5 mm

(iii) 90 × 60 × 8 (mm) कोणी खण्ड, लम्बी टाग सम्बद्ध, $C_{XX}$ = 29·6 mm अक्षीय भार 140 kN, गसेट प्लेट 10 mm, $f_s$ = 108 N/mm$^2$, वेल्ड परिमाप 6 mm. [**उत्तर**—चित्र 4.4 के अनुसार समस्त परिमाप (mm) मे]



| | $F_1$ (kN) | $F_2$ (kN) | आवश्यक लम्बाई (mm) | | वास्तविक लम्बाई (mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $L_1$ | $L_2$ | $L_1$ | $L_2$ |
| (i) | 85·36 | 34·64 | 185 | 75 | 197 | 87 |
| (ii) | 67·46 | 32·54 | 145 | 70 | 158 | 83 |
| (iii) | 93·95 | 46·05 | 207 | 102 | 219 | 114 |

15. एक 150 mm × 10 mm मृदु इस्पात की चपटी पत्ती को अन्य 200 mm × 10 mm प्लेट के साथ जोड़ने हेतु फिलेट वेल्ड लैप जोड़ का अभिकल्पन कीजिये। जोड़ मे 150 mm × 10 mm चपटी पत्ती का पूरा तनन सामर्थ्य विकसित होना चाहिये। अनुज्ञेय प्रतिबल— $f_t$ = 150 mm तथा $f_s$ = 100 N/mm$^2$ लीजिये।

[**उत्तर**—विशिष्टयो के अनुकूल वेल्ड परिमाप 7 mm, कुल लम्बाई 474 mm, प्रत्येक पार्श्व वेल्ड 162 mm]

16. 120 mm × 8 mm तथा 120 mm × 12 mm चपटी पत्तियो (flats) को चढ़ाव जोड़ द्वारा जोड़ने हेतु फिलेट वेल्ड का परिमाप निर्धारित कीजिये जिससे 120 × 8 mm चपटी पत्ती मे पूरा तनन सामर्थ्य विकसित हो सके। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 142 N/mm$^2$ तथा $f_s$ = 110 N/mm$^2$ लीजिये। [**उत्तर**—6 mm व 9 mm]

17. 20 मीटर ऊँची तथा 12 मीटर व्यास की एक टकी (tank) का निर्माण 8 mm मोटी इस्पातीय चद्दरो से किया जाता है। यदि इसमे संचयन हेतु प्रस्तावित तेल का घनत्व 8·2 kN/m$^3$ हो तो लैप जोड़ हेतु फिलेट वेल्ड का परिमाप निर्धारित कीजिये। टकी उसकी पूरी क्षमता तक भरी जायेगी। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_s$ = 110 N/mm$^2$ मान लें। [**उत्तर**—6·39 अथवा 6·5 mm]

18. एक 80 mm चौड़ी चपटी पत्ती (Flat) गसेट प्लेट पर 100 mm चढ़ाव देते हुये तीन तरफ से 8 mm फिलेट वेल्ड द्वारा जुड़ी है। यदि प्लेट की मोटाई 10 mm हो तो जोड़ की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। $f_t$ = 150 N/mm$^2$, $f_s$ = 110 N/mm$^2$ लीजियेगा। जोड़ की विशिष्टयो के लिये जांच करें। [**उत्तर**—सामर्थ्य 162·6 kN, विशिष्टयो के अनुकूल है।]

# 5 तनन उपांग (TENSION MEMBERS)

## § 5.1. परिचय (Introduction) :

तनन उपांग किसी संरचना के वे उपांग होते हैं जो सीधा तनन बल (Direct Tension) वहन करते हैं। ऐसे अवयवों को तनन अंग (Ties) भी कहते हैं। इसका सामान्य उदाहरण किसी कैंची (Truss) का वह उपांग होगा जो सीधा तनन बल वहन करता है फिर वह कैंची औद्योगिक भवन की हो या पुल के लिये उसका निर्माण किया गया हो। पुराने भवनों की डाट छत (Jack Arch Roof) में लगी तान छड़ एक ऐसा ही उपांग है।

अध्याय 1 अनुच्छेद 1.7 में अक्षीय व बंकन प्रतिबल वर्णित हैं। सामान्यत: तनन उपांगों द्वारा वहन किया जाने वाला बल अक्षीय (Axial) होता है और यह माना जाता है, वह पिण्ड के केन्द्रक (Centroid) से पारित होता है। जब यह बल उत्केन्द्रित (Eccentric) होता है तब अक्षीय प्रतिबल के साथ-साथ बंकन प्रतिबल भी उपजते हैं, परन्तु व्यवहार में कम उत्केन्द्रता पर विचार नहीं किया जाता है।

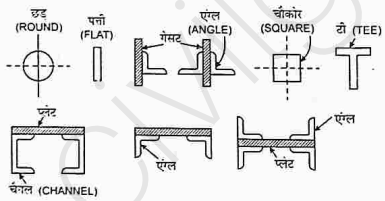
इस अध्याय में हम उन्हीं उपांगों का अध्ययन करेंगे जो **सीधा अक्षीय तनन बल** वहन करते हैं।

## § 5.2. खण्ड के प्रकार (Types of Section) :

तनन उपांग के लिये उपर्युक्त खण्ड वह होगा जिसकी तनन सामर्थ्य उस पर आने वाले (उसके द्वारा वहन किये जाने वाले) वास्तविक तनन बल से **अधिक** हो। अधिक तनन बल वहन करने हेतु अधिक काट क्षेत्रफल (Sectional Area) की आवश्यकता होगी। तद्नुसार उपलब्ध संरचनात्मक खण्डों, जिनका अध्ययन हम अध्याय 2 में कर चुके हैं, में से एक या अधिक उपर्युक्त खण्डों का प्रयोग करते हुये खण्ड का संयोजन किया जाता है, जैसे कोणी खण्ड (Angle), चपटी पत्ती (Flat), चैनेल (Channel) अथवा *T* खण्ड (*T*-Section) आदि।

ऐसे कुछ खण्ड चित्र 5.1 में दिखाये गये हैं।

उपांग के लिये आवश्यक काट क्षेत्रफल के आधार पर उक्त चित्र 5.1 में दर्शित खण्डों में से उपर्युक्त खण्ड का प्रयोग किया जाता है। सामान्यत: औद्योगिक भवनों/कार्यशालाओं में प्रयुक्त कैंचियों में उपांगों के लिये खण्ड के संयोजन हेतु एक कोणी खण्ड, दो कोणी खण्ड अथवा चपटी पत्ती (Flat) का प्रयोग किया जाता है।




**चित्र 5.1—तनन उपांग के लिये विभिन्न संरचनात्मक खण्ड**

## § 5.3. संरचनात्मक व्यवस्था (Structural Arrangement) :

तनन उपांगों के विश्लेषण/अभिकल्पन के पूर्व संरचनात्मक व्यवस्था से सम्बन्धित निम्न बातों की जानकारी उपयुक्त होगी—

(i) गसेट प्लेट या संगम पट्टिका (Gusset plate),

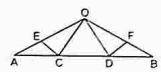
(ii) टाँका या आबंधन रिवेट (Tacking rivet),

(iii) पृथक्कारी (Separator)।





**5.3-1. गसेट प्लेट** (Gusset Plate)—चित्र 5.2 में एक कैंची (Truss) दर्शित है। स्पष्ट है कि कैंचियों पर आने वाले भार, बिन्दु भार (Point Loads) होते हैं जो उपांगों के अक्षों के प्रतिच्छेदन बिन्दुओं पर कार्यरत होते हैं।

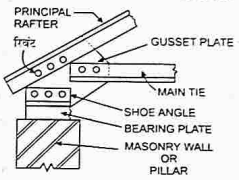



**चित्र 5.2**

अत: यह आवश्यक है कि कैंची के उपांगों को आपस में इस प्रकार जोड़ा जाये ताकि उनके अक्ष एक ही बिन्दु से गुजरें/प्रतिच्छेदित हों, जो कैंचियों के विश्लेषण का प्रमुख आधार है। जैसे चित्र 5.2 में उपांग *OE*, *OF*, *OC* व *OD* के अक्ष बिन्दु "*O*" में प्रतिच्छेदित होंगे।

पुन: उपांगों को आपस में जोड़ते समय उनमें उत्पन्न होने वाले प्रतिबलों के अनुसार उनके सिरों पर जोड़ का अभिकल्पन किया जाता है तथा पर्याप्त संख्या में रिवेट लगाये जाते हैं अन्यथा आवश्यक लम्बाई में वेल्डिंग की जाती है। गसेट प्लेट इसके लिये पर्याप्त स्थान उपलब्ध करती है। कैंचियों में विभिन्न उपांगों को एक दूसरे के साथ जोड़ने हेतु प्रयोग की जाने वाली प्लेटों को **गसेट प्लेट** कहा जाता है।

चित्र 5.3 में कैंची के बिन्दु "*A*" पर आधार व्यवस्था में गसेट प्लेट का प्रयोग दिखाया गया है।




**चित्र 5.3—कैंची में गसेट-प्लेट जोड़**

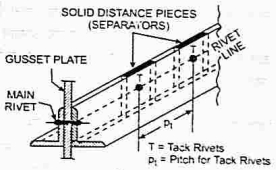
**5.3-2. टाँका या आबंधन रिवेट** (Tacking Rivets)—जब कैंची के उपांगों में खण्ड के संयोजन हेतु दो खण्डों का (सामान्यत: कोणी खण्डों) का प्रयोग किया जाता है तब इनमें से प्रत्येक खण्ड (कोणी खण्ड) को घटक कहा जाता है। यह आवश्यक होता है कि दोनों घटक मिलकर एक इकाई की तरह कार्य करें और अपनी स्थिति में घटके नहीं।

अत: ऐसे संयोजित खण्डों में घटकों को आपस में जोड़ने के लिये विशिष्टियों के अनुसार निर्धारित दूरियों पर रिवेट लगाये जाते हैं। इन रिवेटों को आबंधन रिवेट कहा जाता है। आबंधन रिवेटों के कारण संयोजित खण्ड के घटक आपस में बन्ध जाते हैं और पार्श्व में लचकते नहीं हैं और दोनों घटक मिलकर एक इकाई की तरह कार्य करते हैं।

चित्र 5.4 में यह व्यवस्था दर्शित है।

**5.3-3. पृथक्कारी** (Separators)—चित्र 5.4 में दर्शित उपांग में संयोजित खण्ड के घटक (कोणी खण्ड) गसेट प्लेट के दोनों ओर लगे हैं। अत: यह आवश्यक है कि इन घटक खण्डों में उपांग की पूरी लम्बाई में गसेट प्लेट की मोटाई के समान दूरी बनी रहे। इसके लिए धातु के टुकड़ों को घटकों के बीच निर्धारित दूरियों पर आबंधन रिवेट लगाते समय लगाया जाता है।

इन धातु के टुकड़ों को पृथक्कारी कहा जाता है।




**चित्र 5.4**

## § 5.4. तनन उपांगों में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल (Permissible Tensile Stresses in Tension Members):

भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार तनन उपांगों में अक्षीय तनन के फलस्वरूप उपांग के शुद्ध क्षेत्रफल (Net Area) पर उत्पन्न अधिकतम प्रतिबल निम्न से अधिक नहीं होना चाहिये—

$$\sigma_{at} \quad \text{या} \quad f_t = 0{\cdot}6 f_y$$

यहाँ $f_t$ = अनुज्ञेय अक्षीय तनन प्रतिबल (कोड अनुसार इसे $\sigma_{at}$ लिखा जाता है)।

$f_y$ = न्यूनतम पराभव प्रतिबल (Minimum Yield Stress), in N/mm$^2$ अथवा MPa

भारतीय मानक IS. : 2062-1992 के अनुसार अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान खण्डों की मोटाईयों के अनुसार निम्नवत् निर्धारित हैं—

**तालिका 5.1—अक्षीय तनन में अनुज्ञेय प्रतिबल**
**सभी मान (N/mm$^2$) अथवा MPa में**

| मोटाई (Thickness) | न्यूनतम पराभव प्रतिबल ($f_y$) | अनुज्ञेय अक्षीय तनन प्रतिबल ($f_t$) या ($\sigma_{at}$) |
|---|---|---|
| 20 mm से कम | 250 | 150 |
| 20 से 40 mm | 240 | 144 |
| 40 mm से अधिक | 230 | 138 |

## § 5.5. तनन उपांग की सामर्थ्य (Strength of a Tension Member) :

किसी तनन उपांग की सामर्थ्य निम्नवत् ज्ञात की जाती है—

सामर्थ्य = खण्ड का शुद्ध क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

Strength = (Net Area of Section) × (Permissible Stress)

अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान खण्ड की मोटाई के आधार पर भारतीय मानक I.S. : 2062-1992 द्वारा निर्धारित किये गये हैं, जो तालिका 5.1 में अंकित है। यह अनुज्ञेय प्रतिबल खण्ड के शुद्ध क्षेत्रफल के लिये निर्धारित है। भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार विभिन्न खण्डों के शुद्ध क्षेत्रफल की आगणन विधि निर्धारित की गयी है, जो आगे के अनुच्छेदों में दी जा रही है।

## § 5.6. तनन उपांग का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल (Net Effective Area of Tension Member) :

अनुच्छेद 5.3 में संरचनात्मक व्यवस्था वर्णित की गयी है। इनमें गसेट प्लेट (Gusset plate) महत्वपूर्ण है। गसेट प्लेट विभिन्न उपांगों को आपस में जोड़ती है तथा उपांगों के सिरों पर स्थिरता के लिये जोड़ लगाने के लिये स्थान उपलब्ध करती है।

सामान्यतः उपांगों को सिरों पर गसेट प्लेट के साथ जोड़ने हेतु रिवेटों का प्रयोग किया जाता है। कई बार बोल्टों का भी प्रयोग किया जाता है, अन्यथा वेल्डिंग की जाती है।

रिवेट जोड़ों का अध्ययन हम पिछले अध्याय में कर चुके हैं। रिवेटों या बोल्टों का प्रयोग करने हेतु सिरों पर छिद्र बनाये जाते हैं। इससे खण्ड की तनन क्षमता कम हो जाती है। स्पष्ट है कि यदि रिवेट छिद्र न बनाये जाते तो खण्ड का पूरा क्षेत्रफल तनन बल वहन करता।

चित्र 5.5 में एक चपटी पत्ती (Flat) को दर्शित किया गया है। इसकी चौड़ाई '$B$' तथा मोटाई '$t$' है। इसमें बना एक रिवेट छिद्र भी दर्शित है जिसका व्यास '$d$' है। स्पष्ट है कि

(i) चपटी पत्ती (Flat) का कोर क्षेत्रफल = $B \times t$

(ii) इसमें रिवेट छिद्र बनाये जाने पर—

क्षेत्रफल जो तनन बल वहन करेगा = $(B - d)\, t$

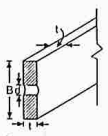
यहाँ चपटी पत्ती के पूरे कोर क्षेत्रफल को **'कुल क्षेत्रफल'** (Gross Area) कहा जाता है तथा क्षेत्रफल जो तनन बल वहन करेगा उसे **शुद्ध क्षेत्रफल** (Net Area) कहा जायेगा।

स्पष्ट है कि शुद्ध क्षेत्रफल (Net Area) रिवेट/बोल्ट लगाने हेतु बनाये गये छिद्र/छिद्रों (Hole/Holes) के लिये कटौती के बाद अवशेष क्षेत्रफल होगा।

चित्र 5.5 में दर्शित चपटी पत्ती के लिये—

एक रिवेट छिद्र के लिये कटौती = $d \times t$

इस प्रकार किसी भी खण्ड के पूरे कोर क्षेत्रफल को 'कुल क्षेत्रफल' (Gross Area) तथा इसमें रिवेट/बोल्ट हेतु बनाये गये छिद्रों (holes) के लिये कटौती के बाद अवशेष क्षेत्रफल को 'शुद्ध क्षेत्रफल' (Net Area) कहा जाता है। अतः—




**चित्र 5.5—कुल तथा शुद्ध क्षेत्रफल**



खण्ड का शुद्ध क्षेत्रफल = (खण्ड का कुल क्षेत्रफल) – (रिवेट/बोल्ट छिद्रों के लिये कटौती)

इस प्रकार तनन उपांगों के विश्लेषण/अभिकल्पन में खण्ड का शुद्ध क्षेत्रफल ज्ञात किया जाता है, जिसकी आगणन पद्धति आगे विस्तार से दी जा रही है।

**5.6-1. चपटी पत्ती** (Flat)—चपटी पत्ती जब तनन उपांग के रूप में प्रयोग की जाती है तब इसे अन्य उपांगों के साथ गसेट प्लेट के माध्यम से अथवा अन्य चपटी पत्ती के साथ रिवेटों द्वारा जोड़ा जा सकता है।

रिवेट जोड़ों के अध्ययन से हम जानते हैं कि रिवेट जोड़ में निम्न व्यवस्थाएँ हो सकती हैं—

(i) शृंखला रिवेट पद्धति (Chain Riveting)।

(ii) विषम रिवेट पद्धति (Zig-zag or Staggered Riveting)।

प्रत्येक व्यवस्था में शुद्ध क्षेत्रफल (Net Area) की गणना पद्धति निम्न दी गई है—

**(1) शृंखला रिवेट पद्धति** (Chain Riveting)—यह व्यवस्था चित्र 5.6 में दर्शित है। इस व्यवस्था में प्रत्येक खण्ड 1-1 अथवा खण्ड 2-2 पर रिवेटों की संख्या समान होगी। यहाँ

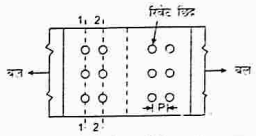
$B$ = पत्ती की चौड़ाई (mm)

$B_c$ = प्रभावी चौड़ाई (mm)

$t$ = मोटाई (mm)

$n$ = खण्ड पर रिवेटों की संख्या

$d$ = रिवेट का कुल व्यास (mm)




**चित्र 5.6—शृंखला रिवेट पद्धति**

स्पष्ट है कि—

चपटी पत्ती का कोर क्षेत्रफल (Sectional Area) = $B \times t$

रिवेट छिद्रों के लिये कटौती = $n \times (d \times t)$

अतः शुद्ध क्षेत्रफल = $(B \times t) - n \times (d \times t)$

$= (B - nd)\, t$ ...(5.1)

चित्र में दर्शित जोड़ के लिये $n = 3$ होगा।

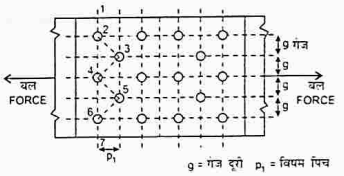
यहाँ $(B - nd)$ को प्लेट की प्रभावी चौड़ाई (Effective Width) कहा जा सकता है तथा इसे "$B_e$" से दर्शित किया जायेगा।

अतः शुद्ध क्षेत्रफल = $B_e \times t$ ...(5.2)

**(2) विषम रिवेट पद्धति** (Zig-zag Riveting)—यह पद्धति चित्र 5.7 में दर्शित है। चित्र से स्पष्ट होता है कि यहाँ प्रत्येक खण्ड पर रिवेटों की संख्या समान नहीं होगी।

अतः प्रभावी क्षेत्रफल ज्ञात करने हेतु विभिन्न कोर रेखाएं लेते हुए उन पर स्थित रिवेटों के लिये कटौती करते हुये प्लेट या चपटी पत्ती की न्यूनतम प्रभावी चौड़ाई ज्ञात की जायेगी, जो वास्तविक प्रभावी चौड़ाई होगी।

चित्र के अनुसार कोर रेखा 1-2-4-5-7 पर तीन रिवेट स्थित हैं। यह यह सीधी कोर रेखा है।




**चित्र 5.7—विषम रिवेट पद्धति**

इसी प्रकार कोर रेखा 1-2-3-4-5-6-7 जो की टेढ़ी-मेढ़ी कोर रेखा है, इस पर पाँच रिवेट स्थित हैं।

यहाँ $B$ = चपटी पत्ती की चौड़ाई (mm),

$B_e$ = किसी कोर रेखा पर प्रभावी चौड़ाई (mm),

$t$ = पत्ती की मोटाई (mm),

$n$ = कोर रेखा पर स्थित रिवेटों की संख्या,

$d$ = रिवेट का सकल व्यास (mm),

$p_1$ = विषम पिच (Staggered pitch) (mm),

$g$ = गेज दूरी (mm) (यह प्रतिबल की दिशा के लम्बवत् ली जाती है),

$n_1$ = टेढ़ी-मेढ़ी काट रेखा पर गेज दूरियों की संख्या।

भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार काट रेखा 1-2-4-6-7 (सीधा काट रेखा) के लिये—

प्रभावी चौड़ाई, $B_e = (B - 3d)\,t$

तथा काट रेखा 1-2-3-4-5-6-7 (टेढ़ी-मेढ़ी काट रेखा) के लिये

$$\text{प्रभावी चौड़ाई, } B_e = \left[(B - nd) + n_1\left(\frac{p_1^2}{4g}\right)\right] \qquad ...(5.3)$$

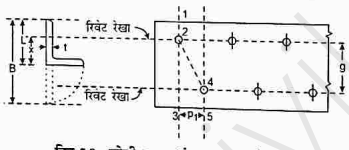
यहाँ $n = 5$ व $n_1 = 4$

$$\therefore \quad B_e = B - 5d + 4\left(\frac{p_1^2}{4g}\right)$$

तथा शुद्ध क्षेत्रफल (Net area) $= B_e \times t$

**5.6-2. कोणी खण्ड जिसकी दोनों टांगें जुड़ी हो** (Angle–Both Legs Connected)—यदि कोणी खण्ड की दोनो टांगे सम्बद्ध हो जाती है या जोड़ी जाती है तो इसका शुद्ध क्षेत्रफल निम्नवत् ज्ञात किया जाता है—

कोणी खण्ड की दोनो टांगो को एक सीधी रेखा मे कल्पित करने पर जो स्थिति होगी वह निम्न चित्र 5.8 में दर्शित की गयी है—




**चित्र 5.8—कोणी-खण्ड (एंगल) का शुद्ध क्षेत्रफल**

यह व्यवस्था विषम रिवेट पद्धति (Zig-zag riveting) के समरूप होगी तथा पिछली धारा के अनुसार दो काट रेखाएँ 1-2-3 तथा 1-2-4-5 लेते हुये न्यूनतम चौड़ाई के आधार पर खण्ड का शुद्ध क्षेत्रफल ज्ञात किया जायेगा।

उपरोक्त चित्र मे $B$ = चौड़ाई = (दोनो टांगो की लम्बाई) – खण्ड की मोटाई $= 2L - t$

यहाँ $t$ = खण्ड की मोटाई

$L$ = टांग की लम्बाई

अत: सीधी काट रेखा 1 2-3 पर,

$B_e = (B - nd)$ यहाँ $n = 1$

$= (B - d)$ चित्र में दर्शित जोड़ के लिये।

टेढ़ी-मेढ़ी काट रेखा 1-2-4-5 पर—

$n_1$ = गेज दूरियों की संख्या = 1

$n$ = रिवेटो की संख्या = 2



तथा प्रभावी चौड़ाई (Effective Width) $= B_e = B - nd + n_1\dfrac{p_1^2}{4g}$ ...(सूत्र)

$$= \left(B - 2d + \frac{p_1^2}{4g}\right)$$

शुद्ध क्षेत्रफल (Net Area) उपरोक्त में से न्यूनतम प्रभावी चौड़ाई के आधार पर ज्ञात किया जाता है।

**उदाहरण 5.1 : चित्र 5.6 में दर्शित जोड़ में चपटी पत्ती की चौड़ाई यदि 150 mm तथा मोटाई 10 mm हो तथा 20 mm रिवेटों का प्रयोग किया गया हो प्लेट की तनन क्षमता ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल 150 N/mm² लीजिये।**

**हल :** रिवेट का व्यास = 20 mm

तथा $d$ = रिवेट का सकल व्यास = (20 + 1·5 = 21·5 mm

यह जोड़ काट रेखा 1-1 पर विफल हो सकता है तथा इस काट रेखा पर तीन रिवेट स्थित हैं।

अत: $n = 3$ व $d = 21{\cdot}5$, $B = 150$ mm व $t = 10$ mm

इस प्रकार मान रखने पर,

प्रभावी चौड़ाई, $B_e = (B - nd)\,t$ ...(सूत्र)

$= (150 - 3 \times 21{\cdot}5)$ mm

$= (150 - 64{\cdot}5)$ mm $= 85{\cdot}5$ mm

अत: प्रभावी क्षेत्रफल $= B_e \times t = 85{\cdot}5 \times 10 = 855$ mm²

तथा तनन क्षमता = शुद्ध क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$= 855 \times 150$ N $= 128250$ N अथवा **128·25 kN** **उत्तर**

**उदाहरण 5.2 : चित्र 5.9 में दर्शित तनन उपांग में यदि 20 mm व्यास के रिवेटों का प्रयोग किया गया हो तथा प्लेट की मोटाई 10 mm हो तो उपांग की तनन सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। $f_t = 150$ N/mm² लीजिये।**

**हल :** चित्र 5.9 के अनुसार तनन उपांग मे—

प्लेट की चौड़ाई, $B = 200$ mm

मोटाई, $t = 10$ mm

रिवेट का सकल व्यास, $d = (20 + 1{\cdot}5)$ mm अथवा 21·5 mm

गेज दूरी, $g = 60$ mm

विषम पिच, $p_1 = 50$ mm

यह जोड़ निम्न काट रेखाओ (Section Lines) पर विफल हो सकता है—

काट रेखा 1-2-3-4, जो सीधी काट रेखा है।

काट रेखा 1-2-5-3-4, जो टेढ़ी-मेढ़ी काट रेखा है।

अत: इन दोनो काट रेखाओ पर सामर्थ्य ज्ञात की जायेगी तथा न्यूनतम सामर्थ्य उपांग की वास्तविक सामर्थ्य होगी। स्पष्ट है कि सामर्थ्य न्यूनतम शुद्ध क्षेत्रफल के आधार पर ज्ञात की जायेगी।

अत: काट रेखा 1-2-3-4 पर प्रभावी चौड़ाई,

$B_e = (B - nd)$ ... (सूत्र)

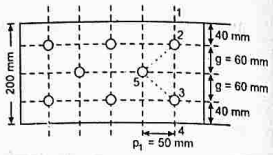
यहाँ $B = 200$ mm, $n = 2$

तथा $d = 21\,5$mm रखने पर

civilguru.net

$$B_e = (200 - 2 \times 21{\cdot}5)\ \text{mm}$$
$$= (200 - 43{\cdot}0)\ \text{mm}$$
$$= 157\ \text{mm}$$

तथा शुद्ध क्षेत्रफल $= B_e \times t$
$$= 157 \times 10\ \text{mm}^2$$
$$= 1570\ \text{mm}^2 \quad \text{...(i)}$$



चित्र 5.9

पुन: काट रेखा 1-2-5-3-4 के लिये—

$$\text{प्रभावी चौड़ाई, } B_e = \left[B - nd + n_1 \frac{p_1^2}{4g}\right] \quad \text{... (सूत्र)}$$

यहाँ $B = 200$ mm, $n = 3$, $n_1 = 2$; $p_1 = 50$ mm,
$g = 60$ mm तथा $d = 21{\cdot}5$ mm

$$B_e = \left[200 - 3 \times 21{\cdot}5 + 2\left(\frac{50 \times 50}{4 \times 60}\right)\right] \text{mm}$$
$$= 200 - 64{\cdot}5 + 20{\cdot}83\ \text{mm}$$
$$= 156{\cdot}33\ \text{mm}$$

$\therefore$ $B_e = 156{\cdot}33$ mm

अत: शुद्ध क्षेत्रफल $= B_e \times t$
$$= 156{\cdot}33 \times 10\ \text{mm}^2$$
$$= 1563{\cdot}3\ \text{mm}^2 \quad \text{यह न्यूनतम है} \quad \text{... (ii)}$$

अत: सामर्थ्य $= 1563{\cdot}5 \times 150$ N
$= 234495$ N अथवा **234·50 kN** **उत्तर**

**उदाहरण 5.3 : चित्र 5.8 में दर्शित तनन उपांग (Tension Member) में एक कोणी खण्ड $60 \times 60 \times 8$ (mm) प्रयोग में लाया गया, जिसकी दोनों टांगें 18 mm रिवेटों द्वारा जोड़ी गयी हैं। रिवेट रेखा की अन्य टांग की पृष्ठ से लम्बवत् दूरी 35 mm है। इस खण्ड की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। विषम पिच 50 mm तथा अनुज्ञेय प्रतिबल $f_1 = 150$ N/mm$^2$ लीजिये।**

**हल :** चित्र 5.8 देखें। इसमें खण्ड को इसकी दोनों टांगो को एक समतल में कल्पित करते हुये दर्शित किया गया है।

रिवेट रेखा की दूरी, $x = 35$ mm

अत: खण्ड की चौड़ाई, $B$ = (दोनों टांगो की कुल लम्बाई) – खण्ड की मोटाई
$= (2 \times 60) - 8$ mm
$= 112$ mm

रिवेट रेखा की किनारे की दूरी $= (60 - x) = (60 - 35)$ mm $= 25$ mm

अत: गेज दूरी, $g = B - 2 \times$ रिवेट रेखा की किनारे से दूरी
$= (112 - 2 \times 25)$ mm
$= 62$ mm

विषम पिच $p_1 = 50$ mm

रिवेट का सकल व्यास, $d = (18 + 1{\cdot}5)$ mm $= 19{\cdot}5$ mm



यह खण्ड तनन में काट 1-2-3 अथवा काट 1-2-4-5 पर विफल हो सकता है। अत: काट रेखा 1-2-3 (जो एक सीधी काट रेखा) है, पर प्रभावी चौड़ाई,

$$B_e = (B - nd) \quad \text{यहाँ} \quad n = 1$$
$$= (112 - 19{\cdot}5)\ \text{mm}$$
$$= 92{\cdot}5\ \text{mm}$$

तथा शुद्ध क्षेत्रफल $= B_e \times t = 92{\cdot}5 \times 8\ \text{mm}^2$
$= 740\ \text{mm}^2$ ...(i)

तथा काट रेखा 1-2-4-5 (जो एक टेढ़ी-मेढ़ी काट रेखा है) पर रिवेटों की संख्या, $n = 2$, गेज दूरियों की संख्या $n_1 = 1$

तथा प्रभावी चौड़ाई, $B_e = \left\{B - nd + n_1\left(\frac{p_1^2}{4g}\right)\right\}$

$$= \left\{112 - 2 \times 19{\cdot}5 + 1 \times \frac{50 \times 50}{4 \times 62}\right\}$$
$$= \{112 - 39 + 10{\cdot}08\}\ \text{mm} = 83{\cdot}08\ \text{mm}$$

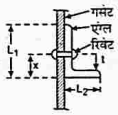
अत: शुद्ध क्षेत्रफल $= 83{\cdot}08 \times 8 = 664{\cdot}64\ \text{mm}^2$ ...(ii)

अत: वास्तविक शुद्ध क्षेत्रफल $= 664{\cdot}64\ \text{mm}^2$ (जो कम है)

$\therefore$ खण्ड का सामर्थ्य $= 664{\cdot}64 \times 150$ N
$= 99696$ N अथवा **99·70 kN** **उत्तर**

**5.6-3. कोणी खण्ड-गसेट प्लेट के साथ एक टांग सम्बद्ध** (Single Angle, One Leg Connected to Gusset Plate)— चित्र 5.10 में दर्शित कोणी खण्ड की एक टांग गसेट प्लेट से जुड़ी है।

यहाँ जुड़ी टांग की लम्बाई $= L_1$
लटकी (शेष) टांग की लम्बाई $= L_2$
एंगल-खण्ड की मोटाई $= t$
रिवेट का कुल व्यास $= d$



चित्र 5.10—एक-टांग जुड़ी एंगल

स्पष्ट है कि समभुजीय कोणी खण्ड के लिये $L_1 = L_2$

भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार इस खण्ड का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल निम्नवत् ज्ञात होगा—

$$\text{शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल} = A_1 + [A_2 k] \quad \text{...(5.4)}$$

यहाँ $A_1$ = जुड़ी टांग का प्रभावी काट क्षेत्रफल
$A_2$ = लटकी (शेष) टांग का कुल काट क्षेत्रफल

तथा $$k = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2}$$

चित्र 5.10 के अनुसार—

$$A = \left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right)t \quad \text{तथा} \quad A = \left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t$$

इसी प्रकार वेल्डिंग द्वारा कोणी खण्ड सम्बद्ध किये जाने पर

$$A = \left(L_1 - \frac{t}{2}\right)t \quad \text{तथा} \quad A = \left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t$$

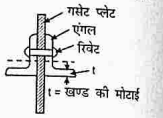
civilguru.net

**5.6-4. दो कोणी खण्ड अथवा *T* खण्ड** (Two Angles or T Section)—जब तनन उपांग पर अधिक भार आता है तब अधिक शुद्ध क्षेत्रफल की आवश्यकता होगी। ऐसी स्थिति में दो कोणी खण्ड (Two Angles) अथवा *T* खण्ड (*T* Section) का प्रयोग किया जा सकता है। कोणी खण्ड गसेट प्लेट की एक ओर अथवा दोनों ओर लगाये जा सकते हैं।

प्रत्येक स्थिति मे शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल की गणना अलग-अलग की जाती है।

**(1) गसेट प्लेट के दोनों ओर जुड़े कोणी खण्ड**—चित्र 5.11 मे यह व्यवस्था दिखायी गयी है। गसेट प्लेट के प्रत्येक ओर एक-एक कोणी खण्ड लगाया गया है। सामान्यत: असमभुजीय कोणी खण्ड (Unequal Angle) की लम्बी टांगे गसेट प्लेट से सम्बद्ध की जाती है। इस खण्ड के लिये—

शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल = {कोणी खण्डों का कुल क्षेत्रफल}
− {रिवेट छिद्रों के लिये कटौती}



चित्र 5.11—प्रत्येक फलक पर जड़ा एंगल

यदि $t$ = खण्ड की मोटाई,

$d$ = रिवेट का सकल व्यास

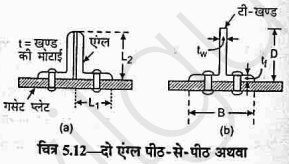
तब कटौती = $(2 \times d \times t)$ mm$^2$

**(2) गसेट प्लेट के एक ही ओर जुड़े पीठ से पीठ मिलाये** (Back to Back) **दो कोणी खण्ड अथवा एकल टी-खण्ड**—यह व्यवस्था चित्र 5.12 मे दर्शित है। चित्र 5.12 (a) मे दो कोणी खण्ड तथा चित्र 5.12 (b) में *T* खण्ड जिसकी फ्लेंज गसेट प्लेट से सम्बद्ध है, दर्शित किये गये हैं।

भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार इस खण्ड का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल (Net Effective Area) निम्नवत् ज्ञात किया जाता है—

$$\text{शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल} = A_1 + A_2 k$$

यहाँ $$k = \frac{5A_1}{5A_1 + A_2}$$



चित्र 5.12—दो एंगल पीठ-से-पीठ अथवा एकल टी-खण्ड

$A_1$ व $A_2$ अनुच्छेद 5.6.3 के अनुसार निम्नवत् लिये जायेंगे।

चित्र 5.12 (a) के अनुसार—

$$A_1 = 2\left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right)t$$

यहाँ $t$ = खण्ड की मोटाई (mm)

तथा $$A_2 = 2\left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t$$

$d$ = रिवेट का सकल व्यास (mm)

उक्त व्यवस्था में यह आवश्यक है कि दोनों कोणी खण्डों की लटकी (शेष) टांगें आपस में आबंधन रिवेटो (Tacking Rivets) द्वारा जुड़ी हों, जिससे दोनों कोणी खण्ड मिलकर एक इकाई की तरह कार्य कर सकें।

**चित्र 5.12 (b)** के अनुसार टी खण्ड के लिये—

$$A_1 = (B - 2d)\,t_f \text{ (mm}^2\text{)}$$
$$A_2 = (D - t_f)\,t_w \text{ (mm}^2\text{)}$$

उपरोक्त मे, $B$ = फ्लेंज चौड़ाई, $d$ = रिवेट का कुल व्यास, $t_f$ = फ्लेंज मोटाई, $t_w$ = वेब मोटाई (सभी mm में)

**5.6-5. तनन छड़** (Tension Rod)—जब तनन उपांगों पर आ रहे बल का मान तथा उपांग की लम्बाई कम हो, तब छड़ों का प्रयोग किया जा सकता है।

छड़ का शुद्ध क्षेत्रफल उस पर कटी चूड़ियों (Threads) के मूल (Root) पर छड़ के काट क्षेत्रफल के समान लिया जाता है।



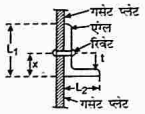
**उदाहरण 5.4 : एक तनन उपांग में 100 × 75 × 8 (mm) कोणी खण्ड गसेट प्लेट के साथ 16 mm व्यास के रिवेटों द्वारा जोड़ा गया है। इस उपांग का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल एवं सामर्थ्य ज्ञात कीजिये यदि—**

**(a) लम्बी टांग (Long Leg) गसेट प्लेट से सम्बद्ध हो।**

**(b) छोटी टांग (Short Leg) गसेट प्लेट से सम्बद्ध हो।**

**हल :** चित्र 5.13 के अनुसार,

**(a) लम्बी टांग सम्बद्ध होने पर—**



चित्र 5.13—गसेट प्लेट से जुड़ा एकल एंगल

जुड़ी टांग की लम्बाई, $L_1 = 100$ mm

लटकी टांग की लम्बाई, $L_2 = 75$ mm

रिवेट का कुल व्यास, $d = (16 + 1{\cdot}5)$ mm
$= 17{\cdot}5$ mm

मोटाई, $t = 8$ mm

अत: $A_1$ = जुड़ी टांग का प्रभावी काट क्षेत्रफल

$$= \left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right)t \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= (100 - 17{\cdot}5 - 4) \times 8 \text{ mm}^2$$
$$= (78{\cdot}5 \times 8) \text{ mm}^2$$
$$= 628 \text{ mm}^2 \text{ तथा } 3A_1 = 3 \times 628 = 1884 \text{ mm}^2$$

तथा $A_2$ = लटकी टांग का कुल काट क्षेत्रफल

$$= \left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= (75 - 4) \times 8 \text{ mm}^2 = 568 \text{ mm}^2$$

तथा खण्ड का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= A_1 + A_2 k$ ...(सूत्र)

यहाँ $$k = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2}$$

$$= \frac{1884}{1884 + 568} = \frac{1884}{2452} = 0{\cdot}768$$

तथा शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= A_1 + A_2 k$
$= 628 + 568 \times 0{\cdot}768 \text{ mm}^2$
$= 628 + 436{\cdot}22 \text{ mm}^2$
$= 1064{\cdot}22 \text{ mm}^2$

तथा सामर्थ्य = शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल
$= 1064{\cdot}22 \times 150$ N
$= 159633$ N अथवा **158·63 kN** **उत्तर**

**(b) छोटी टांग सम्बद्ध होने पर—**

$L_1 = 75$ mm, $L_2 = 100$ mm, $d = 17{\cdot}5$ mm, $t = 8$ mm

$$A_1 = \left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right)t$$

civilguru.net

$= (75 - 17{\cdot}5 - 4) \times 8 = 53{\cdot}5 \times 8 = 428 \text{ mm}^2$

तथा $3A_1 = 428 \times 3 = 1284 \text{ mm}^2$

$$A_2 = \left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t = (100 - 4) \times 8 = 768 \text{ mm}^2$$

$$\therefore \quad k = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2} = \frac{1284}{1284 + 768} = \frac{1284}{2052} = 0{\cdot}626$$

तथा शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= A_1 + A_2 k$

$= 428 + 768 \times 0{\cdot}626$

$= 428 + 480{\cdot}77 = 908{\cdot}77 \text{ mm}^2$

∴ सामर्थ्य $= 908{\cdot}77 \times 150 \text{ N}$

$= 136315 \text{ N}$ अथवा **136·315 kN** **उत्तर**

**उदाहरण 5.5 : एक तनन उपांग में दो 125 × 75 × 8 (mm) कोणी खण्डों का प्रयोग किया गया है। इन्हें 18 mm व्यास के रिवेटों द्वारा गसेट प्लेट के एक ही ओर जोड़ा गया है। इस उपांग की तनन क्षमता ज्ञात कीजिये यदि**

**(i) प्रत्येक खण्ड की लम्बी टांग गसेट प्लेट से सम्बद्ध हो।**

**(ii) प्रत्येक खण्ड की छोटी टांग गसेट प्लेट से सम्बद्ध हो।**

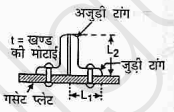
**कोणी खण्ड आपस में Tacked हैं। अनुज्ञेय तनन प्रतिबल $f_t = 150 \text{ N/mm}^2$ (अथवा $\sigma_{at} = 150 \text{ MPa}$) लीजिये।**

**हल :** चित्र 5.14 में खण्ड दर्शित है। भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार इस खण्ड का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल निम्न सूत्र से ज्ञात होगा—

शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= A_1 + A_2 k$ ...(सूत्र)

$A_1$ = सम्बद्ध टांगों का प्रभावी काट क्षेत्रफल

$A_2$ = लटकी (शेष) टांगों का कुल क्षेत्रफल



**चित्र 5.14—दो-एंगल पीठ-से-पीठ जुड़े**

तथा $$k = \frac{5A_1}{5A_1 + A_2}$$

रिवेट का कुल व्यास $= (18 + 15) \text{ mm} = 19{\cdot}5 \text{ mm}$

**(a) प्रत्येक खण्ड की लम्बी टाँग सम्बद्ध**

$L_1 = 125 \text{ mm}, \quad L_2 = 75 \text{ mm}$

$d = 19{\cdot}5 \text{ mm}, \quad t = 8 \text{ mm}$

**(b) प्रत्येक खण्ड की छोटी टाँग सम्बद्ध**

$L_1 = 75 \text{ mm}, \quad L_2 = 125 \text{ mm}$

$d = 19{\cdot}5 \text{ mm}, \quad t = 8 \text{ mm}$

**सूत्र के अनुसार**

$$\text{(i) } A_1 = 2\left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right)t$$

$A_1 = 2\,(125 - 19{\cdot}5 - 4) \times 8$
$= 2 \times 101{\cdot}5 \times 8$
$= 1624 \text{ mm}^2$

तथा $5A_1 = 8120 \text{ mm}^2$

$A_1 = 2\,(75 - 19{\cdot}5 - 4) \times 8$
$= 2 \times 51{\cdot}5 \times 8$
$= 824 \text{ mm}^2$

तथा $5A_1 = 4120 \text{ mm}^2$



$$\text{(ii) } A_2 = 2\left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t$$

$A_2 = 2\,(75 - 4) \times 8$
$= 2 \times 71 \times 8$
$= 1136 \text{ mm}^2$

$A_2 = 2\,(125 - 4) \times 8$
$= 2 \times 121 \times 8$
$= 1936 \text{ mm}^2$

$$\text{(iii) } k = \frac{5A_2}{5A_1 + A_2}$$

$k = \dfrac{8120}{8120 + 1136}$
$= \dfrac{8210}{9256}$
$= 0{\cdot}877$

$k = \dfrac{4120}{4120 + 1936}$
$= \dfrac{4120}{6056}$
$= 0{\cdot}680$

शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= A_1 = A_2 k$

$= 1624 + 0{\cdot}877 \times 1136$
$= 1624 + 996{\cdot}27$
$= 2620{\cdot}27 \text{ mm}^2$

$= 824 + 0{\cdot}68 \times 1936$
$= 824 + 1316{\cdot}48$
$= 2140{\cdot}48 \text{ mm}^2$

तथा सामर्थ्य = शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$= 2620{\cdot}27 \times 150 \text{ N}$
$= 393040 \text{ N}$
अथवा $= 393{\cdot}00 \text{ kN}$

$= 2140{\cdot}48 \times 150 \text{ N}$
$= 321072 \text{ N}$
अथवा $= 321 \text{ kN}$ **उत्तर**

**नोट**—सामान्यत: पीठ-से-पीठ (Back-to-back) लगे कोणी खण्ड आपस मे आबंधन रिवेटो द्वारा जुड़े होते हैं, जिसे टेकिंग (Tacking) कहा जाता है। यदि यह आपस में इस प्रकार न जुड़े हो तब प्रत्येक खण्ड की अलग-अलग सामर्थ्य ज्ञात करनी होगी तथा इसके लिये $\left(k = \dfrac{3A_1}{3A_1 + A_2}\right)$ द्वारा "$k$" का मान ज्ञात करना होगा।

**उदाहरण 5.6 : एक तनन उपांग में ISNT 150 × 22·8 kg प्रयोग की गयी। यदि इसकी फ्लेंज गसेट प्लेट 18 mm व्यास के रिवेटों से संबद्ध हो (चित्र 5.15), इस उपांग की तनन क्षमता ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150 \text{ N/mm}^2$ लीजिये।**

**हल :** चित्र 5.15 में दर्शित इस खण्ड के लिये स्टील टेबुल से निम्न परिमाप ज्ञात होते हैं—

$B$ = फ्लेंज की चौड़ाई = 150 mm

$D$ = खण्ड की गहराई = 150 mm

फ्लेंज व वेब की मोटाई समान है।

$t_f = t_w = 10 \text{ mm}$

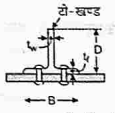
रिवेट का सकल व्यास $d = (18 + 1{\cdot}5) \text{ mm} = 19{\cdot}5 \text{ mm}$

शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल (Net effective area) $= A_1 + A_2 k$ ...(सूत्र)

यहाँ $A_1$ = (गसेट प्लेट से सम्बद्ध) फ्लेज का प्रभावी काट क्षेत्रफल

$A_2$ = वेब का कुल क्षेत्रफल (Gross Area of Web)

$$k = \frac{5A_1}{5A_1 + A_2}$$



**चित्र 5.15—गसेट से जुडी एकल टी**

civilguru.net

अत:
$$A_1 = (B - 2d) \times t_f$$
$$= (150 - 2 \times 19{\cdot}5) \times 10 \text{ mm}^2$$
$$= 1110 \text{ mm}^2$$

तथा
$$5A_1 = 5 \times 1110 = 5550 \text{ mm}^2$$
$$A_2 = (D - t_f) t_w$$
$$= (150 - 10) \times 10 = 1400 \text{ mm}^2$$
$$k = \frac{5A_1}{5A_1 + A_2} = \frac{5550}{5550 + 1400} = \frac{5550}{6950} = 0{\cdot}798$$

अत: प्रभावी शुद्ध क्षेत्रफल $= A_1 + A_2 k$
$$= 1110 + 0{\cdot}798 \times 1400$$
$$= 1110 + 1117$$
$$= 2227 \text{ mm}^2$$

तथा सामर्थ्य = शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल
$$= 2227 \times 150 \text{ N} = 334050 \text{ N}$$
$$= 334{\cdot}05 \text{ kN} \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{334 \text{ kN}}$$ उत्तर

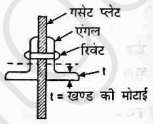
**उदाहरण 5.7 : एक तनन उपांग के लिये दो 90 × 60 × 6 (mm) कोणी खण्डों का प्रयोग किया गया है, जो गसेट प्लेट की दोनों ओर (चित्र 5.16) अपनी लम्बी टांगों द्वारा 18 mm व्यास के रिवेटों द्वारा (गसेट प्लेट के साथ) सम्बद्ध है। इस उपांग की तनन क्षमता ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ =150 N/mm² लीजिये।**

**हल :** स्टील टेबल से, 90 × 60 × 6 कोणी खण्ड का क्षेत्रफल × 865 mm²

खण्ड की मोटाई, $t = 6$ mm

रिवेट का कुल व्यास, $d = (18 + 1{\cdot}5) = 19{\cdot}5$ mm

दो कोणी खण्डों का सकल क्षेत्रफल—
$$= 2 \times 865 = 1730 \text{ mm}^2$$



**चित्र 5.16—गसेट के दोनों तरफ जुड़े एंगल**

भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार—

शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल = [कोणी खण्डों का कुल क्षेत्रफल] – [रिवेट छिद्रों के लिये कटौती]
$$= 1730 - 2 \times 19{\cdot}5 \times 6$$
$$= 1730 - 234$$
$$= 1496 \text{ mm}^2$$

तथा तनन क्षमता = शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल
$$= 1496 \times 150 \text{ N}$$
$$= \mathbf{224400 \text{ N}} \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{224{\cdot}4 \text{ kN}}$$ उत्तर

**उदाहरण 5.8 : एक तनन उपांग में 150 × 90 × 10 mm कोणी खण्ड का प्रयोग किया गया है। कोणी खण्ड की लम्बी टांग गसेट प्लेट के साथ 18 mm रिवेटों की दो कतारों में जोड़ी गयी है। अनुज्ञेय प्रतिबल 150 N/mm² लेते हुये इस खण्ड का सामर्थ्य ज्ञात कीजिये यदि—(i) रिवेटों को शृंखला पद्धति में लगाया गया हो। (ii) रिवेटों को विषम पद्धति में 40 mm विषम पिच के साथ लगाया गया हो।**

**हल :** कोणी खण्ड चित्र 5.17 मे दर्शित है।



स्टील टेबल से $L_1 = 150$ mm, $L_2 = 90$ mm, $t = 10$ mm

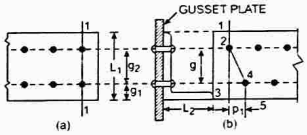
$g_1 = 55$ mm, $g_2 = 65$ mm

रिवेट का सकल व्यास $d = (18 + 1{\cdot}5) = 19{\cdot}5$ mm

अनुज्ञेय प्रतिबल = 150 N/mm²

**(i) शृंखला रिवेट व्यवस्था**—यह चित्र 5.17 (a) मे दर्शित है।

यहाँ खण्ड 1-1 पर लम्बी टांग का (सम्बद्ध टांग का) प्रभावी काट क्षेत्रफल



**चित्र 5.17**

$$A_1 = \left(L_1 - 2d - \frac{t}{2}\right) t$$
$$= (150 - 2 \times 19{\cdot}5 - 5) \times 10$$
$$= (150 - 39 - 5) \times 10$$
$$= 1060 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \left(L_2 - \frac{t}{2}\right) t$$
$$= (90 - 5) \times 10 = 850 \text{ mm}^2$$

तथा
$$k = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2} = \frac{3 \times 1060}{3 \times 1060 + 850} = \frac{3180}{3180 + 850}$$
$$= \frac{3180}{4030} = 0{\cdot}79$$

अत: इस व्यवस्था मे खण्ड का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल—
$$= A_1 + A_2 k$$
$$= 1060 + 0{\cdot}79 \times 850$$
$$= 1060 + 671{\cdot}5 = 1731{\cdot}5 \text{ mm}^2$$

तथा सामर्थ्य = 1731·5 × 150
$$= 259725 \text{ N} \quad \text{तथा} \quad 259{\cdot}72 \text{ kN}$$

**(ii) विषम रिवेट व्यवस्था**—इसे चित्र 5.13 (b) मे दर्शित किया गया है।

यहाँ $g$ = गेज दूरी = 65 mm

$p_1$ = विषम पिच = 40 mm

यहाँ खण्ड की सम्बद्ध टांग (Connected leg) का शुद्ध काट क्षेत्रफल निम्नवत् ज्ञात किया जायेगा।

$L_1 = 150$ mm

$n_1$ = काट रेखा पर स्थित रिवेटो की संख्या

$n_2$ = गेज दूरियो की संख्या

**काट रेखा 1-2-3 के लिये—**

प्रभावी क्षेत्रफल $= \left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right) t$
$$= (150 - 19{\cdot}5 - 5) \times 10$$
$$= 125{\cdot}5 \times 10 \quad \text{अथवा} \quad 1255^2$$

civilguru.net

**इसी प्रकार काट रेखा 1-2-4-5 के लिये—**

$$\text{प्रभावी क्षेत्रफल} = \left(L_1 - nd + n_1\frac{p_1^2}{4g} - \frac{t}{2}\right)\times i \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= \left(150 - 2\times 19{\cdot}5 + 1\times\frac{40\times 40}{4\times 65} - 5\right)\times 10$$

$$= (150 - 39 - 6{\cdot}15 - 5)\times 10$$

$$= 112{\cdot}15\times 10 = 1121{\cdot}5 \text{ mm}^2$$

अत: $A_1$ = संबद्ध काट का शुद्ध टांग क्षेत्रफल

$= 1121{\cdot}5 \text{ mm}^2$ (जो कम है)

$$A_2 = \left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t$$

$$= (90 - 5)\times 10 \times 850 \text{ mm}^2$$

$$3A_1 = 3\times 1121{\cdot}5 = 3364{\cdot}5 \text{ mm}^2$$

$$3A_1 + A_2 = 3364{\cdot}5 + 850 = 4214{\cdot}5 \text{ mm}^2$$

$$k = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2} = \frac{3364{\cdot}5}{4214{\cdot}5} = 0{\cdot}798$$

खण्ड का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= A_1 + A_2 k$

$$= 1121{\cdot}5 + 850\times 0{\cdot}798$$

$$= 1121{\cdot}5 + 678{\cdot}3$$

$$= 1799{\cdot}8 \text{ mm}^2$$

अत: सामर्थ्य $= 1799{\cdot}8\times 150 = 269970$ N अथवा **270 kN** **उत्तर**

**उदाहरण 5.9 : एक तनन उपांग में 100 × 75 × 8 (mm) कोणी खण्ड का प्रयोग किया गया जिसकी लम्बी टांग 6 mm फिलेट वेल्ड द्वारा गसेट प्लेट के साथ सम्बद्ध की गयी। इस तनन उपांग की तनन क्षमता ज्ञात कीजिये। $f_t = 156$ N/mm² लीजिए।**

**हल :** उपांग में कोणी खण्ड की लम्बी टांग वेल्ड द्वारा सम्बद्ध की गयी है। अत: क्षेत्रफल गणना में रिवेटों के लिये कटौती नहीं की जायेगी। इस प्रकार—

$L_1 = 100$ mm, $L_2 = 75$ mm, $t = 8$ mm

$A_1$ = सम्बद्ध टांग का क्षेत्रफल $= \left(L_1 - \frac{t}{2}\right)t$

$= (100 - 4)\,8 \text{ mm}^2$ अथवा $768 \text{ mm}^2$

$A_2$ = लटकी (शेष) टांग का क्षेत्रफल $= \left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t$

$= (75 - 4)\,8 \text{ mm}^2$ अथवा $568 \text{ mm}^2$

$3A_1 = 3\times 768 \text{ mm}^2 = 2304 \text{ mm}^2$

अत: $3A_1 + A_2 = 2304 + 568 \text{ mm}^2 = 2872 \text{ mm}^2$

$$k = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2} = \frac{2304}{2872} = 0{\cdot}802$$



शुद्ध क्षेत्रफल $A = A_1 + A_2 k$

$= 768 + 568\times 0{\cdot}802 \text{ mm}^2$

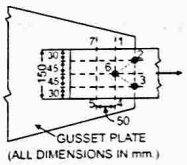
$= 768 + 455{\cdot}54$ अथवा $1223{\cdot}54 \text{ mm}^2$

तनन क्षमता $= 156\times 1223{\cdot}54$ N

$= 190872$ N अथवा $190{\cdot}8$ kN **उत्तर**

**उदाहरण 5.10 : एक 150 mm × 10 mm चपटी पत्ती (Flat) का 20 mm रिवेटों के साथ (चित्र 5.18 में दर्शित) तनन उपांग के रूप में प्रयोग किया गया है। अनुज्ञेय प्रतिबल तनन 156 N/mm² अपरूपण 100 N/mm² तथा धारण 300 N/mm² लेते हुये उपांग की तनन सामर्थ्य ज्ञात कीजिये।**

**हल :** उपांग की रिवेट व्यवस्था चित्र 5.18 मे दर्शित है।




**चित्र 5.18**

उपांग के लिये—

चपटी पत्ती (Flat) की चौड़ाई, $B = 150$ mm

रिवेट का कुल व्यास, $d = (20 + 1{\cdot}5) = 21{\cdot}5$ mm

गेज दूरी, $g = 45$ mm

विषम पिच, $p_1 = 50$ mm

खण्ड की मोटाई, $t = 10$ mm

विषम रिवेट व्यवस्था होने के फलस्वरूप चपटी पत्ती के लिये प्रभावी चौड़ाई ज्ञात की जायेगी जो न्यूनतम होगी। चित्र के अनुसार,

काट रेखा 1-2-3-4 पर

प्रभावी चौड़ाई $= (B - 2d)$

$= (150 - 2\times 21{\cdot}5) = 107$ mm

तथा काट रेखा 1-2-6-3-4 पर प्रभावी चौड़ाई

$$= \left(B - nd + n_1\frac{p_1^2}{4g}\right)$$

यहाँ $n$ = काट रेखा पर रिवेटों की संख्या = 3

$n_1$ = गेज दूरियों की संख्या = 2

$g = 45$ mm तथा $p_1 = 50$ mm,

उपरोक्तानुसार मान रखने पर,

$$\text{प्रभावी चौड़ाई} = \left(150 - 3\times 21{\cdot}5 + 2\times\frac{50^2}{4\times 45}\right)\text{mm}$$

$= (150 - 64{\cdot}5 + 27{\cdot}8)$ mm $= 113{\cdot}3$ mm

अत: प्रभावी चौड़ाई = 107 mm—जो न्यूनतम है।

∴ तनन सामर्थ्य $= 107\times 10\times 156$ N

$= 166920$ N अथवा **166·29 kN**

चित्र मे दर्शित रिवेट व्यवस्था मे 5 रिवेट दर्शित है। अत: अपरूपण/धारण विफलता विचार मे ली जानी चाहिये।

एक रिवेट के लिये, अपरूपण सामर्थ्य = $\frac{\pi}{4} \times 21.5^2 \times 100$

$= 36300$ N अथवा 36·3 kN

धारण सामर्थ्य (10 mm मोटाई के लिये) = $21.5 \times 10 \times 300$ N

$= 64500$ N अथवा 64·5 kN

अत: एक रिवेट का सामर्थ्य = 36·3 N—(जो न्यूनतम है)

तथा 5 रिवेटो का सामर्थ्य = $5 \times 36.3$ kN = 181·5 kN

अत: तनन उपाग का सामर्थ्य = 166·92 kN (जो न्यूनतम है) **उत्तर**

## § 5.7. तनन उपांगों का अभिकल्पन (Design of Tension Members) :

तनन उपागो के अभिकल्पन मे निम्न बाते सम्मिलित होती है—

(i) उपाग (Member) पर आने वाले अधिकतम तनन बल को सुरक्षित रूप से वहन करने हेतु खण्ड का चयन।

(ii) चयित खण्ड की सुरक्षितता के लिये जाँच।

(iii) अन्य उपागो के साथ जोड़ का अभिकल्पन।

इस प्रकार किसी भी तनन उपाग का अभिकल्पन उपरोक्त तीन चरणो (Steps) मे किया जाता है। यह अभिकल्पन भारतीय मानक I.S. : 800-1984 द्वारा निर्धारित विशिष्टियो के आधार पर किया जाता है। यह विशिष्टियाँ निम्न दी जा रही है—

### 5.7-1. भारतीय मानक I.S. : 800-1984 द्वारा निर्धारित तनन उपांगों के अभिकल्पन हेतु सामान्य विशिष्टियाँ

(1) तनन उपाग जिसमे, पवन अथवा भूकम्प बलो को छोड़कर अन्य बलो के कारण सीधे प्रतिबल का प्रत्यावर्तन या उलट-पुलट (Reversal of direct stress) होता हो, अधिकतम तनुता अनुपात 180 निर्धारित है।

(2) उपाग जो छत कैंची मे या ब्रेसिंग (Bracing) मे सामान्यत: तनन उपांग के रूप मे कार्यरत हो परन्तु पवन अथवा भूकम्प बलो के परिणामस्वरूप इसमे प्रतिबल के प्रत्यावर्तन या उलट-पुलट की सम्भावना हो, अधिकतम तनुता अनुपात 350 निर्धारित है।

(3) **रिवेट पिच** (Rivet Pitch)—

**(i) न्यूनतम पिच** (Minimum Pitch)—रिवेट केन्द्रो के बीच दूरी रिवेट के सामान्य व्यास (Nominal dia) के 2·5 गुना से कम नहीं होनी चाहिये।

**(ii) अधिकतम पिच** (Maximum Pitch)—

(क) किन्हीं दो निकटतम रिवेट केन्द्रो के बीच दूरी (आवधन रिवेटो सहित) $32t$ अथवा 300 mm जो भी कम हो, से अधिक नही होनी चाहिये।

यहां $t$ = पतली बाह्य प्लेट की मोटाई।

यदि $t = 6$ mm, तब $32t = 32 \times 6 = 192$ mm

अत: दो निकटतम रिवेट केन्द्रो के बीच दूरी 192 mm अथवा 300 mm, **जो भी कम हो**, (अर्थात् 192 mm) से अधिक नही होनी चाहिये।

(ख) तनन उपागो मे प्रतिबल की दिशा मे स्थित रेखा पर दो निकटतम रिवेट केन्द्रो के बीच दूरी $16t$ अथवा 200 mm, **जो भी कम हो** से अधिक नही होनी चाहिये।

यहां $t$ = पतली बाह्य प्लेट की मोटाई है।

अत: यदि $t = 6$ mm, तब $16t = 96$ mm

अत: उपरोक्त दूरी 96 mm अथवा 200 mm **जो भी कम हो,** (अर्थात् 96 mm) से अधिक नही होनी चाहिये।



**(iii) टाँका (आबंधन) रिवेट** (Tacking Rivets)—

(क) किसी रेखा पर आबंधन रिवेटो के लिये पिच बाह्य प्लेट की मोटाई के 32 गुना अथवा 300 mm जो भी कम हो से अधिक नही होना चाहिये। जहाँ प्लेटें मौसम/वातावरण से खुली रहती हो, यह पिच बाह्य प्लेट की मोटाई के 16 गुना अथवा 200 mm, जो भी कम हो से अधिक नही होनी चाहिये। दोनो स्थितियो मे रिवेट रेखाओ मे दूरी इस पिच से अधिक नही होनी चाहिये।

(ख) यदि तनन उपांगो मे दो चपटी पत्ती (Flats), कोणी खण्ड (Angles), चैनल अथवा टी खण्ड पीठ-से-पीठ सटे हुये अथवा जुड़े हुये भागो की कुल मोटाई से कम दूरी पर टोस दूरी गुटके द्वारा पृथक् पीठ-से-पीठ लगे हो, तो किसी रेखा पर आबंधन रिवेटो (Tacking Rivets) का पिच 1000 mm से अधिक नही होगा।

**5.7-2. अभिकल्पन पद्धति**—तनन उपांगो का अभिकल्पन निम्न चरणो मे किया जाता है—

(a) उपांग पर आने वाले अधिकतम तनन बल के अनुसार खण्ड का चयन एवं सुरक्षितता के लिये जाच।

(b) अन्य उपांगो के साथ जोड़ का अभिकल्पन।

**(a) खण्ड का चयन एवं सुरक्षितता की जाँच**—इसे निम्नवत् किया जाता है—

(i) तालिका 5.1 मे अंकित प्रतिबलो के आधार पर उपांग के लिये आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल (Net Effective Area) ज्ञात किया जाता है—

$$\text{आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल} = \frac{\text{उपांग पर अधिकतम तनन बल}}{\text{अनुज्ञेय प्रतिबल}}$$

(ii) शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल रिवेट छिद्रो के लिये कटौती के बाद अवशेष क्षेत्रफल होता है। अत: चयनित खण्ड का क्षेत्रफल शुद्ध क्षेत्रफल से अधिक होना चाहिये। अत: खण्ड का चयन निम्नवत् किया जा सकता है—

(क) रिवेटो द्वारा सम्बद्ध उपांगो के लिये ऐसे खण्ड का चयन किया जाये जिसका कुल क्षेत्रफल आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल से लगभग 40 से 50 प्रतिशत अधिक हो।

(ख) वेल्डिंग द्वारा सम्बद्ध उपाग के लिये चयित खण्ड का कुल क्षेत्रफल आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल से लगभग 20 से 30 प्रतिशत अधिक हो। सामान्यत: असमभुजीय कोणी खण्ड को लम्बी टाग गसेट प्लेट से सम्बद्ध की जाती है।

(ग) जब दो कोणीय खण्ड का चयन किया जाना हो (यह सामान्यत: छत कैंचियो के मुख्य उपागो के लिये किया जाता है) तो प्रत्येक कोणी खण्ड का न्यूनतम परिमाप $50 \times 50 \times 6$ (mm) लिया जाये। एक कोणी खण्ड के लिये न्यूनतम परिमाप $50 \times 30 \times 6$ (mm) अथवा $50 \times 50 \times 5$(mm) लिये जाये।

(घ) चपटी पत्ती का न्यूनतम परिमाप $50 \times 6$ (mm) तथा छड़ का व्यास न्यूनतम 16 mm रखा जाये।

(ङ) गसेट प्लेट की न्यूनतम मोटाई 6 mm रखी जाये तथा न्यूनतम 16 mm व्यास के रिवेटो का प्रयोग किया जाय।

(iii) अनुच्छेद 5.6 मे अंकित सम्बद्ध नियमो की सहायता से चयनित खण्ड का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल ज्ञात किया जाये।

(iv) चयनित खण्ड का सामर्थ्य ज्ञात की जाये।

$$\text{सामर्थ्य} = \text{शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल} \times \text{अनुज्ञेय प्रतिबल}$$

यह उपांग पर आने वाले अधिकतम तनन बल से अधिक होना चाहिये। स्पष्ट है कि चयनित खण्ड का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल उक्त (i) द्वारा अनुमानित आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल से अधिक होना चाहिये।

(v) यदि चयनित खण्ड की सामर्थ्य उपाग पर आने वाले अधिकतम तनन बल से कम हो तो अन्य खण्ड का चयन करते हुये उपरोक्त चरणो मे पुन: अभिकल्पन किया जाता है।

**(b) जोड़ का अभिकल्पन**—इसे निम्नवत् किया जा सकता है—

(i) उपांग के घटको एवं गसेट प्लेट की मोटाई के आधार पर रिवेट व्यास निश्चित किया जाता है।

(ii) अनुज्ञेय प्रतिबलो के आधार पर रिवेट मान (Rivet Value) ज्ञात किया जाता है।

(iii) रिवेटो की आवश्यक संख्या ज्ञात की जाती है—

$$n = \frac{\text{उपाग पर अधिकतम तनन बल } (F)}{\text{रिवेट मान } (R)} \quad \text{अथवा} \quad n = \frac{F}{R}$$

(iv) रिवेटो की व्यवस्था निश्चित कर उसे चित्र द्वारा दर्शित किया जाता है।

(v) यदि उपाग वेल्ड द्वारा जोड़ा जाना हो तो जोड़ का अभिकल्पन सम्बद्ध विशिष्टियो के अनुसार किया जाता है। वेल्ड व्यवस्था को तद्नुसार चित्र द्वारा दर्शित किया जाता है। अभिकल्पन पद्धति आगे दिये गये उदाहरणो से अधिक स्पष्ट होगी।

**उदाहरण 5.11 : छत कैंची के एक उपांग में 125 × 75 × 10 (mm) कोणी खण्ड का प्रयोग किया गया है जिसकी लम्बी टांग 20 mm व्यास के रिवेटों को एक पंक्ति में लगाते हुये 10 mm मोटी गसेट प्लेट से सम्बद्ध की गयी है। इस उपांग की तनन क्षमता ज्ञात करें तथा सिरों पर जोड़ में आवश्यक रिवेटों की संख्या ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल-तनन 150 N/mm², अपरूपण 90 N/mm² तथा धारण 270 N/mm² लीजिये।**

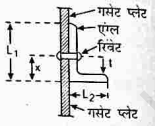
**हल** : चित्र 5.19 के अनुसार—

$L_1 = 125$ mm, $t = 10$ mm,

$L_2 = 75$ mm

$d$ = रिवेट का सकल व्यास = (20 + 1·5) mm

= 21·5 mm




चित्र 5.19

(i) खण्ड की सामर्थ्य के लिये,

सम्बद्ध टांग (Connected leg) का क्षेत्रफल—

$$A_1 = \left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right)t$$

$$= (125 - 21{\cdot}5 - 5) \times 10 \text{ mm}^2$$

$$= 98{\cdot}5 \times 10 \quad \text{अथवा} \quad 985 \text{ mm}^2$$

$$3A_1 = 3 \times 985 = 2955 \text{ mm}^2$$

लटकी (शेष) टांग (Outstanding leg) का क्षेत्रफल—

$$A_2 = \left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t$$

$$= (75 - 5) \times 10 \text{ mm}^2$$

$$= 700 \text{ mm}^2$$

$$3A_1 + A_2 = 2955 + 700 = 3655 \text{ mm}^2$$

$$k = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2} + \frac{2955}{2655} = 0{\cdot}808$$

अत:

शुद्ध क्षेत्रफल $= A_1 + A_2 k$

$$= 985 + 700 \times 0{\cdot}808 \text{ mm}^2$$

$$= 985 + 565{\cdot}6 \text{ mm}^2$$

$$= 1550{\cdot}6 \text{ mm}^2$$

उपांग की सामर्थ्य = शुद्ध क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$$= 1550{\cdot}6 \times 150 \text{ N}$$

$$= 232590 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 232{\cdot}59 \text{ kN}$$



(ii) रिवेटो के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल—

$f_s = 90 \text{ N/mm}^2$ तथा $f_b = 270 \text{ N/mm}^2$

$d$ = रिवेट का सकल व्यास = 21·5 mm

एक रिवेट के लिये—

(a) अपरूपण सामर्थ्य $= \frac{\pi}{4} \times 21{\cdot}5^2 \times 90$ N

$$= 32674 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 32{\cdot}67 \text{ kN}$$

(b) धारण सामर्थ्य (10 mm मोटाई पर) $= 21{\cdot}5 \times 10 \times 270$ N

$$= 58050 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 58{\cdot}05 \text{ kN}$$

रिवेट मान = 32·67 kN (जो कम है)

अत:

$$\text{रिवेटों की संख्या} = \frac{\text{सामर्थ्य}}{\text{रिवेट मान}}$$

$$= \frac{232{\cdot}59}{32{\cdot}67}$$

$$= 7{\cdot}11 \quad \text{अथवा} \quad \textbf{8 रिवेट।}$$

**उदाहरण 5.12 : 140 kN तनन बल वहन करने हेतु एक चपटी पत्ती (Flat) का अभिकल्पन कीजिये। 18 mm रिवेटों का प्रयोग कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल निम्नवत् लीजिये—$f_t = 150 \text{ N/mm}^2$, $f_s = 100 \text{ N/mm}^2$ व $f_b = 300 \text{ N/mm}^2$**

**हल :** चपटी पत्ती खण्ड के अभिकल्पन के निम्न चरण होगे—

(i) खण्ड का आवश्यक क्षेत्रफल ज्ञात करना।

(ii) अधिकतम दक्षता के लिये आवश्यक मोटाई ज्ञात करना।

(iii) मोटाई निश्चित करते हुये न्यूनतम चौड़ाई ज्ञात करना।

(iv) रिवेटों की संख्या ज्ञात करते हुये रिवेट व्यवस्था निर्धारित करना।

(v) निश्चित की गयी रिवेट व्यवस्था के लिये खण्ड की सुरक्षितता के लिये जाँच करना।

खण्ड के लिये आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= \frac{140 \times 1000}{150} \text{ mm}^2 = 933 \text{ mm}^2$

रिवेट का सकल व्यास (Gross dia) = (18 + 1·5) = 19·5 mm

रिवेटों का एक तल अपरूपण (Single Shear) होगा। अत: रिवेट की सामर्थ्य :

$$\text{अपरूपण सामर्थ्य} = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times f_s = \frac{\pi}{4} \times 19{\cdot}5^2 \times 100 \text{ N}$$

$$= 29860 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 29{\cdot}86 \text{ kN}$$

यदि चपटी पत्ती की मोटाइ "$t$"mm हो तो धारण सामर्थ्य $= d \times t \times f_t$

$$= 19{\cdot}5 \times t \times 300$$

अधिकतम दक्षता के लिये धारण सामर्थ्य = अपरूपण सामर्थ्य अथवा $19{\cdot}5 \times t \times 300 = 29860$

$$\therefore \quad t = \frac{29860}{300 \times 19{\cdot}5} = 5{\cdot}11 \text{ mm}$$

civilguru.net

अत: मोटाई 5·1 mm से कम नही होनी चाहिये। अत: सुरक्षितता की दृष्टि से 8 mm मोटाई लेते हुये रिवेट मान = 29·86 K

तथा आवश्यक रिवेटो की सख्या = $\frac{140}{29{\cdot}86}$ = 4·86 अथवा 5 अत: पाँच रिवेट लगाये जाये।

**न्यूनतम चौड़ाई** : जोड़ की तनन विफलता (Tensile Failure) के लिये,

$$(B - d) \times t \times f_t = \text{जोड़ पर आ रहा बल}$$

यहाँ $B$ = चौड़ाई (mm), $d$ = 19·5 mm, $t$ = (मोटाई) = 8 mm, $f_t$ = 150 N/mm², बल $F$ = 140 kN

अत: $(B - 19{\cdot}5) \times 8 \times 150 = 140000$

अथवा $(B - 19{\cdot}5) = \frac{140000}{8 \times 150} = 116{\cdot}66$ mm

$\therefore$ $B = 116{\cdot}66 + 19{\cdot}5$

$= 136{\cdot}16$ mm

अत: चौड़ाई 136·16 mm से कम नही होनी चाहिये। अगली उपलब्ध चौड़ाई 140 mm रखी जाये।

अत: 35 mm किनारा दूरी, 40 mm गेज दूरी तथा विषम पिच 50 mm रखते हुये रिवेट व्यवस्था चित्र 5.20 (a) में दर्शित है।

**खण्ड की सुरक्षितता के लिये जाँच—**

काट रेखा 1-2-3 पर शुद्ध क्षेत्रफल (Net Area) = $(B - d)\,t$

$= (150 - 19{\cdot}5) \times 8 = 1044$ mm²

यह आवश्यक 933 mm² से अधिक है, अत: सुरक्षित है।

इसी प्रकार काट रेखा 7-6-2-5-4 पर प्रभावी चौड़ाई,

$$B_e = \left(B - nd + n_1 \frac{p_1^2}{4g}\right)$$

यहाँ $n$ = काट पर रिवेटो की सख्या = 3, $n_1$ = गेज दूरियाँ = 2

$p_1$ = विषम पिच = 50 mm, $g$ = गेज दूरी = 40 mm

$B$ = चपटी पत्ती की चौड़ाई = 150 mm

तथा प्रभावी चौड़ाई, $B_e = \left(150 - 3 \times 19{\cdot}5 + 2 \times \frac{50 \times 50}{4 \times 40}\right)$ mm

$= (150 - 58{\cdot}5 + 31{\cdot}25)$ mm

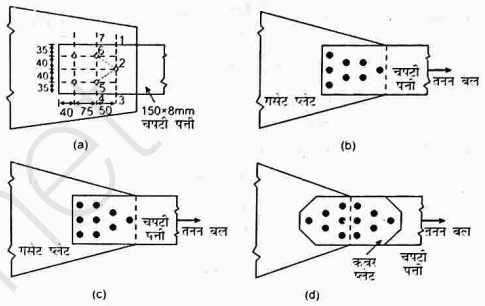
$= 122{\cdot}75$ mm

तथा इस खण्ड पर शुद्ध क्षेत्रफल = 122·75 × 8 mm²

$= 982$ mm²

अत: शुद्ध क्षेत्रफल 982 mm² होगा (जो कम है)। यद्यपि यह आवश्यक शुद्ध क्षेत्रफल 933 mm² से अधिक है। अत: 150 mm × 8 mm चपटी पत्ती चित्र 5.20 (a) मे दर्शित रिवेट व्यवस्था के साथ सुरक्षित होगी।



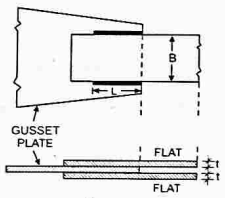



चित्र 5.20

नोट— स्पष्ट है कि तनन उपांगो मे सिरो पर लगाये जाने वाले रिवेटो की सख्या उपांग पर आने वाला भार तथा रिवेट मान पर निर्भर करती है। रिवेटो की सख्या के अनुसार सुविधाजनक रिवेट व्यवस्था देते हुये जोड़ के परिमाप विशिष्टियो के अनुरूप निर्धारित किये जाते है। ऐसी कुछ व्यवस्थाएँ चित्र 5.20 (b), 5.20 (c) तथा 5.20 (d) मे दर्शित की गयी है। चित्र 5.20 (d) मे चपटी पत्ती व गसेट प्लेट को कवर प्लेटो के साथ बट जोड़ के रूप मे सम्बद्धता दर्शित की गयी है। रिवेटो की सख्या के अनुसार व्यवस्था निर्धारित की जाये तथा उस व्यवस्था के लिये जोड़ की सुरक्षितता के लिये जाँच की जाये।

**उदाहरण 5.13 : एक तान अंग में दो 80 mm × 10 mm चपटी पत्तियों को 8 mm गसेट प्लेट के दोनों ओर लगाते हुये प्रयोग किया गया। इसके लिये वेल्ड परिमाप निर्धारित करें तथा फिलेट वेल्ड की लम्बाई सुनिश्चित की जाये। अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 80 N/mm² तथा अपरूपण प्रतिबल, $f_s$ = 110 N/mm² लीजिये।**

**हल :** जोड़ की व्यवस्था चित्र 5.21 मे दर्शित है। यह जोड़ चपटी पत्तियो (Flats) की तनन क्षमता के समान तनन बल वहन करेगा।




चित्र 5.21

चपटी पत्तियो की तनन क्षमता = $2 \times B \times t \times f_t$

यहाँ $B$ = चपटी पत्ती की चौड़ाई (mm)

$t$ = चपटी पत्ती की मोटाई (mm)

$f_t$ = अनुज्ञेय तनन प्रतिबल N/mm²

अत: तनन क्षमता = 2 × 80 × 10 × 80 N

= 128000 N

**वेल्ड परिमाप का निर्धारण**—विशिष्टियो के अनुसार पार्श्व वेल्डो की लम्बाई उनके बीच लम्बवत् दूरी से कम नहीं होनी चाहिये। पुन: पार्श्व वेल्डो के बीच लम्बवत् दूरी पतली प्लेट की मोटाई के 16 गुना से अधिक नही होनी चाहिये। तद्नुसार—

पार्श्व वेल्डो के बीच लम्बवत् दूरी = प्लेटो की चौड़ाई = 80 mm

प्लेट की मोटाई = 10 mm

अत: लम्बवत् दूरी 16 × 10 अथवा 160 mm से अधिक नही होनी चाहिये साथ ही प्रत्येक पार्श्व वेल्ड की लम्बाई 80 mm से कम नही होनी चाहिये।

इस प्रकार विशिष्टियो के अनुसार—

न्यूनतम वेल्ड लम्बाई = 4 × 80 = 320 mm (प्रभावी)

civilguru.net

वेल्ड का आवश्यक प्रति मिमी सामर्थ्य $= \frac{\text{तनन बल}}{\text{लम्बाई}} = \frac{128000}{320}$ mm $= 400$ N/mm

अपरूपण प्रतिबल $= 110$ N/mm$^2$

गसेट प्लेट की मोटाई $= 8$ mm

अत: अधिकतम वेल्ड परिमाप $= 8 - 1{\cdot}5 = 6{\cdot}5$ mm

6·5 mm प्लेट वेल्ड की प्रति मिमी सामर्थ्य $= 0{\cdot}7 \times 6{\cdot}5 \times 1 \times 110$ N

$= 500{\cdot}5$ N $> 400$ N/mm अत: सुरक्षित है।

आवश्यक लम्बाई $= \frac{128000}{500{\cdot}5} = 255{\cdot}7$ अथवा 256 mm

प्रत्येक पार्श्व वेल्ड $= \frac{256}{4} = 64$ mm

न्यूनतम पार्श्व वेल्ड $= 80$ mm

वेल्ड की वास्तविक लम्बाई प्रभावी लम्बाई से वेल्ड परिमाप के दो गुना अधिक अर्थात् $6{\cdot}5 \times 2$ अथवा 13 mm अधिक होनी चाहिये। अत: 6·5 mm वेल्ड परिमाप के साथ प्रत्येक पार्श्व वेल्ड की लम्बाई 80 mm रखी जाये।

जोड़ चित्र 5.21 में दर्शित है।

**उदाहरण 5.14 : 98 kN तनन बल वहन करने हेतु एक असमभुजीय कोणी खण्ड का चयन कीजिये। 18 mm व्यास के रिवेटों का प्रयोग करते हुये आवश्यक रिवेटों की संख्या ज्ञात कीजिये तथा रिवेट व्यवस्था चित्र द्वारा दिखाइये। गसेट प्लेट की मोटाई 100 mm लीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$ N/mm$^2$, $f_s = 90$ N/mm$^2$, $f_b = 270$ N/ mm$^2$**

**हल : (a) खण्ड का चयन एवं जाँच—**

अनुज्ञेय प्रतिबल, $f_t = 150$ N/mm$^2$

उपांग पर बल, $F = 98$ kN $= 98000$ N

अत: आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= \frac{98000}{150} = 653{\cdot}3$ mm$^2$

रिवेट छिद्रों की कटौती हेतु 50% जोड़ते हुये, अनुमानित क्षेत्रफल $= 653{\cdot}3 + 1{\cdot}5$ mm$^2$

$= 980$ mm$^2$

स्टील टेबल से $80 \times 50 \times 8$ (mm) कोणी खण्ड का क्षेत्रफल 978 mm$^2$ है। अत: इस खण्ड का चयन करते हुये तथा खण्ड की लम्बी टांग गसेट प्लेट से सम्बद्ध मानते हुये,

$d$ = रिवेट का कुल व्यास $= (18 + 1{\cdot}5)$ mm $= 19{\cdot}5$ mm

$t$ = खण्ड की मोटाई $= 8$ mm

$L_1$ = सम्बद्ध टांग की लम्बाई $= 80$ mm

$L_2$ = शेष टांग की लम्बाई $= 50$ mm

$A_1$ = सम्बद्ध टांग का प्रभावी काट क्षेत्रफल

$A_2$ = लटकी टांग का कुल काट क्षेत्रफल

$$A_1 = \left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right)t$$



$= (80 - 19{\cdot}5 - 4) \times 8$

$= (80 - 23{\cdot}5) \times 8$ mm$^2 = 452$ mm$^2$

$$A_2 = \left(L_2 - \frac{t}{2}\right)t$$

$= (50 - 4) \times 8 = 368$ mm$^2$

$3A_1 = 1356$ mm$^2$

तथा $3A_1 + A_2 = 1356 + 368 = 1724$ mm$^2$

अत: $k = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2} = \frac{1356}{1724} = 0{\cdot}786$

तथा शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= A_1 + A_2 k$

$= 452 + 0{\cdot}786 \times 368$

$= 741{\cdot}2$ mm$^2$

यह आवश्यक 653·3 mm$^2$ से अधिक है। अत: **खण्ड सुरक्षित है।**

खण्ड का सामर्थ्य $= 741{\cdot}2 \times 150$ N

$= 111180$ N अथवा $111{\cdot}18$ kN $> 98$ kN सुरक्षित है।

**(b) जोड़ का अभिकल्पन**—रिवेट मान (Rivet Value) की गणना—

यहाँ रिवेटों का एकतल अपरूपण होगा—

सकल व्यास $d = 19{\cdot}5$ mm व $f_s = 90$ N/mm$^2$

अत: रिवेट की अपरूपण सामर्थ्य $= \frac{\pi}{4} \times d^2 \times f_s$

$= \frac{\pi}{4} \times 19{\cdot}5^2 \times 90$ N

$= 26880$ N अथवा 26·88 kN

खण्ड की मोटाई '$t$' गसेट प्लेट की मोटाई से कम है।

अत: धारण सामर्थ्य $= d \times t \times f_b$

$= 19{\cdot}5 \times 8 \times 270$ N

$= 42120$ N अथवा 42·12 kN

अत: रिवेट मान, $R = 26{\cdot}88$ kN, जो कम है।

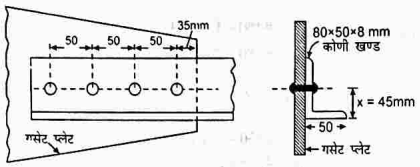
तथा आवश्यक रिवेटों की संख्या, $n = \frac{F}{R} = \frac{98}{26{\cdot}88} = 3{\cdot}64$ अथवा 4 अत: चार रिवेटों का प्रयोग करें।

स्टील टेबल से रिवेट रेखा की दूरी $= 45$ mm

न्यूनतम पिच $= 2{\cdot}5 \times 18 = 45$ mm अत: 50 mm पिच रखा जाय।

रिवेट व्यवस्था चित्र 5.22 में दर्शित है।

civilguru.net




चित्र 5.22

**उदाहरण 5.15 : उदाहरण 5.14 में अंकित तनन उपांग में यदि कोणी खण्ड वेल्ड द्वारा गसेट प्लेट से सम्बद्ध किया गया हो तो कोणी खण्ड का चयन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल : तनन = 150 N/mm², अपरूपण = 110 N/mm² लिजिए।**

**हल : (a) खण्ड का चयन व जाँच—**

अनुज्ञेय प्रतिबल, $f_t = 150 \text{ N/mm}^2$

उपांग पर आ रहा बल, $F = 98 \text{ kN} = 98000 \text{ N}$

अत: आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= \dfrac{98000}{150} = 653 \text{ mm}^2$

खण्ड वेल्ड द्वारा जोड़ा गया है अत: 20% अतिरिक्त क्षेत्रफल लेते हुये,

अनुमानित कुल क्षेत्रफल $= 653 \times 1{\cdot}20 = 783 \text{ mm}^2$

स्टील टेबल से $80 \times 50 \times 6$ (mm) कोणी खण्ड का क्षेत्रफल 746 mm² है जो आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल 653 mm² के लगभग 15 प्रतिशत अधिक है। अत: इस खण्ड का चयन करते हुये तथा इस खण्ड के लिये लम्बी टांग सम्बद्ध मानते हुये—

$L_1 = 80 \text{ mm}, \quad L_2 = 50 \text{ mm}, \quad t = 6 \text{ mm}$

$A_1$ = सम्बद्ध टाँग का प्रभावी काट क्षेत्रफल

$$= \left(L_1 - \frac{t}{2}\right) t$$

$$= (80 - 3) \times 6 \text{ mm}^2$$

$$= 462 \text{ mm}^2$$

तथा $3A_1 = 462 \times 3 = 1386 \text{ mm}^2$

$A_2$ = लटकती टांग का कुल काट क्षेत्रफल

$$= \left(L_2 - \frac{t}{2}\right) t = (50 - 3) \times 6 \text{ mm}^2 = 282 \text{ mm}^2$$

तथा $3A_1 + A_2 = 1386 + 282 \text{ mm}^2$

$$= 1668 \text{ mm}^2$$

अत: $$k = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2} = \frac{1386}{1668} = 0{\cdot}831$$

अत: शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= (A_1 + A_2 k)$

$$= 462 + 0{\cdot}831 \times 282$$

$$= 462 + 234{\cdot}34$$

$$= 696{\cdot}34 \text{ mm}^2$$

यह आवश्यक 653 mm² से अधिक है अत: खण्ड सुरक्षित है।



**(b) जोड़ का अभिकल्पन :** खण्ड की मोटाई = 6 mm

अत: फिलेट वेल्ड का परिमाप 5 mm लेते हुये अपरूपण प्रतिबल = 110 N/mm²

अत: 5 mm वेल्ड की प्रति mm लम्बाई सामर्थ्य $= (5 \times 0{\cdot}7) \times 1{\cdot}0 \times 110 \text{ N}$

$$= 385 \text{ N}$$

स्टील टेबल से कोणी खण्ड 80 mm × 50 mm × 6 mm के लिये,

$x_1 = C_x = 2{\cdot}64 \text{ cm} = 26{\cdot}4 \text{ mm}$

$x_2 = 80 - 26{\cdot}4 \text{ mm} = 53{\cdot}6 \text{ mm}$

यदि चित्र 5.23 मे दर्शित वेल्ड लम्बाइयाँ $L_1$ व $L_2$ mm हों तथा इनमे प्रतिरोधित बल क्रमश: $F_1$ व $F_2$ हों—

तब $F_1 + F_2 = 98000 \text{ N}$

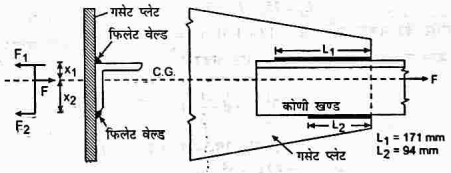
तथा $F_1 \times 26{\cdot}4 = F_2 \times 53{\cdot}6$

अथवा $$F_1 = F_2 \times \frac{53{\cdot}6}{26{\cdot}4} F_2$$

$$= 2{\cdot}03 F_2$$

अत: $$F_1 + F_2 = 2{\cdot}03 F_2 + F_2$$

$$= 3{\cdot}03 F_2 = 98000 \text{ N}$$




चित्र 5.23

$\therefore$ $$F_2 = \frac{98000}{3{\cdot}03} = 32340 \text{ N}$$

तथा $F_1 = 98000 - 32340 = 65660 \text{ N}$

अत: आवश्यक वेल्ड लम्बाइयाँ $L_1 = \dfrac{65660}{385} = 170{\cdot}6 \text{ mm}$

तथा $L_2 = \dfrac{32340}{385} = 84 \text{ mm}$

यह आवश्यक लम्बाइयाँ है तथा वास्तविक लम्बाइयाँ विशिष्टियो के अनुसार वेल्ड, परिमाप (5 mm) के दो गुना अथवा 10 mm अधिक होगी।

अत: वास्तविक लम्बाइयाँ—

$L_1 = 170{\cdot}6 + 10 = 180{\cdot}6$ अथवा 181 mm

$L_2 = 84 + 10 = \mathbf{94 \text{ mm}}$ **उत्तर**

अभिकल्पित जोड़ चित्र 5.23 मे दर्शित है।

**उदाहरण 5.16 : एक तनन उपांग पर 175 kN तनन बल आ रहा है। इसके लिये उपयुक्त दो कोणी खण्डों का चयन कीजिये। संरचनात्मक व्यवस्था के कारण कोणी खण्डों को गसेट प्लेट के एक ही ओर जोड़ना आवश्यक है। कोणी खण्डों की लम्बी टाँगें 10 mm मोटी गसेट प्लेट के साथ सम्बद्ध रखते हुये, उपांग का अभिकल्पन कीजिये। 18 mm रिवेटों का प्रयोग कीजिये। आबंधन रिवेटों का पिच भी निर्धारित कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$ N/mm², $f_s = 100$ N/mm² तथा $f_b = 300$ N/mm² लिजिये।**

**हल :** उपांग पर बल, $F = 175$ kN $= 175000$ N

अनुज्ञेय तनन प्रतिबल, $f_t = 150$ N/mm²

अत: आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= \frac{175000}{150} = 1166$ mm²

रिवेट छिद्रों की कटौती हेतु 50% जोड़ने पर, अनुमानित कुल क्षेत्रफल

$= 1166 \times 1{\cdot}5 = 1749$ mm²

अत: एकल कोणी खण्ड का क्षेत्रफल $= \frac{1749}{2} = 874{\cdot}5$ mm²

स्टील टेबल से देखने पर—

75 mm × 50 mm × 8 mm कोणी खण्ड का क्षेत्रफल = 938 mm²

अत: इस खण्ड का चयन करते हुये,

$L_1 = 75$, $L_2 = 50$, $t = 8$ mm

रिवेट का सकल व्यास, $d = (18 + 1{\cdot}5)$ mm $= 19{\cdot}5$ mm

लम्बी टांग सम्बद्ध करने पर, सम्बद्ध टांगों का शुद्ध काट क्षेत्रफल,

$$A_1 = 2\left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right)t$$

$= 2\,(75 - 19{\cdot}5 - 4) \times 8$

$= 824$ mm²

लटकी (शेष) टांगों का कुल क्षेत्रफल, $A_2 = 2(50 - 4) \times 8$

$= 736$ mm²

$5A_1 = 5 \times 824 = 4120$ mm²

तथा $5A_1 + A_2 = 4120 + 736 = 4856$ mm²

अत: $k = \frac{5A_1}{5A_1 + A_2} = \frac{4120}{4856} = 0{\cdot}848$

तथा खण्ड का शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= A_1 + A_2 k$

$= 824 + 736 \times 0{\cdot}848$

$= 824 + 624{\cdot}1 = 1448{\cdot}1$ mm²

यह आवश्यक 1166 mm² से अधिक है, अत: खण्ड **सुरक्षित** है।

**रिवेट जोड़ का अभिकल्पन—**

अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल, $f_s = 100$ N/mm²

अनुज्ञेय धारण प्रतिबल, $f_b = 300$ N/mm²

रिवेट का कुल व्यास, $d = 19{\cdot}5$ mm



रिवेटों का एकतल अपरूपण (Single shear) होगा। अत: रिवेटों का अपरूपण सामर्थ्य

$= \frac{\pi}{4} \times d^2 \times f_s = \frac{\pi}{4} \times 19{\cdot}5^2 \times 100$ N

$= 29860$ N अथवा $29{\cdot}86$ kN प्रति रिवेट

गसेट प्लेट की मोटाई = 10 mm

खण्ड की मोटाई = 8 mm (जो कम है)

अत: रिवेटों की धारण सामर्थ्य $= d \times t \times f_b$

$= 19{\cdot}5 \times 8 \times 300$ N

$= 46800$ N अथवा $46{\cdot}8$ kN

अत: रिवेट मान $R = 29{\cdot}86$ kN, जो न्यूनतम है।

अत: आवश्यक रिवेटों की संख्या $= \frac{F}{R} = \frac{175}{29{\cdot}86} = 5{\cdot}86$ अथवा 6 रिवेट

न्यूनतम रिवेट पिच $= 2{\cdot}5 \times 18 = 45$ mm अत: पिच 60 mm रखा जा सकता है।

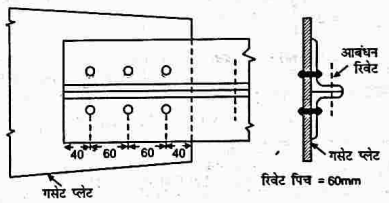
आबंधन रिवेटो का पिच—

$16t$ अथवा 200 mm से अधिक नहीं होना चाहिये।

$16t = 16 \times 8 = 128$ mm

अत: पिच 128 mm से अधिक नहीं होना चाहिये। अत: आबंधन रिवेट 100 mm दूरी पर लगाये जायें।

जोड़ का विस्तृत आरेख चित्र 5.24 में दर्शित है।




चित्र 5.24

**उदाहरण 5.17 : 200 kN तनन बल वहन करने हेतु खण्ड का अभिकल्पन कीजिये। यदि कोणी खण्डों को गसेट प्लेट की दोनों ओर (On both sides) 18 mm रिवेटों से सम्बद्ध करना हो। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$ N/mm², $f_s = 90$ N/mm² व $f_b = 270$ N/mm² लिजिए।**

**हल :** उपांग पर आ रहा बल 200 kN = 200000 N

अनुज्ञेय प्रतिबल = 150 N/mm

अत: आवश्यक शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल $= \frac{200000}{150} = 1333$ mm²

दो कोणी खण्ड, जिसमें कोणी खण्ड गसेट प्लेट के दोनों ओर लगे हों—

शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल = कोणी खण्डों का कुल क्षेत्रफल − रिवेट छिद्रों के लिये कटौती

रिवेट का कुल व्यास = (18 + 1·5) mm = 19·5 mm

civilguru.net

यदि कोणी खण्ड की मोटाई 8mm हो, तो रिवेट छिद्रो के लिये कटौती

$$= 2 \times 19{\cdot}5 \times 8 \text{ mm}^2$$

$$= 312 \text{ mm}^2$$

अत: $1333 = [\text{कोणी खण्डो का कुल क्षेत्रफल}] - 312$

अत: कोणी खण्डो का अनुमानित कुल क्षेत्रफल $= 1333 + 312 \text{ mm}^2$

$$= 1645 \text{ mm}^2$$

था एक कोणी खण्ड का कुल क्षेत्रफल $= \frac{1645}{2} = 822{\cdot}5 \text{ mm}^2$

अत: स्टील टेबल से 8 mm मोटाई के असमभुजीय कोणी खण्ड का चयन कीजिये, जिसका क्षेत्रफल $822{\cdot}5 \text{ mm}^2$ से कम

टील टेबल देखने पर—

5 mm × 50 mm × 8 mm कोणी खण्ड उपयुक्त है। इसका क्षेत्रफल $938 \text{ mm}^2$ है। यह आवश्यक $822{\cdot}5 \text{ mm}^2$ से अधिक
त: यह उपयुक्त है।

**ोड़ का अभिकल्पन**—रिवेटो का द्वितल अपरूपण होगा।

$$f_s = 90 \text{ N/mm}^2 \quad d = 19{\cdot}5 \text{ mm}$$

**) रिवेट का अपरूपेण सामर्थ्य** $= 2 \times \frac{\pi}{4} d^2 f_s$

$$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 19{\cdot}5^2 \times 90 \text{ N}$$

$$= 53{,}760 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 53{\cdot}76 \text{ kN}$$

**i) धारण सामर्थ्य** (Bearing Strength)—

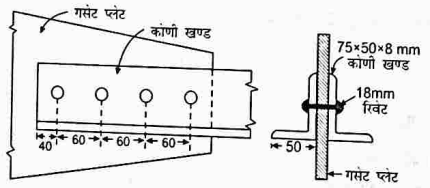
$$= d \times t \times f_b = 19{\cdot}5 \times 10 \times 270 \text{ N}$$

$$= 52650 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad 52{\cdot}65 \text{ kN}$$

था रिवेट मान, $R = 52{\cdot}65$ kN (जो न्यूनतम है)

त: आवश्यक रिवेटों की संख्या $= \frac{200}{52{\cdot}65} = 3{\cdot}79$ अथवा 4

त: चार रिवेट लगाये जाये, रिवेट पिच 60 mm रखते हुये जोड़ चित्र 5.25 में दर्शित है।







चित्र 5.25



## § 5.8. तनन सिरा संधि (स्प्लाईस) (Tension Splice) :

तनन उपांग के लिये जब आवश्यक लम्बाई का खण्ड उपलब्ध नहीं होता तब दो अलग-अलग लम्बाई के खण्डो का प्रयोग करना आवश्यक होता है।

तनन स्प्लाईस वह व्यवस्था है जिसमे दो अलग-अलग लम्बाई के खण्डो (उपरोक्त स्थिति मे) एक दूसरे के साथ जोड़ते हुये तनन उपांग बनाया जाता है।

ऐसे तनन उपांग मे जोड़ की सामर्थ्य किसी भी स्थिति मे तनन उपांग पर आने वाले अधिकतम बल से कम नहीं होनी चाहिये। अत: तनन स्प्लाईस का अभिकल्पन इस अधिकतम बल के लिये किया जाता है।

सामान्यत: तनन स्प्लाईस मे खण्डो को एक दूसरे के साथ कवर प्लेटो (Cover Plates) के माध्यम से रिवेटो द्वारा जोड़ा जाता है।

यदि जोड़ मे दो मुख्य अवयव (जिन्हे जोड़ा जाना है) अलग-अलग मोटाई के हो तो जोड़ मे पतले मोटाई के अवयव के साथ पैकिंग दिया जाता है। स्पष्ट है कि पैकिंग की मोटाई दो अवयवो के मोटाईयो मे अन्तर के समान होगी।

### 5.8-1. रिवेट व्यवस्था—

(i) सामान्यत: तनन स्प्लाईस का अभिकल्पन दो आवरण प्लेटो के साथ बट जोड़ के समान किया जा सकता है। यहाँ रिवेटो का द्वितल अपरूपण (Double Shear) होता है तथा रिवेट मान (Rivet Value) के आधार पर रिवेटो की संख्या निर्धारित की जाती है।

(ii) जब जोड़ मे उपरोक्तानुसार पैकिंग दिया जाता है तब भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार रिवेट मान के आधार पर ज्ञात रिवेटो की संख्या मे पैकिंग की प्रत्येक 2 mm मोटाई के लिये 2·5% वृद्धि की जाती है।

जैसे पैकिंग की मोटाई 6 mm हो तब ज्ञात रिवेटो की संख्या मे $\frac{6}{2} \times 2{\cdot}5$ अथवा 7·5% वृद्धि की जाती है।

पैकिंग की लम्बाई इस प्रकार निर्धारित की जाती है कि मुख्य जोड़ के अतिरिक्त पैकिंग के साथ अतिरिक्त रिवेट लगाये जा सकें।

### 5.8-2. अभिकल्पन पद्धति—

(i) तनन स्प्लाईस में मुख्य उपांग/अवयव के लिये खण्ड आवश्यक लम्बाई मे उपलब्ध न होने के फलस्वरूप अलग-अलग लम्बाई के खण्डो को कवर प्लेटो के माध्यम से जोड़ा जाता है। अत: कवर प्लेटो की क्रांतिक खण्ड पर सामर्थ्य, मुख्य उपाग पर आने वाले अधिकतम बल से अधिक होनी चाहिये। अन्य शब्दो मे कवर प्लेटो का प्रभावी काट क्षेत्रफल मुख्य उपांग पर आने वाले अधिकतम बल को प्रतिरोधित करने हेतु पर्याप्त होना चाहिये।

(ii) रिवेट मान (Rivet Value) के आधार पर पर्याप्त संख्या मे रिवेट लगाये जाने चाहिये।

(iii) पैकिंग दिये जाने पर भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार पैकिंग की मोटाई के आधार पर रिवेटो की संख्या मे वृद्धि (2·5% प्रति 2 mm मोटाई) ज्ञात करते हुये अतिरिक्त रिवेट पैकिंग की अतिरिक्त लम्बाई मे लगाये जाये।

**उदाहरण 5.18 : एक पुल कैंची (Bridge Truss) में तनन उपांग के रूप में 180 × 12 mm चपटी पत्ती (Flat) का प्रयोग किया गया। उचित लम्बाई की चपटी पत्ती उपलब्ध नहीं है। अत: इस उपांग के लिये तनन स्प्लाईस का अभिकल्पन कीजिये। उपांग पर 270 kN तनन बल आ रहा है। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150 \text{ N/mm}^2$, $f_s = 90 \text{ N/mm}^2$ तथा $f_b = 270 \text{ N/mm}^2$ लीजिये। 20 mm रिवेटों का प्रयोग कीजिये।**

**हल :** स्प्लाईस के लिये 8mm मोटी कवर प्लेटो का प्रयोग करते हुये—

यहाँ रिवेटो का द्वितल अपरूपण होगा।

रिवेट का कुल व्यास, $d = (20 + 1{\cdot}5) \text{ mm} = 21{\cdot}5 \text{ mm}$

रिवेट का अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength) $= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 21{\cdot}5^2 \times 90 \text{ N}$

$$= 65340 \text{ N} \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{65{\cdot}34 \text{ kN}}$$

civilguru.net

रिवेट की धारण सामर्थ्य (धारण 12 mm के लिये ज्ञात किया जायेगा)

$= 21{\cdot}5 \times 12 \times 270$ N

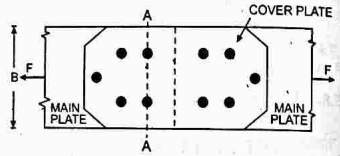
$= 69600$ N अथवा 69·66 kN

अत: रिवेट मान $= R = 65{\cdot}34$ kN

उपांग पर आ रहा बल $= F = 270$ kN

तथा आवश्यक रिवेटो की संख्या $= \frac{F}{R} = \frac{270}{65{\cdot}34} =$ **4.13 या 5 रिवेट**

अत: 5 रिवेट लगाते हुये रिवेट व्यवस्था चित्र 5.26 में दर्शित है—




चित्र 5.26

स्प्लाईस में कवर प्लेटो का क्रांतिक खण्ड $A, A$ पर सामर्थ्य

$= 2(B - 2d) \times t_1 \times f_t$

$= 2 \times (180 - 2 \times 21{\cdot}5) \times 8 \times 150$ N

$= 2 \times 137 \times 8 \times 150$ N

$= 328800$ अथवा 328·80 kN > 270 kN, अत: सुरक्षित है।

**उदाहरण 5.19 : एक कैंची के उपांग के लिये मृदु इस्पात की दो चपटी पत्तियों (Flat) 250 × 12 तथा 250 × 8 mm प्रयोग किया गया है। उपांग पर 265 kN अक्षीय तनन बल आ रहा है। इस उपांग के लिये तनन स्प्लाईस का अभिकल्पन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$ N/mm², $f_s = 100$ N/mm² व $f_b = 300$ N/mm² लीजिये।**

**हल :** इस उपांग में दो चपटी पत्तियों की मोटाईयाँ अलग-अलग हैं।

अत: पैकिंग की आवश्यकता होगी।

चपटी पत्तियों के परिमाप 250 × 12 व 250 × 8 mm

अत: पैकिंग की मोटाई = 12 – 8 = 4 mm

8 mm कवर प्लेटो तथा 20 mm व्यास के रिवेटों का प्रयोग करने पर,

रिवेट की अपरूपण सामर्थ्य $= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 21{\cdot}5^2 \times 100$ N

$= 72600$ N अथवा 72·6 kN

रिवेट की धारण सामर्थ्य $= d \times t \times f_b$

$= 21{\cdot}5 \times 8 \times 300$ N

$= 51600$ N अथवा 51·6 kN

अत: रिवेट मान 51·6 kN लिया जायेगा।

रिवेटो की आवश्यक संख्या $= \frac{265}{51{\cdot}6} = 5{\cdot}13$ अथवा 6 रिवेट

पैकिंग की मोटाई = 4 mm

इस मोटाई के लिये आवश्यक रिवेट संख्या में वृद्धि $= 2 \times 2 \times \frac{2{\cdot}5}{100} \times 6$

$= 0{\cdot}6$ अथवा 1 रिवेट

अत: यह अतिरिक्त रिवेट विशिष्टियों के अनुसार पैकिंग को अधिक लम्बाई देते हुये लगाया जायेगा। रिवेट व्यवस्था चित्र 5.27 में दर्शित है।

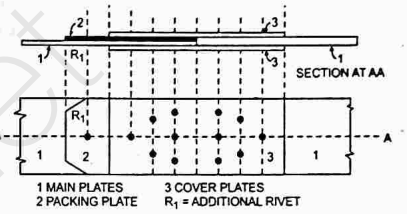


चित्र के अनुसार क्रांतिक खण्ड पर कवर प्लेटो का सामर्थ्य

$= 2(250 - 3 \times 21{\cdot}5) \times 8 \times 150$ N

$= 2 \times 185{\cdot}5 \times 8 \times 150$ N

$= 4,45,200$ N अथवा 445·2 kN > 265 kN, अत: सुरक्षित है।




चित्र 5.27

## अभ्यास प्रश्न–5

1. संक्षिप्त उत्तर दीजये—
   (i) तनन उपांगो के संदर्भ मे सकल क्षेत्रफल (Gross Area) व शुद्ध क्षेत्रफल (Net Area) मे अन्तर स्पष्ट करे।
   (ii) गसेट प्लेट का प्रयोग क्यों किया जाता है?
   (iii) टाँका (आबंधन) रिवेट (Tack Rivets) से आप क्या समझते हैं? यह लगाये जाने का क्या उद्देश्य है?
   (iv) तनन उपांगो मे पृथक्कारी (Separators) कब और क्यो लगाये जाते है?
   (v) शृंखला रिवेट पद्धति (Chain Rivetting) व विषम रिवेट पद्धति (Zig-Zag Rivetting) मे अन्तर स्पष्ट कीजिये।
2. निम्नांकित खण्डो के लिये शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये—
   (i) चित्र 5.7 मे दर्शित व्यवस्था मे यदि $B$ = चपटी पत्ती की चौड़ाई = 300 mm, $t$ = 10 mm, $g$ = 60 mm, $p_1$ = 50 mm, रिवेट व्यास = 18 mm.
   (ii) चित्र 5.9 मे दर्शित व्यवस्था में, $B$ = 160 mm, $t$ = 10 mm, रिवेट व्यास = 16 mm, गेज दूरी = 50 mm, विषम पिच $p_1$ = 40 mm.
   (iii) 90 × 60 × 8 (mm) कोणी खण्ड की लम्बी टाग 16 mm रिवेटो द्वारा गसेट प्लेट से सम्बद्ध।
   (iv) 75 × 50 × 10 (mm) कोणी खण्ड जिसकी छोटी टाग 18 mm है, रिवेटो द्वारा गसेट प्लेट से सबद्ध।
   (v) 75 × 50 × 8 (mm) कोणी खण्ड जिसकी दोनो टागे सम्बद्ध की गयी हो। रिवेट व्यास 18 mm, रिवेटो की एक कतार के लिये रिवेट केन्द्र की खण्ड के पीठ से दूरी $x$ = 40 mm विषम पिच = 50 mm.
   (vi) दो 75 × 75 × 8 (mm) कोणी खण्ड पीठ-से-पीठ रखते हुये गसेट प्लेट के एक ही ओर 18 mm रिवेटो से सम्बद्ध आबंधन रिवेटो के साथ।
   (vii) उपरोक्त (vi) के अनुसार यदि आबंधन रिवेट न लगे हो।
   (viii) दो 75 × 50 × 8 (mm) कोणी खण्ड जिनकी लम्बी टागे 10 mm गसेट प्लेट के दोनो ओर 20 mm रिवेटो के साथ सम्बद्ध।
   (ix) एक ISNT 80 @ 9·6 kg/m, जिसकी फ्लेज 16 mm रिवेटो द्वारा गसेट प्लेट के साथ सम्बद्ध हो।
   (x) 90 × 60 × 8 (mm) कोणी खण्ड की लम्बी टाग वेल्ड द्वारा गसेट प्लेट से सम्बद्ध।

   [**उत्तर :** (i) 2415 mm², (ii) 1235 mm², (iii) 900·13 mm², (iv) 620·4 mm², (v) 893·44 mm², (vi) 1713·5 mm², (vii) 1602·16 mm², (viii) 1532 mm², (ix) 796·3 mm², (x) 1056·1 mm²]

civilguru.net

3. एक कोणी खण्ड ISA 200 × 100 × 10 (mm) की भार क्षमता ज्ञात कीजिये। इसकी लम्बी टांग गसेट प्लेट के साथ 16 mm व्यास के रिवेटों की दो कतारों में शृंखला रिवेट पद्धति में लगाते हुये सम्बद्ध की गयी है। अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 150 N/mm² लीजिये। **[उत्तर : 367 kN]**

4. एक इस्पातीय छत कैंची के तनन उपांग में 60 × 60 × 8 (mm) कोणी खण्ड की एक टांग 18 mm व्यास के रिवेटों की एक कतार में उपांग की लम्बाई में गसेट प्लेट से जोड़ा गया है। उपांग की तनन क्षमता ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 150 N/mm² **(B.T.E. 1986) [उत्तर : 83·76 kN]**

5. निम्न तनन उपांगों का सामर्थ्य ज्ञात कीजिये—
   (i) एक कोणी खण्ड 75 × 50 × 8 (mm) की लम्बी टांग 18 mm रिवेटों के साथ गसेट प्लेट से सम्बद्ध रिवेट एक कतार में लगे हैं। **[उत्तर : $f_t$ = 156 N/mm²]**
   (ii) एक कोणी खण्ड 60 × 60 × 10 (mm) की एक टांग 22 mm रिवेटों को एक कतार में लगाते हुये गसेट प्लेट के साथ सम्बद्ध/उपांगों में अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 156 N/mm² लीजिये। **[उत्तर : (i) 108·5 kN, (ii) 103·36 kN]**

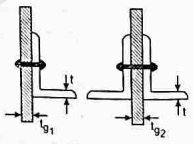
6. एक ISNT 60 @ 5·4 kg तनन उपांग के रूप में प्रयोग की गयी। इसका तनन सामर्थ्य ज्ञात कीजिये यदि इसकी फ्लेंज—
   (i) 16 mm रिवेटों द्वारा गसेट प्लेट से सबद्ध की गयी हो। अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 142 N/mm² लीजिये।
   (ii) फिलेट वेल्ड द्वारा गसेट प्लेट से सम्बद्ध की गयी हो। अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 142 N/mm² लीजिये।
   **[उत्तर : (i) 53·41 kN (ii) 90·0 kN]**

7. अनुज्ञेय तनन प्रतिबल 156 N/mm² लेते हुये एक तनन उपांग की तनन क्षमता ज्ञात कीजिये जिसमें दो 75 × 50 × 10 (mm) कोणी खण्डों की लम्बी टांगें गसेट प्लेट के दोनों ओर रखते हुये 22 mm रिवेटों द्वारा सम्बद्ध की गयी हो तथा आवंधन रिवेट लगे हों। **[उत्तर : 286·1 kN]**

8. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—
   (i) तनन उपांग के अभिकल्पन के चरण लिखें।
   (ii) तनन उपांगों में रिवेटों का अधिकतम पिच कितना रखा जाता है?
   (iii) रिवेट मान से आप क्या समझते हैं? तनन उपांगों के संदर्भ में इसका उपयोग लिखें।
   (iv) तनन उपांग के लिये संयोजित खण्ड में यदि आवंधन रिवेट न लगे हों तो आप खण्ड की सामर्थ्य कैसे ज्ञात करेंगे ?
   (v) तनन स्प्लाईस में आप क्या समझते हैं?
   (vi) तनन स्प्लाईस में आवश्यक रिवेटों की संख्या में वृद्धि का क्या आधार है?

9. चित्र 5.28 में दर्शित तनन उपांगों के लिये प्रयोग किये गये खण्डों/रिवेटों के परिमाप आगे तालिका में दिये गये हैं। $f_v$ = 90 तथा $f_b$ = 270 N/mm² लेते हुये रिवेट मान ज्ञात कीजिये।

| | $t$ (mm) | $t_{g1}$ (mm) | $t_{g2}$ (mm) | रिवेट व्यास (mm) |
|---|---|---|---|---|
| (i) | 6 | 8 | – | 16 |
| (ii) | 8 | 8 | – | 18 |
| (iii) | 10 | 10 | – | 20 |
| (iv) | 12 | 12 | – | 22 |
| (v) | 6 | – | 8 | 16 |
| (vi) | 8 | – | 10 | 18 |
| (vii) | 10 | – | 10 | 20 |
| (viii) | 12 | – | 12 | 22 |



चित्र 5.28

**[उत्तर : (i) 21·64, (ii) 26·88, (iii) 32·67, (iv) 39·04, (v) 37·80, (vi) 52·65, (vii) 58·05, (viii) 76·14 (सभी kN में)]**



10. 260 kN तनन बल वहन करते हुये एक चपटी पत्ती का चयन कीजिये। 18 mm रिवेटों का प्रयोग करें। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 N/mm², $f_s$ = 100 N/mm² तथा $f_b$ = 300 N/mm² लीजिये।
**[उत्तर : 200 × 10 mm चपटी पत्ती, रिवेट मान 29·86 kN, 9 रिवेट, व्यवस्था चित्र 5.20 (c) के अनुसार, किनारा दूरी 35, पिच/विषम पिच 65 mm]**

11. 310 kN तनन बल वहन करने हेतु एक चपटी पत्ती का चयन कीजिये। 18 mm रिवेटों का प्रयोग करते हुये चपटी पत्ती को समान मोटाई की गसेट प्लेट के साथ दो कवर प्लेटों की सहायता से बट जोड़ में सम्बद्ध करने हेतु जोड़ का अभिकल्पन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 N/mm², $f_s$ = 100 N/mm² तथा $f_b$ = 300 N/mm² लीजिये।
**[उत्तर : 200 × 12 mm चपटी पत्ती, गसेट 12 mm, कवर प्लेटें 8 mm, रिवेट मान 59·72 kN, 6 रिवेट-व्यवस्था चित्र 5.20 (d) के अनुसार, प्रस्तावित किनारा दूरी 35 mm, पिच/विषम पिच = 65 mm]**

12. 100 kN तनन बल वहन करने हेतु एक कोणी खण्ड का चयन कीजिये। 18 mm रिवेटों को एक रेखा पर लगाते हुये कोणी खण्ड की एक टांग गसेट प्लेट से सम्बद्ध की गयी है। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 156 N/mm², $f_v$ = 90 N/mm² तथा $f_b$ = 270 N/mm² लेते हुये रिवेटों की संख्या ज्ञात कीजिये। **[उत्तर : 70 × 70 × 8 mm चार रिवेट]**

13. एक तनन उपांग 90 × 90 × 10 (mm) कोणी खण्ड का प्रयोग कर बनाया गया। कोणी खण्ड की एक टांग 12 mm मोटी गसेट प्लेट के साथ 20 mm व्यास के रिवेटों की एक कतार में लगाते हुये जोड़ी गयी है। उपांग का प्रधावी शुद्ध क्षेत्रफल तथा तनन सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। 20 mm रिवेटों की संख्या भी ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 N/mm², $f_v$ = 100 N/mm² = 300 N/mm² लीजिये। **[उत्तर : 1222·35 mm², 183·35 kN, 6 रिवेट]**

14. एक तनन उपांग में एक 75 × 75 × 8 mm कोणी खण्ड प्रयोग किया गया जिसे सिरे पर 10 mm मोटी गसेट प्लेट के साथ एक पंक्ति में 18 mm व्यास के रिवेट लगाते हुये जोड़ा गया। उपांग का शुद्ध क्षेत्रफल व तनन क्षमता ज्ञात कीजिये। सिरे पर आवश्यक रिवेटों की संख्या ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 N/mm², $f_v$ = 100 N/mm², $f_b$ = 300 N/mm² लीजिये।
**[उत्तर : 801·08 mm², 120·16 kN, 4·025 or 5 रिवेट]**

15. पुल कैंची के एक विकर्ण (Diagonal) में 500 kN का अक्षीय भार आ रहा है। इसके लिये 250 mm चौड़ाई की चपटी पत्ती का प्रयोग किया जाना है। चपटी पत्ती की मोटाई ज्ञात कीजिये। चपटी पत्ती को समान मोटाई की गसेट प्लेट के साथ 22 mm रिवेटों से द्वि-आवरण बट जोड़ द्वारा सम्बद्ध करने हेतु जोड़ का अभिकल्पन कीजिये। जोड़ की दक्षता भी ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 156 N/mm², $f_v$ = 100 N/mm² तथा $f_b$ = 300 N/mm² लीजिये।
**[उत्तर : 250 × 16 mm, 6 रिवेट (22 mm), रिवेट मान 86·76 kN, दक्षता 90·6%]**

16. 75·2 kN तनन बल वहन करने हेतु एक असमभुजीय कोणी खण्ड का चयन कीजिये। 16 mm व्यास के रिवेटों का प्रयोग करते हुए आवश्यक रिवेटों की संख्या ज्ञात करें। जोड़ को चित्रित करें। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 N/mm², $f_v$ = 90 N/mm² तथा $f_b$ = 270 N/mm²
**[उत्तर : 75 × 50 × 6 (mm) चार रिवेट, न्यूनतम पिच 40 mm, लम्बी टांग सबद्ध लेते हुये।]**

17. 102 kN तनन बल वहन करने हेतु असमभुजीय कोणी खण्ड का चयन कीजिये। 18 mm रिवेटों की संख्या ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 N/mm², $f_v$ = 100 N/mm² तथा $f_b$ = 300 N/mm² लीजिये। गसेट प्लेट की मोटाई 8 mm तथा कोणी खण्ड की लम्बी टांग गसेट प्लेट से सम्बद्ध की जायेगी। **[उत्तर : 75 × 50 × 8 (mm), चार रिवेट, न्यूनतम पिच 45 mm]**

18. प्रश्न 16 पुनः हल करें यदि समभुजीय कोणी खण्ड की एक टांग वेल्ड द्वारा गसेट प्लेट से सम्बद्ध की गयी हो। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 N/mm² तथा $f_v$ = 108.5 N/mm² मान लें।
**[उत्तर : 60 × 60 × 8 (mm), चित्र 5.22 के अनुसार 6 mm वेल्ड, $L_1$ = 108 mm, $L_2$ = 60 mm]**

19. प्रश्न 17 पुनः हल करें असमभुजीय कोणी खण्ड की लम्बी टांग वेल्ड द्वारा गसेट प्लेट से सम्बद्ध की गयी हो। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t$ = 150 N/mm², $f_v$ = 110 N/mm² मान लें।
**[उत्तर : 75 × 50 × 8 (mm), 6 mm वेल्ड, $L_1$ = 148, $L_2$ = 76 mm]**

20. निम्नांकित तनन उपांगों के लिये दो असमभुजीय कोणी खण्डों का चयन करें। कोणी खण्डों की लम्बी टांगें गसेट प्लेट के दोनों ओर रखते हुये सम्बद्ध की जायेंगी। उचित दूरियों पर उपांगों की लम्बाई में आवंधन रिवेट लगाये जायेंगे।

| अभिकल्पन भार (kN) | रिवेट व्यास (mm) | गसेट प्लेट मोटाई (mm) | अनुमत प्रतिबल $f_t, f_s, f_b$ (N/mm$^2$) |
|---|---|---|---|
| (i) 148·2 | 18 | 10 | 150, 90, 270 |
| (ii) 212·0 | 20 | 10 | 150, 90, 270 |
| (iii) 322·0 | 22 | 12 | 150, 100, 300 |

[**उत्तर :** (i) 75 × 50 × 6 (mm), 3 रिवेट, (ii) 75 × 50 × 8 (mm), 4 रिवेट, (iii) 90 × 60 × 10 (mm), 4 रिवेट]

21. 206 kN तनन बल वहन करने हेतु एक तनन उपांग के लिये दो समभुजीय कोणी खण्डो का चयन कीजिये। कोणी खण्डो को गसेट प्लेट के एक ही ओर पीठ-से-पीठ रखते हुये सम्बद्ध किया जायेगा। आबंधन रिवेट उचित दूरियो पर लगाये जायेंगे। गसेट प्लेट की मोटाई 10 mm, रिवेट व्यास 20 mm तथा अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$ N/mm$^2$, $f_s = 100$ N/mm$^2$ तथा $f_b = 300$ N/mm$^2$ लीजिये। [**उत्तर :** 2 कोणी खण्ड 70 × 70 × 8 (mm) 6 रिवेट]

22. मृदु इस्पात की दो चपटी पत्तियो (Flats) 200 × 18 (mm) तथा 200 × 12 (mm) को जोड़ने हेतु एक तनन स्प्लाईस का अभिकल्पन कीजिये। उपांग पर अधिकतम भार 310 kN है। 20 mm रिवेटो का प्रयोग करें। अनुज्ञेय प्रतिबल $f_t = 150$ N/mm$^2$, $f_s = 80$ N/mm$^2$ तथा $f_b = 250$ N/mm$^2$ लीजिये।

[**उत्तर :** 10 mm कवर प्लेटो के साथ 20 mm व्यास के 6 रिवेट, पैकिंग के लिये अतिरिक्त एक रिवेट, कवर प्लेटो का सामर्थ्य 406·5 kN]

# 6 संपीडन उपांग (COMPRESSION MEMBERS)

## § 6.1. परिचय (Introduction) :

सपीडन उपांग किसी संरचना के वे उपांग (घटक) होते हैं जो इस पर पड़ने वाला अक्षीय संपीडन बल वहन करते हैं। संपीडन उपांगो मे स्तम्भ (Column) एवं सपीडांग (Struts) दोनो सम्मिलित हैं।

स्तम्भ संरचना मे ऊर्ध्वाधर स्थिति मे होते हैं, जब कि सपीडांग ऊर्ध्वाधर या नत (Inclined) किसी भी स्थिति में हो सकते हैं। इस प्रकार कैचियो मे स्थित सपीडांग क्षैतिज, ऊर्ध्वाधर या नत किसी भी स्थिति मे हो सकते हैं। तनन व सम्पीडन उपांगो की पहचान, उनमे उत्पन्न प्रतिबल के आधार पर ही की जाती है।

## § 6.2. व्याकुँचन प्रक्रिया (Buckling Process) :

किसी स्तम्भ या संपीडांग (Column or Strut) पर आने वाले अक्षीय संपीडन बल में क्रमिक (Gradual) वृद्धि किये जाने पर, एक विशिष्ट भार के बाद उस स्तम्भ या संपीडांग मे बंकन (Bending) होने लगता है। इसे व्याकुँचन या पार्श्व झुकाव कहा जाता है। जिस भार पर यह प्रक्रिया प्रारम्भ होगी, उसे व्याकुँचन भार कहा जायेगा।

स्पष्ट है कि संरचना की सुरक्षा की दृष्टि से किसी भी स्तम्भ/संपीडांग पर आने वाला अक्षीय संपीडन बल व्याकुँचन भार से **कम** होना चाहिये।

## § 6.3. महत्वपूर्ण संज्ञाएँ एवं स्पष्टीकरण (Various Terms) :

विगत धारा से स्पष्ट होता है कि किसी भी स्तम्भ/संपीडांग अधिकतम सुरक्षित भार वह होगा, जिससे उस स्तम्भ/सपीडांग में व्याकुँचन न होने पाये। स्तम्भ भारी भार के कारण उत्पन्न व्याकुँचन से नष्ट होता है।

व्याकुँचन प्रक्रिया कई बातो पर निर्भर करती है, जैसे उपांग संरचना मे सिरो पर किस प्रकार जोड़ा गया है, उपांग के खण्ड के परिमाप तथा इन परिमापो की तुलना मे उपांग की लम्बाई कितनी अधिक है? निम्न कुछ आवश्यक सज्ञाये (Terms) हैं, जिन्हे संपीडन उपागो के अभिकल्पन के पूर्व समझना महत्वपूर्ण है।

**(1) व्याकुँचन** (Buckling)—अक्षीय भार (Axial load) के कारण संपीडन उपांग मे होने वाले बंकन (Bending) को व्याकुँचन कहा जाता है।

**(2) व्याकुँचन भार** (Buckling load)—वह अक्षीय भार जिस पर सपीडन उपांग मे बंकन प्रारम्भ होता है, उसे व्याकुँचन भार कहा जाता है।

**(3) सिरा स्थितियाँ** (End conditions)—सम्पीडन उपांगो का व्याकुँचन, इस पर आने वाले भार के साथ-साथ इनकी सिरा-स्थितियो (सिरो पर ये कैसे बँधे/जुड़े हैं) पर भी निर्भर करता है। स्तम्भो मे सिरा स्थितियाँ अनुच्छेद 1.8-2 मे वर्णित है, जो निम्नवत् है—

(i) मुक्त सिरा (Free), (ii) कब्जेदार सिरा (Hinged), (iii) आबद्ध सिरा (Fixed)।

इन सिरा स्थितियो का अध्ययन हम पिछली कक्षा मे कर चुके है। प्रत्येक स्तम्भ मे दो सिरे होते हैं। अत: उपरोक्त मे सयोजन से स्तम्भो की चार सिरा स्थितियाँ बनती हैं—

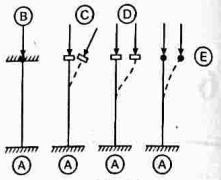
(i) एक सिरा आबद्ध व दूसरा मुक्त (One end fixed and other free)।

(ii) दोनो सिरे कब्जेदार (Both ends hinged)।

(iii) दोनो सिरे आबद्ध (Both ends fixed)।

(iv) एक सिरा आबद्ध व दूसरा कब्जेदार (One end fixed and other hinged)।

विगत अध्याय में हम तनन उपांगो का अध्ययन कर चुके है। तनन उपागो की भाँति संपीडन उपांग भी अपने सिरो पर (At-ends) सामान्यत: एक या अधिक रिवेटो द्वारा जोड़े या वेल्ड (Weld) किये जाते है। अत: इन उपांगो की सिरा स्थिति कब्जेदार (Hinged) या आबद्ध (Fixed) स्थितियो से भिन्न होती है। यह स्थितियाँ चित्र 6.1 में दर्शित है तथा इन्हे A, B, C, D, व E से नामित किया गया है। इनका विवरण निम्न है—



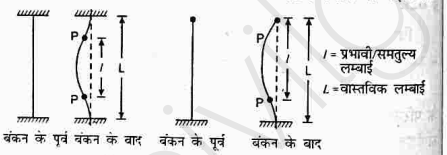

चित्र 6.1—सम्पीडांगो की सिरा-स्थितियाँ

| स्थिति | विवरण |
|---|---|
| (A) | प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध तथा घूर्णन के विरुद्ध प्रतिरोधित (Effectively held in position and restrained against rotation)। |
| (B) | प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध परन्तु घूर्णन के विरुद्ध प्रतिरोधित नही। (Effectively held in position but not restrained against rotation). |
| (C) | घूर्णन के विरुद्ध आशिक रूप से प्रतिरोधित परन्तु स्थिति मे आबद्ध नही। (Partially restrained against rotation but not held in position). |
| (D) | घूर्णन के विरुद्ध प्रतिरोधित परन्तु स्थिति मे आबद्ध नही। (Restrained against rotation but not held in position). |
| (E) | न तो स्थिति मे आबद्ध न ही घूर्णन के विरुद्ध प्रतिरोधित। (Not held in position nor restrained against rotation). |

इस प्रकार संपीडन उपागो मे सिरा स्थितियाँ उपरोक्त मे से एक या अन्य स्थितियो के संयोजन से प्राप्त होती है।

**(4) प्रभावी लम्बाई** (Effective length)—किसी संपीडन उपांग की उसके वर्तमान सिरा स्थितियो के लिये प्रभावी लम्बाई उस उपांग के अनुदैर्ध्य अक्ष पर स्थित उन **दो** बिन्दुओं के बीच की दूरी होगी, जिनके बीच उपांग का बंकन इस प्रकार हो, जैसे वह उन बिन्दुओ पर कब्जेदार स्थिति (Hinged position) मे हो।

ये बिन्दु जिनके बीच की दूरी संपीडन उपांग की प्रभावी लम्बाई होगी, चित्र 6.2 में '*P*' से नामित किये गये है। इनके बीच की दूरी या प्रभावी लम्बाई को '*l*' से तथा संपीडन उपांगो की वास्तविक लम्बाइयो को '*L*' से दर्शित किया गया है। सामान्यत: प्रभावी लम्बाई '*l*' को वास्तविक लम्बाई '*L*' के अनुपात मे व्यक्त किया जाता है।




चित्र 6.2—वास्तविक व प्रभावी लम्बाईयाँ

संपीडन उपांगो मे सिरा स्थितियाँ एवं इन स्थितियो से सम्बद्ध प्रभावी लम्बाईयों के मान तालिका 6.1 मे दिये गये है—

**तालिका 6.1 : संपीडन उपांगों की प्रभावी लम्बाई (Effective Length)**
**(*l* = प्रभावी लम्बाई, *L* = वास्तविक लम्बाई)**

| क्रम सं० | सिरा स्थितियाँ (End Positions) | प्रभावी लम्बाई = *l* |
|---|---|---|
| 1. | दोनो सिरो पर प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध तथा घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित। (Effectively held in position and restrained against rotation at both ends). | $l = 0{\cdot}65\,L$ |
| 2. | दोनो सिरो पर प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध व एक सिरे पर घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित। (Effectively held in position at both ends and restrained against rotation at one end.) | $l = 0{\cdot}80\,L$ |



| क्रम सं० | सिरा स्थितियाँ (End Positions) | प्रभावी लम्बाई = *l* |
|---|---|---|
| 3. | दोनो सिरो पर प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध परन्तु घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित नही। (Effectively held in position at both ends but not restrained against rotation.) | $l = 1{\cdot}00\,L$ |
| 4. | एक सिरे पर प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध व घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित व दूसरे सिरे पर घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित परन्तु स्थिति में आबद्ध नही। (Effectively held in position and restrained against rotation at one end and at the other end restrained against rotation but not held in position.) | $l = 1{\cdot}20\,L$ |
| 5. | एक सिरे पर प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध व घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित तथा दूसरे सिरे पर घूर्णन के विपरीत आशिक रूप से प्रतिरोधित परन्तु स्थिति मे आबद्ध नही। (Effectively held in position and restrained against rotation at one end and at the other end partially restrained against rotation but not held in position.) | $l = 1{\cdot}50\,L$ |
| 6. | एक सिरे पर प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध परन्तु घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित नही तथा दूसरे सिरे पर घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित परन्तु स्थिति मे आबद्ध नही। (Effectively held in position at one end but not restrained against rotation and at the other end restrained against rotation but not held in position.) | $l = 2{\cdot}00\,L$ |
| 7. | एक सिरे पर प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध व घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित परन्तु दूसरे सिरे पर स्थिति में आबद्ध नहीं और न ही घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित। (Effectively held in position and restrained against rotation at one end but not held in position nor restrained against rotation at the other end.) | $l = 2{\cdot}00\,L$ |

**नोट**—उपरोक्त तालिका 6.1 में संपीडांगो के लिये धारा 6.3 (3) मे वर्णित A, B, C, D व E मे से संभाव्य संयोजित सिरा स्थितियो के लिये संपीडांगो की प्रभावी लम्बाईयाँ '*l*' उनके वास्तविक लम्बाईयो '*L*' के अनुपात मे दी गयी है।

**(5) न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या** (Least radius of gyration)—जिस अक्ष पर स्तम्भ/संपीडांग के खण्ड का जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia) न्यूनतम हो, उस अक्ष पर खण्ड की परिभ्रमण त्रिज्या को न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या कहा जाता है। अध्याय 1 धारा 1.5.3.1 के अनुसार—

$$\text{न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या} = \sqrt{\frac{\text{न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण}}{\text{खण्ड का क्षेत्रफल}}} = \sqrt{\frac{\text{Least Moment of Inertia}}{\text{Sectional Area}}}$$

अत: हमें न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या ज्ञात करने हेतु न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण ज्ञात करना होगा। न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या को '*r*' से दर्शित किया जाता है।

**(1) संदर्भ अक्ष** (Reference axes)—सामान्यत: हम प्रत्येक संरचनात्मक खण्ड के लिये दो संदर्भ अक्ष लेते है तथा खण्ड के गुणधर्म इन अक्षो के संदर्भ मे ज्ञात करते है। इन अक्षों को *XX* व *YY* अक्ष कहा जाता है। यह अक्ष कोणी खण्डो के लिये भुजाओ के समानान्तर (Parallel to legs), I-खण्ड, चैनेल-खण्ड तथा T-खण्डो के लिये फ्लेज व वेब के समानांतर लिये जाते है। यह एक दूसरे के लम्बवत् होते है तथा खण्ड के गुरुत्व केन्द्र (Centroid) से गुजरते है। *XX* व *YY* अक्षो की स्थितियाँ चित्र 6.3 में दर्शित है। इन अक्षों के संदर्भ में खण्ड के गुणधर्मों (Properties of section) निम्नवत् लिये जाते है—

$I_{xx}$ = खण्ड का *XX* अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण

$I_{yy}$ = खण्ड का *YY* अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण

$r_{xx}$ = खण्ड की *XX* अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या

$r_{yy}$ = खण्ड की *YY* अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या

**(2) प्रधान अक्ष** (Principal axes)—प्रत्येक संरचनात्मक खण्ड के लिये इसी प्रकार दो प्रधान अक्ष होते है। यह गुरुत्व केन्द्र (Centroid) से **गुजरते** है तथा इन्हे क्रमश: *UU* व *VV* अक्ष कहा जाता है। इन अक्षो के संदर्भ मे खण्ड के लिये *UU* अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण ($I_{UU}$) अधिकतम तथा *VV* अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण ($I_{VV}$) न्यूनतम होता है। संपीडन उपागो के लिये न्यूनतम

परिभ्रमण त्रिज्या (Least radius of gyration) एक महत्वपूर्ण गुणधर्म है। अत: हमारे लिये $I_{VV}$ का मान महत्वपूर्ण है। इस प्रकार—

$$\text{न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या} = \sqrt{\frac{I_{VV}}{A}} \qquad ...(6.1)$$

यहाँ $A$ = खण्ड का कुल क्षेत्रफल

प्रधान अक्षों को अध्याय 1 धारा 1.5-3. (2) मे वर्णित किया गया है। प्रधान अक्षों के संदर्भ मे निम्न तथ्यो की जानकारी पाठकों के लिये उपयुक्त होगी—

(i) यदि संरचनात्मक खण्ड $XX$ अक्ष अथवा $YY$ अक्ष अथवा $XX$ व $YY$ दोनो अक्षों पर सममित हो तब $XX$ व $YY$ अक्ष ही खण्ड के लिये प्रधान अक्ष होगे जैसे—
I खण्ड $XX$ व $YY$ दोनो अक्षो पर सममित होता है।
T खण्ड $YY$ अक्ष पर सममित होता है।
[– चैनेल खण्ड $XX$ अक्ष पर सममित होता है।
यह तथा ऐसे खण्डो के लिये $XX$ व $YY$ अक्ष ही प्रधान अक्ष (Principal axes) होगे तथा $r_{xx}$ अथवा $r_{yy}$ मे से जो न्यूनतम हो वह न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या होगी।

(ii) जो खण्ड $XX$ अक्ष अथवा $YY$ अक्ष अथवा $XX$ व $YY$ दोनों अक्षों पर सममित (Symmetrical) नही होते, उनके लिये प्रधान अक्ष $UU$ व $VV$ होगे, जिनकी स्थिति $XX$ व $YY$ अक्षो से भिन्न होगी।
सम्पीडन उपागो मे एकल कोणी खण्ड (Single angle) एक ऐसा खण्ड है जो उपरोक्त शर्त के अधीन आता है। अत: कोणी खण्ड के लिये $r_{vv}$ न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या होगी तथा स्टील टेबल में कोणी खण्डो के लिये $r_{vv}$ का मान भी दिया जाता है, जो कोणी खण्ड के लिये न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या होगी।

**(6) तनुता अनुपात** (Slenderness ratio)—किसी स्तम्भ/संपीडांग की प्रभावी लम्बाई तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या के अनुपात को तनुता अनुपात कहा जाता है। तद्नुसार यदि

$l$ = स्तम्भ/संपीडांग की प्रभावी लम्बाई (mm)
$r$ = न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या (mm)

$$\text{तब तनुता अनुपात} = \frac{\text{प्रभावी लम्बाई}}{\text{न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या}} = \frac{l}{r} \qquad ...(6.2)$$

स्तम्भो/संपीडन उपागो के विश्लेषण व अभिकल्पन मे **तनुता अनुपात अत्यन्त महत्वपूर्ण होता है।** व्याकुंचन प्रक्रिया जो सुरक्षित भार को सीमित करती है, तनुता अनुपात पर निर्भर करती है।

भारतीय मानक I.S. : 800-1984 द्वारा संपीडांगो के लिये उन पर आने वाले भारो के अनुसार अधिकतम तनुता अनुपात निर्धारित किये गये हैं। इनके मान तालिका 6.2 मे दिये गये है। अभिकल्पन करते समय यह सावधानी बरती जाती है कि चयनित खण्ड के साथ संपीडन उपांग के लिये तनुता अनुपात तालिका 6.2 में दी गयी सीमाओं के भीतर हो।

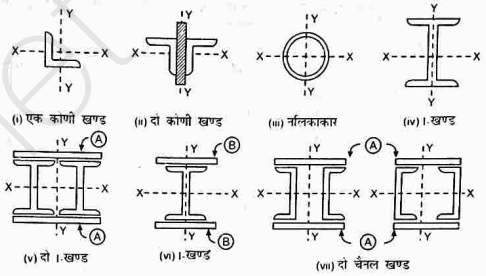
**तालिका 6.2 : संपीडन उपांगों के लिये अधिकतम तनुता अनुपात (Maximum Slenderness Ratio = $l/r$)**

| उपांग का प्रकार | अधिकतम तनुता अनुपात (Maximum $l/r$) |
|---|---|
| (1) जो अचल भार व अध्यारोपित भार के फलस्वरूप आने वाले भार वहन करते हो। | 180 |
| (2) जो केवल पवन अथवा भूकम्पीय बलो के फलस्वरूप आने वाले भार वहन करते हो तथा जिनके विरूपण से सरचना के किसी भाग मे प्रतिवल पर प्रतिकूल परिणाम न होता हो। | 250 |
| (3) जो सामान्यत: छत कैंची या बधन व्यवस्था मे तनन उपाग के रूप मे कार्य करते हो परन्तु पवन अथवा भूकम्पीय बलो के कारण जिनमे प्रतिबल के प्रत्यावर्तन या उलट-पलट की सम्भावना हो। | 350 |



## § 6.4. खण्डों के आकार (Shapes of Sections) :

संपीडन उपाग पर आने वाले भार के अनुसार उसके लिये खण्ड का सयोजन (Composition) किया जाता है। खण्ड का संयोजन करने हेतु एक या अधिक संरचनात्मक खण्डो का प्रयोग किया जाता है। संपीडांगो के लिये उपर्युक्त ऐसे कुछ खण्ड चित्र 6.3 मे दर्शित हैं।




चित्र 6.3—सम्पीडन खण्ड के संयोजन अधिकतम तनुता अनुपात

## § 6.5. संपीडन उपांगों की सामर्थ्य (Strength of Compression Members) :

भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार किसी संपीडन उपांग की सामर्थ्य निम्नवत् ज्ञात की जाती है—
संपीडन उपांग का सामर्थ्य = अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल × अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल

**6.5-1. अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल**—संपीडन उपांगो का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल ज्ञात करते समय तनन उपांगों की तरह रिवेट छिद्रो के लिये कटौती आवश्यक नही है। अत: भार गणना हेतु खण्ड का सकल क्षेत्रफल (Gross area) लिया जाता है।

**6.5-2. अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल**—भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार संपीडांगो मे कुल काट क्षेत्रफल (Gross sectional area) पर अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल निम्न से अधिक नही होना चाहिये—

यदि $\sigma_{ac}$ = अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल (N/mm$^2$) (या MPa) तब $\sigma_{ac}$ का मान निम्न में से न्यूनतम मान लिया जायेगा।

(i) $\sigma_{ac} = 0{\cdot}6 f_y$
यहाँ $f_y$ = इस्पात के लिये पराभव प्रतिबल, in MPa अथवा

(ii) $\sigma_{ac} = 0{\cdot}6 \times \dfrac{f_{cc} \times f_y}{[(f_{cc})^n + (f_y)^n]^{1/n}}$

यहाँ, $\sigma_{ac}$ = अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल (N/mm$^2$) या (MPa)
$f_{cc}$ = संपीडन में प्रत्यास्थ क्रान्तिक प्रतिबल (Elastic Critical Stress in Compression)
$= \dfrac{\pi^2 E}{\lambda^2}$ (I.S. Code पृष्ठ 38)
$E$ = इस्पात के लिये यंग मापांक ($2 \times 10^5$ N/mm$^2$) अथवा ($2 \times 10^5$ MPa)
$\lambda$ = तनुता अनुपात $\left(\dfrac{l}{r}\right)$
$f_y$ = इस्पात वे. लिये पराभव प्रतिबल (N/mm$^2$)
$n$ = 1·4 (Factor assumed) (कोड से)

(अन्य शब्दों में अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल = $0{\cdot}6 f_y$ अथवा उक्त सूत्र से प्राप्त मान जो भी कम हो।)

civilguru.net

विभिन्न तनुता अनुपातो के लिये अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबलो का मान, पराभव प्रतिबल (Yield stress) के विभिन्न मानो के लिये भारतीय मानक I.S. : 800-1984 मे दिये गये है। इन मे से उपर्युक्त मान तालिका 6.3 मे दिये जा रहे है।

**तालिका 6.3 : अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल, $\sigma_{ac}$ (MPa) (Permissible Stress)**

| तनुता अनुपात | अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल ($N/mm^2$) में, पराभव प्रतिबल "$f_y$" के निम्न मानों के लिये | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\lambda$ | $f_y = 230$ | $f_y = 240$ | $f_y = 250$ | $f_y = 260$ |
| 10 | 138 | 144 | 150 | 156 |
| 20 | 137 | 142 | 148 | 154 |
| 30 | 134 | 140 | 145 | 151 |
| 40 | 129 | 134 | 139 | 145 |
| 50 | 123 | 127 | 132 | 136 |
| 60 | 115 | 118 | 122 | 126 |
| 70 | 106 | 109 | 112 | 115 |
| 80 | 96 | 98 | 101 | 103 |
| 90 | 87 | 88 | 90 | 92 |
| 100 | 78 | 79 | 80 | 82 |
| 110 | 69 | 71 | 72 | 73 |
| 120 | 62 | 63 | 64 | 64 |
| 130 | 55 | 56 | 57 | 57 |
| 140 | 50 | 50 | 51 | 51 |
| 150 | 45 | 45 | 45 | 46 |
| 160 | 40 | 41 | 41 | 41 |
| 170 | 36 | 37 | 37 | 36 |
| 180 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| 190 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 200 | 27 | 28 | 28 | 28 |
| 210 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 220 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 230 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 240 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 250 | 18 | 18 | 18 | 18 |

अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबलो के उपरोक्त मान कुल काट क्षेत्रफल के लिये निर्धारित है। अत: कांट क्षेत्रफल ज्ञात करते समय रिवेट/बोल्ट छिद्रो के लिये कोई कटौती नहीं की जायेगी। विशिष्ट तनुता अनुपात के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल का मान अन्तर्वेशन (Interpolation) द्वारा ज्ञात किया जायेगा, जैसे 102·38 तनुता अनुपात के लिये गणना निम्नवत् की जायेगी—

यदि $f_y = 250$ हो तब

$$\left.\begin{aligned}(l/r) = 100 &\rightarrow \sigma_{ac} = 80\ N/mm^2 \\ (l/r) = 110 &\rightarrow \sigma_{ac} = 72\ N/mm^2\end{aligned}\right\} \text{अंतर } 8\ N/mm^2$$

अत: $(l/r) = 102{\cdot}38$ के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल

$$= (80 - 8 \times 0{\cdot}238) = (80 - 1{\cdot}904) = 78{\cdot}096$$

अथवा $$= 78{\cdot}10\ N/mm^2$$



## § 6.6. संपीडन उपांगों के प्रकार (Types of Compression Members) :

संपीडन उपांग दो प्रकार के होते है—

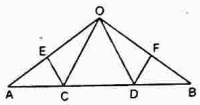
(i) **सतत उपांग** (Continuous Members)।

(ii) **असतत उपांग** (Discontinuous Members)।

सतत उपांग वे उपाग है जो एक या अधिक जोड़ो पर सतत होते है तथा इनके लिये खण्ड का संयोजन उनके पूरे लम्बाई के लिये एक समान होता है।

असतत उपांग वे उपाग होते है, जो सतत नही होते। अत: प्रत्येक असतत उपांग अपने सिरो पर अन्य उपांग के साथ जुड़ा (Connected) होता है।

चित्र 6.4 मे दर्शित छत कैंची मे ऊपरी कार्ड (Principal Rafters) *OA* व *OB* क्रमश: जोड़ *E* व *F* पर तथा निचली कार्ड (Main Tie) *AB* जोड़ *C* व *D* पर **सतत** (Continuous) है।



चित्र 6.4—छत कैंची

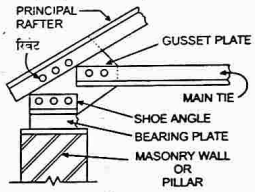
शेष उपांग *OC*, *OD*, *CE* व *DF* असतत उपांग है।

**6.6-1. गसेट प्लेट** (Gusset Plate)—छत कैंचियो मे विभिन्न उपांगो को उनके सिरो पर एक दूसरे के साथ एक प्लेट के माध्यम से, रिवेट/बोल्ट अथवा वेल्ड द्वारा आपस मे जोड़ा जाता है। इस प्लेट को गसेट प्लेट (Gusset plate) कहा जाता है।

गसेट प्लेट के माध्यम से छत कैंची में एक जोड़ पर मिलने वाले कई उपांगो को आपस मे आसानी से इस प्रकार जोड़ा जाता है कि उनके अक्ष एक बिन्दु से गुजरें।

गसेट प्लेट इन उपांगो पर आने वाले बलो के अनुसार उनके सिरो पर आवश्यक संख्या मे रिवेट/बोल्ट लगाने अथवा आवश्यक लम्बाई में वेल्ड हेतु पर्याप्त स्थान उपलब्ध करती है।

चित्र 6.5 में छत कैंची मे ऊपरी कार्ड (Principal rafter) तथा निचली कार्ड (Main tie) को आपस में जोड़ने हेतु गसेट प्लेट का प्रयोग दर्शित है।



चित्र 6.5

**6.6-2. कोणी संपीडांग** (Angle Struts)—जब संपीडन उपांग के खण्ड के संयोजन हेतु मात्र कोणी खण्डों (Angles) का प्रयोग किया जाता है, तब उसे कोणी सम्पीडांग कहा जाता है। जब सम्पीडन उपांग मे मात्र एक कोणी खण्ड का प्रयोग किया गया हो तो उसे एक कोणीय सम्पीडांग (Single Angle Strut) कहा जाता है। यह असतत होता है तथा इसमे समभुजीय कोणी खण्ड (Equal angle) का प्रयोग किया जाता है।

जब सम्पीडन उपाग के खण्ड के संयोजन हेतु दो कोणी खण्डों (Two Angles) का प्रयोग किया गया हो तो उस उपांग को दो कोणी संपीडांग (Double angle strut) कहा जाता है। दो कोणी सम्पीडन उपांगो मे सामान्यतया असमभुजीय कोण खण्डों (Unequal Angles) का प्रयोग किया जाता है। इसमे कोणी खण्डो को गसेट प्लेट के एक या दोनो ओर पीठ-से-पीठ (Back-to-Back) रखते हुये संबद्ध किया जाता है।

**6.6-3. आबंधन (टाँका) रिवेट** (Tacking Rivets)—जब सम्पीडन उपांगो मे खण्ड के संयोजन हेतु दो खण्डों का प्रयोग किया जाता है, तब इनमें से प्रत्येक खण्ड को घटक कहा जाता है।

यह आवश्यक होता है कि दोनो घटक मिलकर **एक खण्ड** की तरह कार्य करे। अत: ऐसे संयोजित खण्डो मे घटको को आपस मे जोड़ने हेतु निर्धारित दूरियों पर रिवेट लगाये जाते है। इन रिवेटो को **आबंधन रिवेट** (Tacking rivets) कहा जाता है।

**6.6-4. पृथक्कारक** (Separators)—जब उपांग मे घटको को गसेट प्लेट के **दोनों ओर** लगाया जाता है, तब इन घटको के बीच की दूरी उपांग की पूरी लम्बाई मे **एक समान,** गसेट प्लेट की मोटाई के बराबर, बनी रहनी चाहिये। इसके लिये **धातु के** उपयुक्त टुकड़ो (Metal pieces) को दोनो घटको के बीच लम्बाई की दिशा मे, निर्धारित दूरियो पर आबधन रिवेट लगाते समय लगाया जाता है। इन्हे पृथक्कारक कहते है।

**6.6-5. कोणी संपीडांगों में सिरा स्थितियाँ व प्रभावी लम्बाइयाँ**—संपीडन उपांग मे सिरा स्थिति अत्यन्त महत्वपूर्ण होती है। यह उपांग सिरे पर जोड़ की दृढ़ता निर्धारित करती है।

उपांग का सिरो पर प्रभावी रूप से स्थिति मे आबद्ध होना तथा घूर्णन (Rotation) के प्रति प्रतिरोधित होना, उसके सिरो पर स्थित जोड़ की दृढ़ता पर निर्भर करता है। उपांग की प्रभावी लम्बाई सिरो पर जोड़ की दृढ़ता पर निर्भर करती है।

प्रभावी लम्बाई पर तनुता अनुपात (Slenderness ratio) निर्भर करता है, जिस पर अंतत: अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल निर्भर करता है।

अत: उपांग की भार क्षमता/सामर्थ्य मुख्यत: उपांग के सिरो पर स्थित जोड़ की दृढ़ता पर निर्भर करती है।

**(1) सिरों पर रिवेट/बोल्ट अथवा वेल्ड जोड़**—संपीडन उपांग अपने सिरो पर अन्य उपांगो के साथ गसेट प्लेट के माध्यम से रिवेट/बोल्ट अथवा वेल्ड द्वारा जोड़े जाते है।

सामान्यत: **एक** रिवेट/बोल्ट द्वारा जुड़े उपांग सिरो पर स्थिति (Position) मे आबद्ध होते है लेकिन घूर्णन (Rotation) के विपरीत प्रतिरोधित नही होते। यह स्थिति तालिका 6.1 मे क्रमाक 3 पर अंकित है तथा ऐसे उपांगों की प्रभावी लम्बाई '$l$' उसकी वास्तविक लम्बाई '$L$' के समान ली जाती है। ( अथवा $l = L$)

जब दो या अधिक रिवेट/बोल्ट अथवा वेल्ड द्वारा उपांग सिरो पर जोड़े जाते है तब जोड़ की दृढ़ता (Rigidity) मे वृद्धि होती है। इस व्यवस्था मे उपाग सिरो पर प्रभावी रूप से स्थिति तथा घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित होता है, जो तालिका 6.1 मे क्रमांक 1 पर अंकित है। ऐसी स्थिति मे उपांग की प्रभावी लम्बाई उसके वास्तविक लम्बाई से कम ली जाती है। यह सामान्यत: $0{\cdot}85L$ ली जाती है।

**(2) अनुज्ञेय प्रतिबल** (Permissible Stress)—संपीडन उपांगो के लिये अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल तनुता अनुपात के आधार पर तालिका 6.3 के अनुसार ज्ञात किया जाता है।

ऐसी कोणी सपीडांग जिनमे सिरो पर मात्र एक रिवेट/बोल्ट द्वारा जोड़ा गया हो, अनुज्ञेय प्रतिबल का मान तालिका 6.3 के अनुसार ज्ञात प्रतिबल 80% लिया जाता है। शेष स्थितियो के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल तालिका 6.3 के अनुसार यथावत लिया जाता है।

कोणी संपीडांगो के लिये विभिन्न सिरा स्थितियो के लिये प्रभावी लम्बाइयाँ एवं अनुज्ञेय प्रतिबल तालिका 6.4 मे अंकित हैं।

**तालिका 6.4 : कोणी संपीडांग-सिरा स्थितियाँ एवं प्रभावी लम्बाईयाँ**
**(Angle Struts-End conditions and Effective Lengths)**

| प्रकार | खण्ड का विवरण | सिरों पर जोड़ का विवरण | प्रभावी लम्बाई = $l$ | अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल | टिप्पणी |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| (a) असतत | एक कोणी खण्ड (Single Angle Section) | एक रिवेट या बोल्ट | $l = L$ | $0{\cdot}8\,\sigma_{ac}$ | |
| | | दो अथवा अधिक रिवेट/बोल्ट अथवा वेल्ड द्वारा | $l = 0{\cdot}85\,L$ | $\sigma_{ac}$ | प्रभावी लम्बाई $l = 0{\cdot}85\,L$ ली जा सकती है। |
| | दो कोणी खण्ड पीठ-से-पीठ गसेट प्लेट के **दोनों** ओर | दो अथवा अधिक रिवेट/बोल्ट या समतुल्य वेल्ड द्वारा | $l = 0{\cdot}7\,L$ to $0{\cdot}85\,L$ | $\sigma_{ac}$ | |
| | दो कोणी खण्ड पीठ-से-पीठ गसेट प्लेट के **एक** ही ओर | प्रत्येक कोणी खण्ड एक रिवेट या बोल्ट द्वारा सम्बद्ध | $l = 0{\cdot}85\,L$ | $0{\cdot}8\,\sigma_{ac}$ | |



| प्रकार | खण्ड का विवरण | सिरों पर जोड़ का विवरण | प्रभावी लम्बाई = $l$ | अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल | टिप्पणी |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | (खण्ड आपस में आबधन रिवेटो द्वारा सम्बद्ध (Tacked) | प्रत्येक कोणी खण्ड दो या अधिक रिवेट या बोल्ट या समतुल्य वेल्ड द्वारा सम्बद्ध | $l = 0{\cdot}85\,L$ | $\sigma_{ac}$ | |
| (b) सतत | एक या दो कोणी खण्ड | एक या अधिक रिवेट या बोल्ट या वेल्डिंग द्वारा सम्बद्ध | $l = 0{\cdot}7\,L$ to $L$ सिरो पर दृढ़ता के अनुसार | $\sigma_{ac}$ | प्रभावी लम्बाई $l = L$ ली जा सकती है। |

$\sigma_{ac}$ = तालिका 6.3 के अनुसार अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल (N/mm$^2$ )

$l$ = प्रभावी लम्बाई (mm)

$L$ = वास्तविक लम्बाई (mm)

**6.6-6. सामर्थ्य की गणना** (Calculation of Strength)—किसी सम्पीडांग/स्तम्भ (Strut/column) के सामर्थ्य की गणना निम्न चरणों मे की जाती है—

(i) सिरा स्थितियो के अनुसार प्रभावी लम्बाई निर्धारित की जाती है।

(ii) अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल ज्ञात किया जाता है।

(iii) खण्ड के लिये न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण (Moment of inertia) ज्ञात करते हुये न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या (Least radius of gyration) ज्ञात की जाती है।

(iv) तनुता अनुपात (Slenderness ratio) ज्ञात किया जाता है।

(v) उक्त तनुता अनुपात के लिये अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल (Permissible Axial compressive stress) तालिका 6.3 की सहायता से अन्तर्वेशन द्वारा ज्ञात किया जाता है। कोणी संपीडांगो के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल का मान तालिका 6.4 के अनुसार लिया जायेगा।

(vi) उक्त ज्ञात प्रतिबल एवं अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल का गुणनफल संपीडन उपांग/स्तम्भ की सामर्थ्य होगी।

**उदाहरण 6.1 : एक असतत कोणी संपीडांग में एक 75 mm × 75 mm × 8 mm कोणी खण्ड का प्रयोग किया गया है। यदि इस संपीडांग की लम्बाई 2150 mm हो तो इसकी सामर्थ्य निम्न सिरा स्थितियों के लिये ज्ञात कीजिये—**

**(i) सिरों पर एक रिवेट द्वारा जोड़ा गया हो।**

**(ii) सिरों पर दो रिवेटों से जोड़ा गया हो।**

**हल :** स्टील टेबल से 75 × 85 × 8 (mm) कोणी खण्ड के गुणधर्म निम्नवत् है—

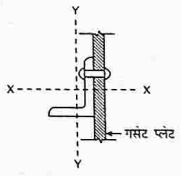
(i) खण्ड का सकल काट क्षेत्रफल,

$$A = 1138 \text{ mm}^2$$

(ii) न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या,

$$r = r_{VV} = 14{\cdot}5 \text{ mm}$$

उपांग की वास्तविक लम्बाई, $L = 2150$ mm




चित्र 6.6

सिरा स्थितियो के अनुसार सामर्थ्य की गणना—

**एक रिवेट द्वारा जोड़ा जाना**

प्रभावी लम्बाई, $l = L = 2150$ mm

न्यूनतम परि० त्रिज्या, $r = 14{\cdot}5$ mm

तनुता अनुपात $= \dfrac{l}{r} = \dfrac{2150}{14{\cdot}5} = 148{\cdot}27$

$\dfrac{l}{r} = 140$ के लिये, $\sigma_{ac} = 51$ (तालिका 6.3)

$\dfrac{l}{r} = 150$ के लिये, $\sigma_{ac} = 45$

अन्तर $= 51 - 45 = 6$

$\dfrac{l}{r} = 148{\cdot}27$ के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल

$\sigma_{ac} = 51 - 6 \times 0{\cdot}827$ N/mm$^2$

अथवा 46·038 N/mm$^2$

**दो रिवेटों द्वारा जोड़ा जाना**

$l = 0{\cdot}85 \times 2150 = 1827{\cdot}5$ mm

$r = 14{\cdot}5$ mm

तनुता अनुपात $= \dfrac{l}{r} = \dfrac{1827{\cdot}5}{14{\cdot}5} = 126{\cdot}04$

$\dfrac{l}{r} = 120$ के लिये $\sigma_{ac} = 64$

$\dfrac{l}{r} = 130$ के लिये, $\sigma_{ac} = 57$

अन्तर $= 7$

$\dfrac{l}{r} = 126{\cdot}04$ के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल

$\sigma_{ac} = 64 - 0{\cdot}604 \times 7 = 64 - 4{\cdot}228$

अथवा 59.772 (N/mm$^2$)

**तालिका 6.4 से**

एक रिवेट के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल

$= 0{\cdot}8\ \sigma_{ac} = 0{\cdot}8 \times 46{\cdot}038$

$= 36{\cdot}83$ N/mm$^2$

$$\text{सामर्थ्य} = \frac{\text{अनुज्ञेय प्रतिबल काट} \times \text{क्षेत्रफल}}{1000}$$

$$= \frac{36{\cdot}83 \times 1138}{1000} \text{ kN}$$

$= 41913$ N अथवा $= \mathbf{41{\cdot}9}$ **kN**

दो या अधिक रिवेटों के लिये

अनुज्ञेय प्रतिबल $= \sigma_{ac}$

$= 59{\cdot}772$ N/mm$^2$

सामर्थ्य $= 59{\cdot}772 \times 1138$ N

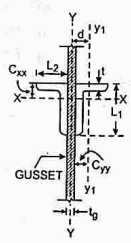
$= 68020$ N

अथवा **68·0 kN** **उत्तर**

**उदाहरण 6.2 : छत कैंची के एक असतत संपीडांग में दो 90 × 60 × 10 (mm) कोणी खण्डों की लम्बी टांगें 16 mm मोटी गसेट प्लेट के दोनों ओर सम्बद्ध की गयी हैं। यदि संपीडांग की प्रभावी लम्बाई 3000 mm हो तो संपीडांग की भार क्षमता ज्ञात कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान निम्नवत् लीजिये—**

| $\dfrac{l}{r}$ | 90 | 100 | 110 | 120 |
|---|---|---|---|---|
| $\sigma_{ac}$ (N/mm$^2$) | 90 | 80 | 72 | 64 |

**उचित दूरियों पर आबंधन रिवेट लगाये जायेंगे।**




चित्र 6.7

**हल :** चित्र 6.7 में खण्ड दर्शित है, तद्नुसार परिमाप निम्नवत् होंगे—

कोणी खण्ड (90 mm × 60 mm × 10 mm) के लिये—

टांगो की लम्बाई, $L_1 = 90$ mm, $L_2 = 60$ mm

टांगो की मोटाई, $t = 10$ mm

स्टील टेबल से, क्षेत्रफल $= 1401$ mm$^2$

$= 14{\cdot}01$ cm$^2$



$C_{YY} = 15{\cdot}5$ mm

$I_{XX} = 110{\cdot}9$ cm$^4$

$I_{Y_1Y_1} = 39{\cdot}1$ cm$^4$

$$d = 15{\cdot}5 + \frac{16}{2} = 23{\cdot}5 \text{ mm} = 2{\cdot}35 \text{ cm}$$

यहाँ $t_g$ = गसेट प्लेट मोटाई = 16 mm

पूरे खण्ड के लिये,

$I_{XX} = 2 \times 110{\cdot}9 = 221{\cdot}8$ cm$^4$

$I_{YY} = 2[39{\cdot}1 + 14{\cdot}01 \times 2{\cdot}35^2]$ cm$^4$

$= 2[39{\cdot}1 + 77{\cdot}37]$ cm$^4$

$= 2 \times 116{\cdot}47$ अथवा $232{\cdot}94$ cm$^4 > I_{XX}$

अत: $I_{XX}$ न्यूनतम होने पर $r_{XX}$ का मान न्यूनतम होगा।

Steel table से $r_{XX} = 28{\cdot}1$ mm न्यूनतम होंगी।

पुन: प्रभावी लम्बाई, $l = 3000$ mm

तथा तनुता अनुपात, $\dfrac{l}{r} = \dfrac{l}{r_{XX}} = \dfrac{3000}{28{\cdot}1} = 106{\cdot}76$

अनुज्ञेय प्रतिबल, $\dfrac{l}{r} = 100 \ldots \sigma_{ac} = 80$ N/mm$^2$

$\dfrac{l}{r} = 110 \ldots \sigma_{ac} = 72$ N/mm$^2$

} अन्तर 8·0

अत: $\dfrac{l}{r} = 106{\cdot}76$ के लिये—

$\sigma_{ac} = (80 - 0{\cdot}676 \times 8)$ N/mm$^2$

$= (80 - 5{\cdot}408)$ N/mm$^2$

$= 74{\cdot}592$ N/mm$^2$

खण्ड का क्षेत्रफल $= 2 \times 1401$ mm$^2$

$= 2802$ mm$^2$

अत: भार क्षमता $= 2802 \times 74{\cdot}592$ N

$= 209006$ N अथवा **209 kN** **उत्तर**

**उदाहरण 6.3 : छत कैंची के एक असतत संपीडांग में दो 75 × 50 × 10 (mm) कोणी खण्डों (Angles) की लम्बी टांगें गसेट प्लेट के दोनों ओर सम्बद्ध हैं। गसेट प्लेट की मोटाई 12 mm तथा संपीडांग की लम्बाई 3000 mm लीजिये। संपीडांग की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये, यदि यह अपने सिरों पर— (i) एक रिवेट द्वारा सम्बद्ध किया गया हो। (ii) तीन रिवेटों द्वारा सम्बद्ध किया गया है। पराभव प्रतिबल 250 Nmm$^2$ लीजिये। उचित दूरियों पर आबंधन रिवेट लगाये गये हैं।**

**हल :** स्टील टेबल से 75 mm × 50 mm × 10 mm,

कोणी खण्ड के गुणधर्म $L_1 = 75$ mm, $L_2 = 50$ mm

क्षेत्रफल $= 1152$ mm$^2 = 11{\cdot}52$ cm$^2$, $I_{XX} = 62{\cdot}3$ cm$^4$

$I_{Y_1Y_1} = 21{\cdot}8$ cm$^4$, $C_{YY} = 13{\cdot}6$ mm

$r_{XX} = 23{\cdot}3$ mm, $r_{VV} = 10{\cdot}6$ mm

civilguru.net

$A$ = खण्ड का क्षेत्रफल = $2 \times 1152$ mm$^2$
$= 2304$ mm$^2$

$t_g$ = गसेट प्लेट की मोटाई = 12 mm

$C_{Y_1Y_1} = 13{\cdot}6$ mm

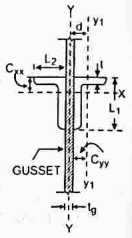
तथा $YY$ व $Y_1Y_1$ अक्षों के बीच दूरी,

$d = (C_{Y_1Y_1} + t_{g/2}) = 13{\cdot}6 + 6$
$= 19{\cdot}6$ mm अथवा 1·96 cm

पूरे खण्ड के लिये,

$I_{XX} = 2 \times 62{\cdot}3 = 124{\cdot}6$ cm$^4$
$I_{YY} = 2[21{\cdot}8 + 11{\cdot}52 \times 1{\cdot}96^2]$ cm$^4$
$= 2[21{\cdot}8 + 44{\cdot}25]$ cm$^4$
$= 2 \times 66{\cdot}05$ अथवा 132·1 cm$^4$

$I_{XX} < I_{YY}$



चित्र 6.8

तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r_{XX} = 23{\cdot}3$ mm

सिरा स्थितियों (End Conditions) के अनुसार भार गणना—

**प्रभावी लम्बाई (Effective Length)**

| **एक रिवेट द्वारा जोड़ने पर** | **तीन रिवेटों द्वारा जोड़ने पर** |
|---|---|
| $l = L = 3000$ mm | $l = 0{\cdot}85\,L = 0{\cdot}85 \times 3000$ mm<br>$= 2550$ mm |

**तनुता अनुपात (Slenderness Ratio)**

$l/r = \dfrac{3000}{23{\cdot}30} = 128{\cdot}76$ | $\dfrac{l}{r} = \dfrac{2550}{23{\cdot}30} = 109{\cdot}44$

**तालिका 6.3 से**

**पराभव प्रतिबल = 250 N/mm$^2$**

$l/r = 120$ के लिये, $\sigma_{ac} = 64$ N/mm$^2$
$l/r = 130$ N/mm$^2$ के लिये, $\sigma_{ac} = 57$ N/mm$^2$
अन्तर = 7 N/mm$^2$
$l/r = 128{\cdot}76$ के लिये—
$\sigma_{ac} = (64 - 7 \times 0{\cdot}876)$ N/mm$^2$
$= (65 - 6{\cdot}132)$ N/mm$^2$
$= 57{\cdot}868$ N/mm$^2$
अनुज्ञेय प्रतिबल = $0{\cdot}8\,\sigma_{ac}$
$= 0{\cdot}8 \times 57{\cdot}868$ N/mm$^2$
$= 46{\cdot}29$ N/mm$^2$
क्षेत्रफल = 2304 mm$^2$
भार क्षमता = $\dfrac{46{\cdot}29 \times 2304}{1000}$ kN
$= 106{\cdot}67$ kN

$l/r = 100$ के लिये, $\sigma_{ac} = 80$ N/mm$^2$
$l/r = 110$ के लिये, $\sigma_{ac} = 72$ N/mm$^2$
अन्तर = 8 N/mm$^2$
$l/r = 109{\cdot}44$ के लिये—
$\sigma_{ac} = (80 - 0{\cdot}944 \times 8)$ N/mm$^2$
$= (80 - 7{\cdot}552)$ N/mm$^2$
$= 72{\cdot}448$ N/mm$^2$
अनुज्ञेय प्रतिबल, $\sigma_{ac} = 72{\cdot}448$ N/mm$^2$
क्षेत्रफल = 2304 N/mm$^2$

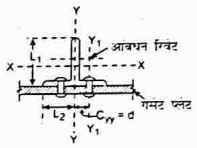
भार क्षमता = $72{\cdot}448 \times 2304$ N
$= \dfrac{166920}{1000}$ kN
$= 166{\cdot}92$ kN



**नोट**—उपरोक्त गणना से स्पष्ट होता है कि सिरों पर रिवेटों की संख्या संपीडांग की भार क्षमता को प्रभावित करती है। पुनः यह आवश्यक है कि आबंधन रिवेट (Tacking rivets) उचित दूरियों पर लगाये जायें। यदि आबंधन रिवेट न लगे हों तो प्रत्येक कोणी खण्ड की अलग-अलग भार क्षमता ज्ञात की जायेगी। न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या 10·6 mm होगी तथा तनुता अनुपात 283 व 240·6 होंगे जो निर्धारित सीमा से अधिक होंगे। (तालिका 6.2 देखें)।

**उदाहरण 6.4 : एक असतत् संपीडांग में दो 80 × 50 × 6 (mm) कोणी खण्डों का प्रयोग किया गया है। संरचनात्मक व्यवस्था के कारण कोणी खण्डों को पीठ-से-पीठ रखते हुये इनकी छोटी टांगें 10 mm गसेट प्लेट के एक ही ओर सम्बद्ध की गयी है। संपीडांग की लम्बाई 2000 mm है तथा निर्धारित दूरियों पर आबंधन रिवेट लगाये गये हैं। $f_y = 250$ N/mm$^2$ लेते हुये इस संपीडांग की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये यदि यह सिरों पर, (i) एक रिवेट द्वारा जोड़ा गया हो। (ii) दो रिवेटों द्वारा जोड़ा गया हो।**

**हल :** स्टील टेबल से 80 mm × 50 mm × 6 mm कोणी खण्डों के गुणधर्म—



चित्र 6.9

भार = 5·9 kg/m,
क्षेत्रफल = $7{\cdot}46 \times 10^2$ mm$^2$
$C_{XX} = 2{\cdot}64$ cm या 26·4 mm,
$C_{YY} = 1{\cdot}16$ cm या 11·6 mm,
$I_{XX} = 48{\cdot}0$ cm$^4$ या $48{\cdot}0 \times 10^4$ mm$^4$
$I_{Y_1Y_1} = 14{\cdot}4$ cm$^4$ या $14{\cdot}4 \times 10^4$ mm$^4$
$r_x = 2{\cdot}54$ cm या 25·4 mm

चित्र 6.9 के अनुसार,

$L_1 = 80$ mm, $L_2 = 50$ mm

$Y_1Y_1$ तथा $YY$ अक्षों के बीच दूरी—
$= d = C_{YY} = 1{\cdot}16$ cm $= 11{\cdot}6$ mm

$A$ = खण्ड का क्षेत्रफल = $2 \times 7{\cdot}46 \times 10^2$ mm$^2$
$= 1492$ mm$^2$

इस खण्ड के लिये,

$I_{XX} = 2 \times 48 \times 10^4$ mm$^4$ $= 96 \times 10^4$ mm$^4$
$I_{YY} = 2 \times (14{\cdot}4 + 7{\cdot}46 \times 1{\cdot}16^2) \times 10^4$ mm$^4$
$= 2 \times (14{\cdot}4 + 10{\cdot}04 \times 10^4$ mm$^4)$
$= 2 \times 24{\cdot}44 \times 10^4$ अथवा $48{\cdot}88 \times 10^4$ mm$^4$

तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या = $\sqrt{\dfrac{I_{YY}}{A}}$

$= \sqrt{\dfrac{48{\cdot}88 \times 10^4}{14{\cdot}92 \times 10^2}}$

$= 10\sqrt{3{\cdot}276}$ अथवा 18·1 mm

**सिरा स्थितियों के अनुसार भार गणना—**

**यदि एक रिवेट द्वारा जोड़ा गया हो**

$l = L = 2000$ mm

$r_{min} = 18{\cdot}2$ mm

$l/r = \dfrac{2000}{18{\cdot}1} = 110{\cdot}5$

$l/r = 110, \sigma_{ac} = 72$ N/mm$^2$
$l/r = 120, \sigma_{ac} = 64$ N/mm$^2$
अन्तर $= 8{\cdot}0$ N/mm$^2$

$l/r = 110{\cdot}5$ के लिये—

$\sigma_{ac} = (72 - 8 \times 0{\cdot}05)$ N/mm$^2$
$= (72 - 0{\cdot}4)$ N/mm$^2$
$= 71{\cdot}6$ N/mm$^2$

अनुज्ञेय प्रतिबल $= 0{\cdot}8\,\sigma_{ac}$
$= 0{\cdot}8 \times 71{\cdot}6$ N/mm$^2$
$= 57{\cdot}28$ N/mm$^2$

सामर्थ्य = क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$= \dfrac{1492 \times 57{\cdot}28}{1000}$ kN

$= 85{\cdot}46$ kN

**यदि दो रिवेटों द्वारा जोड़ा गया हो**

$l = 0{\cdot}85\,L = 0{\cdot}85 \times 2000$ mm
$= 1700$ mm

$r_{min} = 18{\cdot}1$ mm

**तनुता अनुपात**

$l/r = \dfrac{1700}{18{\cdot}1} = 93{\cdot}92$

**तालिका 6.3 से**

$l/r = 90, \sigma_{ac} = 90$ N/mm$^2$
$l/r = 100, \sigma_{ac} = 80$ N/mm$^2$
अन्तर $= 10$ N/mm$^2$

$l/r = 93{\cdot}92$ के लिये—

$\sigma_{ac} = (90 - 10 \times 0{\cdot}392)$ N/mm$^2$
$= (90 - 3{\cdot}92)$ N/mm$^2$
$= 86{\cdot}08$ N/mm$^2$

अनुज्ञेय प्रतिबल $\sigma_{ac} = 86{\cdot}08$ N/mm$^2$

सामर्थ्य = क्षेत्रफल × अनु० प्रतिबल

$= \dfrac{1492 \times 86{\cdot}08}{1000}$ kN

$= 128{\cdot}43$ kN **उत्तर**

**उदाहरण 6.5 : एक ISWB 550 @112·5 kg/m का प्रयोग स्तम्भ के रूप में किया गया है, जिसकी प्रभावी लम्बाई 6 मीटर है। पराभव प्रतिबल 260 N/mm$^2$ लेते हुये, स्तम्भ की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये।**

**हल :** स्टील टेबल से ISWB – 550 के गुणधर्म—भार $= 112{\cdot}5$ kg/m

काट क्षेत्रफल (Sectional Area) $= 14334$ mm$^2$

$I_{YY} = 74906{\cdot}1$ cm$^4$

$I_{YY} = 3740{\cdot}6$ cm$^4$

1 mm

न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r = 51{\cdot}1$ mm

प्रभावी लम्बाई, $l = 6$ m $= 6000$ mm

तथा तनुता अनुपात $= \dfrac{l}{r} = \dfrac{6000}{51{\cdot}1} = 117{\cdot}42$

तालिका 6.3 से, $f_y = 260$ N/mm$^2$ के लिये

$l/r = 110$ के लिये, $\sigma_{ac} = 73$ N/mm$^2$
$l/r = 120$ के लिये, $\sigma_{ac} = 64$ N/mm$^2$ } अन्तर 9 N/mm$^2$



$l/r = 117{\cdot}42$ के लिये, $\sigma_{ac} = (73 - 9 \times 0{\cdot}742)$ N/mm$^2$
$= (73 - 6{\cdot}678)$ N/mm$^2$
$= 66{\cdot}322$ N/mm$^2$

अत: सामर्थ्य = $\sigma_{ac}$ × क्षेत्रफल $= 66{\cdot}322 \times 14334$ N
$= 950660$ N अथवा **950·6 kN** **उत्तर**

## § 6.7. संघटित स्तम्भ (Built-up Column) :

स्तम्भ पर सीमित भार आने पर एकल I-खण्ड पर्याप्त होगा। जब स्तम्भों पर अधिक भार आता हो तब एकल I-खण्ड पर्याप्त नहीं होगा। ऐसी स्थिति मे एक से अधिक संरचनात्मक खण्डों का प्रयोग करते हुए स्तम्भ के लिये खण्ड का संयोजन किया जाता है। ऐसे स्तम्भ को संघटित स्तम्भ (Built up column) कहा जाता है।

सामान्यत: I-खण्ड के फ्लेजो पर एक-एक चपटी पत्ती (Flat) लगाते हुये स्तम्भ के लिये अधिक क्षेत्रफल का खण्ड संयोजित किया जाता है, ताकि वह अधिक भार वहन कर सके।

यद्यपि जब उपरोक्त खण्ड पर्याप्त न हो तब दो I-खण्ड अथवा दो चैनेल खण्डो का प्रयोग करते हुये खण्ड का संयोजन किया जाता है। सामान्यत: दो चैनेल खण्डो का प्रयोग खण्ड के संयोजन हेतु किया जाता है। प्रत्येक चैनेल खण्ड या I-खण्ड को घटक खण्ड कहा जाता है। घटक खण्डो के बीच दूरी इस प्रकार सुनिश्चित की जाती है कि संयोजित खण्ड या पूरे खण्ड का दोनों अक्षों ($XX$ व $YY$ अक्ष) पर जड़त्व आघूर्ण समान हो। अन्य शब्दो मे पूरे खण्ड के लिये,

$$I_{XX} = I_{YY}$$

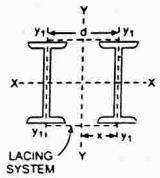
तथा $$r_{XX} = r_{YY}$$

स्पष्ट है कि इस व्यवस्था से स्तम्भ के लिये संयोजित खण्ड का दोनो दिशाओ में प्रतिरोध समान होगा। तनुता अनुपात (Slenderness ratio) कम होगा तथा अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल अधिक होगा, जिसके फलस्वरूप भार क्षमता मे पर्याप्त वृद्धि होगी। ऐसा संयोजित खण्ड मितव्ययी सिद्ध होगा।

घटक-खण्डों मे दूरी निर्धारण की गणना आगे दी जा रही है।

**6.7-1. संघटित खण्ड में घटक खण्डों की व्यवस्था**—संघटित खण्ड के लिये दो I-खण्ड अथवा दो चैनेल खण्डो का प्रयोग किया जाता है। सामान्यत: दो चैनेल खण्डो का प्रयोग किया जाता है। अनुच्छेद 6.7 के अनुसार संयोजित खण्ड के लिये दोनों दिशाओ मे समान प्रतिरोध प्राप्त करने हेतु घटक खण्डो के बीच दूरी '$d$' निम्नवत् निर्धारित की जाती है। यहाँ $d$ = दोनो I घटक खण्डों के अक्षो के बीच लम्बवत् दूरी अथवा चैनेल खण्डो के बीच पीठ-से-पीठ दूरी है।

चित्र 6.10 मे दो I खण्डो को दिखाया-गया है तथा चित्र 6.11 मे दो चैनेल खण्डो को दर्शित किया गया है। चित्र के अनुसार चैनेल खण्डो की फ्लेजे **अन्दर** की ओर (चित्र 5.11 (i)) अथवा **बाहर** की ओर (चित्र 6.11 (ii) रखी जा सकती है।




**चित्र 6.10—संघटित (Built-up) स्तम्भ**

उपरोक्त दूरी '$d$' निम्नवत् निर्धारित की जा सकती है—

यहाँ $A_1$ = एक घटक खण्ड का काट क्षेत्रफल (mm$^2$) (I खण्ड अथवा चैनेल खण्ड)

$A$ = पूरे संयुक्त खण्ड का काट क्षेत्रफल $= 2A_1$ (mm$^2$)

$Y_1Y_1$ = एक घटक खण्ड (I खण्ड अथवा चैनेल खण्ड) के लिये $YY$ अक्ष

$C_{Y_1Y_1}$ = चैनेल खण्ड के लिये पीठ से $y_1\,y_1$ अक्ष की दूरी (mm)

$I_{Y_1Y_1}$ = एक घटक खण्ड (I खण्ड अथवा चैनेल खण्ड) के लिये $y_1\,y_1$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia)

$XX$ = संयुक्त खण्ड के लिये $XX$ अक्ष

$YY$ = संयुक्त खण्ड के लिये $YY$ अक्ष

$I_{X_1}$ = एक घटक खण्ड (I खण्ड अथवा चैनेल खण्ड) का $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण ($mm^4$)

$I_{XX}$ = संयुक्त खण्ड का $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण = $2I_{X_1}$ ($mm^4$)

$x$ = $YY$ व $Y_1Y_1$ अक्षो के बीच लम्बवत् दूरी (mm)

$d$ = खण्डो के बीच दूरी (उपरोक्तानुसार)

$r_{XX}$ = घटक खण्ड की $XX$ अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या (Radius of gyration)

दोनो दिशाओ मे समान व्याकुंचन प्रतिरोध के लिये संघटित स्तम्भ

$$I_{XX} = I_{YY}$$

$$I_{XX} = 2I_{X_1} \text{ (यहाँ } I_{X_1} \text{ स्टील टेबल से उपलब्ध)}$$

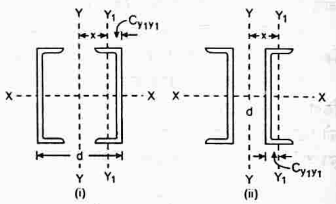
समांतर अक्ष प्रमेय से, $I_{YY} = 2(I_{Y_1Y_1} + A_1X^2)$

अत: $2I_{X_1} = 2(I_{Y_1Y_1} + A_1X^2)$

अथवा $I_{X_1} = I_{Y_1Y_1} + A_1X^2$

अथवा $x = \sqrt{\dfrac{I_{X_1} - I_{Y_1Y_1}}{A_1}}$

I खण्डो के लिये, $d = 2x$




चित्र 6.11—संघटित स्तम्भ

तथा चैनेल खण्डो के लिये (चित्र 6.11 देखें)

$$\frac{d}{2} = x \pm C_{Y_1Y_1}$$

अथवा, $d = 2(x \pm C_{Y_1Y_1})$

घटक खण्डो (चैनेल) की स्थिति के अनुसार + अथवा – चिन्हो का प्रयोग निम्नवत् किया जाये—

(i) फ्लेजे अन्दर की ओर होने पर + चिन्ह का प्रयोग कीजिये।

(ii) फ्लेजे बाहर की ओर होने पर – चिन्ह का प्रयोग कीजिये।

उपरोक्तानुसार घटक खण्डो के बीच दूरी निर्धारित करने पर संयुक्त खण्ड की न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या $r_{XX}$ के समान हो जायेगी। तनुता अनुपात $r_{XX}$ के आधार पर ज्ञात किया जायेगा तथा तद्नुसार तालिका 6.3 के आधार पर अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल अंतर्वेशन (Interpolation) द्वारा ज्ञात होगा, जिसके आधार पर स्तम्भ की भार क्षमता ज्ञात होगी।

**उदाहरण 6.6 : एक ISMB 400 धरन खण्ड स्तम्भ के लिये प्रयोग में लाया गया है। इसके प्रत्येक फ्लेंज पर 200 mm × 10 mm चपटी पत्ती (Flat) लगी है। यदि स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 3800 mm हो तो इस स्तम्भ की भार क्षमता ज्ञात कीजिये। पराभव प्रतिबल 250 N/mm² लीजिये।**

**हल :** स्टील टेबल से ISMB 400 के गुणधर्म—

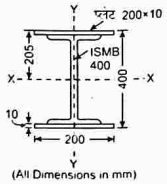
क्षेत्रफल = $78{\cdot}47 \times 10^2\ mm^2$

जड़त्व आघूर्ण, $I_{XX} = 20458{\cdot}4 \times 10^4\ mm^4$

$I_{YY} = 622{\cdot}1 \times 10^4\ mm^4$

फ्लेज चौड़ाई = 140 mm, गहराई = 400 mm

$r_{YY} = 28{\cdot}2$ mm




चित्र 6.12

इस खण्ड के प्रत्येक फ्लेज पर 200 × 10 mm चपटी पत्ती (Flat) लगी है जो चित्र 6.12 दर्शित है।



पूरे खण्ड का क्षेत्रफल = (धरन खण्ड का क्षेत्रफल) + (दोनो चपटी पत्तियों का क्षेत्रफल)

$$= 78{\cdot}47 \times 10^2 + 2 \times 200 \times 10\ mm^2$$

$$= (78{\cdot}47 + 40) \times 10^2\ mm^2 = 118{\cdot}47 \times 10^2\ mm^2$$

**पूरे खण्ड के लिये—**

***XX* अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण** (Moment of Inertia)—$I_{XX}$ = (I खण्ड का $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण) + (चपटी पत्तियों का $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण)—

$$= 20458{\cdot}4 \times 10^4 + 2 \times 200 \times 10 \times 205^2\ mm^4$$

$$= (20458{\cdot}4 \times 16810) \times 10^4\ mm^4$$

$$= 37268{\cdot}4 \times 10^4\ mm^4$$

उपरोक्त गणना में चपटी पत्तियों का उनके अपने अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण नगण्य माना गया है। चपटी पत्तियों को $XX$ अक्ष से दूरी $\left(200 + \dfrac{10}{2}\right)$ mm अथवा 205 mm होगी जो उक्त गणना में ली गयी है।

***YY* अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण**—$I_{YY}$ = (I खण्ड का $YY$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण) + (चपटी पत्तियों का $YY$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण)

$$= 622{\cdot}1 \times 10^4 + 2 \times \left(\frac{10 \times 200^3}{12}\right) mm^4$$

$$= \left(622{\cdot}1 + \frac{2 \times 20^3}{12}\right) \times 10\ mm^4$$

$$= (622{\cdot}1 + 1333{\cdot}33) \times 10^4\ mm^4$$

$$= 1955{\cdot}43 \times 10^4\ mm^4$$

अत: न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या—

$$r = \sqrt{\frac{\text{न्यू० जड़त्व आघूर्ण}}{\text{खण्ड का क्षेत्रफल}}}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1955{\cdot}43 \times 10^4}{118{\cdot}47 \times 10^2}\right)} mm$$

$$= 10\sqrt{(16{\cdot}505)}\ mm = 40{\cdot}63\ mm$$

स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई $l$ = 3800 mm

अत: तनुता अनुपात (Slenderness Ratio)

$$l/r = \frac{3800}{40{\cdot}63} = 93{\cdot}53$$

भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार (तालिका 6.3 से) पराभव प्रतिबल 250 $N/mm^2$ के लिये—

$l/r = 90$ के लिये $\sigma_{ac} = 90\ N/mm^2$

$l/r = 100$ के लिये $\sigma_{ac} = 80\ N/mm^2$ } अन्तर 10·0

अत: $l/r = 93{\cdot}53$ के लिये,

$\sigma_{ac} = (90 - 10 \times 0{\cdot}353)\ N/mm^2$

$= (90 - 3{\cdot}53)\ \text{N/mm}^2$

$= 86{\cdot}47\ \text{N/mm}^2$

तथा स्तम्भ की भार क्षमता = (पूरे खण्ड का क्षेत्रफल) + अनुज्ञेय प्रतिबल

$= (118{\cdot}47 \times 10^2) \times 86{\cdot}47\ \text{N}$

$= 1024410\ \text{N}$ अथवा **1024·41 kN** **उत्तर**

**नोट**—यदि चपटी पत्तियाँ न लगायी जाती तो स्तम्भ के लिये खण्ड का क्षेत्रफल $7847\ \text{mm}^2$ तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या 28·2 mm होती। तनुता अनुपात 134·75 होता तथा अनुप्रतिबल $54{\cdot}15\ \text{N/mm}^2$ होता। भार क्षमता 424·9 kN होती। चपटी पत्तियाँ लगाने पर यह 424·9 kN से 1024·41 kN तक बढ़ गयी।

**उदाहरण 6.7 : एक संघटित स्तम्भ (Built-up column) के लिए उपलब्धता के आधार पर दो ISLB-300 धरन खण्डों का प्रयोग किया गया। धरन खण्डों को जालक पद्धति द्वारा आपस में बाँधा गया है। धरन खण्डों के बीच दूरी "d" निर्धारित कीजिये जिससे स्तम्भ की दोनों दिशाओं में व्याकुँचन प्रतिरोध (Buckling resistance) समान हो। यदि स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 4000 mm हो तो स्तम्भ की भार क्षमता ज्ञात कीजिये।**

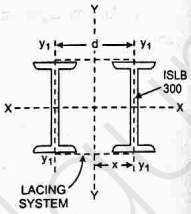
**हल :** स्टील टेबल से ISLB-300 के गुणधर्म—

क्षेत्रफल : $A_1 = 48{\cdot}08 \times 10^2\ \text{mm}^2$

$I_{X_1} = 7332{\cdot}9 \times 10^4\ \text{mm}^4$

$I_{Y_1Y_1} = 376{\cdot}2 \times 10^4\ \text{mm}^4$

$r_{XY} = 12{\cdot}35 \times 10\ \text{mm}$



चित्र 6.13

(i) स्तम्भ के लिये पूरे खण्ड का क्षेत्रफल,

$A = 2A_1 = 2 \times 48{\cdot}08 \times 10^2$

$= 96{\cdot}16 \times 10^2\ \text{mm}^2$

दोनों दिशाओं में समान व्याकुँचन प्रतिरोध के लिये—

$I_{XX} = I_{YY}$

यहाँ $I_{XX}$ व $I_{1Y}$ पूरे खण्ड के लिये क्रमशः $XX$ व $YY$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण होंगे।

$I_{XX} = 2I_{X_1} = 2 \times 7332{\cdot}9 \times 10^4\ \text{mm}^4$

इसी प्रकार समान्तर अक्ष प्रमेय से (चित्र 6.10 देखें)—

$I_{YY} = 2[I_{Y_1Y_1} + A_1X^2]$

$= 2[376{\cdot}2 \times 10^4 + 48{\cdot}08 \times 10^2 \times x^2]$

$= 752{\cdot}4 \times 10^4 + 96{\cdot}16 \times 10^2 \times x^2$

$I_{XX} = I_{YY}$ रखने पर—

$2 \times 7332{\cdot}9 \times 10^4 = 752{\cdot}4 \times 10^4 + 96{\cdot}16 \times 10^2 \times x^2$

अथवा $96{\cdot}16 \times 10^2 \times x^2 = (14665{\cdot}8 - 752{\cdot}4) \times 10^4$

$= 13913{\cdot}4 \times 10^4$

अथवा $x^2 = \dfrac{13913{\cdot}4 \times 10^4}{96{\cdot}16 \times 10^2}\ \text{mm}$



तथा $x = 10\sqrt{\left(\dfrac{13913{\cdot}4}{96{\cdot}16}\right)}\ \text{mm} = 10\sqrt{(144{\cdot}69)}\ \text{mm}$

$= 120{\cdot}3\ \text{mm}$

तथा धरन खण्डों के बीच आवश्यक दूरी—

$d = 2x = 2 \times 120{\cdot}3\ \text{mm}$

$= \mathbf{240{\cdot}6\ mm}$ **उत्तर**

(ii) स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई, $l = 4000\ \text{mm}$

न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r = 123{\cdot}5\ \text{mm}$

अतः तनुता अनुपात $= \dfrac{4000}{123{\cdot}5} = 32{\cdot}39$

पराभव प्रतिबल $250\ \text{N/mm}^2$ लेते हुये, भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार तालिका 6.3 से—

$l/r = 30$ के लिये, $\sigma_{ac} = 145\ \text{N/mm}^2$

$l/r = 40$ के लिये, $\sigma_{ac} = 139\ \text{N/mm}^2$ } अन्तर 6

अतः $l/r = 32{\cdot}39$ के लिये

अनुज्ञेय प्रतिबल, $\sigma_{ac} = (145 - 6 \times 0{\cdot}239)\ \text{N/mm}^2$

$= (145 - 1{\cdot}434)\ \text{N/mm}^2$

$= 143{\cdot}566\ \text{N/mm}^2$

तथा भार क्षमता = क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$= 96{\cdot}16 \times 10^2 \times 143{\cdot}566\ \text{N}$

$= 1380530\ \text{N}$ अथवा **1380·53 kN** **उत्तर**

**उदाहरण 6.8 : एक स्तम्भ का खण्ड दो ISLC-350 चैनेल खण्डों द्वारा बनाया गया है। चैनेलों की फ्लेंजें अन्दर की ओर हैं। इन चैनेलों के बीच पीठ-से-पीठ दूरी निर्धारित कीजिये, जिस पर स्तम्भ का दोनों दिशाओं में व्याकुँचन प्रतिरोध समान रहे। यदि इस स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 5800 mm हो तो स्तम्भ की भार क्षमता ज्ञात कीजिये।**

**हल :** स्टील टेबल से ISLC-350 के गुणधर्म—

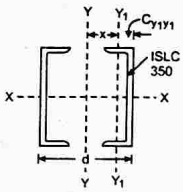
क्षेत्रफल, $A_1 = 49{\cdot}5 \times 10^2\ \text{mm}^2$

जड़त्व आघूर्ण, $I_{X_1} = 9312{\cdot}6 \times 10^4\ \text{mm}^4$

$I_{Y_1Y_1} = 394{\cdot}6 \times 10^4\ \text{mm}^4$

गुरुत्व केन्द्र, $C_{Y_1Y_1} = 2{\cdot}41 \times 10\ \text{mm}$

$r_{XX} = 13{\cdot}72 \times 10\ \text{mm}$



चित्र 6.14

चित्र 6.11 के अनुसार—

पूरे खण्ड का क्षेत्रफल $= 2A_1$

$= 2 \times 49{\cdot}5 \times 10^2\ \text{mm}^2 = 99 \times 10^2\ \text{mm}^2$

पूरे खण्ड के लिये, $I_{XX} = 2I_{X_1} = 2 \times 9312{\cdot}6 \times 10^4\ \text{mm}^4$

$I_{YY} = 2(I_{Y_1Y_1} + A_1x^2)$ समान्तर अक्ष प्रमेय से

$= 2\,(394{\cdot}6 \times 10^4 + 49{\cdot}5 \times 10^2 \times x^2)\ \text{mm}^4$

civilguruji.net

दोनों दिशाओं में समान व्याकुँचन प्रतिरोध (Bucking resistance) के लिये—

$$I_{XX} = I_{YY}$$

अथवा, $2 \times 9312{\cdot}6 \times 10^4 = 2\,(394{\cdot}6 \times 10^4 + 49{\cdot}5 \times 10^2 \times x^2)$

अथवा, $9312{\cdot}6 \times 10^4 = 394{\cdot}6 \times 10^4 + 49{\cdot}5 \times 10^2 \times x^2$

अथवा, $49{\cdot}5 \times 10^2 \times x^2 = (9312{\cdot}6 - 394{\cdot}6) \times 10^4$

$$= 8918 \times 10^4$$

$$\therefore \quad x = \sqrt{\left(\frac{8918 \times 10^4}{49{\cdot}5 \times 10^2}\right)}\ \text{mm}$$

$$= 10\sqrt{(180{\cdot}16)}\ \text{mm}$$

$$= 10 \times 13{\cdot}423\ \text{mm}$$

$$= 134{\cdot}23\ \text{mm}$$

चैनेल खण्डों की फ्लेंजे अन्दर की ओर हैं। अत: दोनों दिशाओं में समान व्याकुँचन प्रतिरोध के लिये खण्डों के बीच पीठ से-पीठ दूरी,

$$d = 2(x + C_{Y_1Y_1})$$

$$= 2\,(134{\cdot}23 + 24{\cdot}1)\ \text{mm}$$

$$= 2 \times 158{\cdot}33\ \text{mm}$$

$$= 316{\cdot}66 \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{316{\cdot}7\ mm}$$

स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई = 5800 mm

परिभ्रमण त्रिज्या = $13{\cdot}72 \times 10$ mm

अत: तनुता अनुपात $= \dfrac{5800}{137{\cdot}2} = 42{\cdot}27$

भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार पराभव प्रतिबल 250 N/mm² के लिये,

$l/r = 40$ के लिये, $\sigma_{ac} = 139$ N/mm²
$l/r = 50$ के लिये, $\sigma_{ac} = 132$ N/mm² } अन्तर 7·0

अत: $l/r = 42{\cdot}47$ के लिये—

$$\sigma_{ac} = (139 - 7 \times 0{\cdot}227)\ \text{N/mm}^2$$

$$= (139 - 1{\cdot}59)\ \text{N/mm}^2$$

$$= 137{\cdot}41\ \text{N/mm}^2$$

तथा स्तम्भ का सामर्थ्य = क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$$= \frac{90 \times 10^2 \times 137{\cdot}41}{10^3} = \mathbf{1360{\cdot}36\ kN}$$

**उदाहरण 6.9 : उदाहरण 6.8 में अंकित स्तम्भ में प्रयोग किये गये हो ISLC-350 चैनेल खण्डों की दोनों दिशाओं में सम व्याकुँचन प्रतिरोध हेतु पीठ-से-पीठ दूरी ज्ञात करें, यदि उनकी फ्लेंजें बाहर की ओर रखी गयी हों।**

**हल :** उदाहरण 6.8 से—

एक चैनेल खण्ड के लिये—

क्षेत्रफल, $A_1 = 49{\cdot}5 \times 10^2\ \text{mm}^2$

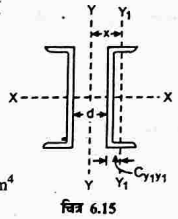


जड़त्व आघूर्ण, $I_{X_1} = 9312{\cdot}6 \times 10^4\ \text{mm}^4$

$I_{Y_1Y_1} = 394{\cdot}6 \times 10^4\ \text{mm}^4$

$C_{Y_1Y_1} = 2{\cdot}41 \times 10\ \text{mm}$

$= 24{\cdot}1\ \text{mm}$



चित्र 6.15

पूरे खण्ड के लिये, $I_{XX} = 2I_{X_1} = 2 \times 9312{\cdot}6 \times 10^4\ \text{mm}^4$

$I_{YY} = 2[394{\cdot}6 \times 10^4 + 49{\cdot}5 \times 10^2 \times x^2]\ \text{mm}^4$

$x = Y_1Y_1$ व $YY$ अक्षों के बीच दूरी mm में

दोनों दिशाओं में समान व्याकुँचन प्रतिरोध के लिये $I_{XX} = I_{YY}$

अथवा $2 \times 9312{\cdot}6 \times 10^4 = 2 \times 10^2\,[394{\cdot}6 \times 10^2 + 49{\cdot}5x^2]$

अथवा $49{\cdot}5 \times 10^2 \times x^2 = (9312{\cdot}6 - 394{\cdot}6) \times 10^4$

$$x = \sqrt{\frac{8918 \times 10^4}{49{\cdot}5 \times 10^2}} \quad \therefore\ x = 134{\cdot}23\ \text{mm}$$

चित्र 6.15 के अनुसार—

$$d = 2[x - C_{Y_1Y_1}]$$

$$= 2[134{\cdot}23 - 24{\cdot}1]\ \text{mm}$$

$$= 2 \times 110{\cdot}13\ \text{mm}$$

$$= \mathbf{220{\cdot}26\ mm} \quad \text{अथवा} \quad 220{\cdot}3\ \text{mm}$$ उत्तर

**उदाहरण 6.10 : एक संघटित स्तम्भ के लिये दो ISLC-250 चैनेल खण्डों का प्रयोग किया गया। चैनेल खण्डों की फ्लेंजें अन्दर की ओर रखते हुये पीठ-से-पीठ दूरी 250 mm रखी गयी तथा फ्लेंजों पर एक-एक 250 mm × 10 mm चपटी पत्ती लगायी गयी। इस स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 3300 mm है। पराभव प्रतिबल $f_y$ = 250 N/mm² लेते हुये निम्न ज्ञात कीजिये–(i) संघटित स्तम्भ के लिये न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, अनुपात व भार क्षमता। (ii) मात्र दो चैनेल खण्ड प्रयोग किये जाने पर, स्तम्भ के लिये तनुता अनुपात व भार क्षमता। (iii) चपटी पत्तियाँ लगाये जाने के फलस्वरूप भार क्षमता में प्रतिशत वृद्धि।**

**हल :** ISLC-250 चैनेल खण्डों के गुणधर्म—

भार प्रति मी० = 28 kg

क्षेत्रफल = 3565 mm² = 35·65 cm²

फ्लेंज चौड़ाई = 100 mm

गहराई = 250 mm

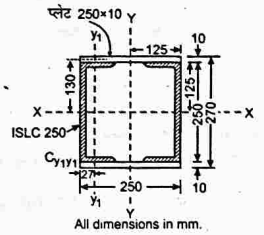
$I_{XX} = 3687{\cdot}9\ \text{cm}^4$

$I_{Y_1Y_1} = 298{\cdot}4\ \text{cm}^4$

$r_{XX} = 101{\cdot}7$ mm

$r_{YY} = 28{\cdot}9$ mm

$C_{YY} = 27$ mm



All dimensions in mm.
चित्र 6.16

civilguru.net

**संघटित खण्ड के गुणधर्म—**

(a) क्षेत्रफल— चैनेल खण्ड = $2 \times 3565\ mm^2 = 7130\ mm^2$

चपटी पत्तियाँ = $2 \times 250 \times 10\ mm^2 = 5000\ mm^2$

संघटित खण्ड का क्षेत्रफल = $12130\ mm^2 = 121{\cdot}3\ cm^2$

(b) जड़त्व आघूर्ण—

(i) $XX$ अक्ष पर—

चैनेल खण्ड = $2 \times 3687{\cdot}9 \times 7375{\cdot}8\ cm^4$

चपटी पत्तियाँ = $2 \times 25 \times 13^3 = 8450{\cdot}0\ cm^4$

संघटित खण्ड के लिये, $I_{XX} = 15825{\cdot}8\ cm^4$

(ii) $YY$ अक्ष पर—

$Y_1Y_1$ व $YY$ अक्षों के बीच दूरी = 125 – 27 = 98 mm = 9·8 cm

चैनेल खण्डों के लिये, $I_{Y_1Y_1} = 298{\cdot}4\ cm^4$

क्षेत्रफल = $35{\cdot}65\ cm^2$

समांतर अक्ष प्रमेय से—

चैनेल खण्डों के लिये, $I_{YY} = 2 \times [298{\cdot}4 + 35{\cdot}65 \times 9{\cdot}8^2]\ cm^4$

$= 2 \times [298{\cdot}4 + 3423{\cdot}8]\ cm^4$

$= 2 \times 3722{\cdot}2\ cm^4$ अथवा $7444{\cdot}4\ cm^4$

चपटी पत्तियों के लिये, $I_{YY} = 2 \times 1 \times \dfrac{25^3}{12} = 2604{\cdot}2\ cm^4$

संघटित खण्ड के लिये, $I_{YY} = (7444{\cdot}4 + 2604{\cdot}2)\ cm^4$

$= 10048{\cdot}6\ cm^4$

(c) **न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या** (Least radius of gyration)—

(i) संघटित खण्ड के लिये, $I_{XX} = 15825{\cdot}8\ cm^4$

$I_{YY} = 10048{\cdot}6\ cm^4$, $I_{YY} < I_{XX}$

तथा $r_{min} = \sqrt{\dfrac{10048{\cdot}6}{121{\cdot}3}}$

$= \sqrt{82{\cdot}84} = 9{\cdot}102\ cm = 91{\cdot}02\ mm$

(ii) मात्र चैनेल खण्डों के लिये—

$I_{XX} = 7375{\cdot}8\ cm^4$

$I_{YY} = 7444{\cdot}4\ cm^4$

$I_{XX} < I_{YY}$ अत: $r_{min} = r_{XX} = 101{\cdot}7\ mm$

(d) **तनुता अनुपात (Slenderness ratio)—**

प्रभावी लम्बाई = 3300 mm

संघटित खण्ड के लिये तनुता अनुपात = $\dfrac{3300}{91{\cdot}02} = 36{\cdot}25$

मात्र चैनेल खण्डों के लिये तनुता अनुपात = $\dfrac{3300}{101{\cdot}7} = 32{\cdot}45$



(c) **अनुज्ञेय प्रतिबल व भार क्षमता**— तालिका 6.3 से

(i) संघटित खण्ड के लिये— ($f_y = 250\ N/mm^2$)

तनुता अनुपात = 36·25

$l/r = 30$, $\sigma_{ac} = 145\ N/mm^2$

$l/r = 40$, $\sigma_{ac} = 139\ N/mm^2$ } अन्तर = $6\ N/mm^2$

$l/r = 35{\cdot}26$, $\sigma_{ac} = (145 - 6 \times 0{\cdot}625)\ N/mm^2$

$= (145 - 3{\cdot}75)\ N/mm^2 = 141{\cdot}25\ N/mm^2$

भार क्षमता = अनुज्ञेय प्रतिबल × क्षेत्रफल

$= 141{\cdot}25 \times 12130\ N = 1713360\ N$

$= \mathbf{1713{\cdot}36\ kN}$

(ii) मात्र चैनेल खण्डों के लिये—

तनुता अनुपात = 32·45

तथा $F_c = (145 - 6 \times 0{\cdot}245)\ N/mm^2$

$= (145 - 1{\cdot}47)\ N/mm^2 = 143{\cdot}63\ N/mm^2$

क्षेत्रफल = $7130\ mm^2$

भार क्षमता = अनुज्ञेय प्रतिबल × क्षेत्रफल

$= 143{\cdot}53 \times 7130\ N$

$= 1023369\ N$

$= \mathbf{1023{\cdot}37\ kN}$

चपटी पत्तियों के फलस्वरूप भार क्षमता में वृद्धि

$= (1713{\cdot}36 - 1023{\cdot}37)\ kN$

$= 689{\cdot}99$ or **690 kN** **उत्तर**

तथा प्रतिशत वृद्धि = $\dfrac{690}{1023{\cdot}37} \times 100 = \mathbf{67{\cdot}42\%}$ **उत्तर**

## § 6.8. संपीडांगों व स्तम्भों का अभिकल्पन (Design of Compression Members and Columns) :

किसी संपीडांग/स्तम्भ की भार क्षमता उसके तनुता अनुपात (slenderness ratio) एवं अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल पर निर्भर करती है। भारतीय मानक ब्यूरो द्वारा संपीडांगों के अभिकल्पन हेतु विशिष्टियाँ निर्धारित की गई है, जिसके अनुसार—

(i) संपीडांग/स्तम्भ का तनुता अनुपात संरचना में उसकी स्थिति तथा संभाव्य प्रतिबलों के अनुसार तालिका 6.2 द्वारा निर्धारित सीमाओं के अन्दर होना चाहिये।

(ii) संपीडांग/स्तम्भ पर आने वाले भार के फलस्वरूप खण्ड पर उत्पन्न वास्तविक अक्षीय संपीडन प्रतिबल किसी भी स्थिति में उपरोक्त तनुता अनुपात से सम्बद्ध तालिका 6.3 द्वारा निर्धारित अनुज्ञेय प्रतिबल से कम अथवा समान होना चाहिये।

(iii) संपीडांग/स्तम्भ के लिये सुरक्षित भार उस पर आने वाले वास्तविक भार से अधिक होना चाहिये।

**6.8-1. अभिकल्पन पद्धति**—उक्त बातों को ध्यान में रखते हुये किसी संपोडांग/स्तम्भ का अभिकल्पन निम्न चरणों में किया जाता है—

civilguruji.net

(i) संपीडांग/स्तम्भ मे उत्पन्न होने वाले सम्भाव्य प्रतिबल का मान मानते हुए संपीडांग/स्तम्भ के लिये आवश्यक अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल ज्ञात किया जाता है।

(ii) स्टील टेबल से लगभग उक्त अनुमानित क्षेत्रफल वाले खण्ड का चयन किया जाता है।

(iii) यदि संघटित (built up) स्तम्भ के लिये खण्ड का चयन करना हो तो उपरोक्त (i) में ज्ञात अनुमानित क्षेत्रफल से एक घटक का क्षेत्रफल अनुमानित करते हुये खण्ड का स्टील टेबल से चयन किया जाता है।

(iv) संपीडांग/स्तम्भ के लिये चयनित खण्ड के अनुसार तनुता अनुपात का वास्तविक मान ज्ञात किया जाता है।

(v) उक्त (iv) में ज्ञात तनुता अनुपात के लिये अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल तालिका 6.3 के अनुसार अन्तर्वेशन (interpolation) द्वारा ज्ञात किया जाता है।

(vi) चयनित खण्ड का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल ज्ञात किया जाता है।

(vii) संपीडांग/स्तम्भ के लिये सुरक्षित भार ज्ञात किया जाता है।

सुरक्षित भार = (उक्त (vi) से ज्ञात अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल) × (उक्त (v) में ज्ञात अनुज्ञेय प्रतिबल)

यदि सुरक्षित भार संपीडांग/स्तम्भ पर आने वाले वास्तविक भार से अधिक हो तो अभिकल्पन **ठीक** है अन्यथा किसी और खण्ड का चयन करते हुए पुन: अभिकल्पन किया जाता है।

**6.8-2. खण्ड का चयन**—खण्ड का चयन करने हेतु अनुमानित काट क्षेत्रफल सम्भाव्य प्रतिबलों के आधार पर ज्ञात किया जाता है तथा खण्ड का चयन करते समय यह बात भी ध्यान में रखी जाती है कि खण्ड के संघटकों की मोटाईयाँ भारतीय मानक ब्यूरो (B.I.S.) द्वारा निर्धारित सीमाओं के भीतर होनी आवश्यक है।

(1) **संभाव्य प्रतिबल** (Possible Stresses)—संभाव्य प्रतिबलों के मान निम्नवत् लिये जा सकते हैं—

(i) कोणी खण्डो के लिये — 80 N/mm ($l/r$ लगभग 100)

(ii) एकल I खण्ड के लिये — 100 N/mm ($l/r$ लगभग 80)

(iii) संघटित स्तम्भो के लिये — 140 N/mm ($l/r$ लगभग 40)

यदि संपीडन बल मात्र पवन दाब के कारण आ रहा हो — 20 N/mm$^2$ ($l/r$ लगभग 230) उपरोक्त प्रतिबल एवं तनुता अनुपात पराभव प्रतिबल 250 N/mm$^2$ के अनुसार है।

उपरोक्त मान लेते हुए संपीडांगो/स्तम्भों के लिये अभिकल्पन पद्धति के चरण (i) में अंकित आवश्यक अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल ज्ञात किया जा सकता है।

(2) **चयनित खण्डों के लिये घटकों की मोटाई**—चयनित खण्डों में घटकों का कुछ भाग गसेट प्लेट से सम्बद्ध रहता है अथवा घटको के कुछ भाग एक-दूसरे से जुड़े रहते हैं। जो भाग शेष रहते हैं उन्हें लटकता या बकाया (Outstand) कहा जाता है। सुरक्षा की दृष्टि से उनकी लम्बाई व मोटाई का अनुपात निर्धारित किया गया है। यह नीचे दिया गया है—

| विवरण | लम्बाई |
|---|---|
| (i) फ्लेजे व प्लेटे संपीडन में, जहाँ किनारे दृढ़कारी नहीं है। | $\frac{256t}{\sqrt{(f_y)}}$ अथवा अधिकतम 16 $t$ |
| (ii) फ्लेजे व प्लेटे संपीडन मे, जहाँ किनारे दृढ़कारी हैं। | 20 $t$ |
| (iii) फ्लेजे व प्लेटे तनन मे। | 20 $t$ |

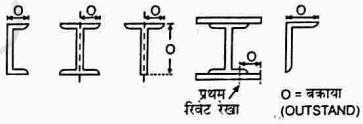
यहाँ $f_y$ = पराभव प्रतिबल; $t$ = फ्लेज या प्लेट की मोटाई

प्लेटें, कोणी खण्ड, I खण्ड, चैनेल आदि के लिये लटकन (बकाया) लम्बाई (Length of outstand) निम्नवत् ली जाती है (चित्र 6.17 में यह 'O' से दर्शित है)



**तालिका 6.6 : लटकन (बकाया) भाग (Outstands)**

| प्रकार | लटकन (बकाया) भाग की लम्बाई (Length of outstand) |
|---|---|
| (i) प्लेटे | मुक्त किनारे से प्रथम रिवेट रेखा या वेल्ड तक |
| (ii) कोणी खण्ड, चैनल तथा टी० खण्ड का तना (Stem) | सामान्य चौड़ाई |
| (iii) धरन खण्ड एवं टी खण्ड की फ्लेजे (Flanges) | आधी सामान्य चौड़ाई |




**चित्र 6.17—लटकन लम्बाई (Outstand)**

यह चित्र 6.17 से स्पष्ट होगा।

(3) **टाँक या आबंधन रिवेट** (Tacking Rivets)—आबंधन रिवेट घटकों को एक दूसरे के साथ बाँधने हेतु (For Stitching) लगाये जाते हैं ताकि पूरे लम्बाई मे मिलकर घटक एक इकाई की भन्ति कार्य करें। अभिकल्पन मे आबंधन रिवेटों के लिये प्रतिबल का आगणन नहीं किया जाता।

संपीडन उपांगो के लिये भारतीय मानक I.S. : 800-1984 के अनुसार आबंधन रिवेटों के बीच की दूरी 600 mm से अधिक नहीं रखी जानी चाहिये। आबंधन रिवेटो में केन्द्र-से-केन्द्र दूरी इस प्रकार रखी जाती है कि प्रत्येक घटक के लिये दो क्रमागत आबंधन रिवेटों के बीच तनुता अनुपात 40 अथवा संपीडन उपांग के लिये अधिकतम प्रतिकूल तनुता अनुपात के 60 प्रतिशत से अधिक न हो।

(4) **चयन पद्धति**—संपीडांग/स्तम्भ के लिये खण्ड का चयन एक कठिन कार्य है, जिसके लिये विशिष्ट नियम निर्धारित नहीं किया जा सकता, यद्यपि खण्ड का चयन निम्न प्रकार किया जा सकता है—

(i) अनुमानित काट क्षेत्रफल संभाव्य प्रतिबल के आधार पर ज्ञात कीजिये।

(ii) यदि संघटित स्तम्भ (Built up column) के लिये खण्ड का चयन करना हो तो एक घटक खण्ड का अनुमानित क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये।

(iii) यदि संपीडांग के खण्ड के लिये संयोजन हेतु दो खण्डो का प्रयोग करना हो तो एक घटक खण्ड का अनुमानित क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये।

(iv) संघटित स्तम्भ/संपीडांग के लिये संभाव्य प्रतिबल से सम्बद्ध तनुता अनुपात के लिये आवश्यक न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या भी ज्ञात कीजिये। दोनों दिशाओं में समान व्याकुंचन प्रतिरोध (buckling resistance) हेतु यह $r_{XX}$ के समान होगी। अन्य संयोजित खण्ड जैसे दो कोणी खण्डों के लिये यह $r_{XX}$ या $r_{YY}$ जो कम हो, के समान होगी। एकल कोणी खण्डों के लिये यह न्यू० परिभ्रमण त्रिज्या ($r_{VV}$) के समान होगी।

(v) अब स्टील टेबल से खण्ड का चयन करते समय क्षेत्रफल के साथ-साथ परिभ्रमण त्रिज्या भी देखते हुये खण्ड का चयन कीजिये।

(vi) सम्पीडांग के लिये खण्ड का चयन निम्नवत् कीजिये—

(क) एक कोणी खण्ड के लिये समभुजीय कोणी खण्ड (Equal) का चयन कीजिये।

(ख) दो कोणी खण्डो के लिये असमभुजीय कोणी खण्ड का चयन कीजिये। सामान्यत: कोणी खण्डों को लम्बी टांगें गसेट प्लेट के दोनों ओर सम्बद्ध होगी।

इस प्रकार यदि खण्ड का चयन करते समय क्षेत्रफल व परिभ्रमण त्रिज्या दोनों को विचार मे लिया गया तो चयनित खण्ड सुरक्षित होगा तथा अभिकल्पन पुन: करने की आवश्यकता नही होगी।

**उदाहरण 6.11 : 100 kN अक्षीय सम्पीडन बल वहन करने हेतु एक असतत सम्पीडन उपांग के लिये एक कोणीय खण्ड का चयन कीजिये। उपांग की लम्बाई 2200 mm है। पराभव प्रतिबल $f_y = 250$ N/mm$^2$ लीजिये। उपांग को सिरों पर गसेट प्लेट के साथ वेल्ड द्वारा सम्बद्ध किया गया है।**

**हल :** उपांग की लम्बाई = 2200 mm तथा भार = 100 kN

उपांग को सिरों पर गसेट प्लेट के साथ वेल्ड द्वारा सम्बद्ध किया गया है।

अत: उपांग की प्रभावी लम्बाई, $l = 0{\cdot}85 \times 2200$ mm (तालिका 6.4)

$= 1870$ mm

माना कि उपांग मे उत्पन्न प्रतिबल = 80 N/mm$^2$ (अनुच्छेद 6.8.2 (1))

इस प्रतिबल के अनुकूल तनुता अनुपात = 100 (तालिका 6.3)

तद्नुसार खण्ड के लिये—

$$\text{अनुमानित क्षेत्रफल} = \frac{\text{भार}}{\text{प्रतिबल}} = \frac{100 \times 1000}{80} = 1250 \text{ mm}^2$$

तथा $$\text{न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या} = \frac{\text{प्रभावी लम्बाई}}{\text{तनुता अनुपात}}$$

$$= \frac{1870}{100} = 18{\cdot}7 \text{ mm}$$

स्टील टेबल से 90 mm × 90 mm × 8 mm कोणी खण्ड का चयन करते हुये—

खण्ड का क्षेत्रफल, $A = 1379$ mm$^2$

न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r = r_{VV} = 18{\cdot}5$ mm

इस खण्ड के साथ—

$$\text{तनुता अनुपात} = \frac{l}{r} = \frac{1870}{17{\cdot}5} = 106{\cdot}85 < 180 \text{, ठीक है।} \quad \text{(तालिका 6.2)}$$

$$\frac{\text{बकाया टांग की लम्बाई}}{\text{मोटाई}} = \frac{90}{8} = 11{\cdot}25 < 16, \text{ ठीक है (अनुच्छेद 6.8.2 (2))}$$

$f_y = 250$ N/mm$^2$ के लिये तालिका 6.3 से—

$l/r = 100$ के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल, $\sigma_{ac} = 80$ N/mm$^2$

$l/r = 110$ के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल, $\sigma_{ac} = 72$ N/mm$^2$ } अन्तर 8

अत: $l/r = 106{\cdot}85$ के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल, $\sigma_{ac} = (80 - 0{\cdot}685 \times 8)$ N/mm$^2$

$= (80 - 5{\cdot}48)$ N/mm$^2 = 74{\cdot}52$ N/mm$^2$

तथा उपांग का सामर्थ्य = $\sigma_{ac} \times A$

$= 74{\cdot}52 \times 1379$ N

$= 102760$ N अथवा $102{\cdot}76$ kN > 100 kN अत: खण्ड सुरक्षित है।

अत: 90 mm × 90 mm × 8 mm कोणी खण्ड का प्रयोग किया जाये। उत्तर

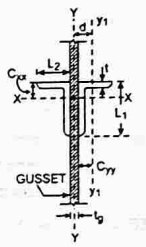


**उदाहरण 6.12 : निम्न आंकड़ों से एक असतत (Discontinuous) संपीडन उपांग के लिये दो समभुजीय कोणी खण्डों का चयन कीजिये। कोणी खण्डों को गसेट प्लेट के दोनों ओर रखते हुये सम्बद्ध किया गया है (जैसा चित्र 6.18 में दर्शित है)। उपांग पर भार = 140 kN, गसेट प्लेट मोटाई = 10 mm, उपांग की लम्बाई = 2250 mm, पराभव प्रतिबल, ($f_y$) ..... N/mm$^2$**

**हल :** उपांग पर भार = 1,40,000 N

उपांग की लम्बाई = 2250 mm

पराभव प्रतिबल, $f_y = 250$ N/mm$^2$



चित्र 6.18

उपांग मे कोणी खण्डो की स्थिति चित्र 6.18 मे दर्शित है।

यह मानते हुये कि उपांग में उत्पन्न प्रतिबल, $\sigma_{ac} = 80$ N/mm$^2$

उक्त प्रतिबल के अनुकूल तनुता अनुपात = 100

यह मानते हुये कि सिरो पर न्यू० दो रिवेट लगाये जायेंगे।

उपांग की प्रभावी लम्बाई $l = 0{\cdot}85 \times 2250$ mm = 1912·5 mm

तद्नुसार आवश्यक न्यू० परिभ्रमण त्रिज्या

$$r = \frac{1912{\cdot}5}{100} \text{ mm} = 19{\cdot}125 \text{ mm}$$

पुन: $$\text{उपांग के लिये आवश्यक क्षेत्रफल} = \frac{\text{भार}}{\text{प्रतिबल}} = \frac{1{,}40{,}000}{80} = 1750 \text{ mm}^2$$

अत: $$\text{एक कोणी खण्ड का क्षेत्रफल} = \frac{1750}{2} = 875 \text{ mm}^2$$

उपांग के लिये समभुजीय कोणी खण्डो का प्रयोग किया जाना है।

चित्र 6.18 मे दर्शित कोणी खण्डो की स्थिति के लिये—

समभुजीय कोणी खण्ड का दोनों अक्षों पर ($XX$ व $YY$) जड़त्व आघूर्ण समान होगा। इस प्रकार स्पष्ट है कि पूरे खण्ड के लिये $YY$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण $I_{YY}$ पूरे खण्ड के $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण से अधिक होगा तथा $XX$ अक्ष पर परिभ्रमण त्रिज्या (Radius of gyration) न्यूनतम होगी।

अत: ऐसे खण्ड का चयन किया जाये जिसका क्षेत्रफल 875 mm$^2$ या अधिक हो तथा $r_{XX}$ का मान 19·125 mm से अधिक हो।

स्टील टेबल से, 75 mm × 75 mm × 6 mm समभुजीय कोणी खण्ड के गुणधर्म—

क्षेत्रफल = 866 mm$^2$

न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r = r_{XX} = 23{\cdot}0$ mm > 19·125 mm ठीक है।

इस खण्ड का चयन करते हुये—

$$\text{तनुता अनुपात} = \frac{l}{r} = \frac{1912{\cdot}5}{23} = 83{\cdot}16 < 180 \text{ ठीक} \quad \text{(तालिका 6.2)}$$

$$\frac{\text{बकाया टांग की लम्बाई}}{\text{मोटाई}} = \frac{75}{6} \text{ ठीक है सुरक्षित है।}$$

तालिका 6.3 से, $f_y = 250$ N/mm$^2$ के लिये

$l/r = 80$ के लिये, $\sigma_{ac} = 101$ N/mm$^2$

$l/r = 90$ के लिये, $\sigma_{ac} = 90$ N/mm$^2$ } अन्तर 11 N/mm$^2$

अत: $l/r = 83{\cdot}16$ के लिये, $\sigma_{ac} = (101 - 11 \times 0{\cdot}316)\ N/mm^2$
$= (101 - 3{\cdot}476)\ N/mm^2$
$= 97{\cdot}524\ N/mm^2$

उपांग का क्षेत्रफल $A = 2 \times 866\ mm^2 = 1732\ mm^2$

तथा उपांग पर सुरक्षित भार $= \sigma_{ac} \times A$
$= 97{\cdot}524 \times 1732\ N = 168911\ N$
$= \mathbf{168{\cdot}9\ kN > 140\ kN}$ अत: सुरक्षित है।

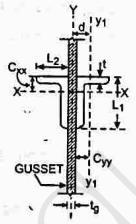
अत: 75 mm × 75 mm × 6 mm माप के दो समभुजीय कोणी खण्डों का प्रयोग किया जाये। **उत्तर**

**उदाहरण 6.13 : उदाहरण 6.12 में अंकित संपीडन उपांग के लिये दो असमभुजीय कोणी खण्डों का चयन कीजिये। कोणी खण्ड गसेट प्लेट के दोनों ओर (चित्र 6.19 के अनुसार रखते हुये) सम्बद्ध किये जायेंगे। अन्य आवश्यक आंकड़े उपरोक्त उदाहरण 6.12 के अनुसार लिये जायें।**

**हल :** उदाहरण 6.12 से—

उपांग पर भार = 1,40,000 N
उपांग की लम्बाई = 2250 mm
पराभव प्रतिबल, $f_y = 250\ N/mm^2$

उपांग में उत्पन्न प्रतिबल 80 $N/mm^2$ लेते हुये तथा यह मानते हुये कि सिरों पर न्यूनतम दो या अधिक रिवेट लगाये जायेंगे।



**चित्र 6.19**

प्रभावी लम्बाई, $l = 0{\cdot}85 \times 2250 = 1912{\cdot}5$ mm

उपांग के लिये आवश्यक क्षेत्रफल $= \dfrac{140000}{80} = 1750\ mm^2$

तथा एक कोणी खण्ड का क्षेत्रफल $= \dfrac{1750}{2} = 875\ mm^2$

स्टील टेबल से 75 × 50 × 8 (mm) कोणी खण्डों का चयन करते हुये इस कोणी खण्ड के गुणधर्म (चित्र 6.19)—

$L_1 = 75$ mm, $L_2 = 50$ mm
$t$ = खण्ड की मोटाई = 8 mm क्षेत्रफल $= A_1 = 9{\cdot}38\ cm^2 = 938\ mm^2$
$t_g = 10$ mm, $C_{YY} = 1{\cdot}28$ cm $= 12{\cdot}8$ mm
$I_{XX} = 51{\cdot}8\ cm^4$, $I_{Y_1Y_1} = 19{\cdot}3\ cm^4$
$r_{XX} = 23{\cdot}5$ mm

पूरे खण्ड के लिये (चित्र 6.19) क्षेत्रफल, $A = 2A_1 = 2 \times 938 = 1876\ mm^2$

जड़त्व आघूर्ण—

$I_{XX} = 2 \times 51{\cdot}8\ cm^4 = 103{\cdot}6 \times 10^4\ mm^4$

$I_{YY} = 2[I_{Y_1Y_1} + A_1 d^2]$
$= 2[18{\cdot}3 + 9{\cdot}38 \times 1{\cdot}78^2]\ cm^4$
$= 2[18{\cdot}3 + 29{\cdot}72]\ cm^4$
$= 2 \times 48{\cdot}02\ cm^4$
$= 96{\cdot}04 \times 10^4\ mm^4$

$d = C_{Y_1Y_1} + \dfrac{t_g}{2}$
$= 12{\cdot}8 + \dfrac{10}{2}$ mm
$= 17{\cdot}8$ mm अथवा $1{\cdot}78$ cm



इस प्रकार— $I_{YY} < I_{XX}$

तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r = \sqrt{\dfrac{96{\cdot}04 \times 10^4}{2 \times 938 \times 10^2}}$
$= 10\sqrt{5{\cdot}1194}$ mm $= 22{\cdot}6$ mm

माने गये प्रतिबल (80 $N/mm^2$) के अनुकूल तनुता अनुपात 100 के लिये अवश्यक न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या
$= \dfrac{1912{\cdot}5}{100} = 19{\cdot}125$ mm $< 22{\cdot}6$ mm ठीक है।

चयनित खण्ड 75 × 50 × 8 (mm) के साथ चित्र 6.19 में दर्शित व्यवस्था के लिये,
न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या $= 22{\cdot}6$ mm $> 19{\cdot}125$ mm ठीक है।

$\dfrac{\text{बकाया टांग की लम्बाई}}{\text{मोटाई}} = \dfrac{50}{8} = 6{\cdot}25 < 16$ (ठीक है)

अत: 75 mm × 50 mm × 8 mm माप के दो कोणी खण्ड उपयुक्त होंगे।

इन खण्डों के साथ उपांग के लिये—

क्षेत्रफल, $A = 1876\ mm^2$

तनुता अनुपात $= \dfrac{l}{r} = \dfrac{1912{\cdot}5}{22{\cdot}6} = 84{\cdot}62$

तालिका 6.3 से, $f_Y = 250\ N/mm^2$ के लिये
$l/r = 80$ के लिये, $\sigma_{ac} = 101\ N/mm^2$
$l/r = 90$ के लिये, $\sigma_{ac} = 90\ N/mm^2$ } अन्तर 11

अत: $l/r = 84{\cdot}62$ के लिये,
$\sigma_{ac} = (101 - 11 \times 0{\cdot}462)^2$
$= (101 - 5{\cdot}082)\ N/mm^2$

तथा उपांग का सामर्थ्य $= \sigma_{ac} \times A$
$= 95{\cdot}918 \times 1876\ N$
$= 179942\ N$
$= 179{\cdot}94$ kN $> 140$ kN. सुरक्षित है।

अत: चित्र 6.19 में दर्शित व्यवस्था के अनुसार 10 mm गसेट प्लेट के साथ दो 75 mm × 50 mm × 8 mm कोणी खण्ड प्रयोग किये जायें। **उत्तर**

**उदाहरण 6.14 : उदाहरण 6.13 में अंकित संपीडांग उपांग के लिये सिरों पर 20 mm रिवेटों की संख्या निर्धारित कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल– $f_s = 90\ N/mm^2$ तथा $f_b = 270\ N/mm^2$ मान लें।**

**हल :** उदाहरण 6.13 से—

उपांग पर भार = 140 kN
चयित कोणी खण्ड = 75 × 50 × 8 (mm) कोणी खण्ड
अनुज्ञेय प्रतिबल $f_s = 90\ N/mm^2$ तथा $f_b = 270\ N/mm^2$

चित्र 6.19 में दर्शित व्यवस्था के लिये, रिवेटों का द्वितल अपरूपण होगा।

civilguru.net

20 mm रिवेटो का सकल व्यास, $d = (20 + 1{\cdot}5)\text{ mm} = 21{\cdot}5\text{ mm}$

$f_s = 90\text{ N/mm}^2$

तथा रिवेट का अपरूपण सामर्थ्य $= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 21{\cdot}5^2 \times 90\text{ N}$

$= 65340\text{ N}$ अथवा $65{\cdot}34\text{ kN}$

पुन: कोणी खण्डो की कुल मोटाई $= 2 \times 8 = 16\text{ mm}$

गसेट प्लेट की मोटाई $= 10\text{ mm}$

अत: धारण सामर्थ्य 10 mm प्लेट के लिये लेना होगा।

इस प्रकार धारण सामर्थ्य $= d \times t_g \times f_b = 21{\cdot}5 \times 10 \times 270\text{ N}$

$= 58050\text{ N}$ अथवा $58{\cdot}05\text{ kN}$

अत: रिवेट मान, $R = 58{\cdot}05\text{ kN}$ (जो कम है)

तथा रिवेटो की संख्या $\frac{\text{उपांग पर बल}}{\text{रिवेट मान}} = \frac{140}{58{\cdot}05} = 2{\cdot}41$ अथवा 3 रिवेट

अत: तीन रिवेट लगाये जायें। **उत्तर**

**उदाहरण 6.15 : छत कैंची के एक मुख्य रैफ्टर के लिये दो असमभुजीय कोणी खण्डों का चयन कीजिये। कोणी खण्डों की लम्बी टांगें गसेट प्लेट की दोनों ओर सम्बद्ध की गयी हैं। अन्य आंकड़े निम्नवत् हैं—उपांग की लम्बाई = 3000 mm, उपांग पर भार = 220 kN, पराभव प्रतिबल = 250 N/mm², गसेट प्लेट मोटाई = 12 mm। चयित खण्ड के लिये सिरों पर 20 mm रिवेटों की संख्या निर्धारित कीजिये। रिवेटों के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल $f_s = 90\text{ N/mm}^2$ तथा $f_b = 270\text{ N/mm}^2$ लीजिये। सिरों पर रिवेटों के लिये तथा आबंधन रिवेटों के लिये पिच निर्धारित कीजिये।**

**हल :**

उपांग पर भार = 220 kN

उपांग की लम्बाई = 3000 mm

स्पष्ट है कि मुख्य रैफ्टर मे स्थित यह उपांग सतत (Continuous) होगा। अत: उपांग की प्रभावी लम्बाई = 3000 mm

उपांग मे उत्पन्न प्रतिबल 80 N/mm² ($l/r = 100$) मानते हुये—

आवश्यक कुल क्षेत्रफल $= \frac{220000}{80} = 2750\text{ mm}^2$

तथा एक कोणी खण्ड का क्षेत्रफल $= \frac{2750}{2} = 1375\text{ mm}^2$

आवश्यक न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या $= \frac{3000}{100} = 30{\cdot}0\text{ mm}$

स्टील टेबल से—100 × 65 × 10 (mm) कोणी खण्ड के गुणधर्म—

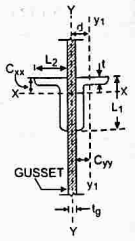
क्षेत्रफल, $A_1 = 15{\cdot}51\text{ cm}^2 = 1551\text{ mm}^2$

$L_1 = 100\text{ mm}$, $L_2 = 65\text{ mm}$, $t = 10\text{ mm}$

जड़त्व आघूर्ण—

$I_{X_1} = 153{\cdot}2\text{ cm}^4 = 153{\cdot}2 \times 10^4\text{ mm}^4$

$I_{Y_1Y_1} = 50{\cdot}7\text{ cm}^4 = 50{\cdot}7 \times 10^4\text{ mm}^4$




चित्र 6.20



गुरुत्व केन्द्र की दूरी, $C_{YY} = 16{\cdot}3\text{ mm}$

परिभ्रमण त्रिज्या, $r_{XX} = 31{\cdot}4\text{ mm}$

$r_{YY} = 18{\cdot}1\text{ mm}$ तथा $r_{VV} = 13{\cdot}8\text{ mm}$ (न्यूनतम)

चित्र 6.20 में दर्शित कोणी खण्डों की व्यवस्था के लिये

$\frac{\text{बकाया टांग की लम्बाई}}{\text{मोटाई}} = \frac{65}{10} = 6{\cdot}5 < 16$ (ठीक है)

पूरे खण्ड के लिये जड़त्व आघूर्ण, $I_{XX} = 2 \times 153{\cdot}2 \times 10^4\text{ mm}^4$

$= 306{\cdot}6 \times 10^4\text{ mm}^4$

पुन: $d = C_{YY} + \frac{t_g}{2}$

$= \left(16{\cdot}3 + \frac{12}{2}\right)\text{mm}$

$= 22{\cdot}3\text{ mm}$ अथवा $(2{\cdot}23\text{ cm})$

तथा $I_{YY} = 2[50{\cdot}7 + 15{\cdot}51 \times 2{\cdot}23^2] \times 10^4\text{ mm}^4$

$= 2[50{\cdot}7 + 77{\cdot}13] \times 10^4\text{ mm}^4$

$= 2 \times 127{\cdot}83 \times 10^4\text{ mm}^4$

$= 255{\cdot}66 \times 10^4\text{ mm}^4$

इस प्रकार $I_{YY} < I_{XX}$

तथा न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r = \sqrt{\frac{255{\cdot}66 \times 10^4}{2 \times 15{\cdot}51 \times 10^2}}\text{ mm}$

$= 10\sqrt{\frac{255{\cdot}66}{2 \times 15{\cdot}51}}\text{ mm} = 28{\cdot}71\text{ mm}$

अत: तनुता अनुपात $= \frac{3000}{28{\cdot}71} = 104{\cdot}5$

$f_Y = 250\text{ N/mm}^2$ के लिये, तालिका 6.3 से—

$l/r = 100$ के लिये, $\sigma_{ac} = 80\text{ N/mm}^2$

$l/r = 110$ के लिये, $\sigma_{ac} = 72\text{ N/mm}^2$ } अन्तर 8

तथा $l/r = 104{\cdot}5$ के लिये, $\sigma_{ac} = (80 - 8 \times 0{\cdot}45)\text{ N/mm}^2$

$= (80 - 3{\cdot}6)\text{ N/mm}^2$

$= 76{\cdot}4\text{ N/mm}^2$

तथा उपांग का सामर्थ्य $= \sigma_{ac} \times A$

$= 76{\cdot}4 \times 2 \times 1551\text{ N}$

$= 236992\text{ N}$ अथवा $237\text{ kN} > 220\text{ kN}$ सुरक्षित है।

**सिरों पर रिवेटों की संख्या—**

अनुज्ञेय प्रतिबल, $f_s = 90\text{ N/mm}^2$ तथा $f_b = 270\text{ N/mm}^2$

civilguru.net

यहाँ रिवेटो का द्वितल अपरूपण (Double shear) होगा। अत: एक रिवेट के लिये—

$$\text{अपरूपण सामर्थ्य} = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 21{\cdot}5^2 \times 90 \text{ N}$$

$$\text{(द्वितल अपरूपण)} = 65340 \text{ N अथवा } 65{\cdot}34 \text{ kN}$$

पुन: कोणी खण्ड की मोटाई = 10 mm

गसेट प्लेट की मोटाई = 12 mm

कोणी खण्डो की कुल मोटाई = 2 × 10 = 20 mm

अत: धारण सामर्थ्य 12 mm मोटाई पर ज्ञात किया जायेगा।

इस प्रकार धारण सामर्थ्य = 21·5 × 12 × 270 kN

= 69660 अथवा 69·66 kN

अत: रिवेट मान = 65·34 kN (जो कम है)

$$\text{रिवेटो की संख्या} = \frac{\text{उपांग पर बल}}{\text{रिवेट मान}} = \frac{220}{65{\cdot}34} = 3{\cdot}36 \quad \text{अथवा} \quad 4$$

अत: प्रत्येक सिरे पर 4 रिवेट लगाये जाये।

न्यूनतम पिच = रिवेट व्यास = 2·5 × 20 = 50 mm

पिच 50 mm से कम नहीं होना चाहिये। अत: पिच 50 mm रखा जावे।

**आबंधन रिवेट**—विशिष्टियों के अनुसार,

आबंधन रिवेट इस प्रकार लगाये जायें कि—

(i) रिवेट केन्द्रो के बीच प्रत्येक घटक खण्ड का तनुता अनुपात 40 अथवा उपांग के लिये अधिकतम तनुता अनुपात के 60% से अधिक न हो।

(ii) रिवेट केन्द्रों क बीच अधिकतम दूरी 600 mm से अधिक न हो।

इस उपांग के लिये—

तनुता अनुपात = 104·5

$$\text{इसका } 60\% = 104{\cdot}5 \times \frac{60}{100} = 62{\cdot}7 > 40$$

अत: रिवेट केन्द्रो के बीच दूरी इस प्रकार रखी जाये कि एक घटक खण्ड (एक कोणी खण्ड) के लिये तनुता अनुपात 40 से अधिक न हो।

एक कोणी खण्ड 100 mm × 65 mm × 10 mm के लिये,

न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r_{VV}$ = 13·8 mm

अधिकतम तनुता अनुपात = 40

अत: आबंधन रिवेटों के बीच अधिकतम दूरी = 13·8 × 40 mm

= 552 mm < 600 mm

अत: सुविधा के लिये यह दूरी 500 mm रखी जाये।

**नोट**—यदि तनुता अनुपात × न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या का गुणनफल 600 से अधिक आता हो तो यह दूरी 600 mm ही रखी जाती है जो आबंधन रिवेटो के लिये सपीडन उपागो हेतु निर्धारित है।



**उदाहरण 6.16 : 126 kN भार वहन करने हेतु एक असतत संपीडांग के लिये समभुजीय दो कोणी खण्डों का चयन कीजिये। संरचनात्मक व्यवस्था के कारण कोणी खण्डों को पीठ-से-पीठ रखते हुये गसेट प्लेट के एक ही ओर सम्बद्ध किया जाता है। संपीडांग की लम्बाई 2800 mm है। 18 mm रिवेटों के साथ सम्बद्ध करने हेतु रिवेटों की संख्या भी ज्ञात कीजिये। जोड़ को चित्रित कीजिये।**

**$f_s$ = 100 N/mm² तथा $f_b$ = 300 N/mm² लीजिये। रिवेट व्यवस्था दर्शित कीजिये।**

**हल :** संपीडांग पर भार = 126 kN = 126000 N

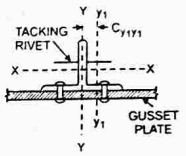
लम्बाई = 2800 mm

प्रभावी लम्बाई = $l$

= 0·85 × 2800 mm

= 2380 mm

संभाव्य प्रतिबल = 80 N/mm²




चित्र 6.21

($l / r$) = 100 लेते हुये—

$$\text{आवश्यक क्षेत्रफल} = \frac{126000}{80} \text{ mm}^2$$

$$= 1575 \text{ mm}^2$$

$$\text{एक कोणी खण्ड का क्षेत्रफल} = \frac{1575}{2} \text{ mm}^2 = 787{\cdot}5 \text{ mm}^2$$

$$\text{आवश्यक न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या} = \frac{2380}{100} = 23{\cdot}8 \text{ mm}$$

स्पष्ट है कि समभुजीय कोणी खण्डो का चयन किये जाने पर न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या $r_{xx}$ के समान होगी।

अत: स्टील टेबल से 75 mm × 75 mm × 6 mm कोणी खण्ड के लिये—

क्षेत्रफल = 8·66 cm² = 866 mm²

तथा $r_{xx}$ = 23·0 mm, $r_{min}$ = 14·6 mm

परिभ्रमण त्रिज्या आवश्यक 23·8mm से कम है यद्यपि क्षेत्रफल अधिक होने से खण्ड सुरक्षित होगा। इस खण्ड के लिये—

$$\frac{\text{लटकन टांग की लम्बाई}}{\text{मोटाई}} = \frac{75}{6} = 12{\cdot}5 < 16, \text{ ठीक है।}$$

$$A = \text{क्षेत्रफल} = 2 \times 866 = 1732 \text{ mm}^2$$

$$\text{तनुता अनुपात} = \frac{l}{r} = \frac{2380}{23} = 103{\cdot}48$$

तालिका 6.3 से, $f_y$ = 250 N/mm² के लिये—

$l / r$ = 100 के लिये, $\sigma_{ac}$ = 80 N/mm²

$l / r$ = 110 के लिये, $\sigma_{ac}$ = 72 N/mm² } अन्तर 8

अत: $l / r$ = 103·48 के लिये, $\sigma_{ac}$ = (80 – 8 × 0·348) N/mm²

= (80 – 2·78) N/mm²

= 77·22 N/mm²

सामर्थ्य = $\sigma_{ac} \times A$ = 77·22 × 1732 N

= 133740 N अथवा 133·75 kN > 126 kN, सुरक्षित है।

**रिवेटों की संख्या**—$f_s = 100\ N/mm^2$ व $f_b = 300\ N/mm^2$

यहाँ रिवेटो का एकतल अपरूपण (Single Shear) होगा।

खण्ड की मोटाई = 6 mm

गसेट प्लेट की की मोटाई = 10 mm

अत: धारण सामर्थ्य 6 mm मोटाई पर ज्ञात की जायेगी।

रिवेट का कुल व्यास, $d = (18 + 1{\cdot}5)\ mm$

$= 19{\cdot}5\ mm$

अत: अपरूपण सामर्थ्य $= \left(\frac{\pi}{4}\right) \times d^2 \times f_s$

$= \left(\frac{\pi}{4}\right) \times 19{\cdot}5^2 \times 100\ N$

$= 29860\ N$ अथवा $29{\cdot}86\ kN$

धारण सामर्थ्य $= d \times t \times f_b$

$= 19{\cdot}5 \times 6 \times 300\ N$

$= 35100\ N$ अथवा $35{\cdot}10\ kN$

तथा रिवेट मान = 29·86 kN (जो कम है)

अत: आवश्यक रिवेट संख्या $= \frac{126}{29{\cdot}86}$

$= 4{\cdot}22$ अथवा 5 रिवेट

रिवेट व्यवस्था सममितीय (Symmetrical) रखने हेतु प्रत्येक खण्ड पर **तीन-तीन** रिवेट लगाये जायें।

**आबंधन रिवेट**—आबन्धन रिवेट इस प्रकार लगाये जायें कि—

(i) रिवेट केन्द्रो के बीच प्रत्येक घटक खण्ड का तनुता अनुपात 40 अथवा पूरे उपांग के लिये अधिकतम तनुता अनुपात के 60% से अधिक न हो।

(ii) रिवेट केन्द्रो के बीच अधिकतम दूरी 600 mm से अधिक न हो।

उपांग के लिये तनुता नियम = 103·48

इसका 60% = 0·6 × 103·48 = 62

अत: तनुता अनुपात 40 से अधिक न हो।

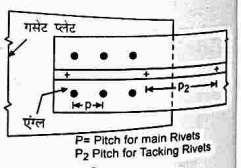
रिवेट केन्द्रो के बीच दूरी $= 40 \times r_{min}$

$= 40 \times 14{\cdot}6\ mm$

$= 584\ mm$

अत: **यह दूरी 560 mm रखी जाये।**

रिवेट व्यवस्था चित्र 6.22 मे दर्शित है।




P= Pitch for main Rivets
$P_2$ Pitch for Tacking Rivets

चित्र 6.22

**उदाहरण 6 17 : 400 kN भार वहन करने हेतु एक स्तम्भ के लिये I खण्ड का चयन कीजिये। स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई 4000 mm है। यह दोनों सिरों पर प्रभावी रूप से स्थिति में आबद्ध तथा घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित है।**

**हल—**

स्तम्भ पर भार = 400 kN = 400000 N

स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई, $L = 4000\ mm$



स्तम्भ के लिये दिये गये सिरा स्थिति के लिये—

प्रभावी लम्बाई, $l = 0{\cdot}65\ L$

$= 0{\cdot}65 \times 4000\ mm = 2600\ mm$

सम्भाव्य प्रतिबल (Possible stress) = 100 N/mm² ($l/r = 80$) लेते हुये—

आवश्यक क्षेत्रफल $= \frac{400000}{100} = 4000\ mm^2$

आवश्यक न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r = \frac{2600}{80} = 32{\cdot}5\ mm$

स्टील टेबल से निम्न खण्ड उपयुक्त होंगे—

| खण्ड | भार प्रति मी० (Kg) | क्षेत्रफल ($mm^2$) | न्यू० परि० त्रिज्या (mm) |
|---|---|---|---|
| ISWB-225 | 33·9 | 4320 | 32·2 |
| ISWB-250 | 40·9 | 5205 | 40·6 |

ISWB-225 लेते हुये, तनुता अनुपात $= \frac{2600}{32{\cdot}2} = 80{\cdot}74$

तालिका 6.3 से, $f_y = 250\ N/mm^2$ लेने पर—

$l/r = 80$ के लिये, $\sigma_{ac} = 101\ N/mm^2$

$l/r = 90$ के लिये, $\sigma_{ac} = 90\ N/mm^2$ } अन्तर 11

अत: $l/r = 80{\cdot}74$ के लिये, $\sigma_{ac} = (101 - 11 \times 0{\cdot}074)\ N/mm^2$

$= (101 - 0{\cdot}814)\ N/mm^2$

$= 100{\cdot}186\ N/mm^2$

तथा भार क्षमता $= \frac{100{\cdot}186 \times 4320}{1000}\ kN$

$= 432{\cdot}77\ kN > 400\ kN$ सुरक्षित है।

अत: ISWB-225 खण्ड प्रयोग किया जा सकता है। **उत्तर**

**उदाहरण 6.18 : 1500 kN अक्षीय भार वहन करने हेतु एकल I खण्ड का चयन कीजिये। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 5000 mm तथा पराभव प्रतिबल, $f_y = 250\ N/mm^2$ लीजिये।**

**हल :** स्तम्भ पर भार = 1500 kN = 15,00,000 N

प्रभावी लम्बाई = 5000 mm

संभाव्य प्रतिबल = 100 N/mm लेते हुये—

इस प्रतिबल के लिये $\frac{l}{r} = 80$ लगभग

आवश्यक प्रतिबल $= \frac{15.00.000}{100} = 15000\ mm^2$

$r = \frac{5000}{80} = 62{\cdot}5$

civilguru.net

स्टील टेबल से ISWB-600 @145·1 kg के गुणधर्म—

क्षेत्रफल = 18486 mm², $r_{YY}$ = 53·5 mm

$r_{YY}$ का मान आवश्यक 62·5 से कम है, यद्यपि क्षेत्रफल अधिक है। अत: उपर्युक्त हो सकता है।

इस खण्ड के साथ—

$$\text{तनुता अनुपात} = \frac{5000}{53{\cdot}5} = 93{\cdot}46$$

$l/r = 90$ के लिये, $\sigma_{ac} = 90$ N/mm²
$l/r = 100$ के लिये, $\sigma_{ac} = 80$ N/mm² } अन्तर 10 N/mm²

$l/r = 93{\cdot}46$ के लिये, $\sigma_{ac} = (90 - 10 \times 0{\cdot}346)$ N/mm²
$= (90 - 3{\cdot}46)$ N/mm²
$= 86{\cdot}54$ N/mm²

सुरक्षित भार $= \sigma_{ac} \times A$
$= 86{\cdot}54 \times 18486$ N
$= 86{\cdot}54 \times 19{\cdot}486$ kN
$= 1599{\cdot}8$ kN > 1500 kN, सुरक्षित है। उत्तर

**उदाहरण 6.19 : 850 kN भार वहन करने हेतु एक स्तम्भ के लिये दो चैनेल खण्डों का चयन कीजिये। चैनेल खण्डों को पीठ-से-पीठ रखते हुये इनमें शुद्ध दूरी निर्धारित कीजिये। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 3500 mm लीजिये।**

**हल :** स्तम्भ पर भार = 850 kN = 850000 N

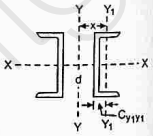
प्रभावी लम्बाई, $l$ = 3500 mm

सम्भाव्य प्रतिबल, $\sigma_{ac}$ = 140 N/mm²

($l/r = 40$) मानते हुये—

खण्ड के आवश्यक गुणधर्म,

$$A = \text{क्षेत्रफल} = \frac{850000}{140} = 6071 \text{ mm}^2$$



चित्र 6.23

तथा एक चैनल खण्ड का क्षेत्रफल, $A_1 = \frac{6071}{2} = 3035{\cdot}5$ mm²

न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या $= \frac{3500}{40} = 87{\cdot}5$ mm

स्टील टेबल से ISMC-225 के गुणधर्म

$A_1$ = क्षेत्रफल = 33·01 × 10² mm²

जड़त्व आघूर्ण, $I_{X_1} = 2694{\cdot}6 \times 10^4$ mm⁴

$I_{Y_1Y_1} = 187{\cdot}2 \times 10^4$ mm⁴

$C_{Y_1Y_1} = 2{\cdot}30 \times 10$ mm

$r_{XX} = 9{\cdot}08 \times 10$ mm

खण्डों को पीठ-से-पीठ इस प्रकार रखा जायेगा कि स्तम्भ का दोनों दिशाओं में व्याकुँचन प्रतिरोध समान होगा। अत: न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, $r_{XX} = 90{\cdot}8$ mm होगी।



तथा $\text{तनुता अनुपात} = \frac{l}{r} = \frac{3500}{90{\cdot}8} = 38{\cdot}55$

$l/r = 30$ के लिये, $\sigma_{ac} = 145$ N/mm²
$l/r = 40$ के लिये, $\sigma_{ac} = 139$ N/mm² } अन्तर 6

तथा $l/r = 38{\cdot}55$ के लिये, $\sigma_{ac} = (145 - 6 \times 0{\cdot}855)$ N/mm²
$= (145 - 5{\cdot}13)$ N/mm²
$= 139{\cdot}87$ N/mm²

तथा सामर्थ्य $= \sigma_{ac} \times A$
$= 139{\cdot}87 \times 2 \times 33{\cdot}01 \times 10^2$ N
$= 923421$ N

अथवा 923·42 kN > 860 kN, सुरक्षित है।

खण्डो के बीच शुद्ध दूरी—

चित्र 6.23 के अनुसार—

$A_1 = 33{\cdot}01 \times 10^2$ mm², $C_{Y_1Y_1} = 2{\cdot}3 \times 10 = 23{\cdot}0$ mm

$I_{X_1} = 2694{\cdot}6 \times 10^4$ mm⁴

$= I_{Y_1Y_1} = 187{\cdot}2 \times 10^4$ mm⁴

पूरे खण्ड के लिये, $I_{XX} = 2 \times 2694{\cdot}6 \times 10^4$ mm⁴

$I_{YY} = 2[I_{Y_1Y_1} + A_1X^2]$
$= 2 \times 187{\cdot}2 \times 10^4 + 2 \times 33{\cdot}10 \times 10^2 \times x^2$

दोनों दिशाओं में समान प्रतिरोध के लिये, $I_{XX} = I_{YY}$

अथवा $2 \times 2694{\cdot}6 \times 10^4 = 2 \times 187{\cdot}2 \times 10^4 + 2 \times 33{\cdot}01 \times 10^2 \times x^2$

अथवा $33{\cdot}01 \times 10^2 \times x^2 = (2694{\cdot}6 - 187{\cdot}2) \times 10^4$

तथा $x^2 = \frac{2507{\cdot}4 \times 10^4}{33{\cdot}01 \times 10^2}$

अथवा $x = 10\sqrt{(75{\cdot}96)} = 87{\cdot}10$

तथा $d$ = चैनल खण्डों के बीच शुद्ध दूरी
$= 2(x - C_{Y_1Y_1})$
$= 2\,(87{\cdot}1 - 23{\cdot}0)$ mm
$= 2 \times 64{\cdot}1$ mm
$= 128{\cdot}2$ उत्तर

## § 6.9. जालक व बैटन पद्धति (Lacing and Battening) :

पिछले अनुच्छेदो मे हमने देखा कि अधिक भार क्षमता के लिये सघटित स्तम्भ का प्रयोग किया जाता है तथा इन स्तम्भों के लिये खण्डो के संयोजन हेतु सामान्यत: दो संरचनात्मक इस्पातीय खण्डो (जैसे I खण्ड, चैनल खण्ड) का प्रयोग किया जाता है। इस स्थिति मे यह आवश्यक है कि भार के सुरक्षित वहन हेतु संघटित स्तम्भ के घटक मिलकर एक इकाई की तरह कार्य करें।

civilguruji.net

यह तभी सम्भव होगा जब घटक खण्ड एक दूसरे के साथ प्रभावी रूप से **बंधे** हो। खण्डो के घटको को प्रभावी रूप से बांधने के लिये की जाने वाली व्यवस्था को **जालक** व **बैटन** पद्धति कहा जाता है।

**6.9-1. जालक पद्धति** (Lacing)—इस पद्धति मे स्तम्भ के घटको को जालक छड़ो (Lacing bars) द्वारा एक दूसरे के साथ बांधा जाता है। जालक पद्धति विशेष रूप से स्तम्भ पर उत्केन्द्रित भार आने की स्थिति मे उपयुक्त है।

जालक पद्धति के दो प्रकार है—

(i) इकहरी जालक व्यवस्था (Single lacing system)।

(ii) दोहरी जालक व्यवस्था (Double lacing system)।

इकहरी जालक व्यवस्था मे जालक छड़ स्तम्भ के घटक खण्डो को बांधते हुए क्रमागत त्रिभुज (Consecutive triangles) बनाते है। (चित्र 62.4 (क) देखें)

दोहरी जालक व्यवस्था मे जालक छड़ (Lacing bars) एक दूसरे को काटते हुए घटक खण्डो को बांधते हैं।

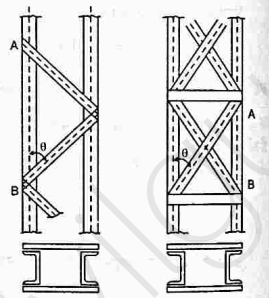
(1) **जालक पद्धति की विशेषतायें**—चित्र 6.24 मे जालक पद्धति दर्शित है। जालक पद्धति का प्रयोग कर संपीडन उपांगो के घटको को एक-दूसरे के साथ बांधते समय भारतीय मानक I.S. 800-1984 द्वारा निर्धारित निम्न बाते महत्वपूर्ण है, जिस पर जालक व्यवस्था का अभिकल्पन आधारित होता है—

(i) दो खण्डो का प्रयोग करते हुये संयोजित संपीडन उपांगो के लिये जालक व्यवस्था के समतल के लम्बवत् अक्ष (*YY* अक्ष) पर परिभ्रमण त्रिज्या जालक व्यवस्था के समतल मे स्थित अक्ष (*XX* अक्ष) पर परिभ्रमण त्रिज्या से कम नहीं होनी चाहिये।

$$r_{YY} \geq r_{XX}$$

(ii) संपीडन उपाग/स्तम्भ के पूरे लम्बाई मे जालक व्यवस्था एकसमान रखी जानी चाहिये।

(iii) जालक व्यवस्था (इकहरी व दोहरी दोनों) में जालक छड़ों (Lacing bars) को इस प्रकार लगाया जाता है कि कोण "θ" का मान 40° से कम व 70° से अधिक न हो। (चित्र 6.24 देखें)।



(क) इकहरी जालक व्यवस्था (ख) दोहरी जालक व्यवस्था

**चित्र 6.24—जालक पद्धति**

(iv) जालक छड़ो के लिये तनुता अनुपात 145 से अधिक नहीं होना चाहिये।

(v) जालक छड़ों का अन्तराल इस प्रकार रखा जाता है कि इस अन्तराल (*AB*) के लिये एक घटक खण्ड का तनुता अनुपात पूरे खण्ड के लिये अधिकतम प्रतिकूल तनुता अनुपात के 0.7 गुना अथवा 50 से अधिक न हो।

यदि पूरे स्तम्भ का तनुता अनुपात = 40 तब एक घटक खण्ड का अन्तराल *AB* के लिये तनुता अनुपात—

(क) 50 से अधिक न हो।

(ख) 0·7 × 40 अथवा 28 से अधिक न हो।

(vi) जालक छड़ो मे अभिकल्पन हेतु अपरूपण बल का मान स्तम्भ पर आने वाले भार का 2·5% लिया जाता है।

$$\text{अपरूपण बल} = \frac{2{\cdot}5}{100} \times (\text{स्तम्भ पर अक्षीय भार})$$

जालक छड़ो का अभिकल्पन उस पर आने वाले अपरूपण बल के फलस्वरूप संपीडन बल अथवा तनन बल के लिये किया जाता है।



(vii) रिवेट व्यास के अनुसार जालक छड़ो की न्यूनतम चौड़ाई निम्नवत् रखी जाती है—

| रिवेट व्यास (सामान्य) (mm) | चौड़ाई (mm) |
|---|---|
| 16 ... ... ... | 50 |
| 18 ... ... ... | 55 |
| 20 ... ... ... | 60 |
| 22 ... ... ... | 65 |

(viii) जालक छड़ (चपटी पत्ती) की मोटाई दो निकटतम (आंतरिक) रिवेट केन्द्रो के बीच दूरी के अनुपात मे निम्नवत् रखी जानी चाहिये—

यदि यह दूरी = $D_1$ तब इकहरी व्यवस्था में मोटाई = $\frac{1}{40} \times D_1$

दोहरी व्यवस्था में मोटाई = $\frac{1}{60} \times D_1$

**6.9-2. बैटन पद्धति** (Battening)—बैटन पद्धति मे स्तम्भ के घटक खण्डो (Component sections) को बैटन प्लेटो द्वारा बांधा जाता है। इन्हे घटको के साथ रिवेट अथवा वेल्ड द्वारा जोड़ा जाता है। स्तम्भ पर उत्केन्द्रित भार (Eccentric load) आने की स्थिति मे बैटन व्यवस्था उपयुक्त नही होती।

**(1) बैटन व्यवस्था की विशेषतायें**—भारतीय मानक I.S. : 800-1994 के अनुसार बैटन व्यवस्था की विशेषतायें एवं अभिकल्पन के आधार निम्न हैं—

(i) बैटन व्यवस्था के साथ स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई विशिष्ट सिरा स्थितियों (End condition) के लिये सामान्यत: ली जाने वाली प्रभावी लम्बाई से 10% अधिक ली जाती है।
जैसे किसी स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 3000 mm हो। यदि इसमें बैटन व्यवस्था का प्रयोग किया जाये तो भार गणना हेतु प्रभावी लम्बाई 3300 mm (10% अधिक) ली जायेगी।

(ii) बैटन व्यवस्था के लिये स्तम्भ के दोनों घटक खण्ड एक रूप (एक समान काट के) होने चाहिये। जहाँ तक सम्भव है, स्तम्भ की बैटन समतल के लम्बवत् अक्ष (*YY* अक्ष) पर परिभ्रमण त्रिज्या बैटन समतल मे स्थित (*XX* अक्ष) पर परिभ्रमण त्रिज्या से कम नहीं होनी चाहिये।

(iii) प्रत्येक सिरे पर तथा स्तम्भ की लम्बाई में बैटन एक दूसरे के सामने लगाये जाने चाहिये। इनमे दूरियाँ स्तम्भ की लम्बाई मे एक समान रखी जानी चाहिये।

(iv) बैटनों की संख्या इतनी हो कि स्तम्भ की लम्बाई न्यूनतम तीन भागो मे विभाजित हो।

(v) बैटन का अभिकल्पन स्तम्भ पर आने वाले अक्षीय भार के 2·5% अनुप्रस्थ अपरूपण बल के फलस्वरूप आने वाले बंकन आघूर्ण व अपरूपण बल के लिये किया जाता है।

(vi) प्रत्येक बैटन की प्रभावी गहराई किनारो पर लगे रिवेट केन्द्रो/वेल्ड के बीच अनुदैर्ध्य दूरी के समान ली जाती है।
(क) यह प्रभावी गहराई सिरो पर लगे बैटनो के लिये मुख्य उपांगों के गुरुत्व केन्द्रो के बीच लम्बवत् दूरी से कम नहीं होनी चाहिये।
(ख) अन्य बैटनों के लिये यह गहराई उपरोक्त दूरी के 3/4 से कम नहीं होनी चाहिये।
(ग) यद्यपि किसी भी स्थिति में प्रभावी गहराई बैटन समतल मे घटक खण्ड के चौड़ाई के दो गुना से कम नहीं होनी चाहिये।

(vii) बैटन प्लेट की मोटाई उन्हें जोड़ने वाले आन्तरिक रिवेट/वेल्ड रेखा के बीच दूरी के 1/50 से कम नही होनी चाहिये।

(viii) एक घटक खण्ड की बैटन प्लेटो के किनारो पर लगे रिवेट केन्द्रो के बीच लम्बाई के लिये तनुता अनुपात
(क) 50 से अधिक नही होना चाहिये। अथवा
(ख) पूरे स्तम्भ के लिये तनुता अनुपात को 0·7 गुना से अधिक नही होना चाहिये।

## अभ्यास प्रश्न-6

. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—

(i) स्तम्भ (Column) व सपोडाग (Strut) मे अन्तर स्पष्ट करे।

(ii) व्याकुंचन भार (Buckling load) से आप क्या समझते है?

(iii) स्तम्भ/सपोडाग की भार क्षमता किन बातो पर निर्भर करती है?

(iv) निम्न सिरा स्थितियां चित्र द्वारा दर्शित कीजिये—

(क) स्थिति मे प्रभावी रूप से आबद्ध परन्तु घूर्णन के विरुद्ध प्रतिरोधित नही।

(ख) घूर्णन के विरुद्ध आशिक रूप से प्रतिरोधित परन्तु स्थिति मे आबद्ध।

(ग) घूर्णन के विरुद्ध प्रतिरोधित परन्तु स्थिति मे आवद्ध नही।

(v) स्टील टेबल की सहायता से निम्न कोणी खण्डो के लिये न्यूनतम जड़त्व आघूर्ण ज्ञात कीजिये—

(क) 60 × 60 × 8 mm कोणी खण्ड (ख) 75 × 75 × 6 mm कोणी खण्ड

(ग) 90 × 90 × 10 mm कोणी खण्ड **[उत्तर**—11·85 × $10^4$, 18·46 × $10^4$, 51·56 × $10^4$ (सभी $mm^4$ मे)]

(vi) सपोडागो के सदर्भ मे तनुता अनुपात का महत्व लिखो।

(vii) दिये गये आकड़ो की सहायता से निम्न तनुता अनुपातो के लिये अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल ज्ञात करे : 93·65, 104·56, 111·23, 127·8

| तनुता अनुपात | अनु० अक्षीय संपीडन प्रतिबल ($N/mm^2$) |
|---|---|
| 90 | 90 |
| 100 | 80 |
| 110 | 72 |
| 120 | 64 |
| 130 | 57 |

**[उत्तर**—86·35, 76·35, 71·02 व 58·54 $N/mm^2$]

(viii) सतत सपीडाग व असतत सपीडांग मे अन्तर चित्र द्वारा स्पष्ट करें।

(ix) सतत संपीडाग की प्रभावी लम्बाई कैसे निर्धारित की जाती है?

(x) निम्न सपीडन उपांगो की प्रभावी लम्बाईयां ज्ञात करे—

| प्रकार | वास्तविक लम्बाई | सिरों पर रिवेटों की संख्या |
|---|---|---|
| सतत | 3250 | 3 |
| असतत | 2750 | 2 |
| असतत | 2200 | 1 |
| सतत | 2750 | 3 |

**[उत्तर**—3250, 2337·5, 2200, 2750 mm]

2. एक असतत सपांडन उपांग के लिये एक 90 × 90 × 6 (mm) कोणी खण्ड का प्रयोग किया गया है। उपांग की प्रभावी लम्बाई 3000 mm है। यदि पराभव प्रतिबल 260 $N/mm^2$ हो तो उपाग के लिये सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये। **[उत्तर**—37·24 kN]



3. एकल कोणी खण्डो द्वारा संयोजित निम्न असतत संपीडन उपागो का सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। कोणी खण्ड के परिमाप, वास्तविक लम्बाई, सिरो पर रिवेटो की सख्या, पराभव प्रतिबल निम्न तालिका मे अंकित है—

| कोणी खण्ड परिमाप (mm) | वास्त० लम्बाई (mm) | सिरों पर रिवेट सं० | पराभव प्रतिबल ($N/mm^2$) |
|---|---|---|---|
| (i) 50 × 50 × 6 | 1200 | एक | 240 |
| (ii) 70 × 70 × 10 | 2250 | दो | 250 |
| (iii) 90 × 90 × 8 | 3000 | तीन | 250 |
| (iv) 110 × 110 × 10 | 3250 | तीन | 260 |

**[उत्तर**—(i) 27·0 kN, (ii) 65·1 kN, (iii) 65·6 kN, (iv) 121·36 kN]

4. एक असतत सपीडन उपांग के लिये दो 75 × 75 × 6 (mm) कोणी खण्ड 10 mm गसेट प्लेट के दोनो ओर लगाते हुये खण्ड का संयोजन किया गया। उपांग की लम्बाई 3000 mm है तथा उसे प्रत्येक सिरे पर दो रिवेटो द्वारा गसेट प्लेट से सम्बद्ध किया गया है। उचित दूरियो पर आवधन रिवेट लगाये गये है। पराभव प्रतिबल 250 $N/mm^2$ लेते हुये उपाग के लिये सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये। **[उत्तर**—123·5 kN]

5. एक असतत सपीडन उपांग के लिये एक 100 × 100 × 8 (mm) कोणी खण्ड का प्रयोग किया गया। उपाग की वास्तविक लम्बाई 2250 mm तथा $f_y$ = 250 $N/mm^2$ लेते हुये उपाग का सामर्थ्य ज्ञात कीजिये, यदि वह अपने सिरो पर—(i) एक रिवेट द्वारा संबद्ध किया गया हो। (ii) दो रिवेटो द्वारा सबद्ध किया गया हो। **[उत्तर**—(i) 83·35 kN, (ii) 126 kN]

6. निम्न सपीडन उपागो मे दो कोणीय खण्ड प्रयोग किये गये। कोणी खण्डो को गसेट प्लेट की दोनो ओर रखते हुये सबद्ध किया गया। असमभुजीय कोणी खण्डो की लम्बो टागे गसेट प्लेट से सबद्ध की गयी। प्रत्येक उपाग के सिरो पर (At ends) न्यूनतम दो या आवश्यकतानुसार अधिक रिवेट लगाये गये है। उचित दूरियो पर आवधन रिवेट (Tack rivets) लगाये गये है। उपाग का प्रकार, कोणी खण्ड के परिमाप, वास्तविक लम्बाई गसेट मोटाई तथा पराभव प्रतिबल (Yield stress) आगे दिये गये है। प्रत्येक उपांग के लिये सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये—

| प्रकार | कोणीखण्ड के परिमाप (mm) | वास्तविक लम्बाई (mm) | गसेट प्लेट मोटाई (mm) | पराभव प्रतिबल ($N/mm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| (i) असतत | 90 × 60 × 10 | 3500 | 10 | 250 |
| (ii) सतत | 100 × 75 × 8 | 3750 | 10 | 240 |
| (iii) सतत | 125 × 75 × 10 | 4000 | 16 | 240 |
| (iv) असतत | 90 × 90 × 10 | 3600 | 10 | 250 |
| (v) सतत | 110 × 110 × 10 | 4200 | 16 | 250 |

**[उत्तर**—(kN) मे (i) 195·7, (ii) 169·55, (iii) 235·4, (iv) 239·5, (v) 254·8]

7. एक असतत संपीडाग के लिये दो 75 × 50 × 8 (mm) कोणी खण्डो का प्रयोग किया गया। गसेट प्लेट के एक ही ओर कोणी खण्डो को पीठ से पीठ रखते हुये उनकी छोटी टागे उपाग के प्रत्येक सिरे पर एक-एक रिवेट लगाते हुये गसेट प्लेट से सम्बद्ध की गयी। वास्तविक लम्बाई 2000 mm, $f_y$ = 250 $N/mm^2$ लेते हुये इस उपाग का सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। **[उत्तर**—113 kN]

8. निम्न कोणी सपीडागो की सामर्थ्य ज्ञात कीजिये। कोणी खण्डो को गसेट प्लेट के एक ही ओर रखते हुये सम्बद्ध किया गया है। असमभुजीय कोणी खण्ड की छोटी टागे गसेट प्लेट से सम्बद्ध की गयी है। सिरो पर न्यूनतम दो या आवश्यकतानुसार अधिक रिवेट लगाये गये है। सपीडाग असतत है। पराभव प्रतिबल $f_y$ = 250 $N/mm^2$ लेते हुये उपागो के लिये सुरक्षित भार ज्ञात कीजये। कोणी खण्डो के परिमाप तथा वास्तविक लम्बाई निम्नवत् है। उचित दूरियो पर आवधन रिवेट लगे है।

civilguru.net

| कोणी खण्डों के परिमाप (mm) | उपांग की वास्तविक लम्बाई (mm) |
|---|---|
| 90 × 60 × 8 | 2750 |
| 100 × 100 × 10 | 3200 |

[उत्तर—174·0 kN, 346 kN]

9. एक स्तम्भ के लिये एक ISHB-300 @ 63·3 kg/m I खण्ड का प्रयोग किया गया। यदि स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 3300 mm, तथा $f_y$ = 260 N/mm$^2$ हो तो स्तम्भ के लिये सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये। [उत्तर—990 kN]
10. प्रश्न 9 मे अंकित स्तम्भ के I खण्ड के प्रत्येक फ्लेज पर यदि एक-एक 300 × 25 (mm) चपटी पत्ती (Flat) लगायी जाये तो इस संयोजित स्तम्भ की भार क्षमता ज्ञात कीजिये। [उत्तर—3274·8 kN]
11. निम्न स्तम्भो के लिये एकल I खण्ड का प्रयोग किया गया। स्तम्भो के लिये चयनित I खण्ड, भार प्रति मी० एव प्रभावी लम्बाई निम्नवत् है। पराभव प्रतिबल $f_y$ = 250 N/mm$^2$ लेते हुये इन स्तम्भो के लिये सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये।

| I खण्ड | भार प्रति मी० (Kg) | प्रभावी लम्बाई (mm) |
|---|---|---|
| (i) ISWB-200 | 28·8 | 2250 |
| (ii) ISHB-200 | 37·3 | 3500 |

[उत्तर—(i) 389·95 kN, (ii) 492·7 kN)]

12. प्रश्न 11 मे अंकित स्तम्भो के लिये प्रयेग किये गये I खण्ड के प्रत्येक फ्लेज पर यदि एक-एक चपटी पत्ती लगाते हुये स्तम्भ, की भार क्षमता बढ़ाने हेतु खण्ड का निम्नवत् संयोजन किया गया—

| I खण्ड | भार प्रति मी० (Kg) | चपटी पत्ती के परिमाप (mm) | प्रभावी लम्बाई (mm) |
|---|---|---|---|
| (i) ISWB-200 | 28·8 | 200 × 10 | 2250 |
| (ii) ISHB-200 | 37·3 | 250 × 10 | 3500 |

पराभव प्रतिबल 250 N/mm$^2$ लेते हुये, इन स्तम्भो के लिये सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये। चपटी पत्ती (Flat) लगाने पर सुरक्षित भार तथा एकल I खण्ड के लिये सुरक्षित भार का अनुपात ज्ञात कीजिये। I खण्डो को उचित लेसिंग व्यवस्था से संबद्ध किया गया है। [उत्तर—(i) 1021·5 kN, 2·61 (ii) 1210·9 kN, 2·46]

13. निम्नांकित स्तम्भो के लिये दो I खण्डो का प्रयोग किया गया। I खण्डो को उचित लेसिंग व्यवस्था से सम्बद्ध किया गया है। I खण्डो का विवरण भार प्रति मी० तथा स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई निम्नवत् है। पराभव प्रतिबल 250 N/mm$^2$ लेते हुये दोनो दिशाओ मे समान व्याकुंचन प्रतिरोध प्राप्त करने हेतु खण्डो मे दूरी, तनुता अनुपात तथा सुरक्षित भार ज्ञात करे।

| I खण्ड | भार प्रति मी० (Kg) | प्रभावी लम्बाई (mm) |
|---|---|---|
| (i) ISLB-250 | 27·5 | 3500 |
| (ii) ISLB-350 | 49·5 | 6000 |
| (iii) ISMB-350 | 52·4 | 6000 |

[उत्तर—(i) 199·3, 34·21, 1011 kN, (ii) 282 mm, 41·52, 1740 kN, (iii) 280 mm, 41·98, 1836 kN]

14. निम्न स्तम्भो के लिये दो चैनल खण्डो का प्रयोग किया गया। चैनेल खण्डो की पीठ-से-पीठ दूरी खण्ड की दोनो दिशाओ मे समान व्याकुंचन प्रतिरोध रखने हेतु निर्धारित की गयी। पराभव प्रतिबल 250 N/mm$^2$ लेते हुये इन स्तम्भो के लिये सुरक्षित भार निर्धारित कीजिये। चैनेल खण्डो को उचित लेसिंग व्यवस्था से सम्बद्ध किया गया है जिससे वे मिलकर एक इकाई की तरह



कार्य करे। खण्डो का विवरण आदि निम्नवत् है—

| चैनल खण्ड | भार प्रति मी० (Kg) | क्षेत्रफल (mm$^2$) | गुरुत्व केन्द्र $C_{YY}$ (mm) | $I_{XX}$ cm 4 | $I_{YY}$ cm$^4$ | प्रभावी लम्बाई (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (i) ISJC-200 | 13·9 | 1777 | 19·7 | 1161·2 | 84·2 | 3500 |
| (ii) ISLC-300 | 31·1 | 4211 | 25·5 | 6047·9 | 346·0 | 5500 |
| (iii) ISMC-400 | 49·4 | 6293 | 24·2 | 15082·8 | 504·8 | 5500 |

इन स्तम्भो के लिये फ्लेजे अन्दर की ओर रखी जाने पर खण्डो की पीठ-से-पीठ दूरी, तनुता अनुपात तथा भार क्षमता ज्ञात कीजिये। [उत्तर—(i) 195·0 mm, 43·26, 485·9 kN (ii) 283·6, 45·91, 1135·8 kN (iii) 352·8 mm, 35·52, 1783·3 kN]

15. निम्नांकित स्तम्भो के लिये दो चैनेल खण्डो को पीठ-से-पीठ व फ्लेजे बाहर की ओर रखते हुये तथा फ्लेजो पर एक-एक प्लेट लगाते हुये खण्ड का संयोजन किया गया है। पराभव प्रतिबल $f_y$ = 250 N/mm$^2$ लेते हुये निम्न आकड़ो की सहायता से स्तम्भो के लिये न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या, तनुता अनुपात तथा सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये।

| चैनल खण्ड | चपटी पत्ती (mm) | भार प्रति मी० (kg) | पीठ-से-पीठ शुद्ध दूरी (mm) | प्रभावी लम्बाई (mm) |
|---|---|---|---|---|
| (i) ISMC-350 | 400 × 10 | 42·1 | 150 | 4500 |
| (ii) ISMC-400 | 500 × 10 | 49·4 | 200 | 6000 |

[उत्तर—(i) 108·7 mm, 41·40, 2585 kN (ii) 135·1 mm, 44·41, 3070 kN]

16. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—
    (i) संपीडन उपांगो के अभिकल्पन के चरण लिखे।
    (ii) संपीडन उपांगो के अभिकल्पन मे तनुता अनुपात का क्या महत्व है?
    (iii) एक कोणी सपीडांग (Single angle strut) के लिये समभुजीय कोणी खण्ड का चयन क्यो किया जाता है?
    (iv) आबंधन रिवेटो (Tack rivets) के लिये आप पिच कैसे निर्धारित करेगे? संपीडन उपांगो के लिये आबंधन रिवेटो का अधिकतम पिच क्या होगा?
    (v) लटकन (Outstand) से आप क्या समझते है? चैनेल खण्ड, कोणी खण्ड तथा I खण्ड के लिये लटकन लम्बाईयाँ (Lengths of outstands) चित्र द्वारा दर्शित कीजिये।
    (vi) संपीडन उपांगो की अभिकल्पन करते समय लटकन लम्बाई किस प्रकार विचार में ली जाती है?
    (vii) जालक पद्धति (Lacing system) के प्रकार चित्र द्वारा स्पष्ट कीजिये।
    (viii) जालक पद्धति व बैटन पद्धति मे अन्तर बताइये।
    (ix) बैटन पद्धति की प्रमुख विशेषताये लिखे।
17. छत कैची के एक असतत सपीडन उपाग की लम्बाई 2200 mm है।
    58 kN अक्षीय भार वहन करन हेतु इसके लिये एक समभुजीय कोणी खण्ड का चयन कीजिये। गसेट प्लेट की मोटाई 10 mm, $f_s$ = 90 N/mm$^2$ तथा $f_b$ = 270 N/mm$^2$ लेते हुये 16 mm व्यास के रिवेटो की संख्या ज्ञात कीजिये। $f_y$ = 250 N/mm$^2$ लीजिये।
    [उत्तर—75 × 75 × 8 (mm), तीन रिवेट]
18. 78 kN संपीडन बल वहन करने हेतु एक असतत् संपीडन उपाग के लिये एक समभुजीय कोणी खण्ड का चयन कीजिये। उपांग की लम्बाई 2500 mm है। गसेट प्लेट 10 mm मोटी है $f_s$ = 100 N/mm$^2$ तथा $f_b$ = 300 N/mm$^2$ लेते हुये उपाग के सिरो पर 20 mm व्यास के रिवेटो की संख्या ज्ञात कीजिये। इस्पात के लिये पराभव प्रतिबल $f_y$ = 250 N/mm$^2$ लीजिये।
    [उत्तर—90 × 90 × 8 (mm), तीन रिवेट]
19. छत कैची के एक असतत संपीडांग पर 250 kN भार आ रहा है जिसकी लम्बाई 2750 mm है। इसके लिये दो असमभुजीय कोणी खण्डो का चयन कीजिये। $f_y$ = 250 N/mm$^2$ तथा गसेट प्लेट की मोटाई 12 mm लीजिये। कोणी खण्डो की लम्बी टांगे

गसेट प्लेट के दोनो ओर सम्बद्ध करने हेतु 20 mm रिवेटो की सख्या ज्ञात कीजिये। $f_v = 100$ N/mm$^2$ तथा $f_b = 300$ N/mm$^2$ लीजिये। **[उत्तर**—दो 90 × 60 × 10 (mm) कोणी खण्ड, चार रिवेट]

20. छत कैंची के एक असतत सपीडाग पर 300 kN धार आ रहा है। उपाग की लम्बाई 3000 mm है। इसके लिये दो असमभुजीय कोणी खण्डो का चयन कीजिये। पराभव प्रतिबल $f_y = 250$ N/mm$^2$ तथा गसेट प्लेट की मोटाई 12 mm लीजिये। कोणी खण्डो की लम्बी टागे गसेट प्लेट की दोनो ओर वेल्ड द्वारा संबद्ध की जायेगी।

**[उत्तर**—दो 100 × 75 × 10 (mm) कोणी खण्ड उपर्युक्त]

21. प्रश्न 19 मे अंकित सपीडन उपाग के लिये दो समभुजीय कोणी खण्डो का चयन कीजिये। रिवेटो की संख्या भी ज्ञात कीजिये।

**[उत्तर**—दो 90 × 90 × 8 (mm) कोणी खण्ड, चार रिवेट]

22. प्रश्न 20 मे अंकित सपीडन उपाग के लिये दो समभुजीय कोणी खण्डो (Two equal angles) का चयन कीजिये।

**[उत्तर**—दो 100 × 100 × 10 (mm) कोणी खण्ड]

23. निम्नांकित इस्पातीय छत कैंचियो के लिये मुख्य रैफ्टर हेतु दो असमभुजीय कोणी खण्डो का चयन कीजिये। सम्बन्धित उपागो के सदर्भ मे अभिकल्पन हेतु आकड़े निम्नवत् लीजिये। कोणी खण्डो की लम्बी टागे (Long legs) गसेट प्लेट के दोनो ओर रखते हुये उससे वेल्ड द्वारा सम्बद्ध की जायगी।

| उपांग पर अधिकतम भार (kN) | आधार केन्द्रों के बीच लम्बाई | गसेट प्लेट मोटाई | पराभव प्रतिबल ($f_y$) |
|---|---|---|---|
| (i) 275 | 3000 mm | 10 mm | 250 N/mm$^2$ |
| (ii) 300 | 3000 mm | 12 mm | 250 N/mm$^2$ |
| (iii) 350 | 3250 mm | 12 mm | 250 N/mm$^2$ |

**[उत्तर**—(i) दो कोणी खण्ड 100 × 75 × 100 (mm),
(ii) दो कोणी खण्ड 125 × 75 × 100 (mm),
(iii) दो कोणी खण्ड 125 × 95 × 10 (mm)]

24. प्रश्न 23 मे अंकित मुख्य रैफ्टर्स के लिये दो समभुजीय कोणी खण्डो का चयन कीजिये।

**[उत्तर**—(i) दो 100 × 100 × 10 (mm) कोणी खण्ड
(ii) दो 110 × 110 × 8 (mm) कोणी खण्ड
(iii) दो 110 × 110 × 12 (mm) कोणी खण्ड]

25. निम्नांकित असतत संपीडन उपागो के लिये दो समभुजीय कोणी खण्डो का चयन कीजिये। कोणी खण्डो को 10 mm गसेट प्लेट के एक ही ओर पीठ-से-पीठ रखे हुये सम्बद्ध किया जायेगा। इस्पात के लिये पराभव प्रतिबल 250 N/mm$^2$ लीजिये। सिरों पर रिवेटो की सख्या भी ज्ञात कीजिये। अभिकल्पन हेतु अन्य आंकड़े निम्नवत् लीजिये—

| उपांग भार (kN) | लम्बाई (mm) | रिवेट व्यास (mm) | अनुज्ञेय प्रतिबल (N/mm$^2$) |
|---|---|---|---|
| (i) 150 | 3000 | 18 mm | $f_s = 100, f_b = 300$ |
| (ii) 250 | 3250 | 20 mm | $f_s = 90, f_b = 270$ |

**[उत्तर**—(i) दो 90 × 90 × 6 (mm) कोणी खण्ड, 6 रिवेट
(ii) दो 100 × 100 × 8 (mm) कोणी खण्ड, 8 रिवेट]

26. एक क्षैतिज सपीडांग (Strut) 600 kN भार वहन करता है। इसकी लम्बाई 3000 mm है। यह मानते हुये कि इसके दोनो सिरे कब्जेदार (Hinged) है। कोणी खण्डो को 12 mm गसेट प्लेट के दोनो ओर रखते हुये सम्बद्ध किया जायेगा। अनुज्ञेय प्रतिबलो के मान निम्नवत् तालिका से लीजिये। इस उपाग के लिये दो समभुजीय कोणी खण्डो का चयन कीजिये।



| तनुता अनुपात | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| अनु० प्रतिबल (N/mm$^2$) | 132 | 122 | 112 | 101 | 90 | 80 |

**[उत्तर**—सिरे कब्जेदार होने पर अनु० प्रतिबल तालिका से प्राप्त प्रतिबल का 80% लेते हुये दो 150 × 150 × 12 (mm) कोणी खण्ड उपयुक्त]

27. 600 kN अक्षीय भार वहन करने हेतु I खण्ड का चयन कीजिये। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 3500 mm लीजिये। पराभव प्रतिबल $f_y = 250$ N/mm$^2$ **[उत्तर**—ISWB-350 उपर्युक्त]

28. 920 kN अक्षीय भार वहन करने हेतु एक I खण्ड का चयन कीजिये। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 6000 mm लीजिये। अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबलो के मान निम्नवत् लीजिये—

| तनुता अनुपात, $l/r$ | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| अनु० प्रतिबल (N/mm$^2$) | 103 | 92 | 82 | 73 | 64 | 57 |

**[उत्तर**—ISWB-550 उपर्युक्त]

29. 1100 kN अक्षीय संपीडन बल वहन करने हेतु एक I खण्ड का चयन कीजिये। स्तम्भ की वास्तविक लम्बाई 4000 mm है। यह दोनो सिरो पर प्रभावी रूप से स्थिति मे परन्तु घूर्णन के विपरीत प्रतिरोधित नही। अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल निम्नवत लीजिये—

| तनुता अनुपात, $l/r$ | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|
| अनु० प्रतिबल (N/mm$^2$) | 126 | 115 | 103 | 92 | 82 |

**[उत्तर**—ISWB-500 उपर्युक्त]

30. 1500 kN अक्षीय भार वहन करने हेतु दो चैनेल खण्डो का चयन कीजिये। चैनेल खण्डो को फ्लेजे बाहर की ओर रखते हुये पीठ-से-पीठ की दूरी सुनिश्चित कीजिये जिससे खण्ड की दोनो दिशाओ मे व्याकुंचन प्रतिरोध समान हो। I खण्डो के बीच उक्त स्थिति हेतु अक्षीय दूरी सुनिश्चित कीजिये। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 5000 mm है। अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबलो के मान निम्नवत् लीजिये—

| तनुता अनुपात, $l/r$ | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| अनु० प्रतिबल (N/mm$^2$) | 145 | 139 | 132 | 122 | 112 | 101 |

**[उत्तर**—दो ISLC-400 @ 45·7 Kg. अक्षीय दूरी = 257·6 mm, दो ISLB-350 @ 49·5 Kg., अक्षीय दूरी = 282 mm]

31. 1200 kN अक्षीय भार वहन करने हेतु दो चैनेल खण्डो को पीठ-से-पीठ रखते हुये सयोजित एक सघटित स्तम्भ का अभिकल्पन कीजिये। स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 5500 mm लीजिये। विभिन्न तनुता अनुपातो से सम्बद्ध अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबलो को निम्नवत् लीजिये—

| तनुता अनुपात, $l/r$ | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
|---|---|---|---|---|---|
| अनु० प्रतिबल (N/mm$^2$) | 134 | 129 | 123 | 115 | 106 |

**[उत्तर**—दो ISLC-350 चैनेल खण्ड पीठ से पीठ शुद्ध दूरी 220·2 mm, फ्लेजे बाहर की ओर]

# 7 इस्पातीय धरनें (STEEL BEAMS)

## § 7.1. परिचय (Introduction) :

धरन किसी संरचना का एक महत्वपूर्ण अवयव होता है। धरन संरचना के अन्य अवयवों स्लैबो, स्तम्भो, दीवारो के माध्यम से अधिसंरचना (Super structure) पर आने वाले भारो को संरचना के निचले भाग अथवा अध:संरचना (Sub-structure) पर स्थानातरित करती है। अत: किसी संरचना के अभिकल्पन मे धरन का अभिकल्पन महत्वपूर्ण होता है।

## § 7.2. धरनों पर कार्यरत भार (Load on Beams) :

अध्याय 1 के अनुच्छेदो 1.6 मे हमने देखा कि धरन एक संरचनात्मक अवयव (Structural member) होता है, जिस पर कार्यरत बाह्य बल धरन के अनुदैर्घ्य अक्ष से नत होते है।

जब यह भार इस अक्ष पर लम्बवत् होते है तब उन्हे अनुप्रस्थ भार कहा (Transverse load) जाता है।

धरन सामान्यत: क्षैतिज (Horizontal) होती है तथा उस पर आने वाले भार ऊर्ध्वाधर होते है। यह भार सामान्यत: बिन्दु भार (Point loads) अथवा एक समान वितरित भार (Uniformly distributed loads) अथवा दोनो का संयोजन होते है।

## § 7.3. अभिकल्प पद्धति (Method of Design) :

अध्याय 2 अनुच्छेद 6 मे संरचना के अभिकल्प के तीन चरण (Steps) दिये है—

(i) प्रथम चरण मे संरचना पर आने वाले भारो की गणना की जाती है। सामान्यत: धरनो पर आने वाले भार अनुप्रस्थ भार होते है। इन्हे अनुमानित किया जाता है।

(ii) द्वितीय चरण मे इन भारो के परिणामो का विश्लेषण किया जाता है।

(iii) तृतीय चरण मे खण्ड का चयन करते हुये उस खण्ड की उपरोक्त द्वितीय चरण मे ज्ञात किये गये भारो के परिणामो के संदर्भ मे सुरक्षा के लिये जाँच की जाती है।

अत: किसी धरन के अभिकल्पन मे उस पर आने वाले अनुप्रस्थ भारो के परिणाम अत्यन्त महत्वपूर्ण होते है। इन परिणामों का हम अध्ययन करेंगे।

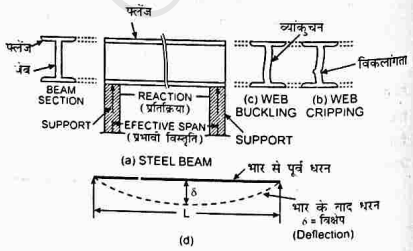
## § 7.4. अनुप्रस्थ भारों के परिणाम (Effect of Transverse Loads) :

किसी धरन पर आने वाले अनुप्रस्थ भारो के निम्न परिणाम हो सकते है—

(i) बकन (Bending) (ii) अपरूपण (Shear) (iii) विक्षेप (Deflection), (iv) वेब विकलांगता (Web Crippling) तथा (v) वेब व्याकुंचन (Web Buckling)।

चित्र 7.1 मे एक इस्पातीय धरन दर्शित है। इस धरन मे बेल्लित इस्पातीय I खण्ड का प्रयोग किया गया है। इस धरन पर अनुप्रस्थ भारो (Transverse loads) के उपरोक्त सभी परिणाम हो सकते है।

(i) धरन मे बकन के फलस्वरूप **बंकन प्रतिबल** (Bending stress) उत्पन्न होगा।




चित्र 7.1—धरन पर कार्यरत भार के परिणाम



(ii) प्रतिक्रियाएँ एवं भारो के कारण धरन खण्ड पर अपरूपण बल (Shear force) आयेगा जिसके फलस्वरूप धरन मे **अपरूपण प्रतिबल** (Shear stress) उत्पन्न होगा।

(iii) चित्र 7.1 (d) मे धरन के बकन के कारण उसके विरूपण (Deformation) के बाद धरन के अनुदैर्घ्य अक्ष (Longitudinal axis) की स्थिति दर्शित है। इस अक्ष के अधिकतम विस्थापन "δ" को **विक्षेप** कहा जाता है।

उक्त के अलावा प्रतिक्रियाएँ (Reactions) व धरन पर आने वाले बिन्दु भारो (Point loads) का परिणाम धरन के वेब पर निम्नवत् हो सकता है—

वेब का **विकलांग** होना (Web Crippling) जैसा चित्र 7.1(b) मे दर्शित किया गया है।

वेब का व्याकुंचन होना जैसे चित्र 7.1 (c) मे दर्शित किया गया है।

इन परिणामो को क्रमश: **वेब विकलांगता** (Web Crippling) व **वेब व्याकुंचन** (Web buckling) कहा जाता है।

इस्पातीय धरनों के अभिकल्पन मे धरन की उपरोक्त सभी परिणामो के विपरीत सुरक्षा लिये जाँच आवश्यक होती है। यह जाँच भारतीय मानक IS : 800-1984 द्वारा निर्धारित विशिष्टियो के अनुसार की जाती है। इसे आगे दिया जा रहा है—

**7.4-1. धरन में बंकन** (Bending in Beams)—अनुच्छेद 1.6-4 मे धरनो पर आने वाले अनुप्रस्थ भारो के परिणाम वर्णित है। अनुप्रस्थ भारो के फलस्वरूप धरन मे बंकन (Bending) होता है, जिसके फलस्वरूप धरन मे बंकन प्रतिबल (Bending Stress) उत्पन्न होता है।

बंकन के सिद्धांत (Theory of Bending) निम्न धारणाओं पर आधारित है—

(i) धरन के अनुप्रस्थ काट, जो बंकन के पूर्व समतल होते है, बंकन के बाद भी समतल रहेंगे।

(ii) धरन का पदार्थ पूर्णत: एकरूप है तथा उसके प्रत्यास्थता गुणधर्म सभी दिशाओ मे समान होंगे।

(iii) प्रतिबल प्रत्यास्थता सीमा से अधिक नही होगा।

(iv) प्रत्येक परत या स्तर (Layer) प्रसारण अथवा आकुंचन के लिये, उसकी उपरी अथवा निचली परत या स्तर से मुक्त होगी।

(v) तनन व संपीडन में प्रत्यास्थता मापांक ($E$) का मान समान होगा।

यह आवश्यक है कि धरन खण्ड बंकन समतल पर सममित हो।

उक्त धारणाओ पर आधारित बंकन समीकरण $\left(\frac{M}{I} = \frac{f}{y} = \frac{E}{R}\right)$ तथा परिच्छेद मापांक (Section modulus), $Z$ अनुच्छेद 1.6-5 मे वर्णित है।

बंकन प्रतिबल प्राप्त करने हेतु हम परिच्छेद मापांक का निम्नवत् प्रयोग करेंगे—

यदि किसी धरन मे—

$f_{max}$ = उत्पन्न अधिकतम वास्तविक बंकन प्रतिबल

$Z$ = परिच्छेद मापांक (Section modulus)

$M$ = अधिकतम बंकन आघूर्ण (Maximum bending moment)

$\sigma_{bc}$ or $\sigma_{bt}$ = अनुज्ञेय अधिकतम बंकन प्रतिबल क्रमश: संपीडन व तनन

तब $$f_{max} = \frac{M}{Z}$$

सुरक्षा के लिये $$f_{max} < \sigma_{bc} \text{ or } \sigma_{bt}$$

भारतीय मानक IS : 800-1984 द्वारा निर्धारित विशिष्टियो के अनुसार—

$$\sigma_{bc} \text{ or } \sigma_{bt} = 0{\cdot}66 f_y \qquad ...(7.1)$$

यहाँ $f_y$ = पराभव प्रतिबल (Yield stress)

अत: $f_y$ = 250 N/mm² के लिये—

$$\sigma_{bc} \text{ or } \sigma_{bt} = 0{\cdot}66 \times 250 = 165 \text{ N/mm}^2$$

पार्श्विक आबद्ध धरनो (Laterally restrained beams) के लिये अनुज्ञेय अधिकतम बंकन प्रतिबल (तनन व संपीडन) $0{\cdot}66 f_y$ के समान लिया जायेगा। $f_y = 250$ N/mm$^2$ के लिये यह **165 N/mm$^2$** होगा।

जब धरन पार्श्विक आबद्ध न हो तब बकन मे अनुज्ञेय अध: सपोडन प्रतिबल का मान भारतीय मानक IS : 800-1984 की धारा 6.2-3 के अनुसार ज्ञात किया जा सकता है।

इस पुस्तक मे हम मात्र पार्श्विक आबद्ध धरनो का अध्ययन करेगे।

**7.4-2. धरन में अपरूपण** (Shear in Beams)—अनुप्रस्थ भार (Transverse loads) एवं प्रतिक्रियाओं (Reactions) के फलस्वरूप धरन खण्ड को अपरूपण बल (Shear force) का प्रतिरोध करना पड़ता है, जिससे धरन खण्ड पर अपरूपण प्रतिबल उत्पन्न होता है।

धरन मे उत्पन्न अधिकतम अपरूपण प्रतिबल का मान अनुच्छेद 1.6-5 के अनुसार ज्ञात किया जा सकता है। भारतीय मानक IS : 800-1984 के अनुसार अनुज्ञेय अधिकतम अपरूपण प्रतिबल निम्नवत् निर्धारित है—

$$\tau_{vm} = 0{\cdot}45 f_y \qquad ...(7.2)$$

यहाँ $\tau_{vm}$ = अनुज्ञेय अधिकतम अपरूपण प्रतिबल (N/mm )

$f_y$ = पराभव प्रतिबल (yield stress) (N/mm )

$f_y = 250$ N/mm$^2$ के लिये यह मान **112·5 N/mm$^2$** होगा।

(i) **औसत अपरूपण प्रतिबल**—इस्पातीय धरनो के अभिकल्पन मे धरन खण्ड पर उत्पन्न औसत अपरूपण प्रतिबल ज्ञात किया जाता है

I खण्ड के लिये यदि—

$V$ = अधिकतम अपरूपण बल (N)

$D$ = धरन की कुल गहराई (mm)

$t_w$ = वेब की मोटाई (mm)

$\tau_{va}$ = औसत अपरूपण प्रतिबल (N/mm$^2$)

तब $$\tau_{va} = \frac{V}{D \times t_w} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

इसका मान अनुज्ञेय प्रतिबल से कम होना चाहिये।

भारतीय मानक IS : 800-1984 द्वारा यह मान निम्नवत् निर्धारित है—

$$\tau_{va} = 0{\cdot}4 f_y \qquad ...(7.3)$$

$f_y = 250$ N/mm के लिये यह **100 N/mm$^2$** होगा।

**7.4-3. धरनों में विक्षेप** (Deflection in Beams)—चित्र 7.1 (d) मे धरन के अनुदैर्ध्य अक्ष की अनुप्रस्थ भारो के कारण विरूपण के बाद की स्थिति दर्शित है। अधिकतम ऊर्ध्वाधर विस्थापन 'δ' जिसे विक्षेप कहा जाता है का मान विस्तृति/325 से अधिक नही होना चाहिये. जैसा भारतीय मानक IS : 800-1984 द्वारा निर्धारित है—

अत: $$\text{विक्षेप, } \delta < \frac{\text{विस्तृति}}{325} \quad \left(\text{या} < \frac{\text{span}_l}{325}\right) \qquad ...(7.4)$$

अनुच्छेद 1.7-6 के अनुसार सममितीय खण्डों के लिये एक समान वितरित भार (U.D.L.) के साथ शुद्धालम्ब धरन के लिये—

$$\frac{\delta}{l} \times \frac{D}{l} = \frac{5}{26} \times \frac{f_{max}}{E}$$

यहाँ $l$ = धरन की प्रभावी विस्तृति (Effective span) mm मे

$\delta$ = अधिकतम विक्षेप (mm)



$D$ = धरन की कुल गहराई (mm)

$f_{max}$ = अधिकतम बंकन प्रतिबल (N/mm$^2$)

$E$ = यंग मापांक = $2 \times 10^5$ N/mm$^2$ (या $2 \times 10^5$ MPa)

मान रखने पर—

$$\frac{\delta}{l} \times \frac{D}{l} = \frac{1}{325} \times \frac{D}{l} = \frac{5}{24} \times \frac{165}{2 \times 10^5}$$

अथवा $$\frac{D}{l} = \frac{5}{24} \times \frac{165}{2 \times 10^5} \times \frac{325}{1} = \frac{1}{17{\cdot}9}$$

अत: विक्षेप को $l/325$ तक सीमित रखने के लिये धरन मे गहराई प्रति मीटर विस्तृति के लिये $\frac{1000}{17{\cdot}9}$ अथवा लगभग 55 mm से कम नहीं होनी चाहिये।

धरन के मध्य पर बिन्दु भार के लिये यह लगभग 45 mm प्रति मीटर विस्तृति से कम नहीं होनी चाहिए।

इस्पातीय धरनो के अभिकल्पन मे धरन की न्यूनतम आवश्यक गहराई उपरोक्त आधार पर निर्धारित की जा सकती है।

**(1) धरनों की प्रभावी विस्तृति (माप)**—भारतीय मानक IS : 800–1984 के अनुसार—धरन की प्रभावी विस्तृति आलम्बो (Supports) के केन्द्रो के बीच की लम्बाई ली जायेगी।

आलम्बो के बीच शुद्ध दूरी धरन की **अबाध विस्तृति** (Clear span) होगी।

यदि धरन दीवारो या स्तम्भो पर आलम्बित हो तो दीवारों या स्तम्भों के बीच शुद्ध दूरी धरन की अबाध विस्तृति होगी। आलम्बो (दीवारो या स्तम्भो) के बीच केन्द्र से केन्द्र दूरी धरन की **प्रभावी विस्तृति** (Effective span) होगी। इस प्रकार धरन के लिये—

प्रभावी विस्तृति ($l$) = अबाध विस्तृति ($L$) + आलंम्ब की मोटाई।

यहाँ प्रभावी विस्तृति को '$l$' तथा आबद्ध विस्तृति को '$L$' से दर्शित किया गया है।

**7.4-4. वेब विकलांगता** (Web Crippling)—जब धरन मे बिन्दु-भार लगा हो तो बिन्दु भार के कारण धरन की वेब मे किसी बिन्दु पर धरन के नीचे समुचित धारण क्षेत्रफल न होने के कारण पंगु होने की संभावना होती है जैसो चित्र 7.1 (b) तथा 7.2 में दिखाया गया है। इस प्रक्रिया को **वेब विकलांगता** अथवा वेब का पंगु होना (Web crippling) कहा जाता है।

किसी धरन खण्ड की वेब विकलागता के लिये जाँच निम्न प्रकार की जाती है—

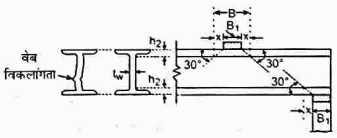
चित्र 7.2 मे यदि, $\sigma_b$ = धारण मे अनुज्ञेय प्रतिबल

$B_1$ = धारक प्लेट की लम्बाई

$h_2$ = धरन खण्ड के लिये फ्लैंज व वेब के जोड़ पर स्थित वक्र के निचले रेशे तक की गहराई (चित्र 7.2 देखे)

$t_w$ = वेब की मोटाई

अत: जब बिन्दु भार विस्तृति के किसी बिन्दु पर अथवा आलम्ब पर प्रतिक्रिया आती है तब यह भार अंशत: वेब द्वारा लिया जाता है। यहाँ फ्लैंज के ऊपरी रेशे से भार के लिये वितरण कोण (Angle of dispersion) 30° माना जाता है।




चित्र 7.2

उपरोक्त चित्र 7.2 मे—

$$\frac{x}{h_2} = \cot 30° = \sqrt{3}$$

अत: $$x = h_2 \cot 30° = h_2\sqrt{3}$$

civilguruji.net

**चित्र से स्पष्ट है कि,**

बिन्दु भार के निचे $B = B_1 + 2h_2\sqrt{3}$

तथा आलम्ब पर $B = B_1 + h_2\sqrt{3}$

तथा वेब का क्षेत्रफल जिस पर यह भार/प्रतिक्रिया वितरीत होगी—

बिन्दु भार के नीचे $(B_1 + 2h_2\sqrt{3})t_w$, आलम्ब पर $(B_1 + h_2\sqrt{3})t_w$

अत: वास्तविक प्रतिबल $= \dfrac{\text{भार}}{\text{क्षेत्रफल}}$

$= \dfrac{\text{भार}}{(B_1 + 2h_2\sqrt{3})t_w}$ बिन्दु भार के नीचे

$= \dfrac{\text{भार}}{(B_1 + h_2\sqrt{3})t_w}$ आलम्ब पर

इसका मान अनुज्ञेय मान $\sigma_b$ से कम होना चाहिये। भारतीय मानक IS : 800-1984 द्वारा धारण प्रतिबल $\sigma_b$ का मान निम्नवत् निर्धारित है—

$$\sigma_b = 0{\cdot}75 f_y \qquad \ldots(7.5)$$

यहां $\sigma_b$ = अधिकतम अनुज्ञेय धारण प्रतिबल ($N/mm^2$)

$f_y$ = पराभव प्रतिबल ($N/mm^2$)

$f_y$ = 250 $N/mm^2$ के लिये यह मान **187·5 $N/mm^2$** होगा।

**7.4.5. वेब ब्याकुँचन** (Web Buckling)—धरन के किसी बिन्दु पर आने वाला संकेन्द्रीय भार तथा आलम्ब प्रतिक्रिया (reaction) यह दोनों अतत: वेब द्वारा वहन किये जाते हैं।

यह संकेन्द्रीय भार के नीचे तथा आलम्ब प्रतिक्रिया के ऊपर वेब एक स्तम्भ की तरह कार्य करती है।

अत: वेब की भार क्षमता एक स्तम्भ के अनुसार अध्याय 6 में दी गयी तालिका 6.3 में अंकित अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबलों के आधार पर ज्ञात की जायेगी।

भारतीय मानक IS : 800-1984 के अनुच्छेद 6.7-5 के अनुसार जब वेब के लिये कोई दृढ़कारी व्यवस्था (Stiffening arrangement) न दी गयी हो तब संकेन्द्रीय भार अथवा प्रतिक्रिया निम्न से अधिक नहीं होनी चाहिये—

$$\sigma_{ac} \times t_w \times B$$

यहाँ $\sigma_{ac}$ = तालिका 6.3 के आधार पर $\left[\left(\dfrac{d_1}{t_w}\right) \times \sqrt{3}\right]$ तनुता अनुपात के लिये अनुज्ञेय अक्षीय संपीडन प्रतिबल ($N/mm^2$)

$t_w$ = वेब मोटाई (mm)

(इस वेब को माने गये स्तम्भ की चौड़ाई कहा जा सकता है)

$B$ = लम्बाई जो निम्नवत् ज्ञात की जायेगी (mm)

$d_1$ = वेब की शुद्ध गहराई (mm)

यहाँ $B = \left[\begin{pmatrix}\text{धारक वे. दृढ़}\\ \text{भाग की लम्बाई}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{भार के नीचे अथवा आलम्ब पर प्रतिक्रिया}\\ \text{के ऊपर वितरण कोण लेते हुये उदासीन}\\ \text{अक्ष तक आने वाली अतिरिक्त लम्बाई}\end{pmatrix}\right]$



इसी प्रकार '$d_1$' का मान निम्नवत् ज्ञात किया जायेगा—

$$d_1 = (D - 2h_2)$$

$D$ = धरन की कुल गहराई (mm)

$h_2$ = फ्लेज के ऊपरी रेशे (Top fibre) से फ्लेज व वेब के संधि पर वक्र के सबसे निचले रेशे (Root fillet) तक गहराई (चित्र 7.2 देखें) mm में

तथा तनुता अनुपात $= \dfrac{d_1}{t_w}\sqrt{3} = \left(\dfrac{D_1 - 2h_2}{t_w}\right)\sqrt{3}$

जब वास्तविक भार (बिन्दु भार अथवा प्रतिक्रिया) उपरोक्त भार क्षमता ($\sigma_{ac} \times t_w \times B$) से अधिक हो तब दृढ़कारी व्यम्वथा (Stiffening arrangement) की जानी चाहिये।

**उदाहरण 7.1: 6 मीटर प्रभावी विस्तृति की एक शुद्धालम्बित धरन के लिये एक ISLB-550 @ 0·863 kN/m I खण्ड का प्रयोग किया गया। अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 165 $N/mm^2$ लेते हुये इस धरन द्वारा वहन किया जाने वाला सुरक्षित एक समान वितरित भार (UDL) ज्ञात कीजिये। धरन पार्श्विक रूप से आबद्ध है। उक्त भार के लिये धरन में उत्पन्न औसत अपरूपण प्रतिबल तथा विक्षेप (Deflection) भी ज्ञात कीजिये। $E = 2{\cdot}10^5$ $N/mm^2$ लीजिये।**

**हल :**

धरन की प्रभावी विस्तृति, $l$ = 6 m

अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल, $\sigma_{bc} = \sigma_{bt}$ = 165 $N/mm^2$

स्टील टेबल से ISLB-550 के गुणधर्म—

भार प्रति मीटर = 0·863 kN/m

गहराई, $D$ = 550 mm

वेब मोटाई, $t_2$ = 9·9 mm

जड़त्व आघूर्ण, $I_{XX}$ = 53161·6 $cm^4$

परिच्छेद मापांक, $Z_{XX}$ = 1933·2 $cm^3$

(i) **खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण** (Moment of resistance)—

$$M = \sigma_{bt} \times Z \qquad \ldots(\text{सूत्र})$$

$$= 165 \times 1933{\cdot}2 \times 10^3 \text{ N-mm}$$

$$= \frac{165 \times 1933{\cdot}2 \times 10^3}{10^6} \text{ kN-m}$$

$$= 318{\cdot}98 \text{ kN-m}$$

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण = 318·98 kN-m

$$= \frac{Wl}{8}$$

$l$ = 6 m रखने पर, $\dfrac{W \times 6}{8} = 318{\cdot}98$ kN-m

अथवा $W = \dfrac{318{\cdot}98 \times 8}{6}$ kN

$= 425{\cdot}30$ kN

यहाँ $W$ = धरन पर कुल एक समान वितरित भार (kN)

अत: भार प्रति मी० $= \frac{425{\cdot}30}{6}$ kN/m

$= 70{\cdot}884$ kN/m

अत: धरन के लिये कुल एक-समान वितरित भार प्रति मीटर

$= 70{\cdot}884$ kN/m

धरन का अपना भार $= 0{\cdot}863$ kN/m

अत: धरन द्वारा वहन किया जाने वाला सुरक्षित भार—

$= (70{\cdot}884 - 0{\cdot}863)$ kN/m

$= 70{\cdot}021$ kN/m

अथवा $= \mathbf{70\ kN/m}$

(ii) **औसत अपरूपण प्रतिबल—**

$$\text{अधिकतम अपरूपण बल} = \frac{\text{अधिकतम अपरुपण बल}}{\text{गहराई} \times \text{वेब मोटाई}} = \frac{V}{D \times t_w} \quad \text{...(सू}$$

धरन के लिये कुल भार, $W = 425{\cdot}3$ kN

तथा अधिकतम अपरूपण बल, $V = \frac{W}{2}$

$= \frac{425{\cdot}3}{2} = 212{\cdot}65$ kN

गहराई, $D = 550$ mm

वेब मोटाई, $t_w = 9{\cdot}9$ mm

अत: औसत अपरूपण प्रतिबल $= \frac{212{\cdot}65 \times 1000}{550 \times 9{\cdot}9}$ N/mm$^2$

$= \mathbf{39{\cdot}05\ N/mm^2}$

(iii) **विक्षेप**—धरन पर एक-समान वितरित भार (UDL) के लिये विक्षेप—

$$\text{अधिकतम विक्षेप, } \delta = \frac{5Wl^3}{384EI} \quad \text{...(सू}$$

यहाँ $W = 425{\cdot}3$ kN $= 425{\cdot}3 \times 10^3$ N

$l = 6{\cdot}0$ m $= 6{\cdot}0 \times 10^3$ mm

$E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$

$I$ = खण्ड का जड़त्व आघूर्ण (mm$^4$)

$= 53161{\cdot}6 \times 10^4$ mm$^4$

$\delta$ = अधिकतम विक्षेप (mm) में

ज्ञात मान रखने पर, $\delta = \frac{5 \times 425{\cdot}3 \times 10^3 \times 6^3 \times 10^9}{384 \times 2 \times 10^5 \times 53161{\cdot}6 \times 10^4}$ mm

$= \frac{5}{2} \times \frac{425{\cdot}3}{384} \times \frac{216}{53{\cdot}1616}$ mm

$= \mathbf{11{\cdot}25\ mm}$



**उदाहरण 7.2 : एक ISMB-450 @ 0·724 kN I खण्ड का प्रयोग शुद्धालम्बित एवं पार्श्विक आबद्ध धरन के रूप में किया गया। यदि प्रभावी विस्तृति 8 मीटर हो तो इस धरन द्वारा अपने भार सहित कितना कुल एक-समान वितरित भार सुरक्षित वहन किया जायेगा? अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल का मान 165 N/mm$^2$ लीजिये।**

**हल :** स्टील टेबल से ISMB-450 के गुणधर्म—

भार $= 0{\cdot}724$ kN/m

परिच्छेद मापांक, $Z = 1350{\cdot}7$ cm$^3$

प्रभावी विस्तृति, $l = 8{\cdot}0$ m

अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल, $\sigma_b = 165$ N/mm$^2$

अत: खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, $M = \sigma_b \times Z$ ...(सूत्र)

$= 165 \times 1350{\cdot}7 \times 10^3$ N-mm

$= \frac{165 \times 1350{\cdot}7 \times 10^3}{10^6}$ kN/m

$= 222{\cdot}86$ kN-m

= अधिकतम बंकन आघूर्ण

यदि $W$ = अपने भार सहित कुल एक-समान वितरित भार (kN)

$l$ = प्रभावी विस्तृति = 8 m

अत: $M = 222{\cdot}86 = \frac{Wl}{8} = \frac{W \times 8}{8}$ kN-m

∴ $W = 222{\cdot}86$ kN

अत: भार प्रति मी० $= w = \frac{222{\cdot}86}{8} = \mathbf{27{\cdot}86\ kN/m}$ **उत्तर**

**उदाहरण 7.3 : एक ISWB-500 @ 0·952 kN I खण्ड का प्रयोग 7·5 मी० प्रभावी विस्तृति के पार्श्विक आबद्ध धरन के लिये किया गया। यदि इस धरन पर 45 kN/m एक-समान वितरित भार आ रहा हो तो इस धरन में उत्पन्न अधिकतम बंकन प्रतिबल, औसत अपरूपण प्रतिबल तथा विक्षेप ज्ञात कीजिये। धरन के लिये $E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$ लीजिये।**

**हल :** स्टील टेबल से ISWB-500 @ 0·952 kN के गुणधर्म-

भार प्रति मी० = 0·952 kN

वेब मोटाई, $t_w = 9{\cdot}9$ mm

गहराई, $D = 500$ mm

जड़त्व आघूर्ण, $I_{XX} = 52290{\cdot}6$ cm$^4$

परिच्छेद मापांक, $Z_{XX} = 2091{\cdot}6$ cm$^3$

तथा $E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$ (अथवा $2 \times 10^5$ MPa)

प्रभावी विस्तृति, $l = 7{\cdot}5$ m

एक-समान वितरित भार = 45 kN/m

कुल एक समान वितरित भार, $W = 45 \times 7{\cdot}5 = 337{\cdot}5$ kN

civilguru.net

तथा अधिकतम बंकन आघूर्ण, $\frac{Wl}{8} = \frac{337{\cdot}5 \times 7{\cdot}5}{8}$ kN-m

$= 316{\cdot}4$ kN-m

(i) अधिकतम अपरूपण बल, $V = \frac{W}{2} = \frac{337{\cdot}5}{2}$ kN $= 168{\cdot}75$ kN

(ii) अधिकतम बंकन प्रतिबल, $\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{316{\cdot}4 \times 10^6}{2091{\cdot}6 \times 10^6}$ N/mm$^2$ $= 151{\cdot}27$ N/mm$^2$

(iii) अधिकतम औसत अपरूपण प्रतिबल, $\frac{V}{Dt_w} = \frac{168{\cdot}75 \times 10^3}{500 \times 9{\cdot}9}$ N/mm$^2$ $= 34{\cdot}09$ N/mm$^2$

(iv) अधिकतम विक्षेप, $\delta = \frac{5Wl^3}{384EI}$

यहाँ, $W$ = कुल एक-समान वितरित भार $= 337{\cdot}5 \times 10^3$ N

$l$ = प्रभावी विस्तृति $= 7{\cdot}5$ m $= 7{\cdot}5 \times 10^3$ mm

$E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$

$I$ = जड़त्व आघूर्ण ($XX$ अक्ष पर) $= 52290{\cdot}6 \times 10^4$ mm$^4$

$\delta$ = अधिकतम विक्षेप = (mm)

ज्ञात मान रखने पर, $\delta = \frac{5 \times 337{\cdot}5 \times 10^3 \times 7{\cdot}5^3 \times 10^9}{384 \times 2 \times 10^5 \times 52290{\cdot}6 \times 10^4}$ mm

$= \frac{5}{2} \times \frac{337{\cdot}5}{384} \times \frac{421{\cdot}875}{52{\cdot}2906}$ mm

∴ **विक्षेप $= 17{\cdot}72$ mm** उत्तर

**उदाहरण 7.4 : एक 9 मी० × 5 मी० परिमाप के हॉल के लिये ISMB-400 धरनों का प्रयोग किया गया। छत की स्लैब 150 mm मोटी है। धरनों की केन्द्र से केन्द्र दूरी 3 मीटर रखी गयी है। धरनों की संपीडन फ्लेंजें पूरी लम्बाई में पार्श्विक आबद्ध है। हॉल के छत पर सुरक्षित चलभार ज्ञात कीजिये। कंक्रीट का घनत्व = 24 kN/m$^3$, चूना टेरेसिंग का भार = 0·75 kN/m$^2$, अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 165 N/mm$^2$ ।**

**हल :**

हॉल का परिमाप = 9 m × 5 m

धरन की विस्तृति = 5 m (परिमाप प्रभावी मानते हुये)

धरन की केन्द्र से केन्द्र दूरी = 3 m

एक धरन द्वारा आलम्बित क्षेत्रफल = 5 × 3 = 15 m$^2$

इस क्षेत्रफल के लिये—

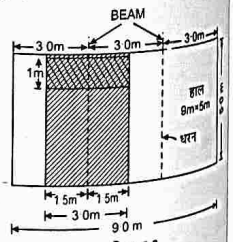
150 mm मोटी स्लैब का भार = 1 × 1 × 0·15 × 24 × 15 kN

$= 54{\cdot}0$ kN

चूना टेरेसिंग का भार = 15 × 0·75 kN

$= 11{\cdot}25$ kN

इस प्रकार, स्लैब व चूना टेरेसिंग का भार = 54 + 11·25 = 65·25 kN




चित्र 7.3



तथा धरन पर भार प्रति मीटर $= \frac{65{\cdot}25}{\text{विस्तृति}} = \frac{65{\cdot}25}{5} = 13{\cdot}05$ kN/m

चलभार उक्त भार 13·05 kN/m से अतिरिक्त होगा। स्टील टेबल से ISMB-400 के गुणधर्म

परिच्छेद मापांक, $Z = 1022{\cdot}9$ cm$^3$

$= 1022{\cdot}9 \times 10^3$ mm$^3$

अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल, $\sigma_b = 165$ N/mm$^2$

अत: प्रतिरोध आघूर्ण $= 1022{\cdot}9 \times 10^3 \times 165$ N-mm $[\because M = \sigma_b \times z]$

$= \frac{1022{\cdot}9 \times 165 \times 10^3}{10^6}$ kN-m

$= 168{\cdot}78$ kN-m

अत: $M$ = बंकन आघूर्ण $= 168{\cdot}78$ kN-m $= \frac{w \times 5 \times 5}{8}$

तथा $w$ = भार प्रति मी० $= \frac{168{\cdot}78 \times 8}{25}$ kN $= 54$ kN/m

∴ चलभार $= 54 - 13{\cdot}05 = 40{\cdot}95$ kN/m

अथवा $= \frac{40{\cdot}95}{3} = \mathbf{13{\cdot}65}$ **kN/m** उत्तर

**उदाहरण 7.5 : एक धरन के लिये जिसकी प्रभावी विस्तृति 7·5 m है। ISMB-500 का प्रयोग किया गया है। इस धरन के लिये सुरक्षित एकसमान वितरित भार (UDL) ज्ञात कीजिये–अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 165 N/mm$^2$, अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल = 100 N/mm$^2$ ।**

**हल :** स्टील टेबल से ISMB-500 के आवश्यक गुणधर्म

गहराई, $D = 500$ mm

वेब मोटाई, $t_w = 10{\cdot}2$ mm

परिच्छेद मापांक, $Z_{XX} = 1808{\cdot}7$ cm$^3$ अथवा $1808{\cdot}7 \times 10^3$ mm$^3$

धरन की प्रभावी विस्तृति, $l = 7{\cdot}5$ m $= 7500$ mm

माना धरन भार प्रति मीटर $= w$ kN/m

बंकन आघूर्ण, $M = \frac{w \times 7{\cdot}5 \times 7{\cdot}5}{8}$ kN-m

$= 7{\cdot}031\, w$/kN-m

अधिकतम अपरूपण बल, $V = \frac{wL}{2} = \frac{w \times 7{\cdot}5}{2}$ kN

$= 3{\cdot}75\, w$/kN

धरन के लिये सुरक्षित भार बंकन प्रतिबल व अपरूपण प्रतिबल दोनो के आधार पर ज्ञात किया जायेगा। इनमे से न्यूनतम भार धरन के लिये सुरक्षित भार होगा।

अत: (i) **बंकन प्रतिबल के आधार पर,**

प्रतिरोध आघूर्ण $= \sigma_b \times Z_{XX}$

$= 165 \times 1808{\cdot}7 \times 10^1$ N-mm

$$= \frac{165 \times 1808{\cdot}7 \times 10^3}{10^6} \text{ kN-m}$$

$$= 165 \times 1{\cdot}8087 \text{ kN-m} = 298{\cdot}43 \text{ kN-m}$$

अत: भार प्रति मीटर $= \frac{298{\cdot}43}{7{\cdot}031} = 42{\cdot}44$ kN/m

**(ii) अपरूपण प्रतिबल के आधार पर,**

$$\tau_V = \frac{V}{Dt_w} \text{ अथवा } V = \tau_V \cdot D \cdot t_w$$

$\tau_V$ = अनुमत अपरूपण प्रतिबल

$= 100$ N/mm$^2$

$V = 3{\cdot}75\,w$ kN, $D = 500$ mm तथा $t_w = 10{\cdot}2$ mm

ज्ञात मान रखने पर, $V = 100 \times 500 \times 10{\cdot}2$ N $= 510$ kN

तथा $w = \frac{510}{3{\cdot}75} = \mathbf{136\ kN/m}$

अत: सुरक्षित भार = **42·44 kN/m** (जो न्यूनतम है) **उत्तर**

## § 7.5. धरनों का अभिकल्पन (Design of Beams) :

धरनो का अभिकल्पन अनुच्छेद 7.3 मे दी गयी पद्धति के अनुसार तीन चरणो मे किया जाता है—

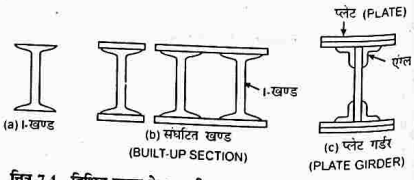
**इस अध्याय में हम पार्श्विक आबद्ध इस्पातीय धरनों के अभिकल्पन का अध्ययन करेंगे।**

**7.5-1. इस्पातीय धरन** (Steel Beam)—अध्याय 2 मे हमने देखा है कि भवनो के निर्माण हेतु उपर्युक्त पदार्थों मे इस्पात का अपना विशेष महत्व है। इसका प्रमुख कारण इस्पात मे अधिक मात्रा मे तनन, संपीडन व अपरूपण बल वहन करने की क्षमता होना है। अत: कई बार भवनो मे इस्पातीय धरन का प्रयोग किया जाता है।

इस्पातीय धरन के लिये सामान्यत: बेल्लित इस्पातीय खण्डो (Rolled steel sections) का प्रयोग किया जाता है। यह खण्ड बाजार में सुलभता से उपलब्ध होते है। इनके प्रयोग से निर्माण कार्य तेजी से सम्पन्न किया जा सकता है। इन खण्डों के विवरण आदि के लिये पुस्तक के अन्त मे दिये सम्बद्ध परिशिष्ट देखे।

**(1) धरन खण्ड** (Beam Section)—अध्याय 2 मे हमने संरचनात्मक इस्पात व इस्पातीय खण्डो का अध्ययन किया है। छोटी विस्तृति (Short spans) वाले धरनो के लिये बेल्लित इस्पातीय I खण्डो का सीधा प्रयोग किया जा सकता है।

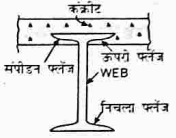
जब विस्तृति अधिक होती है अथवा धरन पर अधिक भार आता है तब धरन के लिये ऐसे खण्ड की आवश्यकता होती है, जिसका प्रतिरोध आघूर्ण अधिक हो। ऐसी स्थिति मे **एकल I** खण्ड पर्याप्त नही होता है, तब I खण्ड के साथ चपटी पत्ती (Flat) अथवा अन्य बेल्लित इस्पातीय खण्डो का प्रयोग करते हुये, धरन खण्ड का सयोजन किया जाता है। ऐसे विभिन्न धरन खण्ड चित्र 7.4 मे दर्शित है। ऐसे धरनो को संघटित धरन (Built up Beam) कहा जाता है। संघटित धरनो का विश्लेषण/अभिकल्पन आगे के अनुच्छेदो मे दिया जा रहा है।




**चित्र 7.4—विभिन्न प्रकार के इस्पातीय धरन (Rolled Steel I-Sections)**



**7.5-2. पार्श्विक आबद्ध धरन** (Laterally Retrained Beam)—सामान्यत: विभिन्न संरचनाओं मे धरन पर अनुप्रस्थ भार आते है। यद्यपि भवन व अन्य संरचनाओं मे यह आवश्यक है कि धरन मे पार्श्विक विस्थापन (Lateral displacement) न हो। यह विस्थापन धरन पर आने वाले संभाव्य तिरछे (Inclined) अथवा क्षैतिज भारो से हो सकता है। पार्श्विक विस्थापन से धरन मे व्याकुंचन (Buckling) की स्थिति उत्पन्न हो सकती है।




**चित्र 7.5**

धरन की इस प्रवृत्ति को रोकने के लिये धरन की संपीडन फ्लेंज को पूरे लम्बाई मे पार्श्विक विस्थापन के लिये आबद्ध किया जाता है। यह व्यवस्था चित्र 7.5 मे दर्शित है।

यहाँ धरन की संपीडन फ्लेंज को कंक्रीट मे अंतस्थापित (Embeded) किया गया है। ऐसी व्यवस्था जिन धरनो मे होती है, **उन्हें पार्श्विक आबद्ध धरन** कहा जाता है।

**7.5-3. पार्श्विक आबद्ध धरनों का अभिकल्पन** (Design of Laterally Restrained Beam)—सामान्यत: धरन का अभिकल्पन दिये गये विस्तृति व अध्यारोपित भार के लिये किया जाता है। धरन का अभिकल्पन अनुच्छेद 7.3 मे दिये गये चरणो मे किया जाता है।

**(1) धरनों पर भारों की गणना**—धरनो के अभिकल्पन के लिये उस पर आने वाले अध्यारोपित भार/चल भार तथा अचल भार (Dead load) दोनो ज्ञात होना आवश्यक है।

अचल भार मुख्यत: धरन का स्वयं का भार होता है तथा इसे धरन के लिये संभाव्य परिच्छेद मानते हुये अनुमानित किया जाता है। इसे धरन पर आने वाले चल भार के अनुपात मे भी निम्नवत माना जा सकता है—

| विस्तृति | अचल भार |
|---|---|
| 3 मीटर तक | चल भार के 1·5% |
| 3 मीटर से अधिक 6 मीटर तक | चल भार के 2·0% |
| 6 मीटर के अधिक | चल भार के 3·5% |

इस प्रकार धरन के स्वयं के भार को उस पर आने वाले अध्यारोपित भार/चल भार मे जोड़ने पर धरन पर कुल भार ज्ञात होगा।

**(2) भारों के परिणाम**—धरन का स्वयं का भार तथा उस पर आने वाले अध्यारोपित/चल भार को अनुमानित करने के उपरान्त इन भारो के परिणामस्वरूप निम्न मान ज्ञात किये जाते है—

(i) अधिकतम बंकन आघूर्ण '$M$'

(ii) अधिकतम अपरूपण बल '$V$'

**(3) अनुज्ञेय प्रतिबल**—पार्श्विक आबद्ध धरनो के अभिकल्पन हेतु अनुज्ञेय प्रतिबलो के मान पराभव प्रतिबल $f_y = 250$ N/mm$^2$ के आधार पर निम्नवत् लिये जा सकते हैं—

अनुज्ञेय प्रतिबल ($f_y = 250$ N/mm$^2$ के लिये)—

**तालिका 7.1—धरनों के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल**

| प्रतिबल | अनुज्ञेय मान (N/mm$^2$) |
|---|---|
| (i) बंकन प्रतिबल तनन/संपीडन $(0{\cdot}66 f_y)$ | 165·0 |
| (ii) औसत अपरूपण प्रतिबल $(0{\cdot}4 f_y)$ | 100·0 |
| (iii) धारण प्रतिबल $(0{\cdot}75 f_y)$ | 187·5 |

**(4) अधिकतम विक्षेप** (Deflection)—धरन के अभिकल्पन मे विक्षेप का अधिकतम मान भारतीय मानक IS : 800-1984 द्वारा विस्तृति/325 निर्धारित है।

चयनित खण्ड के लिये अनुमानित भारो के साथ धरन का विक्षेप उपरोक्तानुसार (*l*/325) से अधिक नही होना चाहिए। यहाँ *l* = प्रभावी विस्तृति।

**(5) खण्ड का चयन**—अभिकल्पन के चरणो मे खण्ड का चयन एक महत्वपूर्ण प्रक्रिया है, क्योकि चयनित खण्ड के साथ धरन अनुमानित भारो के परिणामो के लिये उपरोक्त अनुच्छेद 7.5-3 के अनुरूप सुरक्षित होनी चाहिये अन्यथा खण्ड का यन पुन: करना होगा।

अत: खण्ड का चयन सावधानीपूर्वक निम्नवत् किया जाये—

(i) अधिकतम विक्षेप (*l*/325) के लिये धरन की आवश्यक कुल गहराई अनुच्छेद 7.4-3 के अनुसार (लगभग 55 mm प्रति मीटर विस्तृति) निर्धारित कीजिये।

(ii) अनुमानित कुल भार के लिये अधिकतम बंकन आघूर्ण (*M*) के लिये अनुमत बंकन प्रतिबल के आधार पर आवश्यक परिच्छेद मापांक (*Z*) ज्ञात कीजिये।

(iii) उपरोक्त (i) के अनुसार गहराई लेते हुये स्टील टेबल से ऐसे खण्ड का चयन करे जिसका परिच्छेद मापांक (*Z*) उपरोक्त (ii) मे ज्ञात मान से अधिक हो।

**(6) सुरक्षा के लिये जाँच—**

**(i) स्वयं का भार**—चयनित खण्ड के लिये धरन का स्वयं का भार ज्ञात कीजिये। यदि यह अनुमानित भार से अधिक हो तो इस भार के साथ कुल भार ज्ञात करते हुये अधिकतम बंकन आघूर्ण (*M*) व अधिकतम अपरूपण बल (*V*) के मान पुन: ज्ञात कीजिये।

**(ii) अधिकतम बंकन प्रतिबल के लिये जाँच**—धरन मे उत्पन्न वास्तविक बंकल प्रतिबल निम्नवत् ज्ञात कीजिये—

यदि $M$ = अधिकतम बंकन आघूर्ण (N-mm)

$Z$ = परिच्छेद मापांक ($mm^3$)

तब अधिकतम बंकन प्रतिबल तनन/संपीडन $\sigma_{bc}$ or $\sigma_{bt} = \dfrac{M}{Z}$ ($N/mm^2$)

यह वास्तविक मान अनुज्ञेय अधिकतम मान (165 N/mm ) से अधिक नही होना चाहिये।

**नोट**— सामान्यत: धरन की विस्तृति मीटर मे तथा भार kN मे लिये जाने के फलस्वरूप अधिकतम बंकन आघूर्ण (*M*) का मान kN-m मे ज्ञात होगा। इसे N-mm मे परिवर्तित करने हेतु गुणक $10^6$ का प्रयोग किया जाता है।

अधिकतम बंकन आघूर्ण $M$ = बंकन आघूर्ण (kN-m मे) $\times 10^6$

इसी प्रकार स्टील टेबल मे परिच्छेद मापांक $Z_{XX}$ का मान $cm^3$ मे दिया होता है।

इसे $mm^3$ मे परिवर्तित करने हेतु गुणक $10^3$ का प्रयोग किया जाता है। ($1\ cm^3 = 10^3\ mm^3$)

परिच्छेद मापांक $Z$ = परिच्छेद मापांक $\times$ 10

$(mm)^3$ $(cm^3)$

**(iii) औसत अपरूपण प्रतिबल के लिये जाँच**—अनुज्ञेय औसत अपरूपण प्रतिबल

= 100 $N/mm^2$ ($f_y$ = 250 $N/mm^2$ के लिये)

यदि $V$ = अधिकतम अपरूपण बल (*N*)

$D$ = चयनित खण्ड की कुल गहराई (mm)

$t_w$ = चयनित खण्ड के लिये वेब मोटाई (mm)

तब औसत अपरूपण प्रतिबल का वास्तविक मान—

$$\tau_v = \frac{V}{D \cdot t_w}\ N/mm^2$$

यह मान अधिकतम अनुज्ञेय मान 100 $N/mm^2$ से अधिक नही होना चाहिये।



**(iv) अधिकतम विक्षेप के लिये जाँच**—वास्तविक विक्षेप का मान $E = 2 \times 10^5\ N/mm^2$ लेते हुये ज्ञात किया जा सकता है। वह निर्धारित अधिकतम मान (विस्तृति/325) से अधिक नहीं होना चाहिये।

**उदाहरण 7.6 : एक शुद्धालम्बित धरन का अभिकल्पन करें। धरन की प्रभावी विस्तृति 6·5 मी० है। यह अपने सम्पूर्ण विस्तृति पर 20 kN/m का एक समान वितरित भार वहन करती है। धरन की सम्पीडन फ्लेंज पूरी लम्बाई में पार्श्विक दिशा में आबद्ध है। अभिकल्पन की जाँच अपरूपण एवं विक्षेप के लिये भी कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल आदि निम्नवत् लीजिये—बंकन = 165 $N/mm^2$, औसत अपरूपण = 100 $N/mm^2$, $E = 2 \times 10^5\ N/mm^2$, अनुज्ञेय विक्षेप = विस्तृति/325.**

**हल :** धरन की प्रभावी विस्तृति, $l$ = 6·5 m

धरन पर भार प्रति मी०, $w$ = 20 kN/m

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = \dfrac{wL^2}{8}$ ...(सूत्र)

$$= \frac{20 \times 6{\cdot}5^2}{8}\ \text{kN-m} = 105{\cdot}62\ \text{kN-m}$$

अनुज्ञेय अधिकतम बंकन प्रतिबल, $\sigma_b = 165\ N/mm^2$

अत: आवश्यक परिच्छेद मापांक (Section modulus), $Z = \dfrac{M}{\sigma_b}$

$$= \frac{105{\cdot}62 \times 10^6}{165}\ mm^3$$

$$= 0{\cdot}6401 \times 10^6\ mm^3$$

$$= 640{\cdot}1 \times 10^3\ mm^3$$

पुन: विक्षेप के लिये आवश्यक गहराई, $D$ = (55 × प्रभावी विस्तृति)

= 55 × 6·5 mm = 357·5 mm

अत: ऐसे I खण्ड का चयन किया जाये जिसकी गहराई 350 mm या इससे अधिक हो तथा परिच्छेद मापांक ($Z_{XX}$) का मान 640·1 $cm^3$ से अधिक हो।

अत: स्टील टेबल से ISMB-350 का चयन करते हुये, इस I खण्ड के गुणधर्म—

भार प्रति मी०, $w$ = 0·524 kN

गहराई, $D$ = 350 mm

वेब मोटाई, $t_w$ = 8·1 mm

जड़त्व आघूर्ण $I_{XX} = 13630{\cdot}3 \times 10^4\ mm^4$

परिच्छेद मापांक, $Z_{XX} = 778{\cdot}9 \times 10^3\ mm^3$

इस खण्ड की सुरक्षा के लिये जाँच की जाये—

धरन की प्रभावी विस्तृति, $l$ = 6·5 m

धरन पर भार = 20 kN/m

I खण्ड का भार = 0·524 kN/m

अत: कुल भार प्रति मी०, $w$ = 20·524 kN/m

धरन पर कुल भार, $W = w \cdot l = 20{\cdot}524 \times 6{\cdot}5$ kN = 133·4 kN

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = \frac{Wl}{8} = \frac{133{\cdot}4 \times 6{\cdot}5}{8}$ kN-m = 108·4 kN-m

तथा अधिकतम अपरूपण बल = $\frac{W}{2} = \frac{133{\cdot}4}{2}$ = 66·7 kN

इस प्रकार—

**(i) धरन में उत्पन्न अधि० बंकन प्रतिबल—**

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{108{\cdot}4 \times 10^6}{778{\cdot}9 \times 10^3} \text{ N/mm}^2$$

$$= 139{\cdot}17 \text{ N/mm}^2 < 165 \text{ N/mm}^2, \text{ ठीक है।}$$

**(ii) अधिकतम औसत अपरूपण प्रतिबल—**

$$\tau_v = \frac{\text{अधि० अपररूपण बल}}{\text{गहराई} \times \text{वेब मोटाई}}$$

$$= \frac{66{\cdot}7 \times 10^3}{350 \times 8{\cdot}1} \text{ N/mm}^2$$

$$= 23{\cdot}53 \text{ N/mm}^2 < 100 \text{ N/mm}^2 \text{ ठीक है।}$$

**(iii) विक्षेप** (Deflection)—

$$\text{अधिकतम विक्षेप} = \frac{6500}{325} = 20 \text{ mm}$$

वास्तविक विक्षेप इससे कम होना चाहिये।

$$\text{विक्षेप, } \delta = \frac{5Wl^2}{384EI} \quad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ $W$ = धरन पर कुल भार = $133{\cdot}4 \times 10^3$ N

$l$ = प्रभावी विस्तृति = $6{\cdot}5 \times 10^3$ mm

$E$ = यंग मापांक = $2 \times 10^5$ N/mm²

$I$ = जड़त्व आघूर्ण = $13630{\cdot}3 \times 10^4$ mm⁴

$\delta$ = विक्षेप (mm)

ज्ञात मान रखने पर, $$\delta = \frac{5 \times 133{\cdot}4 \times 10^3 \times 6{\cdot}5^3 \times 10^9}{384 \times 2 \times 10^5 \times 13650{\cdot}3 \times 10^5} \text{ mm}$$

$$= \frac{5}{2} \times \frac{133{\cdot}4}{384} \times \frac{6{\cdot}5^3}{13{\cdot}6303} \text{ mm}$$

$$= 17{\cdot}5 \text{ mm} < 20 \text{ mm ठीक है।}$$

अत: **ISMB-350 @ 0·525 kN I खण्ड उपर्युक्त होगा।**

उत्तर



**उदाहरण 7.7 : एक 5 मी० प्रभावी विस्तृति की धरन अपने सिरों पर पूर्ण रूप से आबद्ध है। यह 20 kN/m का एक-समान वितरित भार पूरे विस्तृति पर वहन करती है। धरन की सम्पीडन फ्लेंज पूरे लम्बाई में पार्श्विक दिशा में आबद्ध है। इस धरन के लिये उपर्युक्त I खण्ड का चयन करें। अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 165 N/mm² तथा औसत अपरूपण प्रतिबल 94·5 N/mm² लीजिए।**

**हल :** धरन की प्रभावी विस्तृति, $l = 5$ m

धरन पर एक-समान वितरित भार, $w = 20$ kN/m

आबद्ध धरन (Fixed beam) के लिये—

सिरों पर ऋणात्मक आघूर्ण = $-\frac{wl^2}{12}$ ...(सूत्र)

धरन के मध्य पर धनात्मक आघूर्ण = $\frac{wl^2}{8} - \frac{wl^2}{12} = +\frac{wl^2}{24}$

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = \frac{wl^2}{12} = \frac{20 \times 5 \times 5}{8} = 62{\cdot}5$ kN-m

अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल, $\sigma_b = 165$ N/mm²

अत: आवश्यक परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{M}{\sigma_b} = \frac{62{\cdot}5 \times 10^6}{165}$ mm³

$= 378{\cdot}8 \times 10^3$ mm³

आवश्यक गहराई = 55 × 5 = 275 mm (55 mm प्रति मी० लम्बाई लेते हुये)।

यह गहराई शुद्धालम्बित धरन के लिये है। यद्यपि धरन में, आबद्ध होने के फलस्वरूप विक्षेप कम ही होगा।

स्टील टेबल से ISLB-300 के गुणधर्म—

भार प्रति मी०, $w = 0{\cdot}377$ kN

गहराई, $D = 300$ mm

वेब मोटाई, $t_w = 6{\cdot}7$ mm

जड़त्व आघूर्ण, $I_{XX} = 7332{\cdot}9 \times 10^4$ mm⁴

परिच्छेद मापांक, $Z_{XX} = 488{\cdot}9 \times 10^3$ mm³

धरन का अपना भार विचार में लेते हुये—

कुल भार प्रति मी०, $w = (20 + 0{\cdot}377) = 20{\cdot}377$ kN/m

अत: धरन पर कुल भार, $W = 20{\cdot}377 \times 5$ kN

$= 101{\cdot}9$ kN

अत: बंकन आघूर्ण, $M = \frac{Wl}{12} = \frac{101{\cdot}9 \times 5}{12}$ kN-m

$= 42{\cdot}46$ kN-m

तथा अधिकतम अपरूपण बल, $V = \frac{101{\cdot}9}{2} = 50{\cdot}95$ kN

civilguru.net

इस प्रकार उपरोक्त ISLB-300 I खण्ड का प्रयोग करने पर—

$$\text{अधिकतम बंकन प्रतिबल, } \frac{M}{Z} = \frac{42{\cdot}46\times10^6}{488{\cdot}9\times10^3}\ \text{N/mm}^2$$

$$= 86{\cdot}8\ \text{N/mm}^2 < 165\ \text{N/mm}^2 \text{ अत: ठीक है।}$$

अत: ISLB-300 I खण्ड उपर्युक्त है। इसका प्रयोग किया जाये।

**नोट**— आबद्ध धरन मे एक-समान वितरित भार के साथ विक्षेप $\frac{WL^3}{384EI}$ होगा, जो शुद्धालम्बित धरन के लिये विक्षेप $\frac{5WL^3}{384EI}$ के 1/5 होगा। अत: धरन विक्षेप मे सुरक्षित होगी।

**उदाहरण 7.8 : 7·5 मी० प्रभावी विस्तृति के पार्श्विक आबद्ध धरन के लिये एक I खण्ड का चयन कीजिये। धरन पर अपने भार सहित 22 kN/m का एक-समान वितरित भार आ रहा है। अनुज्ञेय प्रतिबल बंकन = 165 N/mm², औसत अपरूपण = 94·5 N/mm², $E = 2\times10^5$ N/mm², अधिकतम विक्षेप = विस्तृति/325 लीजिये।**

**हल :** धरन की प्रभावी विस्तृति $l = 7{\cdot}5$ m

धरन पर कुल एक समान वितरित भार, $W = 22\times7{\cdot}5$ kN $= 165$ kN

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = \frac{WL}{8}$ यहाँ $L = 7{\cdot}5$ मी०

$$\therefore\quad M = \frac{165\times7{\cdot}5}{8}\ \text{kN-m} = 154{\cdot}68\ \text{kN-m}$$

अधिकतम अपरूपण बल, $V = \frac{W}{2} = \frac{165}{2} = 82{\cdot}5$ kN

अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल, $\sigma_b = 165\ \text{N/mm}^2$

अनुज्ञेय औसत अपरूपण प्रतिबल, $\tau_v = 94{\cdot}5\ \text{N/mm}^2$

$$\text{अनुज्ञेय विक्षेप} = \frac{l}{325} = \frac{7{\cdot}5\times1000}{325} = 23{\cdot}07\ \text{mm}$$

अत: आवश्यक परिच्छेद मापांक (Section Modulus)—

$$Z = \frac{M}{\sigma_b} = \frac{154{\cdot}68\times10^6}{165}\ \text{mm}^3$$

$$= 937{\cdot}45\times10^3\ \text{mm}^3$$

विक्षेप मे सुरक्षा के लिये आवश्यक गहराई $= 55\times7{\cdot}5 = 412{\cdot}5$ mm

स्टील टेबल से ISLB-450 I खण्ड के गुणधर्म—

भार प्रति मी० = 0·653 kN

गहराई, $D = 450$ mm

वेब मोटाई, $t_w = 8{\cdot}6$ mm

जड़त्व आघूर्ण, $I_{XX} = 27536{\cdot}1\times10^4\ \text{mm}^4$

परिच्छेद मापांक, $Z_{XX} = 1123{\cdot}8\times10^3\ \text{mm}^3$



इस खण्ड की सुरक्षा के लिये जाँच की जाये—

(i) **धरन में अधिकतम बंकन प्रतिबल—**

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{154{\cdot}68\times10^6}{1123{\cdot}8\times10^3}\ \text{N/mm}^2$$

$$= 137{\cdot}6\ \text{N/mm}^2 < 165\ \text{N/mm}^2 \text{ अत: ठीक है।}$$

(ii) **धरन में औसत अपरूपण प्रतिबल—**

$$\tau_V = \frac{V}{D\times t_w} = \frac{82{\cdot}5\times10^3}{450\times8{\cdot}6}\ \text{N/mm}^2$$

$$= 21{\cdot}32\ \text{N/mm}^2 < 94{\cdot}5\ \text{N/mm}^2 \text{ अत: ठीक है।}$$

(iii) **वास्तविक विक्षेप—**

$$\delta = \frac{5WL^3}{384EI} = \frac{5\times165\times10^3\times7{\cdot}5^3\times10^9}{384\times2\times10^5\times27536{\cdot}1\times10^4}\ \text{mm}$$

$$= \frac{5}{2}\times\frac{165}{384}\times\frac{7{\cdot}5^3}{27{\cdot}5361}\ \text{mm}$$

$$= 16{\cdot}45\ \text{mm} < 23{\cdot}07\ \text{mm}.\ \text{अत: ठीक है।}$$

**अत: ISMB-450 I खण्ड का प्रयोग किया जाये।** उत्त

**उदाहरण 7.9 : एक हाल के प्रभावी परिमाप 10 मी० × 6 मी० है। इसकी छत में चौड़ाई के समानान्तर 2·5 मी० केन्द्र दूरी पर लगाने हेतु धरन के लिये I खण्ड का चयन कीजिये। छत में प्रबलित कंक्रीट स्लैब की मोटा 100 mm है। निम्न आंकड़ों से धरन का अभिकल्पन कीजिये—प्रबलित कंक्रीट का घनत्व = 24 kN/m³, चू कंक्रीट टेरेसिंग का भार = 0·75 kN/m², अध्यारोपित भार = 3·0 kN/m², अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 165 N/mm², अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल = 100 N/mm², अधिकतम विक्षेप = विस्तृति/325।**

**हल :** धरनो की व्यवस्था चित्र 7.6 मे दर्शित है।

धरन की प्रभावी विस्तृति, $l = 6{\cdot}0$ मी०

धरनो की केन्द्र से केन्द्र दूरी = 2·5 मीटर

अत: एक धरन द्वारा आलम्बित क्षेत्रफल (चित्र 7.6 में हैचिंग क्षेत्र देखे)

$$A = 6\times2{\cdot}5 = 15\ \text{m}^2$$

धरन की एक मीटर लम्बाई द्वारा आलम्बित क्षेत्रफल ($A_1$ द्वारा दर्शित)

$$A_1 = 1{\cdot}0\times2{\cdot}5 = 2{\cdot}5\ \text{m}^2$$

(i) **धरन पर भार की गणना**—धरन के प्रति मीटर लम्बाई पर (क्षेत्रफल $A_1$ पर) आने वाले भार निम्न होगे—

(a) स्लैब का भार— मोटाई = 100 mm = 0·10 m

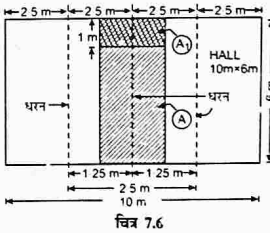
घनत्व = 24 kN/m³

अत: भार $= 2{\cdot}5\times0\ 1\times24$ 6·000 kN

(b) चूना कंक्रीट टेरेसिग का भार—$2{\cdot}5\times1\times0{\cdot}75$ 1·875 kN

(c) अध्यारोपित भार—$2{\cdot}5\times1\times3{\cdot}0$ 7·500 kN

योग 15·375 kN




चित्र 7.6

(d) धरन का अपना भार (1·5% मानते हुये) 0·230 kN

कुल भार 15·605 kN

अथवा 15·6 kN/m

**(ii) अधिकतम बंकन आघूर्ण**

$$M = \frac{15{\cdot}6 \times 6 \times 6}{8} \text{ kN-m}$$

$$= 70{\cdot}2 \text{ kN-m}$$

$$= 70{\cdot}2 \times 10^6 \text{ N-mm}$$

**(iii) अधिकतम अपरूपण बल**

$$V = \frac{15{\cdot}6 \times 6}{2} = 46{\cdot}8 \text{ kN} \quad \text{or} \quad 46800 \text{ N}$$

अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 165 N/mm²

अत: आवश्यक परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{M}{\sigma_b}$

$$\therefore \quad Z = \frac{70{\cdot}2 \times 10^6}{165} \text{ mm}^3$$

$$= 0{\cdot}4254 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$= 425{\cdot}4 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

विक्षेप के आधार पर आवश्यक गहराई = 6 × 55 = 330 mm (55 mm प्रति मी० लम्बाई)

अत: स्टील टेबुल से ISLB-325 का चयन करते हुये खण्ड के आवश्यक गुणधर्म अग्रलिखित हैं—

परिच्छेद मापांक, $Z = 607{\cdot}7 \text{ cm}^3 = 607{\cdot}7 \times 10^3 \text{ mm}^3$

भार प्रति मीटर = 43·1 kg = 431 N या 0·431 kN

वेब मोटाई, $t_w = 7{\cdot}0$ mm

जड़त्व आघूर्ण, $I_{XX} = 9874{\cdot}6 \text{ cm}^4$ या $9874{\cdot}6 \times 10^4 \text{ mm}^4$

गइराई, $D = 325$ mm

**(iv) खण्ड की जाँच—**

चयनित खण्ड का भार = 0·431 kN/m

माना गया भार = 0·230 kN/m

अत: अतिरिक्त भार = 0·201 kN/m

तथा अतिरिक्त भार के कारण—अतिरिक्त बंकन आघूर्ण $= \frac{0{\cdot}201 \times 6 \times 6}{8}$ kN-m

$$= 0{\cdot}9045 \text{ kN-m} = 0{\cdot}905 \times 10^6 \text{ N-mm}$$

अतिरिक्त अपरूपण बल $= 0{\cdot}201 \times \frac{6}{2} = 0{\cdot}603$ kN अथवा 603 N

तथा अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = (70{\cdot}2 + 0{\cdot}905) \times 10^6$ N-mm

$$= 71{\cdot}105 \times 10^6 \text{ N-mm}$$



अधिकतम अपरूपण बल = 46800 + 603 N

= 47403 N

अत: अधिकतम बंकन प्रतिबल, $\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{71{\cdot}105 \times 10^6}{607{\cdot}7 \times 10^3}$ N/mm²

= 117·0 N/mm² < 165 N/mm² सुरक्षित है।

अधिकतम औसत अपरूपण बल, $\tau_V = \frac{V}{D \times t_w} = \frac{47403}{325 \times 7}$

= 20·84 N/mm²

< 100 N/mm² सुरक्षित है।

अधिकतम अनुमत विक्षेप (Deflection) $= \frac{l}{325} = \frac{6000}{325}$

= 18·46 mm

वास्तविक विक्षेप, $\delta = \frac{5Wl^3}{384EI}$ ...(सूत्र)

यहाँ $W$ = धरन पर कुल भार

= (15·605 + 0·201) × 6 kN

= 15·806 × 6 kN = 94·836 kN अथवा 94836 N

$l$ = 6 m = 6000 mm

$E$ = यंग मापांक = $2 \times 10^5$ N/mm²

$I$ = जड़त्व आघूर्ण = $9874{\cdot}6 \times 10^4$ mm⁴

ज्ञात मान रखने पर, $\delta = \frac{5}{384} \times \frac{94836 \times 6000^3}{2 \times 10^5 \times 9874{\cdot}6 \times 10^4}$ mm

$$= \frac{5 \times 94836 \times 6^3 \times 10^9}{384 \times 2 \times 9874{\cdot}6 \times 10^9} \text{ mm}$$

= 13·50 mm < 18·46 mm, अत: सुरक्षित है।

अत: ISLB-325 I खण्ड उपर्युक्त है। **उत्तर**

**उदाहरण 7.10 : एक धरन की प्रभावी विस्तृति 5·5 मीटर है। यदि यह धरन पूरी विस्तृति पर 25 kN/m का एक-समान वितरित भार तथा विस्तृति के मध्य पर 40 kN का बिन्दु भार वहन करती हो तो इस धरन के लिये I खण्ड का चयन कीजिये। अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 165 N/mm², अनुज्ञेय अपरूपण प्रतिबल = 100 N/mm², अनुज्ञेय अधिकतम विक्षेप = विस्तृति/325, यंग माणांग, $E = 2 \times 10^5$ N/mm² ।**

**हल : (a) भार की गणना—**

प्रभावी विस्तृति, $l = 5{\cdot}5 \text{ m} = 5{\cdot}5 \times 10^3$ mm

एक-समान भार प्रति मी० (U.D.L.), $w = 25$ kN/m

बिन्दु भार, $P = 40$ kN (मध्य पाट पर)

अत: धरन पर भार—

एक समान वितरित भार, $W = 25 \times 5{\cdot}5 = 137{\cdot}5$ kN

civilguru.net

बिन्दु भार, $P = 40{\cdot}0$ kN

अध्यारोपित कुल भार = $177{\cdot}5$ kN

धरन का स्वयं का भार 2% लेने पर = $3{\cdot}5$ kN

कुल भार = $181{\cdot}0$ kN

कुल एक-समान वितरित भार, $W = (137{\cdot}5 + 3{\cdot}5)$ kN

$= 141{\cdot}0$ kN

अत: बंकन आघूर्ण—

(i) एक-समान वितरित भार के लिये $= \frac{Wl}{8}$

$= \frac{141 \times 5{\cdot}5}{4}$ kN-m

$= 96{\cdot}93$ kN-m $= 96{\cdot}93 \times 10^6$ N-mm

(ii) बिन्दु भार के लिये $= \frac{PL}{4}$

$= \frac{40 \times 5{\cdot}5}{4}$ kN-m

$= 55$ kN-m $= 55 \times 10^6$ N-mm

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M$ = उपरोक्त (i) + (ii)

$= (96{\cdot}93 + 55) \times 10^6$ N-mm

$= 151{\cdot}93 \times 10^6$ N-mm

अधिकतम अपरूपण बल, $V = \frac{181{\cdot}0}{2}$ N $= 90{\cdot}5$ kN **अथवा** 90500 N

आवश्यक परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{151{\cdot}93 \times 10^6}{165}$ mm$^3$ $= 920{\cdot}8 \times 10^3$ mm$^3$

विक्षेप के लिये आवश्यक गहराई $= 55 \times 5{\cdot}5$ mm $= 302{\cdot}5$ mm

स्टील टेबल देखने पर 300 mm गहराई वाले खण्डों के परिच्छेद मापांक पर्याप्त नहीं है।

अत: ISMB-400 का चयन करते हुये, एक खण्ड के आवश्यक गुणधर्म—

भार प्रतिमीटर = $61{\cdot}6$ kg अथवा $0{\cdot}616$ kN/m

जड़त्व आघूर्ण, $I_{xx} = 20458{\cdot}4 \times 10^4$ mm$^4$

परिच्छेद मापांक, $Z = 1022{\cdot}9 \times 10^3$ mm$^3$

वेब मोटाई, $t_w = 8{\cdot}9$ mm

(b) **खण्ड की जाँच—**

धरन का वास्तविक भार $= 0{\cdot}616 \times 5{\cdot}5 = 3{\cdot}388$ kN

माना गया भार = $3{\cdot}50$ kN

अत: धरन के भार के फलस्वरूप बंकन आघूर्ण व अपरूपण बल में पुन: निरीक्षण की आवश्यकता नहीं है।



(i) बंकन प्रतिबल— अनुज्ञेय प्रतिबल = 165 N/mm$^2$

बंकन आघूर्ण, $M = 151{\cdot}93 \times 10^6$ N/mm

वास्तविक बंकन प्रतिबल, $\frac{M}{Z} = \frac{151{\cdot}93 \times 10^6}{1022{\cdot}9 \times 10^3}$ N/mm$^2$

$= 148{\cdot}53$ N/mm$^2$ < 165 N/mm$^2$ अत: सुरक्षित है।

(ii) अपरूपण प्रतिबल— अनुमत प्रतिबल = 100 N/mm$^2$

अपरूपण प्रतिबल, $\tau_V = \frac{V}{D \times t_w}$ ...(सूत्र)

$V = 90500$ N, $D = 400$ mm तथा $t_w = 8{\cdot}9$ mm

ज्ञात मान रखने पर,

वास्तविक अपरूपण प्रतिबल $= \frac{90500}{400 \times 8{\cdot}9}$ N/mm$^2$

$= 25{\cdot}42$ N/mm$^2$ < 100 N/mm$^2$ अत: सुरक्षित है।

(iii) विक्षेप— अनुज्ञेय विक्षेप $= \frac{\text{विस्तृति}}{325}$

$= \frac{5500}{325}$ mm $= 16{\cdot}92$ mm

वास्तविक विक्षेप—

(i) एक-समान वितरित भार के कारण, $\delta = \frac{5Wl^3}{384EI}$

यहाँ $W = 141{\cdot}0$ kN $= 141 \times 10^3$ N

$l = 5{\cdot}5$ m $= 5{\cdot}5 \times 10^3$ mm

$E$ = यंग मापांक $= 2 \times 10^5$ N/mm$^2$

$I$ = जड़त्व आघूर्ण $= 20458{\cdot}4 \times 10^4$ mm$^4$

ज्ञात मान रखने पर, विक्षेप $= \frac{5 \times 141 \times 10^3 \times 5{\cdot}5^3 \times 10^9}{384 \times 2 \times 10^5 \times 20458{\cdot}4 \times 10^4}$ mm

$= \frac{5 \times 141 \times 5{\cdot}5^3}{2 \times 384 \times 20{\cdot}4584}$ mm

$= 7{\cdot}46$ mm

(ii) बिन्दु भार के कारण, $\delta = \frac{PL^3}{48EI}$ ...(सूत्र)

$P = 40$ kN $= 40000$ N or $4 \times 10^4$ N

अन्य मान पूर्ववत् रखने पर विक्षेप $= \frac{4 \times 10^4 \times 5{\cdot}5^3 \times 10^9}{48 \times 2 \times 10^5 \times 20458{\cdot}4 \times 10^4}$ mm

$= \frac{4 \times 5{\cdot}5^3}{96 \times 2{\cdot}04584}$ mm

$= 3{\cdot}38$ mm

civilguru.net

कुल विक्षेप = 7·46 + 3·38 mm

= 10·84 mm < 16·92 mm सुरक्षित है।

अत: ISMB-400 उपर्युक्त है। उत्तर

**उदाहरण 7.11 : उदाहरण 7.10 में अंकित धरन की दीवार पर धारण लम्बाई 150 mm लेते हुये धरन के नीचे आलम्ब पर धारण प्लेट का अभिकल्पन कीजिये। धरन खण्ड की वेब विकलांगता व वेब व्याकुंचन के लिये भी जाँच कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान निम्नवत् लीजिये—चिनाई पर अनु० धारण प्रतिबल = 5·5 N/mm², इस्पात के लिये धारण प्रतिबल = 189 N/mm², इस्पात के लिये पराभव प्रतिबल = 250 N/mm²।**

**हल :** उदाहरण 7.10 से,

आलम्ब पर प्रतिक्रिया = 90500 N

स्टील टेबल से धरन खण्ड ISMB-400 के आवश्यक गुणधर्म

फ्लेज चौड़ाई, $B$ = 140 mm

वेब मोटाई, $t_w$ = 8·9 mm

गहराई, $D$ = 400 mm

फिलेट मूल पर गहरायी = $h_2$ = 32·8 mm

(1) **धारण प्लेट का अभिकल्पन**—धारण प्लेट के अभिकल्पन मे धारण प्लेट के परिमाप एवं मोटाई निर्धारित की जायेगी।

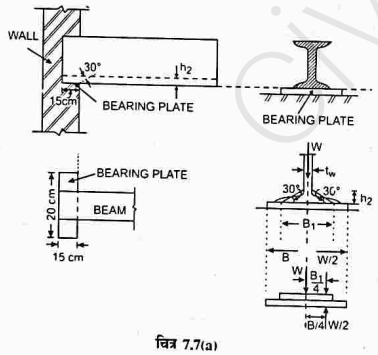
आलम्ब प्रतिक्रिया = 90500 N

चिनाई पर अनुज्ञेय धारण प्रतिबल = 5·5 N/mm²

अत: धारण प्लेट का क्षेत्रफल = $\frac{90500}{5{\cdot}5}$ mm² = 16454·5 mm²

धारण प्लेट की चौड़ाई = 150 mm (15 cm)

अत: दूसरा परिमाप = $\frac{16454{\cdot}5}{150}$ mm = 109·7 mm




चित्र 7.7(a)



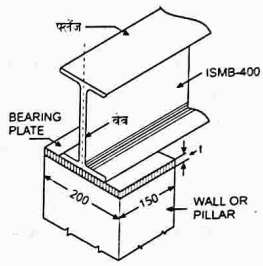
दीवार पर धरन की धारण लम्बाई 150 mm है तथा धरन की फ्लेज चौड़ाई 140 mm है धारण प्लेट धरन के नीचे दीवार पर रखी जायेगी।

अत: धारण प्लेट की लम्बाई (दूसरा परिमाप) 200 mm (फ्लेज चौड़ाई से अधिक) निर्धारित करते हुये [चित्र 7.7(b) देखें]।

धारण प्लेट के परिमाप = 200 × 150 mm

**धारण प्लेट की मोटाई**—धरन से आलम्ब पर स्थानांतरित भार = 90500 N

यह भार वेब से स्थानांतरित होकर फ्लेज चौड़ाई के आंशिक भाग '$B_1$' पर वितरित होगा।




चित्र 7.7(b)

भार का वितरण कोण (Dispersion Angle) 30° लेते हुये—

$B_1 = t_w + 2\,h_2 \cot 30°$

= 8·9 + 2 × 32·8 × $\sqrt{3}$ mm

= 8·9 + 113·6 mm

= 122·5 mm

इस प्रकार,

$B_1$ = 122·5 mm<br>$B$ = 200·0 mm } चित्र 7.7 (a) देखें

**चित्र के अनुसार**—एक-समान नीचे की ओर बल = $\frac{W}{2}$ ($AA$ से $B_1$/4 दूरी पर) तथा एकसमान उपरिमुख बल (Uniform Upward force)—

= $\frac{W}{2}$ ($AA$ से $B$/4 दूरी पर)

तथा "$AA$" पर बंकन आघूर्ण, $M = \frac{W}{2}\left(\frac{B}{4} - \frac{B_1}{4}\right)$

$= \frac{W}{8}(B - B_1)$

यहाँ $W$ = 90500 $N$, $B$ = 200 तथा $B_1$ = 122·5 mm रखने पर,

$M = \frac{90500}{8}$ (200 − 122·5) N-mm

$= \frac{90500 \times 77{\cdot}5}{8}$ N-mm

= 876719 N-mm

धारण प्लेट की चौड़ाई = 150 mm

खण्ड की गहराई = धारण प्लेट की मोटाई

= $t$ mm

परिच्छेद मापांक = $\frac{150 \times t^2}{6}$

अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 189 N/mm²

civilguru.net

तथा $\text{प्रतिरोध आघूर्ण} = \frac{150t^2}{6} \times 189 \text{ N-mm}$

अत: $\frac{150t^2}{6} \times 189 = 876719$

अथवा $t^2 = \frac{876719 \times 6}{150 \times 189}$

तथा $t = \sqrt{(185{\cdot}55)} \text{ mm}$

$= 13{\cdot}62 \text{ mm}$

अत: धारण प्लेट की मोटाई 14 mm रखी जावे।

इस प्रकार धारण प्लेट के परिमाप 200 × 150 × 14 mm होगे।

(ii) वेब विकलांगता के लिये जाँच (Check for Web Crippling)—

धारण प्लेट की चौड़ाई = 150 mm

धारण की फिलेट मूल पर गहराई, $h_2 = 32{\cdot}8$ mm

वितरण कोण = 30° तथा वेब मोटाई, $t_w = 8{\cdot}9$ mm

अत: वेब का क्षेत्रफल जिस पर भार वितरित होगा।

$= (150 + h_2 \cot 30) \times t_w$

$= (150 + 32{\cdot}8\sqrt{3}) \times 8{\cdot}9 \text{ mm}^2$

$= (150 + 56{\cdot}8) \times 8{\cdot}9 \text{ mm}^2$

$= 206{\cdot}8 \times 8{\cdot}9 \text{ mm}^2$

स्थानांतरित प्रतिक्रिया = 90500 N

अत: $\text{वास्तविक प्रतिबल} = \frac{90500}{206{\cdot}8 \times 8{\cdot}9} \text{ N/mm}^2$

$= 49{\cdot}17 \text{ N/mm}^2 < 189 \text{ N/mm}^2$ अत: सुरक्षित है।

(iii) वेब व्याकुँचन (Web buckling)—अनुच्छेद 7.4-5 के अनुसार

स्थानांतरित प्रतिक्रिया = 90500 N

यह वेब द्वारा एक स्तम्भ की तरह लिया जायेगा। इस स्तम्भ की भार क्षमता उपरोक्त प्रतिक्रिया से अधिक होना सुरक्षा के लिये आवश्यक है।

$D$ = धरन की गहराई = 400 mm

$h_2$ = फिलेट मूल पर गहराई = 32·8 mm

अत: वेब की शुद्ध गहराई = $(D - 2h_2)$

$d_1 = (400 - 2 \times 32{\cdot}8) \text{ mm}$

$= (400 - 65{\cdot}6) \text{ mm} = 334{\cdot}4 \text{ mm}$

वेब मोटाई, $t_w = 8{\cdot}9$ mm

तथा तनुता अनुपात $= \frac{d_1}{t_w}\sqrt{3}$

$= \frac{334{\cdot}4}{8{\cdot}9} \times \sqrt{3} = 65{\cdot}07$



तालिका 6.3 से, $l/r = 60$ के लिये, $\sigma_c = 122 \text{ N/mm}^2$

$l/r = 70$ के लिये, $\sigma_c = 112 \text{ N/mm}^2$ } अन्तर 10 N/mm²

अत: $l/r = 65{\cdot}07$ के लिये,

$\sigma_c = (122 - 10 \times 0{\cdot}507) \text{ N/mm}^2$

$= (122 - 5{\cdot}07) \text{ N/mm}^2$

$= 116{\cdot}93 \text{ N/mm}^2$

वेब का क्षेत्रफल (स्तम्भ का प्लेट क्षेत्रफल) जिस पर यह प्रतिबल सक्रिय होगा।

$$B \times t_w = \left[\left(\begin{matrix}\text{धारक (धारण प्लेट}\\ \text{के दृढ़ भाग की लम्बाई}\end{matrix}\right)\right] + \left(\begin{matrix}\text{आलम्ब पर भार के ऊपर कोण}\\ 45° \text{ लेते हुये उदासीन अक्ष तक अतिरिक्त लम्बाई}\end{matrix}\right)\right] \times t_w$$

$$= \left(150 + \frac{D}{2}\right) \times t_w = (150 + 200) \times 8{\cdot}9 \text{ mm}^2$$

$= (350 \times 8{\cdot}9) \text{ mm}^2$

अत: स्तम्भ की भार क्षमता, $F_c \times B \times t_w = 116{\cdot}93 \times 350 \times 8{\cdot}9 \text{ N}$

$= 364237 \text{ N} > 90500 \text{ N}$ सुरक्षित है।

अत: धरन वेब विकलांगता व वेब व्याकुँचन के विपरीत सुरक्षित है। धारण प्लेट 200 × 150 × 14 mm रखी जाये। **उत्तर**

## § 7.6. संघटित धरन (Built-up Beam) :

जब दो या अधिक इस्पातीय खण्डों को रिवेटन/वेल्डन द्वारा जोड़कर, एकल बड़ा खण्ड बनाया जाता है, उसे संघटित धरन कहते हैं।

सामान्य: संघटित धरनों में I खण्ड के साथ चपट्टी पत्तियों (Flats) का संयोजन किया जाता है। चपट्टी पत्तियों को I खण्ड के प्रत्येक फ्लेंज के साथ रिवेट या वेल्ड द्वारा जोड़ा जाता है। कुछ मुख्य संघटित धरन खण्ड चित्र 7.4 में दर्शित है।

**7.6-1. संघटित धरन का प्रयोग**—संघटित धरन का प्रयोग निम्न परिस्थितियों मे किया जाता है—

(i) विस्तृति (Span) अधिक होने पर तथा धरन पर आने वाले भारों को वहन करने हेतु एकल I खण्ड का परिच्छेद मापांक पर्याप्त न हो।

(ii) धरन मे विक्षेप (Deflection) अनुज्ञेय मान (विस्तृति/325) से अधिक होने की सम्भावना हो तथा विक्षेप को सीमित रखने हेतु अधिक जड़त्व आघूर्ण वाले खण्ड की आवश्यकता हो। सामान्यत: I खण्ड के साथ दो या अधिक चपटी पत्तियों (Flats) का संयोजन किया जाता है। विशेष परिस्थितियो मे गहराई सीमित होने पर दो या अधिक I खण्डो का भी अगल-बगल में सटा कर प्रयोग किया जा सकता है।

ऐसे धरन-खण्डो को संघटित खण्ड (Built-up section) कहा जायेगा।

**7.6-2. संघटित खण्डों के गुणधर्म**—बेल्लित इस्पात खण्डो के गुणधर्म जैसे क्षेत्रफल, भार प्रति मीटर लम्बाई, जड़त्व आघूर्ण आदि हमें स्टील टेबल से सीधे उपलब्ध होते हैं।

संघटित खण्डों के गुणधर्म हमे गणना द्वारा ही प्राप्त होगे जैसे I खण्ड के प्रत्येक फ्लेज पर एक-एक चपटी पत्ती (Flat) लगाये जाने पर,

संघटित खण्ड का क्षेत्रफल = (I राण्ड क्षेत्रफल) + (चपट्टी पत्तियों का क्षेत्रफल),

इसी प्रकार—

$$\left(\begin{matrix}\text{संघटित खण्ड का किसी}\\ \text{अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण}\end{matrix}\right) = \left\{\begin{matrix}\text{I खण्ड का उस कक्ष}\\ \text{पर जड़त्व आघूर्ण}\end{matrix}\right\} + \left\{\begin{matrix}\text{चपटी पत्तियो का उसी}\\ \text{अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण}\end{matrix}\right\}$$

civilguruji

निचली कक्षा मे किये गये अध्ययन से हम जानते है कि धरन मे उदासीन अक्ष (Neutral axis) के एक ओर (सामान्यत ऊपर की ओर) सम्पीडन प्रतिबल तथा दूसरी ओर (सामान्यत: उदासीन अक्ष के नीचे) खण्ड पर तनन प्रतिबल उत्पन्न होता है।

पुन: विगत अध्यायो से हम यह भी जान गये है कि सम्पीडन उपांगो मे हम रिवेट छिद्रो के लिये **कोई** कटौती नहीं करते है, जबकि तनन उपांगो के लिये हम रिवेट छिद्रो के लिये कटौती करने के उपरान्त, शुद्ध क्षेत्रफल का मान प्राप्त करते है।

उपरोक्त तथ्य को ध्यान मे रखते हुये संघटित खण्ड मे रिवेटो का प्रयोग किये जाने पर हम तनन फ्लेज के लिये कुल क्षेत्रफल (Gross Area) तथा रिवेट छिद्रो के लिये कटौती करते हुये शुद्ध क्षेत्रफल (Net Area) का मान ज्ञात करते है। इस प्रकार हम संघटित खण्ड के लिये निम्न गुणधर्म ज्ञात करते है—

(i) कुल जड़त्व आघूर्ण (Gross Moment of Inertia),

(ii) शुद्ध जड़त्व आघूर्ण (Net Moment of Inertia),

(iii) तनन फ्लेज के लिये—

(a) कुल क्षेत्रफल (Gross Area),

(b) शुद्ध क्षेत्रफल (Net Area)।

उपरोक्त गुणधर्मो का संघटित धरन के विश्लेषण मे प्रयोग किया जाता है।

## § 7.7. संघटित धरनों का विश्लेषण (Analysis of Built-up Beams) :

संघटित धरन के विश्लेषण मे हम धरन पर आने वालो भारो के फलस्वरूप उस पर होने वाले निम्न परिणामों को ज्ञात करते है—

(i) बंकन प्रतिबल (Bending stress),

(ii) औसत अपरूपण प्रतिबल (Average shear stress),

(iii) विक्षेप (Deflection)।

**7.7-1. बंकन प्रतिबल**—धरन मे उत्पन्न बंकन प्रतिबल की गणना मे—

$M$ = अधिकतम बंकन आघूर्ण (N-mm)

$I$ = उदासीन अक्ष पर कुल जड़त्व आघूर्ण ($mm^4$)

$y_c$ = संपीडन रेशो की उदासीन अक्ष (Neutral axis) से अधिकतम दूरी (mm)

$y_t$ = तनन रेशो की उदासीन अक्ष से अधिकतम दूरी (mm)

$\sigma_{bc}$ = अधिकतम बकन प्रतिबल (संपीडन) $N/mm^2$

$\sigma_{bt}$ = अधिकतम बंकन प्रतिबल (तनन) $N/mm^2$

सामान्यत: संघटित खण्ड उदासीन अक्ष पर सममित (Symmetrical) होते हैं, जिसके फलस्वरूप $y_c$ व $y_t$ दूरियाँ समान होती है। पुन: खण्ड उदासीन अक्ष पर सममित होने के कारण खण्ड का $XX$ अक्ष व उदासीन अक्ष एक होगे। अत: कई बार $I$ को $I_{NA}$ या $I_{XX}$ से भी दर्शित किया जा सकता है।

इस प्रकार चपटी पत्तियो को वेल्ड द्वारा जोड़े जाने पर विगत धारा मे वर्णित रिवेट छिद्रों के लिये कटौती आवश्यक नहीं होगी तथा $\sigma_{bc}$ व $\sigma_{bt}$ के मान समान होगे।

यद्यपि जब संघटित खण्ड उदासीन अक्ष पर सममित हो तथा चपट्टी पत्तियों को I खण्ड के फ्लेजो के साथ रिवेटो द्वारा सम्बद्ध किया गया हो तब तनन फ्लेज का शुद्ध क्षेत्रफल सम्पीडन फ्लेज के क्षेत्रफल से कम होगा तथा बंकन मे तनन प्रतिबल का मान कुल क्षेत्रफल व शुद्ध क्षेत्रफल के अनुपात मे बढ़ेगा। इस प्रकार—



$$\sigma_{bc} = \frac{M \times y_c}{I} \ (N/mm^2)$$

तथा

$$\sigma_{bt} = \sigma_{bc} \times \frac{\text{तनन फ्लेज का कुल क्षेत्रफल}}{\text{तनन फ्लेज का शुद्ध क्षेत्रफल}}$$

**7.7-2. औसत अपरूपण प्रतिबल**—संघटित धरन मे औसत अपरूपण प्रतिबल का मान निम्नवत् ज्ञात होगा—

$$\text{औसत अपरूपण प्रतिबल} = \frac{\text{अधितम अपरूपण बल}}{\text{वेब मोटाई} \times \text{I खण्ड की गहराई}} \ N/mm^2$$

**7.7-3. विक्षेप** (Deflection)—संघटित धरन मे विक्षेप शुद्ध जड़त्व आघूर्ण (Net moment of Inertia) के आधार पर ज्ञात किया जाता है। विक्षेप का अधिकतम मान विस्तृति/325 से अधिक नहीं होना चाहिये।

**उदाहरण 7.12 : एक संघटित धरन के लिये ISWB-400 @ 0·667 kN का प्रयोग किया गया। I खण्ड के प्रत्येक फ्लेंज के साथ एक-एक 400 × 16 mm चपटी पत्ती 20 mm व्यास के रिवेटों से जुड़ी है। इस संघटित खण्ड के विभिन्न गुणधर्म ज्ञात कीजिये।**

**हल** : धरन खण्ड चित्र 7.8 मे दर्शित है। स्टील टेबल से ISWB-400 के गुणधर्म निम्नवत् हैं—

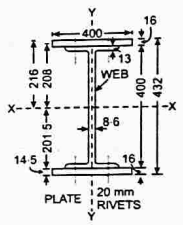
भार = 0·667 kN/m

गहराई = 400 mm

फ्लेज चौड़ाई = 200 mm (20 cm )

फ्लेज मोटाई = 13 mm

वेब मोटाई = 8·60 mm



चित्र 7.8

जड़त्व आघूर्ण—

$I_{XX} = I = 23426{\cdot}7 \ cm^4$

$= 23426{\cdot}7 \times 10^4 \ mm^4$

परिच्छेद मापांक, $Z_{XX} = 1171{\cdot}3 \ cm^3$

$= 1171{\cdot}3 \times 10^3 \ mm^3$

**(i) खण्ड का सकल जड़त्व आघूर्ण** (Gross moment of Inertia)—जड़त्व आघूर्ण $XX$ अक्ष पर ज्ञात किया जायेगा, जो उदासीन अक्ष होगा।

जड़त्व आघूर्ण $I_{XX}$ = (I खण्ड का जड़त्व आघूर्ण) + (प्लेटो का $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण)

(a) I खण्ड का जड़त्व आघूर्ण = $23426{\cdot}7 \times 10^4 \ mm^4$

(b) प्लेटों का $xx$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण = (प्लेटो का क्षेत्रफल) × ($XX$ अक्ष से लम्बवत दूरी)$^2$

यहाँ प्लेटो का अपने अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण नगण्य माना गया है।

प्लेटों का क्षेत्रफल = $2 (40 \times 1{\cdot}6) \ cm^2$

$= 2 \times (40 \times 1{\cdot}6) \times 10^2 \ mm^2$

चित्र 7.8 से प्लेटो का अक्ष व $XX$ अक्ष के बीच लम्बवत दूरी—

$$= \left(216 - \frac{16}{2}\right) \text{ mm} = 208 \text{ mm अथवा } 20{\cdot}8 \text{ cm}$$

अत: प्लेटो का जड़त्व आघूर्ण = (प्लेटो का क्षेत्रफल) × ($XX$ अक्ष के लम्बवत दूरी)$^2$

$= 2[(40 \times 1{\cdot}6) \times 10^2 \times 20{\cdot}8^2 \times 10^2] \ mm^4$

civilguru.net

$= 2 \times 10^4 [40 \times 1{\cdot}6 \times 20{\cdot}8^2]\ mm^4$

$= 2 \times 27688{\cdot}96 \times 10^4\ mm^4$

$= 55377{\cdot}92 \times 10^4\ mm^4$

**इस प्रकार खण्ड का कुल जड़त्व आधूर्ण—**

$= (a) + (b)$

$= 23426{\cdot}7 \times 10^4 + 55377{\cdot}92 \times 10^4\ mm^4$

$= 78804{\cdot}62 \times 10^4\ mm^4$ ...(i)

**(ii) खण्ड का शुद्ध जड़त्व आधूर्ण** (Net Moment of inertia)—

शुद्ध जड़त्व आधूर्ण = (कुल जड़त्व आधूर्ण) – {रिवेट छिद्रो के कटौती क्षेत्रफल का जड़त्व आधूर्ण}

(a) कुल जड़त्व आधूर्ण = $78804{\cdot}62 \times 10^4\ mm^4$ ...(i) के अनुसार

(b) रिवेट छिद्रो के लिये कटौती क्षेत्रफल का जड़त्व आधूर्ण निम्नवत् प्राप्त होगा—

रिवेट का व्यास = 20 mm

रिवेट का सकल व्यास = (20 + 1·5) mm = 21·5 mm

फ्लेज मोटाई = (I खण्ड के लिये फ्लेज मोटाई) + (प्लेट की मोटाई)

= 13 mm + 16 mm = 29 mm (2·9 cm)

तनन फ्लेज मे दो रिवेट होगे तथा इन रिवेटो के लिये कटौती क्षेत्रफल

$= 2 \times$ फ्लेज मोटाई $\times$ कुल व्यास

$= 2 \times (29 \times 21{\cdot}5)\ mm^2$

$= 1247\ mm^2$

रिवेट छिद्रो का गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष खण्ड के निचले रेशे से $\frac{29}{2}$ अथवा 14·5 mm दूरी पर होगा। इस अक्ष की $XX$ अक्ष के लम्बवत दूरी (चित्र 7.8 देखे)

$= \left(216 - \frac{29}{2}\right) mm$

$= 201{\cdot}5\ mm\ (20{\cdot}15\ cm)$

इस प्रकार रिवेट छिद्रो के लिये कटौती क्षेत्रफल का $XX$ अक्ष पर जड़त्व आधूर्ण

$= 1247 \times 201{\cdot}5^2\ mm^4$

$= (12{\cdot}47 \times 20{\cdot}15^2) \times 10^4\ mm^4$

$= 5063{\cdot}1 \times 10^4\ mm^4$

अत: खण्ड का शुद्ध जड़त्व आधूर्ण $= (a - b)$

$= 78804{\cdot}62 \times 10^4 - 5063{\cdot}1 \times 10^4\ mm^4$

$= \mathbf{73741{\cdot}52 \times 10^4\ mm^4}$ ...(ii)

**(iii) तनन फ्लेंज के लिये—**

(a) कुल क्षेत्रफल (Gross Area)—

= (प्लेट का क्षेत्रफल) + (I खण्ड के लिये फ्लेज क्षेत्रफल)

$= (400 \times 16) + (200 \times 13)\ mm^2$

$= (6400 + 2600)\ mm^2$

$= 9000\ mm^2$ ...(iii)



(b) शुद्ध क्षेत्रफल (Net Area)—

= (कुल क्षेत्रफल) – रिवेट छिद्रो के लिये कटौती

$= 9000 - 2 \times 21{\cdot}5 \times 29\ mm^2$

$= 9000 - 1247\ mm^2$

$= \mathbf{7753\ (mm^2)}$ ...(iv)

**उदाहरण 7.13 : उदाहरण 7.12 में अंकित धरन की प्रभावी विस्तृति यदि 9·5 मी० हो, धरन पार्श्विक आबद्ध हो तथा उस पर 35 kN/मी० कुल भार आ रहा हो तो धरन की सुरक्षा की जाँच कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल-बंकन = 165 N/mm² ; अपरूपण = 100 N/mm²; यंग मापांक = $2 \times 10^5$ N/mm² तथा अनुज्ञेय विक्षेप = विस्तृति/325 मान लें।**

**हल :** उदाहरण 7.12 से धरन खण्ड के गुणधर्म—

कुल जड़त्व आघूर्ण = $78804{\cdot}62 \times 10^4\ mm^4$

शुद्ध जड़त्व आघूर्ण = $73741{\cdot}52 \times 10^4\ mm^4$

तनन फ्लेज के लिये— कुल क्षेत्रफल = $9000\ mm^2$

शुद्ध क्षेत्रफल = $7753\ mm^2$

I खण्ड की गहराई = 400 mm

वेब मोटाई = 8·6 mm

धरन खण्ड की कुल गइराई = (400 + 2 × 16 ) mm = 432 mm

खण्ड उदासीन अक्ष पर सममित (Symmetrical) है। अत: उदासीन अक्ष से रेशो की अधिकतम दूरियाँ—

$y_c = y_t = \frac{432}{2} = 216$ mm

धरन की प्रभावी विस्तृति = 9·5 m

धरन पर कुल भार = 35 kN/m

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = \frac{35 \times 9{\cdot}5^2}{8}$ kN-m

$= 394{\cdot}84 \times 10^6$ N-mm

अधिकतम अपरूपण बल, $F = \frac{35 \times 9{\cdot}5}{2}$ kN

= 166·25 kN = 166250 N

**(i) बंकन प्रतिबल**—धरन पार्श्विक आबद्ध है

तथा अनुज्ञेय अधिकतम बंकन प्रतिबल = 165 N/mm²

$y_c = 216$ mm, $M = 394{\cdot}84 \times 10^6$ N-mm

तथा कुल जड़त्व आघूर्ण, $I = 78804{\cdot}62 \times 10^4\ mm^4$ लेने पर,

अधिकतम बंकन प्रतिबल (संपीडन) का वास्तविक मान, $\sigma_{bc} = \frac{M\, y_c}{I}$ ...(सूत्र)

$= \frac{394{\cdot}84 \times 10^6 \times 216}{78804{\cdot}62 \times 10^4}$ N/mm²

$= 108{\cdot}22$ N/mm² < 165 N/mm² अत: सुरक्षित है।

civilguruji

यदि रिवेट छिद्र न होते तो तनन मे अधिकतम बंकन प्रतिबल भी 108·22 N/mm² होता है।

यद्यपि तनन फ्लेज मे रिवेट छिद्रो के लिये कटौती के फलस्वरूप तनन मे अधिकतम बंकन प्रतिबल मे वृद्धि होगी तथा यह वृद्धि तनन फ्लेज के कुल क्षेत्रफल/शुद्ध क्षेत्रफल के अनुपात मे होगी।

इस प्रकार अधिकतम बंकन प्रतिबल (तनन)—

$$f_{bt} = 108{\cdot}22 \times \frac{\text{तनन फ्लेज का कुल क्षेत्रफल}}{\text{तनन फ्लेज का शुद्ध क्षेत्रफल}} \text{ N/mm}^2$$

$$= 108{\cdot}22 \times \frac{9000}{7753} \text{ N/mm}^2$$

$$= 125{\cdot}62 \text{ N/mm}^2 < 165 \text{ N/mm}^2 \textbf{ अतः सुरक्षित है।}$$

**(ii) औसत अपरूपण प्रतिबल** (Average shear stress)—

$$\text{अधिकतम अपरूपण प्रतिबल} = \frac{\text{अधिकतम अपरूपण बल}}{\text{I खण्ड की गहराई} \times \text{वेब मोटाई}}$$

$$= \frac{166250}{400 \times 8{\cdot}6} \text{ N/mm}^2$$

$$= 48{\cdot}32 \text{ N/mm}^2 < 100 \text{ N/mm}^2 \textbf{ अतः सुरक्षित है।}$$

**(iii) विक्षेप** (Deflection)—

$$\text{अनुज्ञेय अधिकतम विक्षेप} = \frac{\text{विस्तृति}}{325} = \frac{9{\cdot}5 \times 10^3}{325} = 29{\cdot}23 \text{ mm}$$

$$\text{वास्तविक विक्षेप, } \delta = \frac{5Wl^3}{384 I_{net}} \quad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ $\delta$ = वास्तविक विक्षेप (mm)

$W$ = धरन पर कुल भार = $(9{\cdot}5 \times 35) \times 10^3$ N

$l$ = प्रभावी विस्तृति = $9{\cdot}5 \times 10^3$ mm

$I_{net}$ = शुद्ध जड़त्व आघूर्ण = $73741{\cdot}52 \times 10^4$ mm⁴

$E$ = यंग मापांक = $2 \times 10^5$ N/mm²

अत:
$$\delta = \frac{5 \times 9{\cdot}5 \times 35 \times 10^3 \times 9{\cdot}5^3 \times 10^9}{384 \times 2 \times 10^5 \times 73741{\cdot}52 \times 10^4} \text{ mm}$$

$$= \frac{5}{2} \times \frac{9{\cdot}5 \times 35}{384} \times \frac{9{\cdot}5^3}{73{\cdot}74152} \text{ mm}$$

$$= 25{\cdot}17 \text{ mm} < 29{\cdot}23 \text{ mm}$$ अत: सुरक्षित है।

**अत: धरन दिये गये भार वहन करने हेतु सुरक्षित है।** उत्तर

**उदाहरण 7.14 : 5 मी० प्रभावी विस्तृति की एक शुद्धलम्बित धरन के लिये ISMB-250 I-खण्ड के प्रत्येक फ्लेंज पर एक-एक 150 mm × 12 mm चपटी (Flat) पत्ती लगाते हुये खण्ड का संयोजन किया गया है। इस धरन के लिये उसके अपने भार सहित सुरक्षित एक-समान वितरित भार (UDL) प्रति मीटर ज्ञात कीजिये। मात्र बंकन व अपरूपण प्रतिबलों के लिये विचार करें, जिनके अधिकतम अनुज्ञेय मान क्रमशः 165 N/mm² तथा 94·5 N/mm² लीजिये।**



**हल** : धरन की प्रभावी विस्तृति, $l$ = 5 m

उदाहरण मे यह स्पष्ट नहीं किया गया है कि चपट्टी पत्तियाँ रिवेटों द्वारा सम्बद्ध की गयी है, न ही रिवेट व्यास दिया गया है। अत: चपट्टी पत्तियो को I खण्ड के फ्लेजो के साथ वेल्ड द्वारा सम्बद्ध मानते हुये गणना की जायेगी।

स्टील टेबल से ISMB-250 के गुणधर्म—

| | | | |
|---|---|---|---|
| भार प्रति मी० | = 0·373 kN, | जड़त्व आघूर्ण $I_{XX}$ | = 5131·6 cm⁴ |
| गहराई | = 250 mm, | परिच्छेद मापांक $Z_{XX}$ | = 410·5 cm³ |
| फ्लेज चौड़ाई | = 125 mm, | चपट्टी पत्ती (Flat) के परिमाप | = 150 × 12 mm |
| फ्लेज मोटाई | = 12·5, | I खण्ड की गहराई | = 250 mm |
| वेब मोटाई, $\tau_w$ | = 6·9 mm | | |

अत: संघटित खण्ड की कुल गइराई = 250 + 2 × 12 mm = 274 mm

तथा रेशो की अधिकतम दूरियाँ $y_c = y_t = \frac{274}{2} = 137$ mm

अधिकतम अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल तनन/संपीडन, दोनो के लिये = 165 N/mm²

संघटित खण्ड के लिये उदासीन अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण

I = (I खण्ड का जड़त्व आघूर्ण) + (चपटी पत्तियो का उदासीन अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण)

इस प्रकार—

(i) I खण्ड का जड़त्व आघूर्ण = 5131·6 cm⁴ = 5131·6 × 10⁴ mm⁴

(ii) चपट्टी पत्तियो का जड़त्व आघूर्ण = $2 \times \begin{pmatrix}\text{चपटी पत्ती का}\\ \text{क्षेत्रफल}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{चपटी पत्ती के उदासीन अक्ष के समानान्तर}\\ \text{अक्ष व } XX \text{ अक्ष में लम्बवत् दूरी}\end{pmatrix}$

चपट्टी पत्ती का क्षेत्रफल = 150 × 12 mm² = 1800 mm²

उदासीन अक्ष के समानांतर चपट्टी पत्ती की केन्द्र रेखा या अक्ष के बीच लम्बवत् दूरी

= ($y_c$ अथवा $y_t$) − (1/2 × चपट्टी पत्ती की मोटाई)

$$= \left(137 - \frac{12}{2}\right) \text{ अथवा } 131 \text{ mm}$$

अत: चपट्टी पत्तियो का उनके अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण को नगण्य मानते हुये, उनका ($XX$ अक्ष) उदासीन अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण—

$$= 2 \times 1800 \times 131^2 \text{ mm}^4$$

$$= 6177{\cdot}96 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

अत: संघटित खण्ड का उदासीन अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण—

$$= 5131{\cdot}6 \times 10^4 + 6177{\cdot}96 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$= 11309{\cdot}56 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

बंकन समीकरण से—

$$\frac{M}{I} = \frac{f_{bc}}{y_c}$$

तथा $M$ = प्रतिरोध आघूर्ण = अधि० बंकन आघूर्ण = $\sigma_{bc} \times \frac{I}{y_c}$

$\sigma_{bc} = 165$ N/mm$^2$, $I = 11309{\cdot}56 \times 10^4$ mm$^4$

तथा $y_c = 137$ mm रखने पर, $M = 165 \times \dfrac{11309{\cdot}56 \times 10^4}{137}$ N-mm

$$= \frac{165 \times 11309{\cdot}56 \times 10^4}{137 \times 10^6} \text{ kN-m} = 136{\cdot}21 \text{ kN-m}$$

उदाहरण के अनुसार प्रभावी विस्तृति, $l = 5$ m, यदि $w$ = एक समान वितरित भार (kN-m)

तब $$M = \frac{wl^2}{8} = \frac{w \times 5 \times 5}{8} = 136{\cdot}21$$

$\therefore$ $$w = \frac{136{\cdot}21 \times 8}{5 \times 5} = 43{\cdot}58 \text{ kN/m}$$

अत: अधिकतम अपरूपण बल $= \dfrac{43{\cdot}58 \times 5}{2} = 108{\cdot}95$ kN

तथा औसत अपरूपण प्रतिबल $= \dfrac{\text{अधिकतम अपरूपण बल}}{\text{I खण्ड की गहराई} \times \text{वेब मोटाई}}$

$$= \frac{108{\cdot}95 \times 10^3}{250 \times 6{\cdot}9} \text{ N/mm}^2$$
$$= 63{\cdot}15 \text{ N/mm}^2$$

स्पष्ट है कि इस धरन पर 43·58 kN/m एक समान वितरित भार आने पर अधिकतम बंकन प्रतिबल 165 N/mm$^2$ तथा अधिकतम अपरूपण प्रतिबल (औसत) 63·15 N/mm होगा। यदि भार बढ़ाया जाता है तो बंकन प्रतिबल 165 N/mm$^2$ से अधिक होगा भले ही औसत अपरूपण प्रतिबल निर्धारित सीमा 94·5 N/mm$^2$ से कम हो।

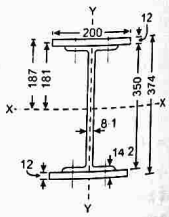
अत: धरन पर सुरक्षित एक-समान वितरित कुल भार 43·58 kN/m अथवा 43 kN/m रखा जाये।

**उदाहरण 7.15 : 7 मीटर विस्तृति की एक पार्श्विक आबद्ध धरन के लिये ISMB-350 @ 0·524 kN/m के प्रत्येक फ्लेंज पर 200 × 12 mm चपटी पत्ती 20 mm व्यास के रिवेटों के साथ लगाते हुये खण्ड का संयोजन किया गया है। इस धरन पर अपने भार सहित कुल एक-समान वितरित सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये। अनुमत प्रतिबल बंकन = 65 N/mm$^2$, अपरूपण = 100 N/mm$^2$, $E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$ तथा अनुमत विक्षेप = विस्तृति/325 लीजिये।**

**हल :** धरन खण्ड चित्र 7.9 में दर्शित है।

स्टील टेबल से ISMB-350 के गुणधर्म—

भार = 0·524 kN/m
गहराई = 350 mm
चौड़ाई = 140 mm
फ्लेंज मोटाई = 14·2 mm
वेब मोटाई = 8·1 mm
$I_{XX} = 13630{\cdot}3$ cm$^4$
$Z_{XX} = 778{\cdot}9$ cm$^3$



चित्र 7.9



चित्र 7.9 के अनुसार प्रत्येक फ्लेंज पर 200 mm × 12 mm चपट्टी पत्ती 20 mm रिवेटों के साथ लगी है।

**संघटित खण्ड के गुणधर्म—**

**(i) कुल जड़त्व आघूर्ण** (Gross Moment of Inertia)—

सुविधा के लिये सभी परिमाप सेमी० में परिवर्तित करते हुये गणना की गयी है।

(a) I खण्ड का जड़त्व आघूर्ण—

$= 13630{\cdot}3 \text{ cm}^4 = 13630{\cdot}3 \times 10^4 \text{ mm}^4$

(b) चपट्टी पत्तियों (Flats) का जड़त्व आघूर्ण—

चपट्टी पत्ती के परिमाप $= 200 \times 12$ mm
$= 20 \times 1{\cdot}2$ cm

उदासीन अक्ष तक दूरी $= (\text{कुल गहराई} \div 2) - \dfrac{12}{6}$ mm
$= [(350 + 2 \times 12) \div 2] - 6$ mm
$= \left(\dfrac{374}{2} - 6\right)$ mm $= 181$ mm अथवा 18·1 cm

अत: जड़त्व आघूर्ण $= \left[2 \times 20 \times \dfrac{1{\cdot}2^3}{12}\right] + [2 \times 20 \times 1{\cdot}2 \times 18{\cdot}1^2]$ cm$^4$
$= [5{\cdot}76 + 15725{\cdot}28]$ cm$^4$
$= 15731{\cdot}04$ cm$^4$
$= 15731{\cdot}04 \times 10^4$ mm$^4$

इस प्रकार कुल जड़त्व आघूर्ण $= a + b$
$= (13630{\cdot}3 + 15731{\cdot}04) \times 10^4$ mm$^4$
$= 29361{\cdot}34 \times 10^4$ mm$^4$

**(ii) शुद्ध जड़त्व आघूर्ण** (Net Moment of Inertia)—

रिवेट का कुल व्यास $= (20 + 1{\cdot}5) = 21{\cdot}5$ mm $= 2{\cdot}15$ cm

रिवेटों की संख्या = 2

धरन खण्ड के लिये फ्लेंज मोटाई = (I खण्ड के लिये फ्लेंज मोटाई) + (चपट्टी पत्ती की मोटाई)
$= 14{\cdot}2 + 12$ mm
$= 26{\cdot}2$ mm अथवा 2·62 cm

रिवेट छिद्रों के गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष की $XX$ अक्ष से दूरी

$= (\text{कुल गहराई} \div 2) - \dfrac{26{\cdot}2}{2}$ mm

$= \dfrac{374}{2} - \dfrac{26{\cdot}2}{2}$ mm
$= (187 - 13{\cdot}1)$ mm
$= 173{\cdot}9$ mm अथवा 17·39 cm

रिवेट छिद्रों का क्षेत्रफल $= 2 \times 2{\cdot}15 \times 2{\cdot}62)$ cm$^2$
$= 11{\cdot}266$ cm$^2$ अथवा 1126·6 mm$^2$

civilguru.net

तथा उपरोक्त का $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण—

$$= 11{\cdot}266 \times 17{\cdot}39^2 \text{ cm}^4$$
$$= 3406{\cdot}97 \text{ अथवा } 3407\text{cm}^4$$

अत: धरन खण्ड का शुद्ध जड़त्व आघूर्ण—

$$= (29361{\cdot}34 - 3407) \text{ cm}^4$$
$$= 25954{\cdot}34 \text{ cm}^4$$
$$= 25954{\cdot}34 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

**(iii) तनन फ्लेंज के लिये—**

(a) कुल क्षेत्रफल—

$$= (\text{I खण्ड के फ्लेज का क्षेत्रफल}) + (\text{चपट्टी पत्ती का क्षेत्रफल})$$
$$= (140 \times 14{\cdot}2) + (200 \times 12) \text{ mm}^2$$
$$= (1988 + 2400) \text{ mm}^2$$
$$= 4388 \text{ mm}^2$$

(b) शुद्ध क्षेत्रफल—

$$= \text{कुल क्षेत्रफल} - \text{रिवेट छिद्रो का क्षेत्रफल}$$
$$= (4388 - 1126{\cdot}6) \text{ mm}^2$$
$$= 3261{\cdot}4 \text{ mm}^2$$

**इस प्रकार संघटित खण्ड के गुणधर्म—**

(i) कुल जड़त्व आघूर्ण = $29361{\cdot}34 \times 10^4$ mm$^4$

(ii) शुद्ध जड़त्व आघूर्ण = $25954{\cdot}34 \times 10^4$ mm$^4$

(iii) तनन फ्लेज के लिये—

कुल क्षेत्रफल = 4388 mm$^2$

शुद्ध क्षेत्रफल = 3261·4 mm$^2$

**धरन के लिये सुरक्षित भार की गणना—**

**(i) बंकन प्रतिबल के आधार पर—**

रेशो की अधिकतम दूरी, $y_c = y_t = \dfrac{\text{कुल गहराई}}{2}$

$$= \frac{350 + 2 \times 12}{2} \text{ mm}$$

$$= \frac{374}{2} \text{ अथवा } 187 \text{ mm}$$

धरन पार्श्विक आबद्ध है।

अत: अनुमत बंकन प्रतिबल = 165 N/mm$^2$

बंकन प्रतिबल का अधिकतम मान 165 N/mm$^2$ निर्धारित है। यदि रिवेट न लगे होते तो तनन फ्लेज के लिये कोई कटौती न की जाती। रिवेट लगाये जाने पर प्रतिबल का अधिकतम मान तनन फ्लेज मे होगा। इस प्रकार—



अधिकतम तनन प्रतिबल = 165 N/mm$^2$

$$= (\text{अधिकतम संपीडन प्रतिबल}) \times \frac{\text{तनन फ्लेज का कुल क्षेत्रफल}}{\text{तनन फ्लेज का शुद्ध क्षेत्रफल}}$$

$$= \sigma_{bc} \times \frac{4388}{3261{\cdot}4}$$

तथा $$\sigma_{bc} = \frac{165 \times 3261{\cdot}4}{4388} = 122{\cdot}63 \text{ N/mm}^2$$

$$= \frac{M \times y_c}{\text{कुल जड़त्व आघूर्ण}}$$

अथवा $M$ = प्रतिरोध आघूर्ण = अधिकतम बंकन आघूर्ण

$$= \frac{122{\cdot}63 \times 29361{\cdot}34 \times 10^4}{187} \text{ N-mm}$$

$$= \frac{122{\cdot}63 \times 29361{\cdot}34 \times 10^4}{187 \times 10^6} \text{ kN-m}$$

$$= 192{\cdot}54 \text{ kN-m}$$

यदि $w$ = भार प्रति मी० (kN) $l$ = प्रभावी विस्तृति = 7 मी०

अत: $$\frac{w \times 7^2}{8} = 192{\cdot}54$$

$\therefore$ $$w = \frac{192{\cdot}54 \times 8}{49} \text{ kN-m}$$

$$= \mathbf{31{\cdot}43 \text{ kN/m}}$$

**(ii) अपरूपण प्रतिबल के आधार पर—**

उपरोक्त भार के आधार पर अधिकतम अपरूपण बल—

$$= \frac{31{\cdot}43 \times 7}{2} \text{ kN} = 110{\cdot}005 \text{ kN} = 110005 \text{ N}$$

I खण्ड गइराई = 350 mm तथा वेब मोटाई = 8·1 mm

अत: औसत अपरूपण प्रतिबल = $\dfrac{110005}{350 \times 8{\cdot}1}$ N/mm$^2$ = 38·8 N/mm$^2$

यदि हम अनुमत अपरूपण प्रतिबल 100 N/mm$^2$ के आधार पर अपरूपण बल ज्ञात करते है तो वह 110005 N से अधिक ही होगा। अत: सुरक्षित भार 31·43 kN/m ही होगा।

**(iii) विक्षेप के आधार पर—**

अधिकतम अनुज्ञेय विक्षेप = $\dfrac{\text{विस्तृति}}{325} = \dfrac{7 \times 1000}{325} = 21{\cdot}53$ mm

शुद्ध जड़त्व आघूर्ण = $25954{\cdot}34 \times 10^4$ mm$^4$

कुल भार (उपरोक्तानुसार) = $W = 31{\cdot}43 \times 7$ kN

$$= 220{\cdot}01 \text{ kN} = 220{\cdot}01 \times 10^3 \text{ N}$$

प्रभावी विस्तृत, $l = 7 \times 10^3$ mm

civilguru.net

यंग मापांक, $E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$

अत: वास्तविक विक्षेप, $\delta = \dfrac{5Wl^3}{384\,EI}$ ...(सू)

$$= \frac{5 \times 220{\cdot}01 \times 10^3 \times 7^3 \times 10^9}{384 \times 2 \times 10^5 \times 25954{\cdot}34 \times 10^4} \text{ mm}$$

$$= \frac{5}{2} \times \frac{220{\cdot}01}{384} \times \frac{343}{25{\cdot}95434} \text{ mm}$$

$$= 18{\cdot}93 \text{ mm} < 21{\cdot}53 \text{ mm}$$

अत: 21·53 mm विक्षेप के लिये, $W = \dfrac{220{\cdot}01 \times 21{\cdot}53}{18{\cdot}93} = 250{\cdot}22$ kN

अत: 250·22 kN भार आने पर, भार प्रति मी० 31·43 kN/m से अधिक होगा तथा अधिकतम बंकन प्रतिबल 165 N/mm$^2$ से अधिक होगा, जो अनुमन्य नहीं होगा।

अत: धरन **पर सुरक्षित भार 31·43 kN/m होगा।** उत्तर

[**नोट**—धरन खण्ड के लिये कुल जड़त्व आघूर्ण की गणना से स्पष्ट होता है कि चपट्टी पत्तियों का उनके अपने अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण 5·75 cm$^4$ है जो कुल जड़त्व आघूर्ण 15731·04 cm$^4$ की अपेक्षा बहुत कम है। अत: गणना में चपट्टी पत्तियों का अपने अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण नगण्य माना जा सकता है। यद्यपि ऐसा किये जाने पर यह स्पष्ट किया जाना चाहिये कि इसे नगण्य माना गया है।]

## § 7.8. संघटित धरन का अभिकल्पन (Design of Built-up Beam) :

संघटित धरन का अभिकल्पन निम्न प्रकार किया जा सकता है—

(i) दिये गये भार व विस्तृति के आधार पर अधिकतम बंकन आघूर्ण व अधिकतम अपरूपण बल ज्ञात कीजिये।

(ii) दिये गये अनुज्ञेय प्रतिबलों के आधार पर आवश्यक परिच्छेद मापांक ज्ञात कीजिये।

(iii) विक्षेप को ध्यान में रखते हुये आवश्यक गहराई अनुमानित कीजिये।

(iv) उपरोक्त (ii) व (iii) में प्राप्त परिच्छेद मापांक व गहराई के आधार पर खण्ड का चयन कीजिये। इसे आगे विस्तार से दिया जा रहा है।

(v) चयनित खण्ड की सुरक्षा के लिये जाँच कीजिये। जाँच प्रक्रिया में धरन में उत्पन्न वास्तविक प्रतिबल व विक्षेप ज्ञात कीजिये। यह निर्धारित सीमा के भीतर होने चाहिये अन्यथा खण्ड का पुन: चयन व जाँच आवश्यक होगी।

**7.8-1. खण्ड का चयन**—धरन के अभिकल्पन में खण्ड का चयन एक महत्वपूर्ण प्रक्रिया है। सामान्यत: संघटित धरन में एकल I खण्ड के साथ एक या आवश्यकतानुसार अधिक चौड़ी पत्तियाँ (Flats) प्रत्येक फ्लेंज पर रिवेट या वेल्ड द्वारा जोड़ी जाती हैं। खण्ड के चयन हेतु ठोस नियम निर्धारित नहीं किये जा सकते यद्यपि खण्ड का चयन निम्नवत् किया जा सकता है—

**(1) धरन की गहराई**—धरन विक्षेप में सुरक्षित होनी चाहिये। अनुज्ञेय विक्षेप (विस्तृति/325) के लिये 55 से 60 mm प्रति मीटर विस्तृति के आधार पर आवश्यक गहराई अनुमानित कीजिये।

**(2)** अनुज्ञेय प्रतिबलों के आधार पर आवश्यक परिच्छेद मापांक ज्ञात कीजिये। संघटित धरन के विश्लेषण में हमने देखा कि—

यदि $\sigma_{bc}$ = बंकन में अधिकतम उत्पन्न संपीडन प्रतिबल

$\sigma_{bt}$ = बंकन में अधिकतम उत्पन्न तनन प्रतिबल

तब $\sigma_{bt} = \sigma_{bc} \times \dfrac{\text{तनन फ्लेंज का कुल क्षेत्रफल}}{\text{तनन फ्लेंज का शुद्ध क्षेत्रफल}}$



सामान्यत: तनन फ्लेंज का कुल क्षेत्रफल रिवेट छिद्रों के लिये कटौती के बाद प्राप्त शुद्ध क्षेत्रफल से लगभग 20% अधिक माना जा सकता है। इसी आधार पर $\sigma_{bt}$ का मान $\sigma_{bc}$ से 20% अधिक मानने पर

$$\sigma_{bc} = \frac{\sigma_{bt}}{1{\cdot}2}$$

$\sigma_{bc}$ = अनुमत अधिकतम मान 165 N/mm$^2$ रखने पर,

$$\sigma_{bc} = \frac{165}{1{\cdot}2} = 137{\cdot}5 \text{ N/mm}^2$$

अत: तनन फ्लेंज में रिवेट छिद्रों के लिये कटौती को ध्यान में रखते हुये अधिकतम बंकन प्रतिबल 137·5 N/mm$^2$ (20% कम) मानते हुये आवश्यक परिच्छेद मापांक ज्ञात कीजिये।

**(3)** अनुमानित गहराई व परिच्छेद मापांक के आधार पर I खण्ड का चयन कीजिये। (सामान्यत: उपलब्ध I खण्ड के परिमाप दिये जाते हैं)

**(4) प्लेटों के परिमाप—**

यदि $Z$ = धरन खण्ड के लिये आवश्यक परिच्छेद मापांक (mm$^3$)

$Z_1$ = चयनित I खण्ड का परिच्छेद मापांक (mm$^3$)

$Z_p$ = परिच्छेद मापांक जिसकी आपूर्ति प्लेटों द्वारा की जायेगी।

$A_p$ = प्रत्येक प्लेट का क्षेत्रफल (mm$^2$)

$D$ = धरन की कुल गहराई (mm)

तब $Z_p = Z - Z_1$

प्लेटों का अनुमानित जड़त्व आघूर्ण $= 2 \times A_p \times \left(\dfrac{D}{2}\right)^2$

उदासीन अक्ष की गहराई $= \left(\dfrac{D}{2}\right)$

अत: $$Z_p = \frac{2A_p(D/2)^2}{D/2}$$

$$= 2A_p \times \frac{D^2}{4} \times \frac{2}{D}$$

$$= A_p \times D$$

तथा $$A_p = \frac{Z_p}{D} = \frac{Z - Z_1}{D}$$

इस प्रकार प्रत्येक प्लेट का क्षेत्रफल ज्ञात होने पर प्लेटों के परिमाप निर्धारित कीजिये।

**(5)** इस प्रकार प्लेटों के निर्धारित परिमापों के साथ प्राप्त चयित खण्ड के गुणधर्म (अनुच्छेद 7.6.2 में वर्णित) ज्ञात कीजिये तथा खण्ड की सुरक्षा की जाँच कीजिये।

**उदाहरण 7.16 : 8·0 मी० प्रभावी विस्तृति के एक धरन पर 32 kN प्रति मी० का कुल एक समान वितरित भार आ रहा है। धरन के लिये ISMB-400 I खण्ड उपलब्ध है। इस धरन के लिये संघटित खण्ड का अभिकल्पन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबलों के मान निम्नवत लीजिये—बंकन = 165 N/mm$^2$, अपरूपण = 100 N/mm$^2$, यंग मांपाक $E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$. अनुज्ञेय विक्षेप = विस्तृति / 325, धरन पार्श्विक आबद्ध है।**

**हल :** स्टील टेबल से ISMB-400 के गुणधर्म—

भार = 0·616 kN/m, फ्लेंज चौड़ाई = 140 mm

गहराई = 400 mm, फ्लेंज मोटाई = 16 mm

वेब मोटाई = 8·9 mm

जड़त्व आघूर्ण, $I_{XX} = 20458{\cdot}4\ cm^4$, परिच्छेद मापांक, $Z_{XX} = 1022{\cdot}9\ cm^3$

धरन की प्रभावी विस्तृति = 8·0 मी०

कुल भार प्रति मी० = 32 kN/m

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = \frac{32\times8\times8}{8}$ kN-m = 256 kN-m

अधिकतम अपरूपण बल, $F = \frac{32\times8}{2}$ kN = 128 kN अथवा 128000 N

धरन पार्श्विक आबद्ध है। अत: अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 165 N/mm² (तनन व संपीडन) धरन के लिये उपलब्ध I ख
ISMB-400 के प्रत्येक फ्लेज पर 20 mm रिवेटों द्वारा एक-एक चपटी पत्ती लगायी जायेगी। संघटित खण्ड के लिये तनन फ्ले
में रिवेट छिद्रों के लिये 20% कटौती मानते हुये—

अनुमत संपीडन प्रतिबल $\frac{165}{1{\cdot}2} = 137{\cdot}5\ N/mm^2$

तदनुसार अनुमानित परिच्छेद मापांक—

$$= \frac{M}{\sigma_{bc}} = \frac{256\times10^6}{137{\cdot}5} = 1862\times10^3\ mm^3$$

I खण्ड का परिच्छेद मापांक = $1022{\cdot}9\times10^3\ mm^3$

अत: अतिरिक्त परिच्छेद मापांक जिसकी पूर्ति चपटी पत्तियों द्वारा की जायेगी—

$Z_p$ = (अनुमानित परिच्छेद मापांक) − (I खण्ड का परिच्छेद मापांक)

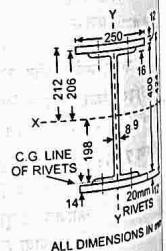
$1862\times10^3 - 1022{\cdot}9\times10^3\ mm^3 = 839{\cdot}1\times10^3\ mm^3$

I खण्ड की गहराई = 400 mm

अत: प्रत्येक चपटी पत्ती का क्षेत्रफल = $\frac{Z_P}{\text{गहराई}} = \frac{839{\cdot}1\times10^3}{400}\ mm^2$

$= 2097{\cdot}75\ mm^2$

अत: प्रत्येक फ्लेज पर 250 × 12 mm चपटी पत्ती लगाये जाने पर बना संघटित खण्ड चित्र 7.10 में दर्शित है। चपटी पत्तियो को 20 mm रिवेटों से जोड़ा जायेगा।



चित्र 7.10

**संयोजित खण्ड के गुणधर्म—**

**(i) कुल जड़त्व आघूर्ण** (Gross Moment of Inertia)—

(a) I-खण्ड का जड़त्व आघूर्ण = $20458{\cdot}4\ cm^4$

$= 20458{\cdot}4\times10^4\ mm^4$

(b) चपटी पत्तियो का $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण—चपटी पत्तियो का अपने अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण नग य मानते हुये, चपटी पत्तियो का क्षेत्रफल

$= 2\ (250\times12)\ mm^2$

$= 2\ (25\times1{\cdot}2)\ cm^2$

$= 2\times30\ cm^2$



चपटी पत्तियों का अक्ष व $XX$ अक्षों के बीच लम्बवत् दूरी—

$$= \left(212 - \frac{12}{2}\right)\ mm = (212-6)$$

$= 206\ mm$ अथवा $20{\cdot}6\ cm$

तथा जड़त्व आघूर्ण = $2\times(30\times20{\cdot}6^2)\ cm^4$

$= 25461{\cdot}6\times10^4\ mm^4$

इस प्रकार कुल जड़त्व आघूर्ण = $a + b$

$= 20458{\cdot}4\times10^4 + 25461{\cdot}6\times10^4\ mm^4$

$= 45920\times10^4\ mm^4$

**(ii) शुद्ध जड़त्व आघूर्ण** (Net Moment of Inertia)—

(a) कुल जड़त्व आघूर्ण = $45920\times10^4\ mm^4$

(b) रिवेट छिद्रों के लिये कटौती—

रिवेट छिद्रों की संख्या = 2

रिवेट व्यास = 20 mm

कुल व्यास = (20 + 1·5) = 21·5 mm = 2·15 cm

फ्लेंज मोटाई = (I खण्ड की मोटाई) + (चपट्टी पत्ती की मोटाई)

= (16 + 12) mm = 28 mm अथवा 2·8 cm

दो रिवेटों का क्षेत्रफल = $2\times2{\cdot}15\times2{\cdot}8\ cm^2$

$= 12{\cdot}04\ cm^2$ अथवा $1204\ mm^2$

छिद्रों के गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष व $XX$ अक्ष के बीच लम्बवत् दूरी = (212 − 14) mm

= 198 mm अथवा 19·8 m

कटौती क्षेत्रफल का $XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण = $12{\cdot}04\times19{\cdot}8^2\ cm^4$

$= 4720{\cdot}2\ cm^4$

$= 4720{\cdot}2\times10^4\ mm^4$

तथा शुद्ध जड़त्व आघूर्ण = $45920\times10^4 - 4720{\cdot}2\times10^4\ mm^4$

$= 41199{\cdot}8\times10^4\ mm^4$

**(iii) तनन फ्लेंज के लिये—**

कुल क्षेत्रफल = (I-खण्ड के लिये फ्लेज क्षेत्रफल) + (चपटी पत्ती का क्षेत्रफल)

$= (140\times16) + (250\times12)\ mm^2$

$= 2240 + 3000\ mm^2$

$= 5240\ mm^2$

तथा शुद्ध क्षेत्रफल = कुल क्षेत्रफल − रिवेट छिद्रों के लिये कटौती

$= (5240 - 1204)\ mm^2 = 4036\ mm^2$

इस प्रकार चयनित खण्ड के गुणधर्म

(i) कुल जड़त्व आघूर्ण = $45920 \times 10^4$ mm$^2$

(ii) शुद्ध जड़त्व आघूर्ण = $41199{\cdot}8 \times 10^4$ mm$^2$ अथवा $41200 \times 10^4$ mm$^2$

(iii) तनन फ्लेज के लिये—

कुल क्षेत्रफल = 5240 mm$^2$

शुद्ध क्षेत्रफल = 4036 mm$^2$

**सुरक्षा के लिये जाँच** (Check for safety)—

**(1) बंकन प्रतिबल–**

अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = 256$ kN-m $= 256 \times 10^6$ N-mm

रेशो की अधिकतम दूरी, $y_c = 212$ mm

जड़त्व आघूर्ण = $45920 \times 10^4$ mm$^4$

वास्तविक बंकन प्रतिबल (सम्पीडन), $\sigma_{bc} = \dfrac{My_c}{I}$

$$= \frac{256 \times 10^6 \times 212}{45920 \times 10^4} \text{ N/mm}^2$$

$= 118{\cdot}2$ N/mm$^2$ < 165 N/mm$^2$ अत: **ठीक** है।

वास्तविक तनन प्रतिबल, $\sigma_{bt} = \sigma_{bc} \times \dfrac{\text{तनन फ्लेंज का कुल क्षेत्रफल}}{\text{तनन फ्लेंज का शुद्ध क्षेत्रफल}}$

$$= 118{\cdot}2 \times \frac{5240}{4036} \text{ N/mm}^2$$

$= 153{\cdot}4$ N/mm$^2$ < 165 N/mm$^2$ अत: **ठीक** है।

**(2) अपरूपण प्रतिबल—**

$$\text{औसत कर्तन प्रतिबल} = \frac{\text{अधिकतम अपरूपण बल}}{\text{वेब मोटाई} \times I \text{ खण्ड की गहराई}}$$

$$= \frac{128000}{8{\cdot}9 \times 400} = 35{\cdot}95 \text{ N/mm}^2 < 100 \text{ N/mm}^2 \text{ अत: } \textbf{ठीक} \text{ है।}$$

**(3) विक्षेप—**

$$\text{अनुज्ञेय विक्षेप} = \frac{\text{विस्तृति}}{325} = \frac{8 \times 10^3}{325} = 24{\cdot}61 \text{ mm}$$

$$\text{वास्तविक विक्षेप, } \delta = \frac{5}{384} \times \frac{WI^3}{EI} \quad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ $W$ = कुल भार $= 32 \times 8 = 256$ kN $= 256 \times 10^3$ N

$I$ = प्रभावी विस्तृति = 8·0 मी॰ $= 8 \times 10^3$ mm

$E$ = यंग मापांक $= 2 \times 10^5$ N/mm$^2$

$I$ = शुद्ध जड़त्व आघूर्ण $= 41200 \times 10^4$ m$^4$

$\delta$ = वास्तविक विक्षेप (mm)



अत:
$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{256 \times 10^3}{2 \times 10^5} \times \frac{8^3 \times 10^9}{41200 \times 10^4} \text{ mm}$$

$$= \frac{5}{2} \times \frac{256}{384} \times \frac{8^3}{41{\cdot}2} \text{ mm}$$

$= 20{\cdot}72$ mm < $24{\cdot}61$ mm अत: **ठीक है।**

अत: ISMB-400 I-खण्ड के प्रत्येक फ्लेंज पर 250 mm × 12 mm चपट्टी पत्ती 20 mm रिवेटों के साथ सम्बद्ध की जाये।

**नोट**—अभिकल्पन करते समय निम्न बातों को ध्यान में रखे—

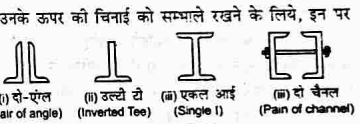
(i) यदि अनुज्ञेय प्रतिबल आदि न दिये गये हों तो पराभव प्रतिबल 250 N/mm$^2$ के अनुकूल आंकड़े तथा यंग मापांक $E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$, विक्षेप = विस्तृति/325 मानते हुये अभिकल्पन किया जाये, यद्यपि माने गये आंकड़ों का प्रारम्भ में ही उल्लेख कर दिया जाये।

(ii) विस्तृति को प्रभावी विस्तृति मान लिया जाये, यदि आंकड़े (आलम्ब के परिमाप) न दिये हों। यद्यपि इसका उल्लेख अवश्य करना चाहिये।

(iii) अभिकल्पन समस्याओं का कोई एक उत्तर या हल नहीं होता। मिल-जुले अन्य खण्डों से संयोजित धरने भी सुरक्षित हो सकती हैं, क्योंकि खण्ड का चयन अभिकल्पन करने वाले व्यक्ति के विवेक पर निर्भर करता है। अभिकल्पन समस्याओं में चयनित खण्ड का **सुरक्षित होना महत्वपूर्ण** है तथा प्रतिबल/विक्षेप आदि के वास्तविक मान अनुज्ञेय अधिकतम मान से कम होने चाहिये।

## § 7.9. लिन्टल (Lintel) :

दरवाजे, खिड़की, बरामदे के प्रवेशों को पाटने के लिये तथा उनके ऊपर की चिनाई को सम्भाले रखने के लिये, इन पर जो क्षैतिज पाटा डाला जाता है, उसे लिन्टल कहते हैं। लिन्टल प्रकाष्ठ, पत्थर, प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट तथा इस्पात के अवयव हो सकते हैं। इस्पात के सरल प्रकार के कुछ लिन्टल चित्र 7.11 में दर्शाये गये हैं। इनका चयन प्रवेश की चौड़ाई व पार्श्व दीवार की मोटाई को ध्यान में रखते हुये किया जाता है।




**चित्र 7.11—इस्पातीय लिन्टल**

इस्पातीय लिन्टल का प्रत्येक ओर (पार्श्व में) दीवार पर चढ़ाव (Bearing) 200 mm से कम नहीं होना चाहिये। 20 सेमी मोटी दीवार के लिये एंगल का न्यूनतम माप ISA7560 × 6 mm (मोटाई) होना चाहिये।

**7.9-1. विक्षेप व भार वितरण** (Deflection and Load Distribution)—लिन्टल अधिकतर विक्षेप (Deflection) में विफल होते हैं। जब दो इस्पातीय-खण्डों को पास-पास रख कर लिन्टल बनाया जाता है, उनकी आपसी दूरी (Transverse Bearing) 20 सेमी॰ से अधिक नहीं होनी चाहिये और उनको लम्बाई की दिशा में बोल्टों द्वारा जोड़ देना चाहिये ताकि वे एक-संगी होकर भार वहन करें।

लिन्टल पर आने वाला दीवार का भार सामान्यत: एक समभुज-त्रिभुज (Equilateral Triangle) माना जाता है, जिसकी ऊँचाई पाट का $\frac{\sqrt{3}}{2}$ अर्थात् 0·86 × पाट ली जाती है। यदि लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई 1·25 × प्रभावी पाट से कम है, तब लिन्टल पर आने वाला भार (चिनाई का) त्रिभुजाकार न मानकर, दीवार की पूर्ण ऊँचाई तक लिया जाता है।

## § 7.10. अभिकल्पन (Design of Lintel) :

(i) लिन्टल का अभिकल्पन एक सामान्य आलम्बित धरन की भाँति किया जाता है। अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण—

(a) जब लिन्टल पर त्रिभुजाकार भार आता हुआ माना गया है, $M = \dfrac{Wl}{6}$

(b) जब लिन्टल पर डाट-क्रिया सम्भव नहीं है और पूरी दीवार-ऊँचाई का UDL आता माना गया है,

$$M = \frac{Wl}{8}$$

यहाँ $W$ = कुल भार, $l$ = प्रभावी पाट $M$

(ii) इस्पात मे बंकन प्रतिबल, $\sigma_{bc} = 165\ N/mm^2$ मान कर, $Z = \frac{M}{\sigma_{bc}}$

(iii) $Z$ के मान को दृष्टि मे रखते हुये, स्टील टेबल से उपयुक्त खण्ड का चयन करें। खण्ड के स्वयम् के भार को देखते हुये, $Z$ का मान कुछ अधिक ले।

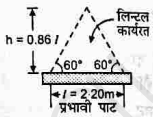
(iv) खण्ड की विक्षेप की जाँच करें। यह $\frac{\text{पाट}}{325}$ से अधिक नहीं होनी चाहिये।

(v) लिन्टल की औसत अपरूपण की जाँच करें। अपरूपण प्रतिबल $94{\cdot}5\ N/mm^2$ से अधिक नहीं होना चाहिये।

**उदाहरण 7.17 : 30 सेमी० मोटी दीवार में बना एक दरवाजा 2·0 मी० चौड़ा है। लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई 3 मी० से अधिक है। चिनाई का घनत्व = 20 kN/m³ मान लें। इस्पात में अधिकतम अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल $\sigma_{bt}$ = 165 N/mm² तथा अपरूपण प्रतिबल, $\tau_{va} = 94{\cdot}5\ N/mm^4$ अपनाते हुये, लिन्टल के लिये उपयुक्त इस्पातीय खण्ड का चयन करें।**

**हल :** लिन्टल का दीवार पर पार्श्व-चढ़ाव 20 cm लेते हुये, प्रभावी पाट

$$= 2{\cdot}0 + 0{\cdot}20 = 2{\cdot}20\ m$$



चित्र 7.12

लिन्टल पर चिनाई का त्रिभुजाकार-भार कार्यरत होने के लिये, इस पर दीवार की ऊँचाई $1{\cdot}25 \times$ पाट से कम नहीं होनी चाहिये, अर्थात् $1{\cdot}25 \times 2{\cdot}2 = 2{\cdot}75$ m से कम नहीं होनी चाहिये। चूँकि दीवार लिन्टल के ऊपर 3·0 मी से अधिक ऊँची है, अत: लिन्टल पर चिनाई का त्रिभुज भार ही आता माना जायेगा (चित्र 7.12) त्रिभुजाकार भार, $W$ = त्रिभुज का क्षेत्रफल × दीवार की मोटाई × चिनाई का घनत्व

$$= \left[\frac{2{\cdot}2 \times (0{\cdot}866 \times 2{\cdot}0)}{2}\right] \times 0{\cdot}30 \times 2000$$

$$= 1257{\cdot}4\ kg = 12574\ N$$

अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = \frac{Wl}{6}$

$$= \frac{12574 \times 2200}{6} = 4610{\cdot}5\ kN{\cdot}mm$$

$\therefore$ $Z = \frac{M}{\sigma_{bt}}$ ...(सूत्र)

$$= \frac{4610500}{165} = 27942\ mm^3$$

ईंट चिनाई के लिन्टल के लिये दो एंग्ल उचित रहेंगे। अत: एक एंग्ल का परिच्छेद-मापांक, $Z = 13971\ mm^3$

अत: स्टील टेबल से 10075 × 12 mm का एंग्ल चुनते हुये, गुणधर्म-

भार = 154 N

परिच्छेद मापांक, $Z_{XX} = 27900\ mm^3$

$Z_{YY} = 16300\ mm^3$

$I_{YY} = 89{\cdot}5 \times 10\ mm^4$



एंग्ल की बड़ी टाँग क्षैतिज (Horizontal) रखी जायेगी। इस प्रकार एक एंग्ल का $Z_{YY} = 16300\ mm^3$

कुल परिच्छेद मापांक, $Z = 2 \times 16300 = 32600\ mm^3$

यह आवश्यक से अधिक है, अत: उपयुक्त है।

**जाँच (i) परिच्छेद मापांक ($Z$) की जाँच—**

दो एंग्ल का स्वयम का भार, प्रति मी० लम्बाई = 2 × 154 = 308 N

अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M_1 = \frac{Wl^2}{8}$

$$= \frac{308 \times (2{\cdot}2)^2}{8} \times 1000 = 186340\ N\text{-}mm$$

$\therefore$ $Z_1 = \frac{186340}{165} = 1130\ mm^3$

कुल $Z = 27942 + 1130$

$= 29072\ mm^3$

यह ऊपर अपनाये गये $Z = (32600\ mm^3)$ से कम है, अत: **खण्ड सुरक्षित** है।

**(ii) विक्षेप की जाँच** (Deflection check)—

लिन्टल पर कुल भार = 1257·4 + (30·8 × 2·2)

= 1257·4 + 67·76

= 1325·16 kg say 1326 kg

अधिकतम विक्षेप, $\delta = \frac{5Wl^3}{384EI}$

ज्ञात मान रखने पर, $\delta_{max} = \frac{5}{384} \times \frac{1326 \times (2{\cdot}2)^3 \times (100)^3}{2 \times 10^6 \times 89{\cdot}5}$

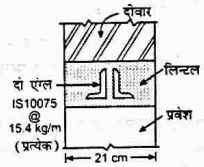
$= 0{\cdot}47$ cm

अनुमत विक्षेप, $\delta = \frac{l}{325} = \frac{220}{325} = 0{\cdot}677$ cm

यह 0·47 cm से अधिक है, अत: विक्षेप में लिन्टल सुरक्षित है।

**(iii) विरूपण में जाँच** (Shear-Check)—इसकी आवश्यकता नहीं है, क्योंकि एंग्ल धरन की भाँति प्रयोग करने पर, अपरूपण में विफल नहीं होता है।

**(iv) चित्र**—लिन्टल का परिच्छेद चित्र 7.13 में दर्शाया गया है।



चित्र 7.13

## § 7.11. प्लेट गर्डर (Plate Girders) :

जब धरन का पाट (span) बहुत अधिक होता है और उस पर अध्यारोपित भार भी काफी अधिक होते हैं, तब सामान्य बेल्लित इस्पात का I-खण्ड सुरक्षित सिद्ध नहीं होता है, क्योंकि I-खण्ड अत्यधिक प्रतिरोध आघूर्ण तथा अन्य आनमन सामर्थ्य सम्बन्धी आवश्यकतायें पूरी नहीं कर पाते है। ऐसी स्थिति में संघटित धरन (Composit Beam) या प्लेट-गर्डर (Plate-Girder) अपनाये जाते हैं। संघटित धरन प्लेट गर्डर की अपेक्षा काफी महंगा पड़ता है। अत: बड़े पाटो व भारी भारो के लिये प्लेट गर्डर सन्तोषजनक, सुरक्षित व मितव्ययी पाये गये है। एक एकल I-खण्ड धरन 10 मी० पाट तक और संघटित धरन 15-20 मी० पाट तक प्रयोग किया जा सकता है। इस से अधिक पाट पर प्लेट गर्डर अथवा कैची गर्डर Trussed Girder) उपयुक्त पाये गये है। प्लेट गर्डर 100 मी० पाट तक प्रयोग किये गये हैं। 12 मी० पाटं के ऊपर प्लेट गर्डर प्रयोग करना मितव्ययी रहता है।

civilgurl.net

$$M = \frac{Wl}{8}$$

यहाँ $W$ = कुल भार, $l$ = प्रभावी पाट $M$

(ii) इस्पात में बंकन प्रतिबल, $\sigma_{bc}$ = 165 N/mm$^2$ मान कर, $Z = \frac{M}{\sigma_{bc}}$

(iii) $Z$ के मान को दृष्टि में रखते हुये, स्टील टेबल से उपयुक्त खण्ड का चयन करें। खण्ड के स्वयम् के भार को देखते हुये, $Z$ का मान कुछ अधिक लें।

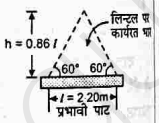
(iv) खण्ड की विक्षेप की जाँच करें। यह $\frac{\text{पाट}}{325}$ से अधिक नहीं होनी चाहिये।

(v) लिन्टल की औसत अपरूपण की जाँच करें। अपरूपण प्रतिबल 94·5 N/mm$^2$ से अधिक नहीं होना चाहिये।

**उदाहरण 7.17 : 30 सेमी० मोटी दीवार में बना एक दरवाजा 2·0 मी० चौड़ा है। लिन्टल के ऊपर दीवार की ऊँचाई 3 मी० से अधिक है। चिनाई का घनत्व = 20 kN/m$^3$ मान लें। इस्पात में अधिकतम अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल $\sigma_{bc}$ = 165 N/mm$^2$ तथा अपरूपण प्रतिबल, $\tau_{va}$ = 94·5 N/mm$^4$ अपनाते हुये, लिन्टल के लिये उपयुक्त इस्पातीय खण्ड का चयन करें।**

**हल :** लिन्टल का दीवार पर पार्श्व-चढ़ाव 20 cm लेते हुये, प्रभावी पाट

= 2·0 + 0·20 = 2·20 m



चित्र 7.12

लिन्टल पर चिनाई का त्रिभुजाकार-भार कार्यरत होने के लिये, इस पर दीवार की ऊँचाई 1·25 × पाट से कम नहीं होनी चाहिये, अर्थात् 1·25 × 2·2 = 2·75 m से कम नहीं होनी चाहिये। चूँकि दीवार लिन्टल के ऊपर 3·0 मी से अधिक ऊँची है, अत: लिन्टल पर चिनाई का त्रिभुज भार ही आता माना जायेगा (चित्र 7.12) त्रिभुजाकार भार, $W$ = त्रिभुज का क्षेत्रफल × दीवार की मोटाई × चिनाई का घनत्व

$$= \left[\frac{2·2 \times (0·866 \times 2·0)}{2}\right] \times 0·30 \times 2000$$

= 1257·4 kg = 12574 N

अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = \frac{Wl}{6}$

$$= \frac{12574 \times 2200}{6} = 4610·5 \text{ kN·mm}$$

$\therefore$ $Z = \frac{M}{\sigma_{bt}}$ ...(सूत्र)

$$= \frac{4610500}{165} = 27942 \text{ mm}^3$$

ईंट चिनाई के लिन्टल के लिये दो एंग्ल उचित रहेंगे। अत: एक एंग्ल का परिच्छेद-मापांक, $Z$ = 13971 mm$^3$

अत: स्टील टेबल से 10075 × 12 mm का एंग्ल चुनते हुये, गुणधर्म-

भार = 154 N

परिच्छेद मापांक, $Z_{XX}$ = 27900 mm$^3$

$Z_{YY}$ = 16300 mm$^3$

$I_{YY}$ = 89·5 × 10 mm$^4$



एंग्ल की बड़ी टाँग क्षैतिज (Horizontal) रखी जायेगी। इस प्रकार एक एंग्ल का $Z_{YY}$ = 16300 mm$^3$

कुल परिच्छेद मापांक, $Z$ = 2 × 16300 = 32600 mm$^3$

यह आवश्यक से अधिक है, अत: उपयुक्त है।

**जाँच (i) परिच्छेद मापांक ($Z$) की जाँच—**

दो एंग्ल का स्वयम का भार, प्रति मी० लम्बाई = 2 × 154 = 308 N

अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M_1 = \frac{Wl^2}{8}$

$$= \frac{308 \times (2·2)^2}{8} \times 1000 = 186340 \text{ N-mm}$$

$\therefore$ $Z_1 = \frac{186340}{165} = 1130 \text{ mm}^3$

कुल $Z$ = 27942 + 1130

= 29072 mm$^3$

यह ऊपर अपनाये गये $Z$ = (32600 mm$^3$) से कम है, अत: **खण्ड सुरक्षित** है।

**(ii) विक्षेप की जाँच** (Deflection check)—

लिन्टल पर कुल भार = 1257·4 + (30·8 × 2·2)

= 1257·4 + 67·76

= 1325·16 kg say 1326 kg

अधिकतम विक्षेप, $\delta = \frac{5Wl^3}{384EI}$

ज्ञात मान रखने पर, $\delta_{max} = \frac{5}{384} \times \frac{1326 \times (2·2)^3 \times (100)^3}{2 \times 10^6 \times 89·5}$

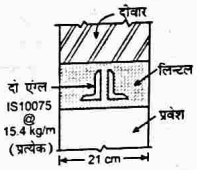
= 0·47 cm

अनुमत विक्षेप, $\delta = \frac{l}{325} = \frac{220}{325} = 0·677$ cm

यह 0·47 cm से अधिक है, अत: विक्षेप में लिन्टल सुरक्षित है।

**(iii) विरूपण में जाँच** (Shear-Check)—इसकी आवश्यकता नही है, क्योंकि एंग्ल धरन की भाँति प्रयोग करने पर, अपरूपण में विफल नहीं होता है।

(iv) **चित्र**—लिन्टल का परिच्छेद चित्र 7.13 में दर्शाया गया है।



चित्र 7.13

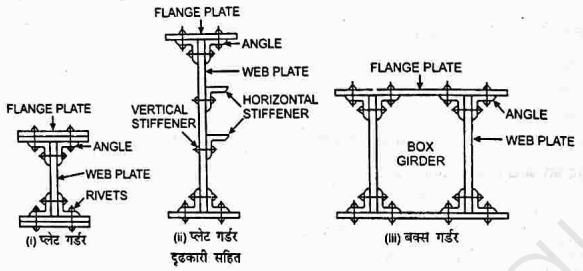
## § 7.11. प्लेट गर्डर (Plate Girders) :

जब धरन का पाट (span) बहुत अधिक होता है और उस पर अध्यारोपित भार भी काफी अधिक होते हैं, तब सामान्य बेल्लित इस्पात का I-खण्ड सुरक्षित सिद्ध नहीं होता है, क्योंकि I-खण्ड अत्यधिक प्रतिरोध आघूर्ण तथा अन्य आनमन सामर्थ्य सम्बन्धी आवश्यकताये पूरी नही कर पाते है। ऐसी स्थिति में संघटित धरन (Composit Beam) या प्लेट-गर्डर (Plate-Girder) अपनाये जाते हैं। संघटित धरन प्लेट गर्डर की अपेक्षा काफी महंगा पड़ता है। अत: बड़े पाटो व भारी भारो के लिये प्लेट गर्डर सन्तोषजनक, सुरक्षित व मितव्ययी पाये गये है। एक एकल I-खण्ड धरन 10 मी० पाट तक और संघटित धरन 15-20 मी० पाट तक प्रयोग किया जा सकता है। इस से अधिक पाट पर प्लेट गर्डर अथवा कैंची गर्डर Trussed Girder) उपयुक्त पाये गये है। प्लेट गर्डर 100 मी० पाट तक प्रयोग किये गये हैं। 12 मी० पाट के ऊपर प्लेट गर्डर प्रयोग करना मितव्ययी रहता है।

civilguru.net

क्योंकि धरन का मूल ढाँचा इस्पातीय प्लेटों द्वारा तैयार किया जाता है, अत: इसे प्लेट गर्डर कहते हैं। फ्लेंजो व वेब के लिये इस्पात की प्लेटो को रिवेट/बोल्ट द्वारा जोड़कर अथवा वेल्डन करके प्लेट गर्डर बनाया जाता है। प्लेट गर्डन मूलत: I-आकृति का होता है। प्लेट गर्डर मे खण्ड की गहरायी काफी अधिक रखी जाती है, ताकि प्रतिरोध आघूर्ण अधिक प्राप्त हो सके। प्लेट गर्डर में बंकन प्रतिबल फ्लेजो द्वारा और कर्तन प्रतिबल वेब द्वारा वहन किये जाते हैं। प्लेट गर्डर लम्बे पुलों, विशेष रूप से रेलवे पुलो के लिये अधिक अपनाये जाते हैं।

जब प्लेट गर्डर की गहरायी 75 cm से कम होती है, इसे उथला प्लेट गर्डर (Shallow Plate Girder) कहते हैं। इससे अधिक गहरायी वाले, गहरे प्लेट गर्डर (Deep Plate Girder) की श्रेणी मे आते हैं। भवनों में निर्बाध ऊँचाई (Head Room) को देखते हुये, गहरे प्लेट गर्डर प्रयोग नहीं किये जाते हैं। विशेष स्थिति में दोहरे I-गर्डर या बक्स गर्डर की सामान्य आकृति चित्र 7.11 में दर्शायी गयी है।




चित्र 7.14

## § 7.12. प्लेट गर्डर के घटक (Components of Plate Girder) :

प्लेट गर्डर के मुख्य घटक निम्न है—

(i) फ्लेंज प्लेटें (Flange Plates)
(ii) वेब प्लेट (Web Plate)
(iii) दृढ़कारी (क्षैतिज व ऊर्ध्वाधर) (Stiffeners—Horizontal and Vertical)
(iv) स्पलाइस (वेब व फ्लेज) (Splice—Web and Flanges)

वर्णन निम्न है—

**7.12-1. फ्लेंज प्लेटें**—यह गर्डर के शिखर व तली पर लगी क्षैतिज प्लेटे होती है, जिनको फ्लेंज-एंग्लों द्वारा गर्डर की वेब (खड़ी प्लेट) से जड़ दिया जाता है। शिखर व तली पर लगी प्लेटों की संख्या ऊपर-नीचे एक-एक अथवा अधिक हो सकती है, परन्तु अधिक प्लेटो की स्थिति में, इनकी संख्या आलम्बो (Supports) की ओर आते-आते न्यूनीकृत (Curtailment of cover Plates) होती जाती है, क्योंकि UDL मे बंकन-आघूर्ण आलम्बो की ओर घटती चली जाती है। फ्लेज प्लेट का मुख्य कार्य बंकन प्रतिबलो को प्रतिरोधित करना होता है। फ्लेज प्लेट का बाहर लटकता भाग (Outstand) गेज रेखा से $16t$ से अधिक नहीं होना चाहिये। यहाँ $t$ प्लेट की मोटाई ली जाती है।

**7.12-2. वेब प्लेट** (Web Plate)—ऊपरी व तली के दोनों फ्लेंजो (प्लेटो) को आवश्यक ऊर्ध्वदूरी पर बनाये रखने के लिये, इनको एक खड़ी प्लेट पर जड़ा जाता है, जिसे वेव प्लेट कहते हैं। वेब प्लेट की मोटाई व गहरायी, बंकन आघूर्ण व अपरूपण प्रतिबलों पर निर्भर करती है।

क्योंकि वेब प्लेट की गहरायी, इसकी मोटाई की अपेक्षा बहुत अधिक होती है, इसके विकलांगता (Crippling) व व्याकुचन (Buckling) की सम्भावना रहती है।



**7.12-3. दृढ़कारी** (Stiffeners)—फ्लेजो व वेब को पार्श्व स्थिरता प्रदान करने के लिये, प्लेट गर्डर में दृढ़कारी लगाये जाते हैं। खड़ी स्थिति मे लगे दृढ़कारी, ऊर्ध्व दृढ़कारी, (Vertical Stiffeners) और पड़ी स्थिति में जड़े दृढ़कारी, क्षैतिज दृढ़कारी (Horizontal Stiffeners) कहलाते हैं। दृढ़कारी अधिकतर एंग्ल-खण्ड होते हैं, जो वेब प्लेट के एक तरफ अथवा दोनों तरफ लगाये जाते हैं।

दृढ़कारी वेब का व्याकुंचन रोकने के लिये, गर्डर की लम्बाई की दिशा मे ऊर्ध्व व क्षैतिज लगाये जाते हैं। गर्डर के सिरो (आलम्बों पर लगे दृढ़कारी, सिरा दृढ़कारी (End Stiffeners) और मध्य भाग मे लगे दृढ़कारी, मध्य दृढ़कारी (Intermediate Stiffeners) कहलाते हैं। जहाँ गर्डर-लम्बाई मे बिन्दु-भार (Point Load) पड़ता है, उसके ठीक नीचे धारक दृढ़कारी (Bearing Stiffeners) लगाये जाते हैं। धारक दृढ़कारी स्थानीय बंकन के कारण फ्लेंज की सम्भावित विफलता को, स्थल विकलांगता (Local crippling) व वेब-संदलन (Crushing) को रोकने के लिये लगाये जाते हैं।

**7.12-4. स्पलाइस** (Splices)—स्थिति के अनुसार ये निम्न दो प्रकार के होते हैं—

**(a) वेब स्पलाइस** (Web Splices)—पाट की लम्बाई को देखते हुये, जब वेब प्लेटें आवश्यक लम्बाई मे उपलब्ध नहीं होती है, तब दो वेब प्लेटो को लम्बाई की दिशा में, स्पलाइस द्वारा जोड़ा जाता है। ये कम चौड़ाई की प्लेटे होती हैं, जो वेब प्लेट के दोनों तरफ लगायी जाती है। यह जोड़ ऊर्ध्व होता है।

**(b) फ्लेंज स्पलाइस** (Flange Splice)—फ्लेज प्लेट की लम्बाई बढ़ाने के लिये, जो इसके ऊपर व नीचे कवर प्लेटें लगायी जाती है, फ्लेज स्पलाइस कहलाती है। यह जोड़ क्षैतिज होता है।

## § 7.13. प्लेट गर्डर का अभिकल्पन (Design of Plate Grider) :

प्लेट गर्डर के अभिकल्पन में निम्न बातों पर विचार किया जाता है—

(i) अध्यारोपित तथा गर्डर का स्वयम् का भार,
(ii) बकंन आघूर्ण व अपरूपण बल की गणना,
(iii) फ्लेज व वेब प्लेटों का अभिकल्पन,
(iv) आवरण पट्टिका (Cover Plates) का छिन्नीकरण (Curtailment)
(v) रिवेट-व्यवस्था,
(vi) दृढ़कारी व स्पलाइस का अभिकल्पन

पाठयक्रम को दृष्टि में रखते हुये, प्लेट गर्डर किा विस्तृत अभिकल्पन यहाँ नहीं दिया जा रहा है, परन्तु प्लेट गर्डरो सम्बन्धी निम्न आँकड़े इनका स्वरूप समझने में सहायक होंगे।

**7.13-1. अभिकल्पन सम्बन्धी मुख्य आँकड़े—**

**(1) प्लेट गर्डर का स्वयम् का भार,** $W_1 = \dfrac{WL}{300}$

जहाँ $W_1$ = प्लेट गर्डर का भार (kg मे),
$W$ = अध्यारोपित भार (kg मे),
$L$ = प्लेट गर्डर का पाट (मी० मे)।

**(2) प्लेट गर्डर की कुल गहरायी**—यह पाट का $\dfrac{1}{10}$ से $\dfrac{1}{15}$ ली जाती है। सामान्यत: यह $\dfrac{1}{12}$ उपयुक्त रहती है।

अथवा गहरायी $D = \dfrac{1{\cdot}1\sqrt{M}}{\sigma_b \times t_w}$

यहाँ $M$ = अधिकतम बकंन आघूर्ण
$t_w$ = वेब प्लेट की मोटाई
$\sigma_b$ = अनुज्ञेय धारण प्रतिबल

(3) **फ्लेंज की चौड़ाई**—यह पाट का $\frac{1}{30}$ से $\frac{1}{40}$ तक ली जाती है। यह गर्डर की कुल गहरायी का $\frac{1}{3}$ अथवा 60 सेमी० से अधिक नहीं होनी चाहिये।

(4) **वेब प्लेट की गहरायी**—

$$15 \text{ मी० पाट तक} = \frac{\text{पाट}}{12}$$

$$15 \text{ मी० से अधिक पाट} = \frac{\text{पाट}}{10}$$

$$\text{अत्यधिक बिन्दु भार} = \frac{\text{पाट}}{8}$$

वेब प्लेट की मोटाई = 6 mm (न्यूनतम)

(5) **वेब दृढ़कारी** (Web Stiffeners)—प्लेट गर्डर की वेब प्लेट काफी पतली होती है। इस पर सम्पीडन प्रतिबल के कारण विकर्ण व ऊर्ध्वाधर व्याकुंचन (Buckling) की सम्भावना रहती है। अत: वेब को दृढ़ करने के लिये, इस पर दृढ़कारी लगाये जाते हैं। यह सामान्यत: एंग्ल-खण्ड या चैनल होती हैं।

(a) **ऊर्ध्व दृढ़कारी :** जब वेब प्लेट की शुद्ध गहरायी (Net Depth) व मोटाई ($t_w$) का अनुपात 85 से अधिक होता है, वेब पर ऊर्ध्व दृढ़कारी लगाये जाते हैं। इसकी सामान्य दूरी 0·33 $d$ से 1·5 $d$ तक रखी जाती है। यहाँ $d$ = वेब प्लेट की शुद्ध (Net) गहरायी है। यह अनुपात 85 तक होने पर, कोई दृढ़कारी आवश्यक नहीं है।

(b) **क्षैतिज दृढ़कारी :** जब वेब की शुद्ध गहरायी व मोटाई का अनुपात 200 से अधिक होता है, तब ऊर्ध्व दृढ़कारी के साथ-साथ क्षैतिज दृढ़कारी भी लगाये जाते हैं। यह सामान्यत: उदासीन अक्ष (N.A.) के ऊपरी भाग (सम्पीडन क्षेत्र) में, फ्लेंज की दूरी के 2/5 पर लगाये जाते हैं। क्षैतिज दृढ़कारी, ऊर्ध्व दृढ़कारियों के मध्य वेब के एक तरफ अथवा दोनों तरफ लगाये जाते हैं। वेब की गहरायी व मोटाई का अनुपात 250 से अधिक होने पर, उदासीन अक्ष पर भी एक क्षैतिज दृढ़कारी लगाया जाता है।

(6) **केम्बर** (Camber)—धरन का मध्य में उठान = $\frac{1}{480}$ × शुद्ध पाट रखा जा सकता है।

(7) **अनुलम्ब प्रसार**—सिरा प्रसार की दृष्टि से, 15 मी० पाट तक के प्लेट गर्डर ढलवा-लोहा के शू (Cast Iron Shoe) पर टिकाये जाते हैं। इस से बड़े पाट के लिये, गर्डर का एक सिरा रोलर पर रखना चाहिये।

(8) **अनुज्ञेय प्रतिबल**—

(i) सम्पीडन/तनन प्रतिबल—

| प्लेट मोटाई | सम्पीड/तनन अनुज्ञेय प्रतिबल |
|---|---|
| 20 mm तक | 157·5 N/mm$^4$ |
| 20 mm से अधिक | 150 N/mm$^2$ |

(ii) अपरूपण प्रतिबल—

| प्लेट मोटाई | कर्तन औसत प्रतिबल |
|---|---|
| 20 mm तक | 94·5 N/mm$^2$ |
| 20 mm से अधिक | 8·6 N/mm$^2$ |

(iii) धारण प्रतिबल 189 N/mm$^2$



## अभ्यास प्रश्न-7

1. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—
   (i) प्रभावी विस्तृति से आप क्या समझते हैं? अबाध विस्तृति व प्रभावी विस्तृति मे अन्तर स्पष्ट करें।
   (ii) पार्श्विक आबद्ध धरन से आप क्या समझते हैं? चित्र द्वारा स्पष्ट करें।
   (iii) धरन को पार्श्विक आबद्ध क्यों किया जाता है?
   (iv) वेब विकलांगता (Web Crippling) व वेब व्याकुंचन (Web buckling) मे अन्तर चित्र द्वारा स्पष्ट करें।
   (v) धरन के अभिकल्पन के चरण लिखें।
   (vi) यदि इस्पात का पराभव प्रतिबल 260 N/mm$^2$ हो तो अधिकतम अनुज्ञेय बंकन/औसत अपरूपण/धारण प्रतिबलो के मान क्या होगे?
   (vii) शुद्ध लम्बित धरन मे एक-समान वितरित भार (UDL) के लिये अधिकतम बंकन प्रतिबल व अधिकतम विक्षेप में सम्बन्ध ज्ञात कीजिये। इसका अभिकल्पन में उपयोग बताइये।

2. एक धरन के लिये ISLB-350 का प्रयोग किया गया। धरन की प्रभावी विस्तृति 3·5 मी० है। अधिकतम अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 165 N/mm$^2$ लेते हुये इस धरन के लिये सुरक्षित एक समान वितरित भार ज्ञात कीजिये। धरन पार्श्विक आबद्ध है।
   **[उत्तर**—81·03 kN/m]

3. 4·5 मी० प्रभावी विस्तृति के एक धरन के लिये एक I-खण्ड ISMB-350 का प्रयोग किया गया। यदि इस धरन पर 42 kN/m का एक समान वितरित भार आ रहा हो तो धरन में उत्पन्न अधिकतम बंकन प्रतिबल, अपरूपण प्रतिबल तथा विक्षेप ज्ञात कीजिये। $E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$ लीजिये। **[उत्तर**—136·5, 33·33 N/mm$^2$, 8·22 mm]

4. प्रश्न 3 पुन: हल करें यदि धरन दोनों सिरों पर आबद्ध हो। **[उत्तर**—91 N/mm$^2$, 33·33 N/mm$^2$, 1·645 mm]

5. एक शुद्धालम्बित धरन के लिये ISMB-500 @ 0·869 kN/m का प्रयोग किया गया। प्रभावी विस्तृति 8·5 मी० है तथा धरन पार्श्विक आबद्ध है। अनुमत बंकन प्रतिबल 165 N/mm$^2$ लेते हुये इस धरन पर सुरक्षित एक समान वितरित अध्यारोपित भार ज्ञात कीजिये। **[उत्तर**—32·131 kN/m]

6. निम्नांकित I-खण्डों को उनके सामने अंकित प्रभावी विस्तृतियो के लिये शुद्धालम्बित धरन के रूप मे प्रयोग किया गया। सभी धरने पार्श्विक आबद्ध है तथा अनुज्ञेय प्रतिबल-बंकन 165, अपरूपण 100 N/mm$^2$, $E = 2 \times 10^5$ N/mm$^2$ तथा अनुमत विक्षेप विस्तृति ÷ 325 लेते हुये प्रत्येक धरन के लिये अपने भार सहित कुल सुरक्षित एक-समान वितरित भार प्रति मी० ज्ञात कीजिये, जो यह धरन वहन कर सके।

| I-खण्ड | प्रभावी विस्तृति (मी०) | वेब मोटाई (mm) | जड़त्व आघूर्ण (cm$^4$) | परिच्छेद मापांक (cm$^3$) |
|---|---|---|---|---|
| (i) ISMB-250 @ 0·373 kN | 4·5 | 6·9 | 5131·6 | 410·5 |
| (ii) ISLB-300 @ 0·377 kN | 6·0 | 6·7 | 7332·9 | 488·9 |
| (iii) ISLB-450 @ 0·653 kN | 7·5 | 8·6 | 27536·1 | 1123·8 |
| (iv) ISMB-550 @ 1·037 kN | 9·5 | 11·2 | 64893·6 | 2359·8 |

**[उत्तर**—(i) 26·60 kN/m विक्षेप के आधार पर (ii) 16 kN/m विक्षेप के आधार पर (iii) 26·3 kN/m, (iv) 34·5 kN/m]

7. एक इस्पात की पार्श्विक आबद्ध धरन के लिये उपर्युक्त I-खण्ड का चयन कीजिये। धरन की प्रभावी विस्तृति 5 मीटर है तथा इस पर 12 kN/m का एक-समान वितरित भार तथा विस्तृति के मध्य पर 20 kN का बिन्दुभार लगा है। धरन का अपना भार नगण्य मान लीजिये। अनुमत प्रतिबल-बंकन 165 तथा अपरूपण 100 N/mm$^2$, $E = 2 \times 10^5$ तथा अनुमत विक्षेप—विस्तृति/325। **[उत्तर**—ISLB-300 उपयुक्त है, विक्षेप—10·4 mm]

8. किसी विशाल कक्ष के छत मे ISMB-300 का पार्श्विक आबद्ध धरन के रूप मे प्रयोग किया गया है। इन धरनो को अबाध विस्तृति 5 मी० तथा केन्द्र से केन्द्र दूरी 3·5 मी० है। धरन के दोनो सिरो पर दीवारो की मोटाई 230 मिमी० है तथा धरन पर छत

का सम्पूर्ण भार 7 kN/m² आ रहा है। इस धरन की सुरक्षा के लिये जाँच कीजिये। अनुमत प्रतिबल—बंकन 165, अपरूपण—100 N/mm², $E = 2 \times 10^5$ N/mm² तथा अनुमत विक्षेप—विस्तृति/325 लीजिये।

[उत्तर—सुरक्षित, वास्तविक मान बंकन प्रतिबल—146, अपरूपण—28·5 N/mm² तथा विक्षेप—13·87 mm]

9. एक हॉल की छत हेतु 8 मीटर प्रभावी विस्तृति के शुद्धालम्ब धरन के लिये उपर्युक्त बेल्लित I-खण्ड का चयन कीजिये। धरनों की केन्द्र से केन्द्र दूरी 3·5 मी० है तथा छत पर उसके अपने भार सहित सम्पूर्ण भार 5·6 kN/m² आ रहा है। धरन पार्श्विक आबद्ध है। अनुमत प्रतिबल — बंकन = 165 तथा अपरूपण = 100 N/mm², केन्द्रीय विक्षेप भी ज्ञात कीजिये।

[उत्तर—ISLB-450 उपर्युक्त, विक्षेप—19 mm]

10. 6 मी० विस्तृति के एक धरन की सपीडन फ्लेज पार्श्विक आबद्ध है। यदि यह अपने भार सहित 26 kN प्रति मी० एक समान वितरित भार वहन कर रहा हो तो इसके लिये I-खण्ड का चयन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल बकन—165, अपरूपण—100 N/mm², $E = 2 \times 10^5$ N/mm² तथा अनुज्ञेय विक्षेप—विस्तृति/325। [उत्तर—ISLB-350 उपर्युक्त, विक्षेप—16·6 mm]

11. एक हॉल को छत के लिये ISMB धरन का प्रयोग प्रस्तावित है। धरनो की प्रभावी विस्तृति 6·2 मी० है तथा यह 4·0 केन्द्र से केन्द्र दूरी पर स्थित है। यदि स्वय के भार सहित छत का कुल एक समान वितरित भार 7·5 kN/m² हो तो धरन के लिये खण्ड का चयन कीजिये। धरन पूरे लम्बाई मे पार्श्विक आबद्ध है। अनुज्ञेय प्रतिबल—बंकन 165, अपरूपण 100 N/mm², $E = 2 \times 10^5$ N/mm² तथा अनुज्ञेय विक्षेप—विस्तृति/325 लीजिये। चयनित खण्ड की सुरक्षा के लिये जाँच कीजिये।

[उत्तर—ISMB-400 उपर्युक्त, वास्तविक मान—बंकन प्रतिबल = 140·9 N/mm², अपरूपण = 26·12 N/mm², विक्षेप = 14·1 mm]

12. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—
    (i) संघटित धरन (Built-up beam) से आप क्या समझते है? इनका प्रयोग कब किया जाता है?
    (ii) संघटित धरन के सदर्भ मे कुल जड़त्व आघूर्ण व शुद्ध जड़त्व आघूर्ण मे अन्तर स्पष्ट कीजिये।
    (iii) संघटित धरन मे बकन के फलस्वरूप उत्पन्न वास्तविक तनन प्रतिबल का मान आप कैसे ज्ञात करेंगे?
    (iv) संघटित धरन म I खण्ड के प्रत्येक फ्लेज पर लगाये जाने वाली प्लेटो के परिमाप कैसे निर्धारित किये जाते है?

13. निम्नांकित संघटित धरन खण्डो के गुणधर्म ज्ञात कीजिये—

| I-खण्ड का विवरण | प्रत्येक फ्लेंज पर लगे चपटी पत्ती के परिमाप (mm) | रिवेट व्यास |
|---|---|---|
| (i) ISMB-300 @ 0·46 kN/m | 200 × 12 | 20 mm |
| (ii) ISLB-400 @ 0·569 kN/m | 250 × 16 | 22 mm |
| (iii) ISMB-500 @ 0·869 kN/m | 300 × 16 | 22 mm |

[उत्तर—(a) तनन फ्लेज क्षेत्रफल (mm²)
कुल—(i) 4136·0 (ii) 6062·5 (iii) 8022·
शुद्ध—(i) 3086·8 (ii) 4723·0 (iii) 6428·7;
(b) जड़त्व आघूर्ण $I_{xx}$ (cm⁴)
कुल—(i) 20284·9 (ii) 53917·5 (iii) 109119·74
शुद्ध—(i) 17930·5 (ii) 48465·3 (iii) 99237·14]

14. 6·5 मी० प्रभावी विस्तृति के एक धरन के लिये ISWB-300 @ 0·481 kN/m I-खण्ड के प्रत्येक फ्लेज पर 400 × 12 चपटी पत्ती (Flat) 20 mm रिवेटों के साथ संबद्ध करते हुये खण्ड का सयोजन किया गया है। धरन की संपीडन फ्लेज पार्श्विक आबद्ध है। यदि धरन पर कुल 50 kN/m एक-समान वितरित भार आ रहा हो, तो धरन मे उत्पन्न बंकन, अपरूपण प्रतिबलो एवं विक्षेप के मान ज्ञात कीजिये। $E = 2 \times 10$ N/mm² लीजिये।

[उत्तर—बंकन प्रतिबल—128·88 सम्पीडन, 149·7 N/mm² तनन, 73·2 N/mm², 18·72 mm]



15. प्रश्न 13 में अंकित धरने पार्श्विक आबद्ध है। इन धरनों की प्रभावी विस्तृतियाँ तथा इन पर अपने भार सहित आने वाले कुल एक समान वितरित भार (UDL) प्रति मी० निम्नवत् हैं—

| | प्रभावी विस्तृति (m) | कुल एक-समान वितरित भार (kN/m) |
|---|---|---|
| (i) | 7·0 | 22 kN/m |
| (ii) | 8·5 | 30 kN/m |
| (iii) | 10·0 | 35 kN/m |

प्रत्येक धरन मे उत्पन्न प्रतिबलो व विक्षेप के मान ज्ञात कीजिये।

उत्तर—

| धरन | (i) | (ii) | (iii) |
|---|---|---|---|
| बंकन प्रतिबल सम्पीडन (N/mm²) | 107·61 | 108·54 | 106·64 |
| तनन (N/mm²) | 144·0 | 139·32 | 133·0 |
| अपरूपण | 34·22 | 39·84 | 34·31 |
| विक्षेप (mm) | 19·18 | 21·04 | 22·96 |

16. निम्न तालिका में तीन पार्श्विक आबद्ध संघटित धरनों के लिये संयोजित खण्ड का विवरण एवं उनकी प्रभावी विस्तृतियाँ अंकित है। सभी धरने पार्श्विक आबद्ध है। इन धरनों के लिये स्वयं के भार सहित कुल सुरक्षित एक समान वितरित भार प्रति मी० (UDL per metre) ज्ञात कीजिये—

| संघटित खण्ड का विवरण | प्रभावी विस्तृति (मी०) |
|---|---|
| (i) I खण्ड ISWB-400 @ 0·667 के प्रत्येक फ्लेज पर 300 × 12 mm चपटी पत्ती वेल्ड द्वारा सम्बद्ध | 8·0 |
| (ii) I खण्ड व चपटी पत्ती उपरोक्तानुसार चपटी पत्ती 20 mm रिवेटों द्वारा सम्बद्ध | 8·0 |
| (iii) I खण्ड ISLB-500 @ 0·75 kN प्रत्येक फ्लेज पर 300 × 12 mm चपट्टी, 22 mm रिवेटों द्वारा सम्बद्ध | 10·0 |

अनुज्ञेय मान—बंकन प्रतिबल 165 N/mm², अपरूपण 100 N/mm², यंग मापांक $E = 2 \times 10^5$ N/mm², विक्षेप—विस्तृति/325 मान ले।

[उत्तर—(i) 49·8 kN/m, विक्षेप के आधार पर, विक्षेप 24·61 mm
(ii) 43·4 kN/m, विक्षेप 23·28 mm
(iii) 34·5 kN/m, विक्षेप 28·73 mm]

17. 5·5 मी० प्रभावी विस्तृति के एक धरन के लिये ISLB-350 I-खण्ड उपलब्ध है। यदि धरन पार्श्विक आबद्ध हो तथा इस पर अपने भार सहित कुल 42 kN/m एक एक समान वितरित भार आ रहा हो तो I खण्ड के प्रत्येक फ्लेज पर 20 mm रिवेटो के साथ संबद्ध करने हेतु चपटी पत्ती के परिमाप निश्चित करे। अनुज्ञेय मान—बकन प्रतिबल 165 N/mm², अपरूपण 100 N/mm², यग मापाक $E = 2 \times 10^5$ N/mm², विक्षेप—विस्तृति /325।

[उत्तर—प्रत्येक फ्लेज पर 200 × 10 mm चपटी पत्ती उपर्युक्त तदनुसार
प्रतिबलो के वास्तविक मान बकन प्रतिबल—112·5 (सपीडन) तथा 147·5 N/mm²,
तनन अपरूपण—44·6 N/mm², तथा वास्तविक विक्षेप—10·74 mm]

civilguru.net

18. 10 मीटर प्रभावी विस्तृति के एक धरन के लिये उपलब्धता के आधार पर ISWB-500 (I खण्ड) का प्रयोग प्रस्तावित है। धरन पार्श्विक आबद्ध है तथा इसे अपने भार सहित 40 kN प्रति मी० का कुल एक-समान वितरित भार (UDL) वहन करना होगा। इस धरन के लिये I खण्ड के प्रत्येक फ्लेज पर 22 mm व्यास के रिवेटो द्वारा सम्बद्ध करने हेतु चपटी पत्तियो के परिमाप निश्चित कीजिये। अनुज्ञेय मान निम्नलिखित लीजिये—बंकन प्रतिबल—अपरूपण—165 $N/mm^2$, अपरूपण—100 $N/mm^2$, यंग मापांक $E = 2 \times 10^5$ $N/mm^2$, विक्षेप—विस्तृति/325।

**[उत्तर**—प्रत्येक फ्लेज पर एक-एक 400 × 12 mm चपटी पत्ती उपर्युक्त वास्तविक मान बंकन प्रतिबल—संपीडन—113·7 तथा तनन 133·5 $N/mm^2$ अपरूपण—40·4 $N/mm^2$, विक्षेप 24·23 mm]

19. प्लेट गर्डर क्या होता है? यह कहाँ प्रयोग किया जाता है? इसके मुख्य घटको के चित्र देखकर दर्शाये।

20. (i) प्लेट गर्डर मे दृढ़कारी (Stiffeners) क्यो लगाये जाते है? यह कितने प्रकार के होते है, लिखिये।
    (ii) प्लेट गर्डर के खण्ड-निर्धारण मुख्य हस्त-गुर लिखे।
    (iii) वेब प्लेट की न्यूनतम मोटाई क्या ली जाती है? लिखिये।

# 8 स्तम्भ-आधार व स्तम्भ-नींव
## (COLUMN BASES AND FOUNDATIONS)

### § 8.1. आवश्यकता (Necessity) :

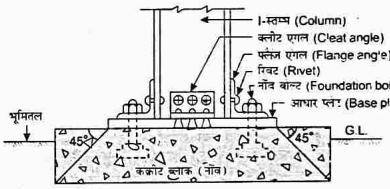
प्रत्येक संरचना के लिये, जो भूमि पर टिकी है, सर्वप्रथम नींव का निर्माण किया जाता है। नींव संरचना के भार को अवमृदा (भूमि) पर अन्तरण (Transfer) करने का दायित्व निभाती है।

सरचना के ऐसे ऊर्ध्वाधर पाये (थमले), जिन पर सम्पीडन भार आता है, स्तम्भ (Column) कहलाते है। इस्पातीय स्तम्भ भारी भार-वहन के लिये अपनाये जाते है और I-खण्ड व अन्य इस्पातीय खण्डो का संयोजन करके बनाये जाते है। स्तम्भो का विस्तृत वर्णन अध्याय 6 में सम्पीडन उपांगो के अन्तर्गत किया गया है।

स्तम्भ अपने ऊपर पड़ने वाले सभी (तथा स्वयम् के) भारो को ठोस नींव द्वारा नीचे स्थित अवमृदा पर अन्तरित करते है। क्योंकि स्तम्भो पर भारी भार आते है, अत: इनकी नीव का अभिकल्पन व निर्माण बड़ी सावधानी से करना चाहिये।

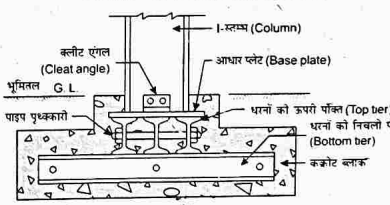
स्तम्भ नींव सामान्यत: कंक्रीट अथवा चिनाई की बनायी जाती है। नींव का क्षेत्रफल इतना रखना आवश्यक है कि नींव मे उत्पन्न इकाई प्रतिबल, अवमृदा की सुरक्षित धारण क्षमता से बढ़ने न पाये।

जब इस्पातीय स्तम्भ चिनाई या कंक्रीट आधार पर सीधा टिकाया जाता है, तो स्तम्भ के अत्यधिक भार के कारण इसके कंक्रीट पिण्ड मे धँस जाने की सम्भावना रहती है। इसी कारण इस्पातीय स्तम्भ सीधे कंक्रीट नींव पर **नही** टिकाया जाता है। इस्पातीय स्तम्भ की तली पर उपयुक्त माप की इस्पात की आधार प्लेट (Base Plate) दी जाती है, जिसे स्तम्भ आधार (Column Base) कहते है। आधार प्लेट स्तम्भ का भार समान रूप से कंक्रीट के पर्याप्त बड़े क्षेत्रफल पर फैलाने मे सक्षम होती है और कंक्रीट अतिप्रतिबलित (Over Stressed) नहीं होने पाती है। स्तम्भ आधार चित्र 8.1 मे दर्शाया गया है। स्तम्भ आधार को कंक्रीट चौकी (नींव) पर टिकाकर, एंकर बोल्टो (Anchor Bolts) की सहायता से स्थिर कर दिया जाता है।




**चित्र 8.1—स्तम्भ आधार (Column Base)**

जब स्तम्भ पर पड़ने वाला भार बहुत अधिक होता है और मृदा की धारण क्षमता कम रहती है, तब जालदार नींव (Grillage Foundation) अपनायी जाती है। ग्रिलेज नींव मे इस्पातीय स्तम्भ को बेल्लित इस्पात-धरनो की एक अथवा दो पंक्तियो (Tiers) के ऊपर टिकाया जाता है। धरनो की




**चित्र 8.2—जालदार नींव (Grillage Foundation)**

पंक्तियाँ एक-दूसरी की आड़ी दिशा में बनायी जाती है। स्थिरता के लिये, सभी धरन-पंक्ति को कंक्रीट मे दबा दिया जाता है। ग्रिलेज नींव चित्र 8.2 मे दर्शायी गयी है। नये कोड मे जालदार नींव (Grillage foundation) को मित्वययी न समझकर, इसके विकल्प अपनाने का सुझाव है।

## (I) स्तम्भ आधार (COLUMN BASES)

### § 8.2. प्रकार (Types) :

स्तम्भ आधार के लिये, स्तम्भ की तली पर इस्पात की प्लेट जड़ कर, इसे कंक्रीट ब्लाक पर स्थिर कर दिया जाता है। स्तम्भ आधार दो प्रकार का होता है—

(i) स्लैब आधार (Slab Base for Steel Column)

(ii) गसेट आधार (Gusseted Base for Steel Column)

स्लैब आधार सामान्य भार-वहन वाले स्वतन्त्र रचित स्तम्भो के लिये और गसेट आधार अधिक भार-वहन वाले स्तम्भ के लिये प्रयोग किया जाता है। स्लैब आधार व्यवस्था मे स्तम्भ का भार सीधा आधार प्लेट पर आता है। गसेट आधार व्यवस्था मे स्तम्भ का भार गसेट प्लेटो व फ्लैंज एंगलो द्वारा आधार प्लेट पर अन्तरित होता है। अत: इस संयोजन की सामर्थ्य पर ध्यान विचार किया जाता है।

### § 8.3. स्लैब आधार (Slab Base for Steel Column) :

स्लैब आधार के अभिकल्पन मे निम्न दो मदो का अभिकल्पन किया जाता है—

(a) आधार प्लेट (Base Plate) का अभिकल्पन

(b) कंक्रीट ब्लॉक (Concrete Block) का अभिकल्पन

**(a) आधार प्लेट का अभिकल्पन**—स्तम्भ के परिच्छेद को दृष्टि मे रखते हुये, आधार प्लेट वर्गाकार, आयताकार अथवा गोलाकार हो सकती है। आधार प्लेट पर्याप्त दृढ़ होनी चाहिये ताकि स्तम्भ के भार के कारण इसका विक्षेपन (Deflection) न हो।

आधार प्लेट की ऊपरी सतह तथा स्तम्भ की तली को मशीनिग (Milling) करने से दोनो तलों का सम्पर्क पूर्ण बनता है और भार सीधा-धारण (Direct Bearing) के कारण समान रूप से एक-दूसरे पर अन्तरित होता है।

यदि सम्पर्क सतहो की मशीनिग नही की गयी है, तब स्तम्भ को गुटका-एंगलो (Flange Angles) द्वारा आधार स्लैब से जोड़ा जाता है। अधिक दक्षता प्राप्त करने के लिये, स्तम्भ के फ्लैंजो पर गसेट प्लेटें लगायी जाती है, जिनको गुटका-एंगलों से आधार प्लेट से जोड़ दिया जाता है अथवा वैल्डिग किया जाता है।

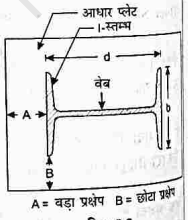
आधार प्लेट के परिमाप इस प्रकार ज्ञात किये जाते हैं—

(i) आधार प्लेट का क्षेत्रफल = $\dfrac{\text{स्तम्भ पर आने वाला अक्षीय भार}}{\text{कंक्रीट मे अनुज्ञेय धारण प्रतिबल}}$

(ii) आधार प्लेट को वर्गाकार (सरल रूप लेते हुये) मानते हुये, इसकी एक भुजा (Side) की लम्बाई ज्ञात करें।

(iii) आधार प्लेट पर स्तम्भ-खण्ड को सममित (Symmetrical) रखते हुये, आधार प्लेट की दोनो दिशाओ मे प्रक्षेप (Projections) $A$ व $B$ ज्ञात करें।

(iv) आधार प्लेट की मोटाई I.S : 800–1984 मे दिये गये निम्न सूत्र से ज्ञात करें (सूत्र की उत्पत्ति के लिये स्नातक स्तर की पुस्तक देखे)—



चित्र 8.3

$$t = \sqrt{\frac{3w}{\sigma_{bs}}\left(A^2 - \frac{B^2}{4}\right)} \qquad \ldots(8.1$$

यहाँ— $t$ = आधार प्लेट की मोटाई (mm मे)

$w$ = प्लेट की तली पर कार्यरत भार की तीव्रता (N/mm² अथवा/MPa)

$\sigma_{bs}$ = इस्पातीय प्लेट मे अनुज्ञेय वकन प्रतिबल (185 MPa अथवा 185N/mm²) (सभी प्रकार के इस्पात के लिये)



$A$ = स्तम्भ की फलक से प्लेट के बड़े प्रक्षेप की लम्बाई (mm मे)

$B$ = स्तम्भ की फलक से प्लेट के छोटे प्रक्षेप की लम्बाई (mm मे)

(v) जब ठोस गोलाकार स्तम्भ के लिये वर्गाकार आधार प्लेट प्रयोग की जाती है, तब आधार प्लेट की मोटाई (I.S : 800–1984)—

$$t = \sqrt{\left(\frac{9W}{16\sigma_{bs}} \times \frac{D}{D-d}\right)} \qquad \ldots(8.2)$$

यहाँ $t$ = प्लेट की मोटाई, mm मे

$W$ = स्तम्भ पर कार्यरत कुल अक्षीय भार, kN मे

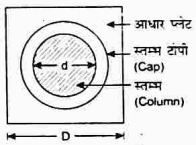
$D$ = आधार प्लेट की भुजा की लम्बाई, mm मे

$d$ = स्तम्भ के न्यूनीकृत सिरे का व्यास, mm मे

$\sigma_{bs}$ = अनुज्ञेय बकन प्रतिबल, (अधिकतम) 185 MPa (सभी इस्पात के लिये)

(vi) यदि स्तम्भ पर केवल अक्षीय भार आ रहा है और आधार प्लेट व स्तम्भ की सम्पर्क सतहें मशीनिग (Flush Bearing) की गयी है, तो कोई जोड़ (Connection) की आवश्यकता नहीं है। फिर भी स्तम्भ को अपनी स्थिति मे बनाये रखने के लिये, स्तम्भ व आधार प्लेट के मध्य सरल प्रकार का जोड़ लगाया जाता है। इसके लिये नामन (Nominal) एंगल व रिवेट लगाये जाते है (I.S : 800—1984)।

स्तम्भ (I-खण्ड) को आधार प्लेट के साथ जोड़ने के लिये 100 × 100 × 12 (mm) (न्यूनतम) एंगल-खण्ड और 22 mm ϕ के रिवेटो का प्रयोग करें। स्तम्भ की पार्श्विक खिसकन (Lateral Movement) को रोकने के लिये, स्तम्भ के वेब (Web) व आधार प्लेट के संगम पर डमी (Dummy) जोड़ लगाये। इसके लिए 50 × 50 × 8 (mm) के एंगल (Cleat Angle) दोनो तरफ जड़ दे।



चित्र 8.4

(vii) गोलाकार स्तम्भ की आधार प्लेट (अथवा टोपी) का व्यास या लम्बाई $1{\cdot}5(d + 75)$ mm से कम नही होगी। यहाँ $d$ स्तम्भ के न्यूनीकृत सिरे (Reduced End) का व्यास/लम्बाई है (चित्र 8.4)।

**(b) क्रंकीट ब्लॉक (स्लैब) का अभिकल्पन—**

(i) स्तम्भ से आने वाला भार कंक्रीट नीव द्वारा अवमृदा पर अन्तरित होता है। कंक्रीट ब्लॉक/स्लैब का स्वयम् का भार भी उपरोक्त भार के साथ अवमृदा पर जायेगा। सरलता के लिये कंक्रीट नीव का भार, स्तम्भ पर आने वाले भार का 10% मान लिया जाता है।

(ii) कंक्रीट ब्लॉक का क्षेत्रफल = $\dfrac{\text{स्तम्भ का भार + नीव का भार}}{\text{मृदा की सुरक्षित धारण क्षमता}}$

(iii) नीव ब्लॉक की एक भुजा, इसे वर्गाकार मानते हुये ज्ञात करे।

(iv) भार का वितरण कोण (Angle of Dispersion) 45° मानते हुये, ब्लॉक खण्ड की गहरायी निर्धारित करे (चित्र 8.1 देखे)।

**उदाहरण 8.1 : एक स्तम्भ पर 500 kN का अक्षीय भार आ रहा है। इस्पातीय स्तम्भ के लिये ISWB 200 @ 28·8 kg का प्रयोग किया गया है। यदि इस्पात प्लेट में अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 185 N/mm² और कंक्रीट में धारण प्रतिबल 4 N/mm² हो, तो स्तम्भ के लिये आधार प्लेट का परिमाप निर्धारित कीजिये।**

**हल :**

स्तम्भ पर आ रहा अक्षीय भार = 500 × 1000 N

कंक्रीट मे अनुज्ञेय धारण प्रतिबल = 4 N/mm²

$$\text{आधार प्लेट का क्षेत्रफल} = \frac{\text{स्तम्भ पर अक्षीय भार}}{\text{कंक्रीट मे अनु: धारण प्रतिबल}}$$

$$= \frac{500 \times 1000}{4} \text{ mm}^2 = 125000 \text{ mm}^2$$

आधार प्लेट को वर्गाकार मानते हुये, प्लेट की भुजा = $\sqrt{125000}$ mm
= 353·6 mm

अत: 360 × 360 (mm) प्लेट उपयुक्त रहेगी।

स्टील टेबल से, ISWB – 200 के गुणधर्म—

I-खण्ड की कुल गहरायी = 200 mm

फ्लैज की चौड़ाई = 140 mm

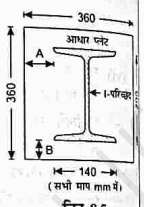
आधार प्लेट = 360 mm × 360 mm

अत: प्लेट के प्रक्षेप (चित्र 8.5)—

$$\text{बड़ा प्रक्षेप, } A = \frac{360 - 140}{2} = 110 \text{ mm}$$

$$\text{छोटा प्रक्षेप, } B = \frac{360 - 200}{2} = 80 \text{ mm}$$

स्तम्भ पर भार = 500 × 1000 N



चित्र 8.5

$$\therefore \text{ आधार प्लेट की तली पर दाब तीव्रता, } w = \frac{500 \times 1000}{360 \times 360} \text{ mm}^2 = 3{\cdot}85 \text{ N/mm}^2$$

अत: आधार प्लेट की मोटाई, $t = \sqrt{\frac{3w}{\sigma_{bs}}\left(A^2 - \frac{B^2}{4}\right)}$ ...(सू

ज्ञात मान रखने पर, $t = \sqrt{\frac{3 \times 3{\cdot}85}{185}\left(110^2 - \frac{80^2}{4}\right)}$ mm

$$= \sqrt{\frac{3 \times 3{\cdot}85}{185}(10500)} = \sqrt{655{\cdot}2} \text{ mm}$$

= 25·6 अथवा 26 mm

**अत: 360 × 360 × 26 (mm) परिमाप की प्लेट उपयुक्त रहेगी।**

**उदाहरण 8.2 : एक इस्पातीय स्तम्भ के खण्ड का संयोजन एकल गर्डर ISHB 300 @ 63·3 kg के प्रत्येक फ्लैंज के स एक-एक 300 × 12 (mm) माप की आवरण प्लेट (Cover Plate) लगाते हुये किया गया है। स्तम्भ 100 टन का अक्षीय भार आ रहा है। यदि कंक्रीट व मृदा की धारण क्षमता क्रमश: 4 N/mm² व 20t/ हो, तो स्तम्भ के लिये आधार प्लेट व कंक्रीट ब्लॉक नींव का अभिकल्पन कीजिये। इस्पात प्लेट में अनुज्ञे बंकन प्रतिबल 185 N/mm² मान लें।**

**हल : (a) आधार प्लेट का अभिकल्पन—**

स्तम्भ पर आ रहा अक्षीय भार = 100 टन = 100 × 10000 N

इस्पात मे अनुज्ञेय बकन प्रतिबल = 185 N/mm²



कंक्रीट मे अनुज्ञेय धारण प्रतिबल = 4 N/mm²

$$\text{आधार प्लेट का क्षेत्रफल} = \frac{\text{अक्षीय भार}}{\text{कंक्रीट की अनु: धारण क्षमता}}$$

$$= \frac{100 \times 10000}{4} = 250000 \text{ mm}^2$$

वर्गाकार आधार प्लेट अपनाने पर, प्लेट की भुजा = $\sqrt{250000}$
= 500 mm = 50 cm

अत: 500 × 500 (mm) माप की आधार प्लेट उपयुक्त रहेगी।

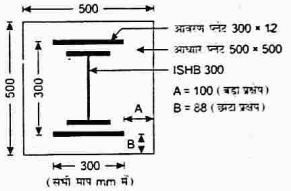
स्टील टेबल से, ISHB 300@ 63·3 kg खण्ड की गहरायी = 300 mm

फ्लैंज की चौड़ाई = 250 mm

प्रत्येक आवरण प्लेट की मोटाई = 12 mm

आवरण प्लेट की चौड़ाई = 300 mm

अत: आधार प्लेट के प्रक्षेप I-खण्ड के सिरों से आधार प्लेट की शुद्ध दूरी निम्न होगे—



चित्र 8.6

$$\text{बड़ा प्रक्षेप, } E = \frac{500 - 300}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{छोटा प्रक्षेप, } B = \frac{500 - (300 + 2 \times 12)}{2} \text{ mm}$$

$$= \frac{500 - 324}{2} = 88 \text{ mm}$$

अत: $\text{आधार प्लेट पर नीचे से कार्यरत दाब, } w = \frac{\text{अक्षीय भार}}{\text{प्लेट का क्षेत्रफल}}$

$$w = \frac{100 \times 1000}{500 \times 500} = 4 \text{ N/mm}^2$$

अत: आधार प्लेट की मोटाई, $t = \sqrt{\frac{3w}{\sigma_{bs}}\left(A^2 - \frac{B^2}{4}\right)}$

ज्ञात मान रखने पर, $t = \sqrt{\frac{3 \times 4}{185}\left(100^2 - \frac{88^2}{4}\right)}$

$$= \sqrt{0{\cdot}065 \times 8064} \text{ mm}$$

$$= \sqrt{524{\cdot}16} \text{ mm}$$

= 22·90 mm

अत: 25 mm मोटी प्लेट उपयुक्त रहेगी। अत: आधार प्लेट 500 × 500 × 25 (mm) अपनाये।

IS : 800–1984 अनुसार जब स्तम्भ की तली और आधार प्लेट की सम्पर्क सतहे पूर्ण बियरिंग के लिये तैयार की जाती है, तब इस जोड़ को किसी भार के लिये अभिकल्पित करने की आवश्यकता नही है। फिर भी स्थापना की दृष्टि से स्तम्भ व आधार प्लेट के संगम पर उपयुक्त माप के फ्लैज एंगल व रिवेट लगाये। इसके लिये, स्तम्भ को दोनो फ्लैजो पर एक-एक 100 × 100 × 12 (mm) माप का फ्लैज एंगल लगाकर उसमे तीन 20 mm ϕ के रिवेट प्रत्येक ओर लगाये।

civilguru.net

स्तम्भ के वेब (Web) पर भी सम्भावित पार्श्व प्रचलन (हरकत) को रोकने के लिये, दोनो तरफ ISA 50 × 50 × 8 (mm) व 200 mm लम्बे क्लीट एंगल लगाकर 20 mm ϕ के दो-दो रिवेटो से जड़ दे। आधार प्लेट मे लगने वाले रिवेट काउंटर-सन्क (Counter Sunk) प्रकार के होगे।

**(b) कंक्रीट ब्लॉक (नींव) का अधिकल्पन–**

स्तम्भ पर पड़ने वाला भार ≃ 100 टन

स्वयम् व कंक्रीट ब्लॉक का भार, उपरोक्त का 10% लेते हये, कुल भार = 100

$$+\frac{100}{10} = 110 \text{ टन}$$

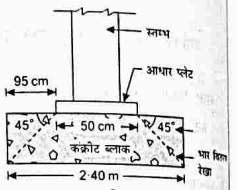
मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता = 20 Tons / $m^2$

$$\therefore \quad \text{कंक्रीट ब्लॉक का क्षेत्रफल} = \frac{110}{20} = 5{\cdot}5 \text{ m}^2$$

वर्गाकार कंक्रीट ब्लॉक की एक भुजा = $\sqrt{5{\cdot}5} = 2{\cdot}345$ m

अर्थात् 2.4 m.

∴ 2400 mm × 2400 mm का ब्लॉक उपयुक्त रहेगा।



चित्र 8.7

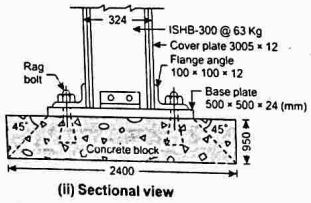
कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई ज्ञात करने के लिये, स्तम्भ का भार आधार प्लेट के सिरो से 45° के वितरण-कोण पर फैला हुआ माना जाता है।

$$\therefore \quad \text{नीव ब्लॉक की मोटाई} = \frac{\text{कंक्रीट ब्लॉक का माप} - \text{आधार प्लेट का माप}}{2}$$

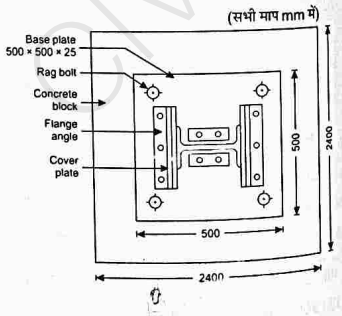
$$= \frac{240-50}{2} \text{ cm} = 90 \text{ cm}$$

अत: कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई 95 cm ली जायेगी।

स्तम्भ को कंक्रीट ब्लॉक पर स्थिर करने के लिये, आधार प्लेट में 4 एंकर बोल्ट (न्यूनतम) लगाये जायेगे, जो कंक्रीट ब्लॉक में गाड़ दिये जाते है (चित्र 8.8)।



(ii) Sectional view



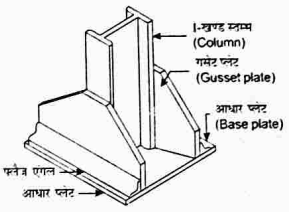

चित्र 8.8



## § 8.4. गसेट आधार (Gusset Base for Steel Columns) :

जब स्तम्भ की तली व आधार प्लेट की (सम्पर्क तलो की) मशीनिंग नहीं की जाती है, तब स्तम्भ को गसेट प्लेटो (संगम प्लेटों) द्वारा आधार प्लेट से जोड़ा जाता है। गसेट प्लेट को आधार प्लेट से जोड़ने के लिये फ्लैज एंगल (गुटका एंगल) प्रयोग किये जाते है। इस व्यवस्था मे स्तम्भ का भार गसेट प्लेटो से होता हुआ, फ्लैज एगलो पर आता है और इन से आधार प्लेट पर अन्तरित हो जाता है।

जब स्तम्भ पर अधिक भार आता है, तब भी गसेट आधार दिया जाता है। यह जोड़ व्यवस्था चित्र 8.9 मे दर्शायी गयी है।



चित्र 8.9

ऊपर वर्णित स्लैब आधार मे स्तम्भ का भार सीधा आधार प्लेट पर अन्तरित होता है (क्योंकि दोनो की सम्पर्क सतहो को मशीनिंग करके पूर्ण शुद्ध-समतल कर लिया जाता है), जबकि गसेट आधार मे यह अन्तरण गसेट प्लेटो के माध्यम से होता है (अत: गसेट प्लेटे व फ्लैज एंगल भी भार अन्तरण मे अपना योगदान करते है)।

स्लैब आधार मे नमन (Bending) दोनो अक्षो पर होता है, जबकि गसेट आधार मे (गसेट प्लेट की चौड़ाई आधार प्लेट की एक भुजा के बराबर रखने पर), नमन एक ही अक्ष पर सम्भव होता है।

गसेट आधार मे I-स्तम्भ के दोनो फ्लैजो पर एक-एक गसेट प्लेट, ऊर्ध्वाधर लगायी जाती है। इन गसेट प्लेटो की लम्बाई, आधार प्लेट की एक भुजा के बराबर रखी जाती है। इस कारण आधार प्लेट मे गसेट प्लेटो की समान्तर दिशा मे कोई नमन नहीं होता है। नमन केवल गसेट प्लेटो की दिशा के लम्ब ही होता है। जब स्तम्भ आधार बियरिंग की दृष्टि से पूर्ण समतल नही बनाया जाता है, तो जोड़ को भी भार-वहन के लिये अभिकल्पित करना होता है।

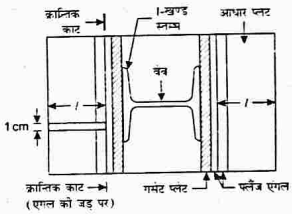
**8.4-1. आधार प्लेट की मोटाई–**आधार प्लेट की मोटाई ज्ञात करने के लिये निम्न पर विचार किया जाता है—

(i) क्योंकि गसेट प्लेट व फ्लैज एंगल आधार प्लेट की पूरी चौड़ाई तक लगाये जाते है (चित्र 8.10), अत: आधार प्लेट में नमन आघूर्ण (B.M.) एक ही समतल पर ज्ञात किया जाता है।

(ii) नमन आघूर्णो के लिये क्रान्तिक काट (Critical Section) फ्लैज एंगल की जड़ (Root) पर लिया जाता है।

(iii) क्रान्तिक काट से आधार प्लेट के किनारे की दूरी '$l$' एक प्रास धरन की भाँति कार्य करती है।

(iv) आधार प्लेट की 1 cm चौड़ी पट्टी पर विचार करने पर



चित्र 8.10

क्रान्तिक काट पर नमन आघूर्ण, $M = \frac{wl^2}{2}$ ...(i)

परिच्छेद का प्रतिरोध आघूर्ण, $M_r = \frac{bd^2}{6} \times f$ $\quad \because b = 1 \text{ cm}, \quad d = t, \quad f = \sigma_{bs}$

$$M_r = \frac{1 \times t^2}{6} \times \sigma_{bs} \quad \text{...(ii)}$$

नमन आघूर्ण को प्रतिरोध आघूर्ण के समतुल्य रखने पर—

$$\frac{wl^2}{2} = \frac{1 \times t^2}{6} \times \sigma_{bs} \quad \therefore \quad t = \sqrt{\frac{wl^2}{2} \times \frac{6}{\sigma_{bs}}}$$

$$t = \sqrt{\frac{3wl^2}{\sigma_{bs}}} \quad \ldots(8.3)$$

उपरोक्त मे— $w$ = आधार प्लेट पर दाब तीव्रता

$t$ = आधार प्लेट + फ्लैज एंगल की सम्मिलित मोटाई

अत: '$t$' से फ्लैज एगल की मोटाई घटाने पर, आधार प्लेट की मोटाई ज्ञात हो जाती है। आधार प्लेट की मोटाई, फ्लैज एंगल की मोटाई से **कम** नही होनी चाहिये।

## § 8.5. गसेट आधार का अभिकल्पन (Design of Gusset Base) :

**(1) अनुज्ञेय प्रतिबल—**

(i) कक्रीट मे अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल = 4 N/mm$^2$

(ii) इस्पात प्लेट मे अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 185 N/mm$^2$

(iii) इस्पात मे धारण प्रतिबल = 187·5 N/mm$^2$

(iv) रिवेटो के लिये— अपरूपण प्रतिबल = 100 N/mm$^2$

— धारण प्रतिबल = 270 N/mm$^2$

**(2) अभिकल्पन के चरण—**

(i) स्तम्भ पर कार्यरत भार व कक्रीट के अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल के आधार पर आधार प्लेट का क्षेत्रफल ज्ञात करे तथा भुजाओ के परिमाप निर्धारित करे।

(ii) गसेट प्लेट की उपयुक्त मोटाई मान ले। यह 10 mm से 16 mm ली जाती है।

(iii) फ्लैज एगलो का न्यूनतम माप 150 × 115 × 12 (mm) रखे और इनके लिये 22 mm $\phi$ के रिवेटो का प्रयोग करे। फ्लैज एगल की बड़ी टाँग खड़ी रखे (जो धरन के फ्लैजो से जुड़ती है), क्योकि इसमें रिवेटो की दो कतारे लगायी जाती है और छोटी टाँग पट्टी (क्षैतिज) रखी जाती है, क्योंकि इसमे रिवेटो की एक ही कतार लगायी जाती है।

(iv) एगलो की धारण प्रतिबलो को जाच करे।

(v) आधार प्लेट के माप निर्धारित करे। आयताकार आधार प्लेट की न्यूनतम चौड़ाई निम्न प्रकार ज्ञात की जाती है। इस न्यूनतम चौड़ाई से दोनो तरफ प्लेट 12 mm (न्यूनतम) बढ़ा कर अपनानी चाहिये।

न्यूनतम-चौड़ाई = [I-स्तम्भ की कुल गहरायी] + 2 [आवरण प्लेट की मोटाई + गसेट प्लेट की मोटाई + एंगल की छोटी टाँग की लम्बाई]

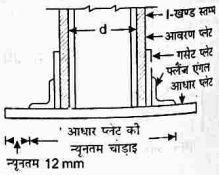
(vi) आधार प्लेट की मोटाई बंकन प्रतिबलो के आधार पर निधारित करे (देखें अनुच्छेद 8.4-1)। आधार प्लेट की मोटाई गसेट प्लेट या फ्लैज एंगलो की मोटाई से कम नहीं होनी चाहिये।

(vii) गसेट प्लेट के परिमाप निर्धारित करे।

(viii) गसेट प्लेट पर आने वाले भार के आधार पर, रिवेटो की संख्या ज्ञात करें।

(ix) गसेट आधार की पूर्ण व्यवस्था चित्रित कीजिये। आधार प्लेट को कंक्रीट ब्लॉक (नीव) मे स्थापित करने के लिये, इसके प्रत्येक कोने मे एक-एक एकर बोल्ट (न्यूनतम चार), उचित माप व लम्बाई के प्रयोग करें।

(x) I-स्तम्भ की पार्श्विक खिसकन (हरकत) को रोकने के लिये वेब व आधार प्लेट के संगम पर अक्रिय जोड़ (Dummy Joint) लगाये जाते हैं। इसके लिये 50 × 50 × 8 (mm) का एंगल प्रयोग करे।




चित्र 8.11



**उदाहरण 8.3 : एक इस्पातीय स्तम्भ के खण्ड का संयोजन ISHB 350 @ 674 kg/m I-गर्डर के प्रत्येक फ्लैज के साथ 400 × 16 (mm) की आवरण प्लेट जोड़ते हुये किया गया है। स्तम्भ पर 200 टन का अक्षीय भार आ रहा है। स्तम्भ के लिये गसेट आधार का अभिकल्पन करें। आधार प्लेट 1 : 2 : 4 कंक्रीट ब्लॉक पर टिकी है, जिसके लिये अनुज्ञेय धारण प्रतिबल 4 N/mm$^2$ तथा इस्पात प्लेट के लिये अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 185 N/mm$^2$ मान लें।**

**हल :**

स्तम्भ पर अध्यारोपित भार = 200 Tons = 200 × 10$^4$ N

कक्रीट के लिये अनुज्ञेय धारण प्रतिबल = 4 N/mm$^2$

आधार प्लेट का क्षेत्रफल = $\frac{200 \times 10000}{4}$ = 50 × 10$^4$ mm$^2$

वर्गाकार आधार प्लेट के लिये भुजा की लम्बाई = $\sqrt{50 \times 10000}$

= 707·1 mm

अत: प्लेट का परिमाप 750 × 750 (mm) रखते है।

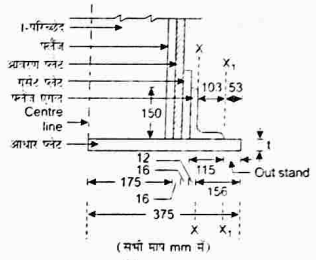
**(a) आधार प्लेट का अभिकल्पन–**

प्लेट की तली पर उत्पन्न वास्तविक प्रतिक्रियात्मक प्रतिबल,

$$w = \frac{200 \times 10000}{750 \times 750} = 3{\cdot}56 \text{ N/mm}^2$$

गसेट प्लेट की मोटाई 16 mm तथा 22 mm $\phi$ के रिवेटो का प्रयोग करने पर, स्टील टेबल से रिवेटो-रेखाओ के मध्य निर्धारित दूरियो के अनुकूल 150 × 115 × 12 (mm) की फ्लैज एगल प्रयोग की जा सकती है। आधार प्लेट की मोटाई ज्ञात करने के लिये क्रान्तिक काट (Critical Section) $XX$, फ्लैज एंगल की जड़ (Root) पर लिया जाता है।

फ्लैज एंगल की खड़ी टाँग के बाहर, आधार प्लेट का बढ़ा हुआ (Out Stand) भाग (चित्र 8.12)




चित्र 8.12

= 375 – (175 + 16 + 16 + 12) mm

= (375 – 219) mm = 156 mm

यह लम्बाई प्रास धरन की भाँति कार्य करेगी।

आधार प्लेट की 1mm चौड़ी पट्टी पर विचार करते हुये—

पट्टी पर उपरिमुख (Upward) दाब तीव्रता = 3·56 N/mm$^2$

क्रान्तिक काट $XX$ (फ्लैज एंगल की जड़) पर अधिकतम बंकन आघूर्ण,

$$\text{B.M.} = \frac{wl^2}{2} = \frac{3{\cdot}56 \times 156^2}{2} \text{ N.mm}$$

= 43318 N.mm

काट $XX$ पर यदि $t_1$ फ्लैज एंगल व आधार प्लेट की **कुल** मोटाई है,

तब काट पर खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, $M_r = \frac{1}{6} \times 1 \times t_1^2 \times \sigma_{bs}$

$$= \frac{1}{6} \times 1 \times t_1^2 \times 185 \text{ N.mm}$$

$$= \frac{185}{6} t_1^2 \text{ N.mm}$$

बंकन आघूर्ण को प्रतिरोध आघूर्ण के तुल्य रखने पर—

$$\text{B.M.} = M_r$$

$$43318 = \frac{185}{6} \times t_1^2$$

$$\therefore \quad t_1^2 = \frac{43318 \times 6}{185} = 1404{\cdot}9$$

$$t_1 = \sqrt{1404{\cdot}9} = 37{\cdot}48 \text{ mm}$$

∴ आधार प्लेट की मोटाई = $t_1$ – फ्लैज एंगल की मोटाई

$$= 37{\cdot}48 - 12 \text{ mm}$$

$$= 25{\cdot}48 \text{ mm} \quad \text{अर्थात} \quad 26 \text{ mm}$$

आधार प्लेट की मोटाई, फ्लैज एंगल की मोटाई से कम नहीं होनी चाहिये। अत: आधार प्लेट 750 × 750 × 26 (mm) की उपयुक्त रहेगी।

**जांच (i) आधार प्लेट की जांच**—आधार प्लेट की मोटाई की जांच काट $X_1 X_1$ पर की जायेगी, जहाँ फ्लैज एंगल नहीं है।

फ्लैज एंगल से आगे, आधार प्लेट का बढ़ा हुआ भाग (Out Stand)—

$$= 156 - 103 = 53 \text{ mm}$$

1 mm चौड़ी पट्टी पर उपरिमुख दाब तीव्रता = $3{\cdot}56 \text{ N/mm}^2$

$X_1 X_1$ पर अधिकतम बंकन आघूर्ण, $\text{B.M.} = \frac{3{\cdot}56 \times 53^2}{2}$ N.mm

$$= 5000 \text{ N. mm}$$

26 mm मोटी आधार प्लेट का परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{1 \times 26^2}{6} = 112.67 \text{ mm}^3$

∴ आधार प्लेट में उत्पन्न बंकन प्रतिबल = $\frac{5000}{112{\cdot}67}$

$$= 44{\cdot}4 \text{ N/mm}^2$$

यह अनुज्ञेय प्रतिबल ($185 \text{N/mm}^2$) से बहुत कम है, अत: आधार प्लेट की मोटाई सुरक्षित है।

**(ii) फ्लैज एंगल की धारण प्रतिबलों की जांच—**

फ्लैज एंगल का माप = 150 × 115 × 12 (mm)

छोटी टाँग (जो आधार प्लेट से जुड़ी है) की लम्बाई = 115 mm

एंगल खण्ड की लम्बाई (यह आधार प्लेट की चौड़ाई के बराबर ली जाती है) = 75 mm

एंगल खण्ड पर अन्तरित भार = $200 \times 10^4$ N

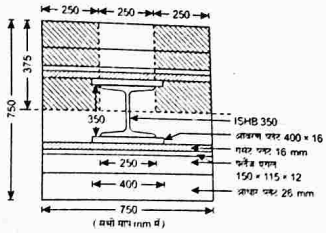
∴ धारण प्रतिबल = $\frac{200 \times 10000}{750 \times 115}$

$$= 23{\cdot}19 \text{ N/mm}^2$$

यह $185 \text{ N/mm}^2$ से कम है, अत: एंगल खण्ड धारण में सुरक्षित है।



**(b) गसेट प्लेट का अभिकल्पन**—I-स्तम्भ के दोनो फ्लैजों पर एक-एक गसेट प्लेट लगायी जायेगी, जिसे फ्लैज एंगल व रिवेटों द्वारा I-खण्ड के फ्लैजो व आधार प्लेट से जोड़ा जायेगा। प्रत्येक गसेट प्लेट पर चित्र 8.13 में रेखांकित (Shaded) क्षेत्रफल पर पड़ने वाला भार कार्यरत होगा।




चित्र 8.13

गसेट प्लेट के एक सिरे पर कार्यरत भार = 375 × 250 × 3·56

$$= 333750 \text{ N}$$

काट $X_2 X_2$ पर आघूर्ण = $\frac{WI}{2}$

$$= \frac{333750 \times 250}{2}$$

यहाँ $l$ = प्लेट का I-खण्ड से बाहर बढ़ा हुआ (Out-stand) भाग = 250 mm

अत: आघूर्ण = 333750 × 125 N. mm

माना $X_2 X_2$ पर गसेट प्लेट की गहरायी $d$ mm है

गसेट प्लेट की मोटाई = 16 mm

खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, $M_r = P \times Z$

तथा परिच्छेद मापाक, $Z = \frac{16 \times d^2}{6}$

गसेट प्लेट के लिये अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = $165 \text{ N/mm}^2$

(आधार प्लेट के लिये लिये $\sigma_{bs} = 185 \text{ N/mm}^2$ लिया जाता है)

$$\text{B.M.} = M_r$$

$$\frac{16d^2}{6} \times 165 = 333750 \times 125$$

$$d^2 = \frac{333750 \times 125 \times 6}{16 \times 165}$$

$$d^2 = 94815{\cdot}4$$

$$= 308 \text{ mm अथवा } 31 \text{ cm न्यूनतम}$$

**(c) रिवेटों का अभिकल्पन**—रिवेटो में अनुज्ञेय प्रतिबल निम्न लेते हुये—

अपरूपण प्रतिबल = $100 \text{ N/mm}^2$

धारण प्रतिबल = $270 \text{ N/mm}^2$

फ्लैज एंगल की मोटाई = 12 mm

रिवेट व्यास = 22 mm

रिवेट छिद्र का व्यास = 22 + 1·5 = 23 5 mm

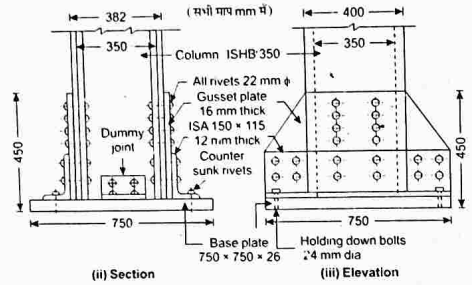
स्तम्भ का I-खण्ड व ढक्कन प्लेटें (जो इसके फ्लैजो के दोनो तरफ जोड़ी गयी है) एक इकाई के रूप मे काम करती है। स्तम्भ-खण्ड व गसेट प्लेटो को जोड़ने वाली रिवेटें एकल कर्तन (Single Shear) मे होती है।

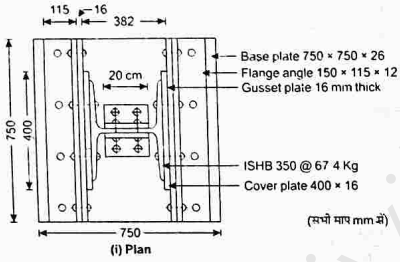
एकल कर्तन में रिवेट की कर्तन सामर्थ्य = $\frac{\pi}{4} \times 23{\cdot}5^2 \times 100 = 43391 \text{ N}$

civilguru.net

बियरिंग मे रिवेट की सामर्थ्य = 23·5 × 12 × 270

= 76140 N




**चित्र 8.14**

अत: रिवेट की न्यूनतम सामर्थ्य 43391N ली जायेगी।

एक गसेट प्लेट पर (दोनो तरफ) कार्यरत भार = 2 (375 × 250 × 3·56)

= 667500 N

अत: रिवेटो की संख्या = $\frac{667500}{43391}$ = 15·38

अत: संयोजन मे न्यूनतम 16 रिवेट आवश्यक है। संरचना को सममित रखने के लिये रिवेटो की संख्या बढ़ायी जा सकती है।

**(d) कंक्रीट ब्लॉक (नींव) का अभिकल्पन—**

स्तम्भ पर आ रहा भार = 200 टन

आधार ब्लॉक व स्तम्भ का भार, 10% लेते हुये = $\frac{200 \times 10}{100}$ = 20 टन

कुल भार = 220 टन



मृदा की सुरक्षित भार धारण क्षमता 20 tons/m$^2$ लेते हुये—

कंक्रीट ब्लॉक का क्षेत्रफल = $\frac{220}{20}$ = 11 m$^2$

वर्गाकार कंक्रीट ब्लॉक का परिमाप = $\sqrt{11}$ = 3·32 × 3·32 (m)

अत: ब्लॉक 335 × 335 (cm) रखा जायेगा।

कंक्रीट ब्लॉक में भार वितरण, आधार प्लेट के सिरे से 45° कोण पर मानते हुये,

कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई = $\frac{\text{(स्लैब माप – आधार प्लेट का माप)}}{2}$

= $\frac{335 - 75}{2}$ = 130 cm

अत: स्तम्भ के लिये कंक्रीट ब्लॉक 335 × 335 × 130 (cm) का उपयुक्त रहेगा।

## (II) ग्रिलेज नींव (GRILLAGE FOUNDATION)*

### § 8.6. नींव—आवश्यकता तथा स्वरूप (Foundation—Necessity and Layout) :

जब किसी स्तम्भ पर अत्यधिक भार आ रहा है और मृदा की धारण क्षमता पर्याप्त न हो अथवा नींव को अधिक गहरायी तक ले जाना उचित न जान पड़ता हो, तब जालदार नींव (ग्रिलेज नींव) अपनायी जा सकती है। भारी भार-वहन इस्पातीय स्तम्भों के लिये सामान्यत: यही नींव अधिक प्रचलित है।

जालदार नींव मे स्तम्भ की धारक प्लेट (Bearing Plate) के नीचे इस्पातीय धरन (I-Section) एक अथवा अधिक पंक्तियों (Tiers) मे रखे जाते हैं। कम भार पर धरनो की एक पंक्ति लगायी जाती है, परन्तु भारी भारो के लिये धरनो की ऊपर-नीचे दो पंक्तियाँ दी जाती है। जब एक से अधिक परतो मे धरन लगाये जाते है, तो एक परत के धरन दूसरी परत के धरनो के लम्ब (आड़ी दिशा) रखे जाते है। पार्श्विक स्थिरता के लिये सभी धरनो को सघन कंक्रीट मे दबा (Encased) दिया जाता है। इससे इस्पातीय धरनो को जंग (संक्षारण) नही लगती है। I-स्तम्भ का भार धरनो से होता हुआ नीचे अवमृदा पर अन्तरित हो जाता है।

एक पंक्ति के धरनों को अपनी निर्धारित स्थिति व अन्तराल मे बनाये रखने के लिये, इनके मध्य (वेब-खण्ड मे) पाइप के बने पृथक्कारी (Seperators) लगाये जाते है।

I-धरनो मे बंकन प्रतिबल तथा अपरूपण बल, दोनो मे ही वहन करने की क्षमता होती है। सघन कंक्रीट का आवरण देने से इसमे वृद्धि होती है, अत: यह नींव सन्तोषजनक रहती है। जालदार नींव स्वतन्त्र स्तम्भों के लिये, जिनपर भारी भार आते हो, उपयुक्त है।

### § 8.7. अभिकल्प विशिष्टियाँ (Design Specifications) :

जालदार नींव का अभिकल्पन भारतीय मानक IS : 800-1971 द्वारा निर्धारित विशिष्टियो के आधार पर किया जाता है। विशिष्टियो की निम्न बाते प्रमुख हैं—

(i) जालदार नींव मे स्थित धरनो के लिये जो सघन कंक्रीट मे दबाये (Encased) जाते है, अनुमत प्रतिबलों के मान $33\frac{1}{3}$% बढ़ाकर लिये जाते है, परन्तु खोखले संघटित धरनो (Hollow Compound Beams) का प्रयोग करने की दिशा मे यह मान नही बढ़ाये जायेगे।

जब वायु, भूकम्प अथवा निर्माण कार्य के दौरान आने वाले भारो को विचार मे लेना हो, तो उपरोक्त मान 50% अधिक रखे जाते है।

*I.S. 800-1984 इस नींव को 40% तक अत्यव्ययी (Expensive) मान कर, इसको सस्तुति नही करता है।

(ii) धरने/गर्डर प्रलेपित नही होने चाहिये और सादा सघन कंक्रीट, जो 10 mm मोटा मिलावे से बनी हो तथा जिसकी 28 दिन के घन (Works Cube) की सामर्थ्य 16 N/mm² से कम न हो, द्वारा आवरित (Encased) होनी चाहिये।

(iii) एक पंक्ति के धरनो को पाइप अथवा अन्य उपयुक्त पृथक्कारी (Seperator) द्वारा इस प्रकार अलग-अलग स्थिर किया जाये ताकि कंक्रीट डालते समय अथवा अन्य कारण से ये इधर-उधर न खिसकने पाये।

(iv) एक परत के दो निकटतम धरनो के फ्लैजो के बीच 75 mm की न्यूनतम दूरी बनी रहे, ताकि उनके मध्य कंक्रीट भरी जा सके। ऊपरी परत, निचली परत पर सटाकर, परन्तु इस के लम्ब (आड़ो) रखी जाती है।

(vi) पंक्ति के बाहरी धरनो के बाहरी किनारो व सिरो पर तथा फ्लैजो के ऊपर कंक्रीट आवरण की मोटाई 100 mm से कम नही होनी चाहिये।

(vi) सभी जालदार धरनो के चारो तरफ डाली गयी कक्रीट को भली-भाँति संहनन करके ठोस बनाना चाहिये।

**8.7-1. अभिकल्पन गणनायें** (Design Calculations)—चित्र 8.15 मे जालदार नीव दिखायी गयी है। चित्र के अनुसार स्तम्भ के नीचे धारक प्लेट देकर, इसे धरनो की एकल परत पर टिकाया गया है। स्तम्भ पर $W$ भार आ रहा है। यह भार प्रथम धारक प्लेट पर आयेगा, तदोपरान्त धरनो की पंक्ति पर अन्तरित हो जायेगा

मान लो— $W$ = स्तम्भ पर कार्यरत भार

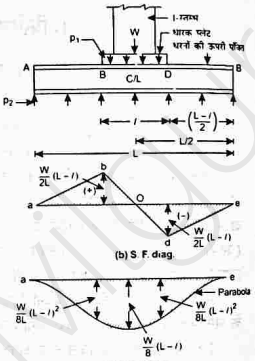
$l$ = धारक प्लेट की भुजा की लम्बाई

$L$ = धरन की लम्बाई

$p_1$ = धारक प्लेट पर भार प्रति इकाई-लम्बाई

$p_2$ = धरनो मे ऊपरी मुखी प्रतिक्रिया प्रति इकाई-लम्बाई

चित्र से स्पष्ट है कि $l$ और $L$ दोनो लम्बाइयो पर एक ही भार $W$ लग रहा है। $l$ लम्बाई पर वितरित भार $W$ नीचे की तरफ (↓) कार्य कर रहा है, जबकि धरन की $L$ लम्बाई मे, इसकी तली पर प्रतिक्रिया के रूप मे भार $W$ ऊपर की तरफ (↑) कार्य कर रहा है। धारक प्लेट का माप $l$, धरन की लम्बाई $L$ की दिशा मे लिया जाता है।




चित्र 8.15

अत: धारक प्लेट पर प्रति इकाई-लम्बाई भार,

$$p = \frac{W}{l}(\downarrow) \text{ नीचे को कार्यरत}$$

धरन की तली पर प्रति इकाई-लम्बाई प्रतिक्रियात्मक भार,

$$p_2 = \frac{W}{l}(\uparrow) \text{ ऊपर को कार्यरत}$$

**(i) बंकन आघूर्ण व कर्तन बल–** उपरोक्त भार व्यवस्था मे अधिकतम बंकन आघूर्ण **मध्य रेखा** पर तथा अधिकतम कर्तन बल धारक प्लेट के **किनारे** पर होता है (चित्र 8.15)। शून्य कर्तन बल धारक प्लेट के मध्य पर होगा और अधिकतम बंकन आघूर्ण, जिस स्थान पर कर्तन बल शून्य है, होगी।

$$\text{अधिकतम बंकन आघूर्ण, } M = \left[\left(p_2 \times \frac{L}{2}\right) \times \frac{L}{4}\right] - \left[\left(p_1 \times \frac{l}{2}\right) \times \frac{l}{4}\right]$$

$$= \frac{p_2 L^2}{8} - \frac{p_1 l^2}{8}$$

यहाँ $p_1$ व $p_2$ के उपरोक्त मान रखने पर—

$$M = \frac{W}{L} \times \frac{L^2}{8} - \frac{W}{l} \times \frac{l^2}{8}$$



$$\therefore \quad M = \frac{W}{8}(L - l) \qquad \ldots(8.4)$$

$$\text{अधिकतम कर्तन बल, } V = p_2\left(\frac{L-l}{2}\right)$$

$p_2$ का मान रखने पर, $$V = \frac{W}{L}\left(\frac{L-l}{2}\right)$$

$$\therefore \quad V = \frac{W}{2L}(L - l) \qquad \ldots(8.5)$$

शून्य कर्तन बल धारक प्लेट के मध्य पर होगा।

ऊपरी पंक्ति मे स्थित सभी धरनों द्वारा उपरोक्त बंकन आघूर्ण तथा कर्तन बल का बराबर प्रतिरोध किया जाता है।

**(ii) धरन खण्ड का चयन–** जालदार नीव के लिये अनुमत बंकन प्रतिबल (165 N/mm²) को $33\frac{1}{3}$ % बढ़ाकर लिया जाता है। $\sigma_{bs} = 165 \times \frac{4}{3} = 220$ N/mm²

पंक्ति के लिये आवश्यक परिच्छेद मापांक (Section Modulus), $$Z_{xx} = \frac{M}{\sigma_{bs}}$$

माना पंक्ति मे धरनों की संख्या $n$ है, एक धरन के लिये, $$Z_{xx} = \frac{M}{n \times \sigma_{bs}}$$

स्टील टेबल से ऐसा खण्ड चयन करें, जिसका परिच्छेद मापांक ($Z$) उक्त $Z_{xx}$ के बराबर अथवा थोड़ा अधिक हो। खण्ड का चयन करते समय यह भी देख ले कि पंक्ति के दो निकटवर्ती धरनों के फ्लैंजो के सिरो के बीच शुद्ध दूरी 75 mm से कम न हो (ताकि धरनो के मध्य कंक्रीट भरी जा सके)।

**(iii) धरन खण्ड की जांच–** धरन-खण्ड की कर्तन के लिये जांच की जाती है। स्तम्भ से भार सीधा ऊपरी पंक्ति पर पड़ता है, अत: इस पंक्ति मे धरनों की वेब विकलांगता (Web Crippling) के लिये भी जाच करनी होती है।

**(a) खण्ड की कर्तन के लिये जांच–**

$$\text{अधिकतम कर्तन बल, } V = \frac{W}{2L}(L - l) \qquad \ldots(\text{सूत्र})$$

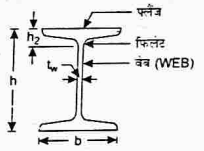
ऊपरी पंक्ति मे धरनों की संख्या = $n$

धरन की कुल गहरायी = $h$

धरन की वेब मोटाई = $t_w$

फिलेट मूल (Root) तक गहरायी = $h_2$

अत: वास्तविक अपरुण प्रतिबल, $\tau_v = \dfrac{V}{n \times h \times t_w}$




चित्र 8.16

इसका मान अनुमत मान (100 N/mm²) से कम नही होना चाहिये।

**(b) खण्ड के वेब की विकलांगता के लिये जांच—** भार का वितरण कोण (Angle of Dispersion) 30° लेने पर, धरन के वेब की लम्बाई जिस पर भार वितरित होगा—

$$= (l + 2h_2 \cot 30°)$$

$$= (l + 2h_2 \times 1{\cdot}732)$$

यहाँ $l$ = धारण प्लेट की लम्बाई है।

civildigest

अत: वेब का क्षेत्रफल, जिस पर भार वितरित होगा—

एक धरन के लिये $= (l + 2h_2 \times 1{\cdot}732) \times t_w$

अत: $n$ धरनो के लिये $= n \times t_w (l + 2h_2 \times 1{\cdot}732)$

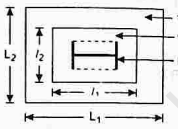
$\therefore$ वास्तविक प्रतिबल $= \dfrac{F}{n \times t_w (l + 2h_2 \times 1{\cdot}732)}$ ...(8.6)

इसका मान अनुज्ञेय मान (165 N/mm$^2$) से अधिक नही होना चाहिये।

**8.7-2. निचली पंक्ति** (Lower Tier)—यदि धारक प्लेट वर्गाकार है (जो स्तम्भ के परिच्छेद पर निर्भर करती है), तब नींव भी वर्गाकार रखी जाती है। इस स्थिति मे, अधिकतम बकन आघूर्ण व अपरूपण बल के मान वही होगे, जो ऊपरी पंक्ति के लिये, ऊपर ज्ञात किये गये है।

निचली पंक्ति मे धरनो की सख्या निर्धारित करने पर, प्रति धरन के लिये आवश्यक परिच्छेद मापांक ($Z$) ज्ञात करते हुये, खण्ड का चयन किया जाता है।

निचली पंक्ति के लिये चयनित खण्ड की अपरूपण प्रतिबलो के लिये जांच की जाती है। इसकी वेब विकलागता के लिये जाच आवश्यक नही है।



चित्र 8.17

**जब धारक प्लेट वर्गाकार नहीं है, तब**—नींव के परिमाप तथा धारक प्लेट के परिमाप समानुपाती रखे।

धारक प्लेट का परिमाप $= l_1 \times l_2$

तथा नींव का परिमाप $= L_1 \times L_2$

तब $\dfrac{l_1}{l_2} = \dfrac{L_1}{L_2}$ ...(8.7)

अत: निचली पंक्ति मे बंकन आघूर्ण, $M = \dfrac{W}{8}(L_1 - l_1)$ ...(8.8)

कर्तन बल, $V = \dfrac{W}{2L_1}(L_1 - l_1)$ ...(8.9)

## § 8.8. अभिकल्पन के चरण (Steps For Design) :

जालदार (ग्रिलेज) नींव के अभिकल्पन के चरण निम्न हैं—

**(a) नींव के परिमाप**—

(i) स्तम्भ पर आ रहे भार मे नींव का स्वयम् का भार (स्तम्भ के भार का 10%) जोड़ते हुये, इसे मृदा की अनुमत धारण क्षमता से भाग देकर, नींव का आवश्यक क्षेत्रफल ज्ञात करे और नींव के परिमाप निर्धारित करे।

(ii) यदि धारक प्लेट के परिमाप न दिये गये हो, तो कंक्रीट पर 4 N/mm$^2$ का अनुमत धारण प्रतिबल मानते हुये, स्तम्भ पर आ रहे शुद्ध भार के आधार पर धारक प्लेट का क्षेत्रफल ज्ञात कीजिये तथा (स्तम्भ के परिमापो के अनुपात मे) धारक प्लेट के परिमाप निर्धारित करे।

(iii) धारक प्लेट के परिमापो के अनुपात मे नींव ब्लॉक के परिमाप निर्धारित कीजिये। इससे दोनों पंक्तियो में धरनो की लम्बाई निर्धारित हो सकेगी।

**(b) ऊपरी पंक्ति** (Upper Tier)—

(iv) अधिकतम बकन आघूर्ण व अपरूपण बल ज्ञात करे—

Max: B.M. $= \dfrac{W}{8}(L - l)$



Max: shear $= \dfrac{W}{2L}(L - l)$

यहाँ $L$ = धरन की लम्बाई, $l$ = धारक प्लेट की लम्बाई

(v) अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 220 N/mm$^2$ लेते हुये, ऊपरी पंक्ति के लिये परिच्छेद मापांक ($Z$) ज्ञात कीजिये।

(vi) धरनो की संख्या निर्धारित करते हुये, एक धरन के लिये परिच्छेद मापांक ज्ञात करें और स्टील टेबल मे उपयुक्त खण्ड का चयन करे। खण्ड का चयन करते समय यह देख लें कि निकटवर्ती धरनो के फ्लैंजो के किनारो में 75 mm की शुद्ध दूरी (Gap) बनी रहे।

(vii) चयनित खण्ड की अपरूपण प्रतिबल तथा वेब विकलांगता (Web Crippling) के लिये जाच करे।

(viii) सुरक्षित न पाये जाने पर दूसरा खण्ड अपनाये तथा कार्य की पुन: जाँच करें।

**(c) निचली पंक्ति** (Lower Tier)—

(ix) निचली पंक्ति के लिये अधिकतम बंकन आघूर्ण व अपरुपण बल ज्ञात करें।

(x) अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल 220 N/ mm$^2$ लेते हुये, पूरी पंक्ति के लिये परिच्छेद मापाक ($Z$) ज्ञात कीजिये तथा उपरोक्त (6) के अनुसार खण्ड का चयन करें।

(xi) चयनित खण्ड की अपरुपण प्रतिबलों के लिये जांच करे। सुरक्षित न होने पर पुन: दूसरे खण्ड का चयन व जांच करें।

**(d) आरेख**—

(xii) दोनों पंक्तियों के धरनों के चारों तरफ तथा सिरों पर न्यूनतम 100 mm का कंक्रीट आवरण देते हुये, नींव का आरेख बनायें। आरेख पर पृथक्कारी (Seperators) की स्थिति भी दर्शायें।

**उदाहरण 8.4 : 200 टन अक्षीय भार वहन करने वाले एक इस्पातीय स्तम्भ के लिये जालदार (ग्रिलेज) नींव का अभिकल्पन करें। स्तम्भ की तली पर 700 × 700 × 25 (mm) की धारक प्लेट लगायी गयी है। मृदा की धारण क्षमता 20 टन/ मी$^2$ मान लें।**

**हल :** स्तम्भ पर अक्षीय भार, $W$ = 200 tons

नींव का स्वयम् का भार, $\dfrac{W}{10}$ लेते हुये = 20 tons

कुल अध्यारोपित भार = 220 tons

मृदा की धारण क्षमता = 20 tons/m$^2$

अत: नींव का आवश्यक क्षेत्रफल $= \dfrac{220}{20}$ m$^2$ = 11 m$^2$

वर्गाकार नींव अपनाते हुये, नींव की एक फलक $= \sqrt{11} = 3{\cdot}316$ m अथवा 3·50 m × 3·50 m

धरनों के सिरों पर दोनों तरफ 15 cm का कंक्रीट का चढ़ाव देने पर,

एक भुजा की लम्बाई = 3·50 + 0·15 + 0·15 = 3·80 m

अत: नींव का परिमाप **3·80 m × 3·80 m** लिया जायेगा।

**(a) बंकन आघूर्ण व अपरूपण बल** –स्तम्भ पर भार 200 × 10$^4$ N

धारक प्लेट की एक भुजा (लम्बाई), $l$ = 700 mm

धरन की लम्बाई, $L$ = 350 cm = 3500 mm

$\therefore$ अधिकतम बंकन आघूर्ण, Max: B.M. $= \dfrac{W}{8}(L - l)$ ...(सूत्र)

$= \dfrac{200 \times 10000}{8}$ (3500 – 700) N. mm

$$= \frac{2\times10^6}{8}\times2800$$

$$= 700\times10^6 \text{ N.mm}$$

अधिकतम अपरूपण बल, $V = \frac{W}{2L}(L-l)$ ...(सूत्र)

$$= \frac{200\times10000}{2\times3500}(3500-790)$$

$$= \frac{10000}{35}\times2800 = 800000 \text{ N}$$

**(b) धरनों की ऊपरी पंक्ति** (Top Tier)—

अधिकतम बंकन आघूर्ण = $700\times10^6$ N. mm

भारतीय मानक I.S : 800–1971 के अनुसार जालदार नीव, जो सघन कंक्रीट से ढांपी गयी है, के लिये अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल $33\frac{1}{3}$% बढ़ाये जाते है।

$\therefore$ अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = $\frac{165\times4}{3} = 220 \text{ N/mm}^2$

अत: धरनों का कुल आवश्यक परिच्छेद मापांक, $(Z) = \frac{700\times1000000}{220}$

$= 3181818 \text{ mm}^3$

यदि ऊपरी पंक्ति में 3 धरन रखे जायें, तब एक धरन का परिच्छेद मापांक,

$$Z = \frac{3181818}{3} = 1060606 \text{ mm}^3 = 1060{\cdot}61 \text{ cm}^3$$

स्टील टेबल से ISLB–450 का चयन करने पर—

आवश्यक गुणधर्म, कुल गहरायी = 450 mm

फ्लैज चौड़ाई = 170 mm

वेब मोटाई = 8·6 mm

फिलेट मूल तक गहरायी = 33 mm

$Z_{xx} = 1223{\cdot}8 \text{ cm}^3$

अत: उपरोक्त माप के 3 धरन सन्तोषजनक रहेगे।

**(c) खण्ड की जाँच—**

**(i) बंकन प्रतिबलों के लिये,** $M = pz$

यहाँ $M = 700\times10^6$ N. mm

एक धरन का परिच्छेद मापांक = $1223{\cdot}8\times1000 \text{ mm}^3$

धरनो की संख्या = 3

अत: बंकन प्रतिबल, $p = \frac{700\times1000000}{3\times1223{\cdot}8\times1000} \text{ N/mm}^2$

$= 190{\cdot}67 \text{ N/mm}^2$

यह 220 $\text{N/mm}^2$ मे कम है, अत: खण्ड बंकन प्रतिबलो के लिये सुरक्षित है।



**(ii) अपरूपण प्रतिबल के लिये—**

अधिकल्प अपरूपण बल, $V = 80\times10^4$ N

धरन की गहरायी, $h = 450$ mm

वेब की मोटाई, $t_w = 8{\cdot}6$ mm

धरनों की संख्या = 3

अत: वास्तविक अपरूपण प्रतिबल = $\frac{80\times10000}{3\times450\times8{\cdot}6} \text{ N/mm}^2$

$= 68{\cdot}9 \text{ N/mm}^2$

यह मान 100 $\text{N/mm}^2$ (औसत) से कम है। अत: खण्ड अपरूपण मे सुरक्षित है।

**(iii) वेब की विकलांगता** (Crippling) **के लिये—**

धारक प्लेट की लम्बाई = 700 mm

फिलेट मूल (Root) तक गहरायी, $h_2 = 33$ mm

वितरण कोण (Angle of Disperson) 30° लेने पर, वेब की प्रभावी लम्बाई जो भार वहन करेगी—

$= 700 + 2\,h_2 \cot 30°$

$= 700 + 2\times33\times\sqrt{3}$

$= 700 + 114{\cdot}3 = 814{\cdot}3$ mm

वेब की मोटाई = 8·6 mm

अधिकतम अपरूपण बल = $80\times10000$ N

अत: वास्तविक धारण प्रतिबल = $\frac{80\times10000}{3\times814{\cdot}3\times8{\cdot}6} \text{ N/mm}^2$

$= 38{\cdot}08 \text{ N/mm}^2$

यह 165 $\text{N/mm}^2$ से कम है, अत: धरन विकलांगता के प्रति सुरक्षित है।

**(iv) ऊपरी पंक्ति में धरनों के फ्लैंजों में शुद्ध दूरी—**

पंक्ति में धरनों की सख्या = 3

धारक प्लेट की लम्बाई = 700 mm

तीन फ्लैंजों के मध्य दूरियों = 2

धरन की फ्लैंज की चौड़ाई = 170 mm

अत: दो निकटवर्ती फ्लैंजों में शुद्ध दूरी = $\frac{700-(3\times170)}{2} = \frac{190}{2} = 95$ mm

यह 75 mm से अधिक है, अत: स्वीकार्य है।

**(d) निचली पंक्ति** (Bottom Tier)—नींव वर्गाकार होने के कारण, निचली पंक्ति में भी धरनों की लम्बाई, ऊपरी पंक्ति के धरनों के बराबर अर्थात 350 cm होगी। अत: दोनो पंक्तियो के लिये बंकन आघूर्ण व अपरूपण बल समान होगे।

अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण, $M = 700\times10^6$ N. mm

अधिकतम अपरूपण बल, $V = 80\times10^4$ N

अनुमत बंकन प्रतिबल ($33\frac{1}{3}$%) बढ़ाने पर = 220 $\text{N/mm}^2$

civilguru.net

∴ आवश्यक (कुल) परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{700 \times 1000000}{220}$ mm$^3$

$= 3181818$ mm$^3$

माना निचली पंक्ति में 9 धरन लगाते है, तब एक धरन का परिच्छेद मापांक

$= \frac{3181818}{9} = 353535$ mm$^3$

इस परिच्छेद मापांक के लिये स्टील टेबल से ISLB 275 का चयन करने पर, गुणधर्म—

$Z_{xx} = 392400$ mm$^3$

फ्लैंज चौड़ाई = 140 mm

धरन की गहरायी = 275 mm

वेब मोटाई = 6·4 mm

∴ धरनों की संख्या = $\frac{\text{कुल परिच्छेद मापांक}}{\text{एक धरन का परिच्छेद मापांक}}$

$= \frac{3181818}{392400} = 8{\cdot}11$

अत: निचली पंक्ति में 9 ISLB 275 धरन लगाये जायगे।

**(e) खण्ड की जाँच—**

**(i) बंकन प्रतिबलों की जाँच—** $M = pZ$

अथवा $p = \frac{M}{Z}$

यहाँ बंकन आघूर्ण, $M = 700 \times 10^6$ N.mm

एक धरन का परिच्छेद मापांक = 392400 mm$^3$

धरन की संख्या = 9

∴ बंकन प्रतिबल, $p = \frac{700 \times 1000000}{9 \times 392400}$

$= 198{\cdot}2$ N/mm$^2$

यह 220 N/mm$^2$ से कम है, अत: धरनें बंकन में सुरक्षित है।

**(ii) अपरूपण प्रतिबलों की जांच—**

अधिकतम अपरूपण बल, $V = 80 \times 10^4$ N

धरन की गहरायी, $h = 275$ mm

वेब मोटाई, $t_w = 6{\cdot}4$ mm

धरनों की संख्या = 9

वास्तविक अपरूपण प्रतिबल = $\frac{80 \times 10000}{9 \times 275 \times 6{\cdot}4}$ N/mm$^2$

$= 50{\cdot}51$ N/mm$^2$

यह 100 N/mm$^2$ से कम है, अत: अपरूपण मे धरने सुरक्षित है।



जब सभी धरन सघन कंक्रीट मे दबा दिये जाते हैं, तो निचली पंक्ति के धरनों के वेब की विकलांगता की जांच की आवश्यकता नहीं रहती है। केवल बंकन व अपरूपण मे जांच पर्याप्त होती है।

**(iii) फ्लैंजों में शुद्ध दूरी की जाँच—**

निचली पंक्ति में धरनों की संख्या = 9

धरन की फ्लैंज की चौड़ाई = 140 mm

9 धरनों की कुल फ्लैंज चौड़ाई = 9 × 140 = 1260 mm

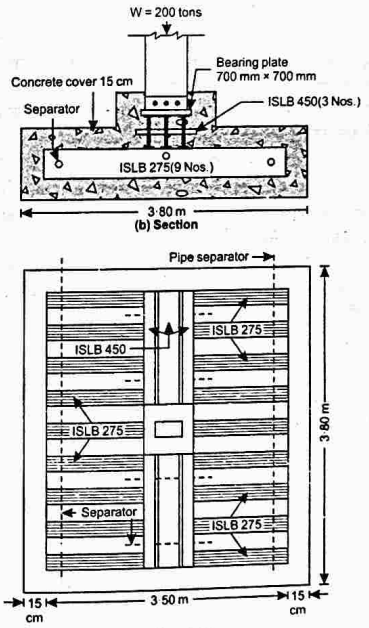
फ्लैंजों में दूरियों की संख्या = 8

दो निकटतम फ्लैंजों में शुद्ध दूरी = $\frac{3500 - 1260}{8} = 280$ mm

यह न्यूनतम 75 mm से अधिक है, अत: सुरक्षित हैं।

धरनों को एक-दूसरे से निर्धारित दूरी पर रखने के लिये, इनके वेब में 25 mm $\phi$ का पाइप पृथक्कारी लगाया जायेगा। धरनों के सिरों व किनारों पर सघन कंक्रीट का 150 mm का आवरण (Cover) दें।

उपरोक्त अभिकल्पन के आधार पर जालदार नींव चित्र 8.18 में दर्शायी गयी है।




चित्र 8.18

## अभ्यास प्रश्न-8

1. इस्पातीय स्तम्भो की तली पर स्लैब आधार क्यो दिया जाता है? लिखिये।
2. स्लैब आधार व गसेट आधार मे क्या अन्तर है?
3. स्लैब आधार, गसेट आधार व ग्रिलेज नीव किन परिस्थितियो मे अपनाये जाते है, उत्तर दे।
4. स्लैब आधार को चित्रित करते हुये, इसकी अभिकल्पन पद्धति लिखे।
5. गसेट आधार का चित्र बनाते हुये, इसका संक्षिप्त वर्णन कीजिये।
6. गसेट आधार मे धारक प्लेट की अभिकल्पन पद्धति स्पष्ट कीजिये।
7. गसेट आधार के अभिकल्पन मे रिवेटो की संख्या कैसे ज्ञात की जाती है, बताइये।
8. एक इस्पातीय स्तम्भ के लिये ISHB-250 प्रयोग किया गया है। इस पर 700 kN भार आ रहा है। इस के लिये स्लैब आधार के लिये धारण प्लेट के परिमाप ज्ञात कीजिये। कंक्रीट ब्लॉक मे अनुज्ञेय प्रतिबल (सम्पीडन) 4 N/mm$^2$ और इस्पात मे बंकन प्रतिबल 185 N/mm$^2$ मान ले। [उत्तर : 420 × 420 (mm) मोटाई 21 mm]
9. प्रश्न 8 मे अंकित I-खण्ड के प्रत्येक फ्लैज के साथ यदि एक-एक 300 × 10 (mm) की प्लेट लगी हो तथा इस पर 1250 kN भार आ रहा हो, तो स्लैब आधार का अभिकल्पन कीजिये। मृदा की धारण क्षमता 160 kN/m$^2$ मान ले।
[उत्तर : आधार प्लेट 700 × 700 × 25 (mm)
कंक्रीट ब्लॉक 3 m × 3 m × 1·2 m]
10. एक ISHB 400 @ 82·2 kg I-खण्ड के प्रत्येक फ्लैज पर एक-एक 300 × 14 (mm) प्लेट लगाते हुये, इस खण्ड को स्तम्भ के रूप मे प्रयोग किया गया है। यदि स्तम्भ पर 1850 kN का भार आ रहा हो, तो इस स्तम्भ के लिये गसेट आधार का अभिकल्पन कीजिये। अनुज्ञेय प्रतिबल निम्न मान ले—कंक्रीट सम्पीडन = 4 N/mm$^2$, इस्पात बकन/धारण = 185 N/mm$^2$, रिवेटो मे = 102·5 N/mm$^2$, अपरूपण धारण = 270 N/mm$^2$
[उत्तर : आधार प्लेट = 700 × 700 × 20 (mm), गसेट प्लेट = 12 mm,
फ्लैज एंगल = 125 × 95 × 10 (mm), रिवेट = 20 mm व्यास, 16 Nos.]
11. 300 टन अक्षीय भार वहन करने वाले एक स्तम्भ के लिये ग्रिलेज नीव का अभिकल्पन कीजिये। आधार प्लेट 800 × 800 (mm) तथा मृदा की धारण क्षमता 20 टन/m$^2$ मान ले।
12. एक स्तम्भ के लिये ISHB 300 @ 58·8 kg/m गर्डर का प्रयोग किया गया है, जिसके दोनो फ्लैजो पर एक-एक 400 × 12 (mm) की प्लेट लगायी गयी है। स्तम्भ पर 200 टन का अक्षीय भार आ रहा है। यदि कंक्रीट मे अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल 4 N/mm$^2$ हो, तो स्तम्भ की आधार प्लेट का अभिकल्पन कीजिये। [उत्तर : 750 × 750 × 50 (mm)]

# 9 इस्पातीय छत कैंचियाँ (STEEL ROOF TRUSSES)

### § 9.1. कैंची (Truss) :

**(1) विशेषता**—कैंची एक ढांचेदार संरचना (Framed Structure) है, जिसका उपयोग ढालू छतो के निर्माण मे किया जाता है। ढालू छतें ऐसे क्षेत्रो मे अपनायी जाती है, जहाँ वर्षा अधिक होती है अथवा बड़े पाट के कारण चपटी छत का निर्माण मितव्ययी व व्यवहारिक न हो। कैंची-छत समान पाट के लिये चपटी छत से काफी सस्ती पड़ती है। कैंची प्रकाष्ठ (टिम्बर) अथवा इस्पात खण्डो को जोड़कर बनायी जाती है। लकड़ी की कैंची काफी भारी, कम आयु वाली तथा महँगी पड़ती है। अत: अब छोटे-बड़े सभी पाटो के लिये इस्पातीय कैंचियाँ अपनायी जाती हैं।

**(2) रचना**—कैंची मूलत: त्रिभुज आकृति की होती है। संरचना मे त्रिभुज आकृति न्यूनतम अवयव (कुल तीन) रखते हुये, सर्वाधिक सामर्थ्यवान व सन्तुलित मानी जाती है। इस के ढाँचे को इस प्रकार संयोजित किया जाता है कि इसके अवयव मिलकर कोई न कोई त्रिभुज बनाते है। कैंची इस्पात के विभिन्न खण्डो (एंगलो, T, प्लेट व I इत्यादि) से बनायी जाती है। कैंची के अवयवों को पूर्व चयनित त्रिभुजाकार पैटर्न में रखकर, उनके सिरो को गसेट प्लेट (संगम प्लेट) के माध्यम से जोड़ा जाता है। जोड़ रिवेटदार होते हैं अथवा वेल्डिट किये जाते हैं।

आदर्श (Perfect) ढाँचे में इसके जोड़ो व अवयवो मे विशेष समबन्ध रहता है। ऐसे ढाँचे मे जोड़ो की संख्या यदि $j$ है, तो अवयवों की संख्या, $n = (2j - 3)$ होती है। जब यह शर्तें पूरी नहीं होती है, तब ढाँचा न्यूनांगी (Deficient) अथवा अधिकांगी (Redundent) की श्रेणी में आता है। अपूर्ण ढाँचा मितव्ययी नहीं होता है।

ऐसा मान लिया जाता है कि कैंची के सभी अवयव एक ही समतल (One Plane) में स्थित होते हैं। अत: यह समतलीय ढाँचा (Plane Frame) कहा जाता है। जब अवयव एक ही समतल में स्थित न हो, तो उसे त्रिविम ढाँचा (Space Frame) कहते हैं। विद्युत, दूर-संचार व दूर-दर्शन के संचार टावर (Transmission Towers) त्रिविम ढाँचा के अन्तर्गत आते हैं।

**(3) प्रतिबलों की प्रवृत्ति**—कैंची पर आने वाले भार, इसके उपांगो के अक्षो के प्रतिच्छेदन बिन्दुओं (Points of Intersection of Axes) पर अर्थात जोड़ों पर आते हुये माने जाते हैं। इसके फलस्वरूप कैंची के उपांगो मे अक्षीय तनन (Axial Tension) अथवा अक्षीय सम्पीडन (Axial Compression) उत्पन्न होता है। जिन उपांगो मे तनन बल उत्पन्न होता है, उन्हे **तननांग** या **तनन अवयव** (Tension Members) कहते हैं। इसी प्रकार जिन उपांगो मे सम्पीडन बल उत्पन्न होता है, उन्हे **सम्पीडांग** या **सम्पीडन अवयव** (Compression Members) कहा जाता है। सम्पीडांग को छोटा तथा तननांग को लम्बाई मे बड़ा रखा जाता है, परन्तु कैंची का कोई भी उपांग 3 मीटर से बड़ा नहीं रखना चाहिये।

**(4) कैंची तथा धरन**—सामान्य धरनो और कैंची के उपांगो में प्रतिबलो के वितरण मे अन्तर होता है। धरन पर जब बाह्य भार कार्य करता है, तो नमन आघूर्ण (B.M.) के कारण उदासीन अक्ष (N.A.) के ऊपरी भाग मे सम्पीडन प्रतिबल और उसके नीचे स्थित भाग मे तनन प्रतिबल उपजते है, जिनकी तीव्रता खण्ड के बाहरी रेशो (Extreme Fibres) पर अधिकतम होती है और उदासीन अक्ष पर आते-आते शून्य रह जाती है। इसमे यह स्पष्ट होता है कि समुचित धरन-खण्ड का भार-वहन की दृष्टि से पूर्ण उपयोग नहीं हो पाता है। पूर्ण अनुज्ञेय प्रतिबल धरन के बाहरी क्षेत्र मे ही उपजते हैं, खण्ड के मध्य भागो मे प्रतिबल अनुज्ञेय सीमा से कम ही रहते हैं। परन्तु कैंची के उपांगों में, इनके सम्पूर्ण खण्ड क्षेत्रफल मे समान तीव्रता मे प्रतिबल उपजते हैं। अत: कैंची मे अवयवो की पूर्ण सामर्थ्य का उपयोग होता है।

**(5) आलम्ब**—कैंची को इसके सिरों पर उपयुक्त आलम्बो (Supports) पर टिकाया जाता है। आलम्ब जोड़ कीलदार (Hinged), आबद्ध (Fixed) अथवा रोलर (Roller) प्रकार के होते है। तापमान के बढ़ने/घटने पर इस्पात खण्डो मे प्रसार/सकुचन होता है। बड़े पाट वाली कैंचियो मे यह प्रभाव अधिक स्पष्ट होता है। अत: भार व्यवस्था तथा प्रसार की दृष्टि से कैंची के आलम्बो

का चयन किया जाता है। आलम्बो मे प्रतिक्रिया (Reaction), आलम्ब-जोड़ की प्रकार के अनुसार होती है। रोलर आलम्ब मे प्रतिक्रिया ऊर्ध्वाधर (Vertical) होती है, जबकि कीलदार तथा आबद्ध आलम्बो मे यह भारो की दिशा के अनुसार पूर्ण ऊर्ध्वाधर अथवा तिर्यक (Inclined) हो सकती है।

**(6) कैंची व्यवस्था**—किसी क्षेत्रफल को कैची-व्यवस्था से ढाँपने के लिये, कैची को अगल-बगल की दीवारों या स्वतन्त्र स्तम्भो पर टिकाया जाता है, जो कैंची का पाट कहलाता है। आवरण क्षेत्रफल के अनुसार, आवश्यक संख्या मे कैंचियाँ, उपयुक्त दूरी (अन्तराल) पर टिका कर, उनकी आड़ी दिशा मे, ऊपरी कोर्ड (मुख्य राफ्टर) पर पर्लिन (Purlin) लगाये जाते है। पर्लिन मुख्य राफ्टर के पेनल-जोड़ों (Panel Joints) पर टिकाये जाते है। पर्लिन के ऊपर, इसकी आड़ी दिशा पर छत-चादरें डाली जाती है। जब छत पर स्लेटे/मृत्तिका टाइले लगानी हो, उनको पर्लिन की आड़ी दिशा मे लगाये गये साधारण राफ्टरों (Common Rafters) पर जड़ा जाता है। छत की दोनो ढाले ऊपर जाकर, जहाँ मिलती है, वहाँ रिज-आवरण (Ridge Cover) लगाया जाता है। सिरे वाली कैंचियो को अतिरिक्त पार्श्व स्थिरता प्रदान करने के लिये, इनको आबन्धकों (Braces) से जोड़ दिया जाता है।

**(7) भार विश्लेषण**—बाहरी व भीतरी भारों (चल, वायु, अचल इत्यादि) के कारण, कैंची के विभिन्न उपांगों में उत्पन्न प्रतिबल की प्रवृत्ति व मान ज्ञात करने की निम्न तीन पद्धतियाँ है—

(i) आरेखी पद्धति (Graphical Method)
(ii) जोड़ पद्धति (Method of Joints)
(iii) काट पद्धति (Method of Sections)

उपरोक्त पद्धतियो का अध्ययन, ऐसा समझा जाता है, विद्यार्थी निचली कक्षाओं में कर चुके हैं। आरेखी पद्धति सरल पड़ती है, विशेष तौर पर जब कैंची के आलम्ब आबद्ध/रोलर प्रकार के हों और बाहरी भार (वायु भार) की दिशा छत-ढाल के लम्बवत् ली गयी हो।

**(8) उपयोग**—कैंची छत का उपयोग निम्न स्थितियों में किया जाता है—

(i) जब संरचना की विस्तृति (Span) अधिक हो, जिसके लिये भारी धरनों का प्रयोग व्यवहारिक न हो।
(ii) जहाँ वर्षा अधिक होती हो या चपटी छत से जल निकासी सन्तोषजनक न हो।
(iii) पर्वतीय क्षेत्रो मे जहाँ प्राय: हिमपात होता है।
(iv) जब छत की ऊपरी सतह का उठने-बैठने-सोने के लिये इस्तेमाल न किया जाता हो।
(v) जब संरचना पर मितव्ययी छत प्रदान करती हो।
(vi) अस्थायी सरचनाओं के लिये, क्योंकि कैंचियो को उपयोग के बाद समेटना और अन्य स्थान पर ले जाकर पुन: खड़ा करना सरल है।

इस्पातीय छत-कैंचियों का उपयोग शैक्षिक संस्थाओं के भवनों, गोदामो, सिनेमाघरों, जन-सभा हॉलों, कार्यशालाओं, प्रतीक्षा कक्षो तथा औद्योगिक भवनों के लिये अधिक किया जाता है। कैंचियो की छते, कम लागत पर अधिकतम ढका क्षेत्रफल (Covered Area) उपलब्ध कराती हैं। कैंची की छत कम समय में तैयार हो जाती है।

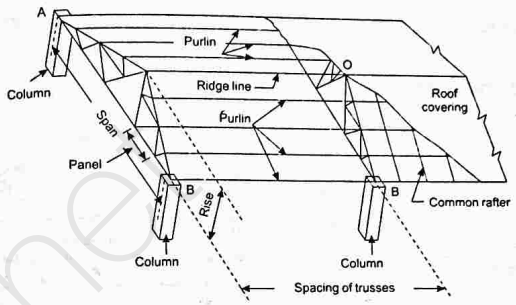
## § 9.2. ढालू छत के मुख्य घटक (Main Components of Slopy Roof) :

ढालू छत के निम्न दो मुख्य घटक होते है—

(i) छत कैंची (Roof Truss)
(ii) छत आवरण (Roof Covering)

**(i) छत कैंची**—यह ढालू छत का प्रमुख भाग होता है, जिस पर छत आवरण टिकाया जाता है। कैंची उपयुक्त माप के इस्पातीय खण्डो—एंगल, चैनल, T, फ्लेट, I अथवा नलिकाओं (Tubes) को त्रिभुजाकार आकृति में जोड़कर बनायी जाती है। कैंची के अवयवो के परिमाप, कैंची के पाट (Span) व इस पर पड़ने वाले भारो (अचल, चल, वायु, हिम भार इत्यादि) को ध्यान मे रखकर निर्धारित किये जाते है। कैंची के लिये मानक इस्पातीय खण्ड, जो सामान्यत: बाजार मे उपलब्ध होते हैं, उन्हें ही अपनाना चाहिये (संदर्भ के लिये I.S:808, I.S:1173 देखे)।





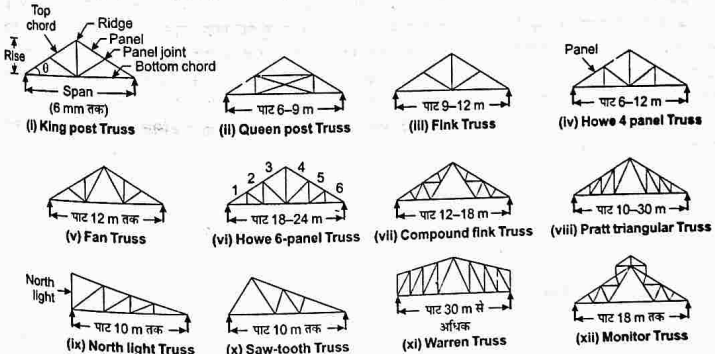

चित्र 9.1—ढालू छत

**(ii) छत आवरण**—धूप, वर्षा, ताप, ठण्ड आदि को शेड में आने से रोकने के लिये कैंचियो को ऊपर से ढांपा जाता है, जिसे छत आवरण कहते हैं। छत-आवरण सामान्यत: लहरिया चादरो, टाइलो, स्लेटो आदि का होता है। छत आवरण ऐसा होना चाहिये, जो कैंची की ढाल पर स्थिर रह सके और वर्षा के पानी को शीघ्र नीचे को बहने दे। छत आवरण का विस्तृत वर्णन अनुच्छेद 9.5 में किया गया है।

## § 9.3. छत कैंचियों के प्रकार (Types of Roof Trusses) :

छत कैंची की आकृति का चयन करने मे, इसका पाट (Span) बड़ा महत्त्व रखता है। पाट के बढ़ने पर, कैंची पर आने वाले भारों में वृद्धि होती है, परिणामस्वरूप कैंची के अवयवों की संख्या में भी वृद्धि होती जाती है। कैंची के प्रत्येक अवयव में बाहरी भारों के कारण प्रतिबल उपजते हैं, जो तनन अथवा सम्पीडन प्रकार के होते है और इसी के अनुरूप ये अवयव टाई (Ties) अथवा स्ट्रट (Strut) कहलाते हैं।

पाट को दृष्टि में रखते हुये, विभिन्न प्रकार की कैंचियाँ चित्र 9.2 में दर्शायी गयी हैं। कुछ कैंचियों के नाम इनके विकास-कर्त्ता के नाम पर पड़े हैं। फिंक (Fink) कैंची को (French Roof Truss) भी कहते हैं। इसका नाम Albert Fink के नाम पर

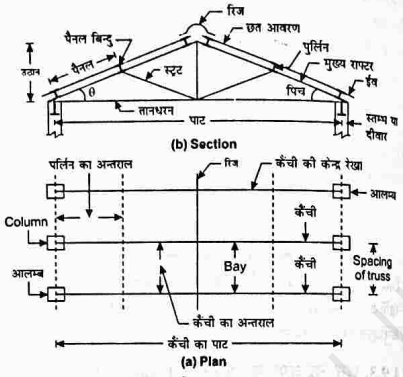



चित्र 9.2—(i) से (xii) छत कैंचियाँ

पड़ा है। Howe कैची विलियम ह्वे द्वारा तथा Pratt कैची सेल्ब पराट द्वारा विकसित की गयी है। कुछ कैचियाँ मिश्रित नामों से भी जानी जाती है।

## § 9.4. छत-कैंची सम्बन्धी पद (Terms Used in Roof Trusses) :

छत-कैचियो से सम्बद्ध मुख्य पद तथा उनका विवरण नीचे दिया जा रहा है। कैची को आरेखित करते समय, विभिन्न उपांगों की स्थिति, उनके अक्ष (Axis) की स्थिति से दर्शायी जाती है। इसी प्रकार जोड़ (Joints) की स्थिति, उसमे संयोजित उपांगो के अक्षो के प्रतिच्छेदन बिन्दुओ (Points of Intersection) द्वारा दिखायी जाती है। गणनाओं मे उपांगो की दूरियाँ इन्हीं बिन्दुओ के मध्य ली जाती है।




चित्र 9.3

**(1) छत कैंची** (Truss)—ढालू छत के लिये, इस्पात (अथवा अन्य पदार्थ) का जो त्रिभुजाकार ढाँचा, आधार के रूप मे बनाकर लगाया जाता है, उसे छत कैंची कहते है। कैंची मे सभी आकृतियाँ मूलत: त्रिभुज ही होती है।

**(2) पाट** (Span)—कैंची के दोनो आलम्बो के मध्य शुद्ध दूरी, कैंची का पाट (Clear Span) कहलाती है। आलम्बो के मध्य से मध्य सीधी दूरी, कैंची का प्रभावी पाट (Effective Span) कहलाता है।

**(3) कैंची का उठान** (Rise)—कैंची के निचले कोर्ड (Bottom Chord) या तान धरन (Tie Beam) से शीर्ष (Ridge) तक की ऊर्ध्वाधर ऊचाँई, कैंची का उठान कहलाती है। पाट तथा कैंची के उठान में निम्न सम्बन्ध है—

$$\tan\theta = \frac{\text{उठान}}{\text{आधा पाट}} \qquad \ldots(9.1)$$

अथवा $\quad$ उठान = आधा पाट × tan θ $\quad$ यहाँ θ कैंची की ढाल का कोण है।

**(4) कैंची की ढाल** (Slope)—कैंची का शीर्ष कोर्ड (Top Chord) या मुख्य राफ्टर, निचले कोर्ड (टाई धरन) के साथ जो क्षैतिज कोण बनाता है, उसे कैंची (अथवा छत) की ढाल कहते हैं। छत की ढाल, छत-आवरण की प्रकार, वर्षा, हिमपात की तीव्रता, वायुदाब इत्यादि पर निर्भर करती है। कैंची की ढाल जितनी अधिक होती है, छत से वर्षा जल निकासी उतनी ही उत्तम होगी, परन्तु कैंची पर वायु-दाब भी उतना ही बढ़ जाता है। आवरण मैटीरियल भी अधिक लगता है।

सामान्यत: छत कैंची की ढाल 25° से 60° तक रखी जाती है। मुख्य छत-आवरण पदार्थों के लिये छत कैंची की ढाल निम्न से कम नही रखनी चाहिये—

(i) जस्ती चादरे $= 26\frac{1}{2}^\circ$
(ii) एस्बेस्टस चादरें $= 30^\circ$
(iii) स्लेटें $= 35^\circ$
(iv) छत-टाइलें $= 40^\circ$

**(5) पिच** (Pitch)—कैंची के उठान व पाट के अनुपात को पिच कहते हैं।

अत: $$\text{पिच} = \frac{\text{उठान}}{\text{पाट}} = \frac{\text{Rise}}{\text{Span}} \qquad \ldots(9.2)$$



छत की ढाल और पिच में अन्तर है, अत: दोनों पदों को एक ही नहीं माना जाना चाहिये। पिच का मान 1/3 से 1/6 लिया जाता है। सामान्यत: यह 1/4 रखा जाता है। कम पिच वाली छतों पर, वायुदाब कम लगता है, परन्तु मुख्य राफ्टर व छत चादरें की लम्बाई बढ़ जाती है। पिच और नतकोण मे सम्बन्ध तालिका 9.1 मे दिये गये है।

**तालिका 9.1—ढालू छतों की पिच व ढाले**

| पिच (Pitch) | नतकोण | ढाल (क्षैतिज : ऊर्ध्वाधर) |
|---|---|---|
| 1/2 | 45° | 1 : 1 |
| 1/3 | 33° 41′ | $1\frac{1}{2}$ : 1 |
| 1/4 | 26° 34′ | 2 : 1 |
| 1/5 | 21° 48′ | $2\frac{1}{2}$ : 1 |
| 1/6 | 18° 26′ | 3 : 1 |

**(6) मुख्य राफ्टर** (Principal Rafter)—यह कैंची के ढाँचे का सब से ऊपरी ढालू अवयव (Top Chord) होता है, जिसके ऊपर पर्लिने लगायी जाती हैं। मुख्य राफ्टर मे सामान्यत: सम्पीडन प्रतिबल उपजते हैं।

**(7) तान धरन** (Tie Beam)—यह कैंची का सब से नीचे का क्षैतिज अवयव (Bottom Chord) होता है, जो मुख्य राफ्टरों को इनके निचले सिरो पर जकड़े (बाँधे) रखता है। इस अवयव मे तनन प्रतिबल आते हैं।

जब कैंची का पाट अधिक होता है तो दूर से देखने पर तान धरन कुछ नीचे को (क्षैतिज रेखा से) झुकी हुअी जान पड़ती है। इस भ्रम को दूर करने के लिये, इसे उभार (Camber) देकर कुछ ऊपर उठा दिया जाता हैं।

**(8) किंग पोस्ट** (King Post)—कैंची के मध्य मे खड़ी स्थिति (ऊर्ध्वाधर) मे लगाया गया उपस्तम्भ (उर्ध्व स्तम्भ), जो रिज को तान धरन से बाँधे रखता है, किंग पोस्ट कहलाता है।

**(9) क्वीन पोस्ट** (Queen Post)—कैंची के मध्य क्षेत्र मे दिये गये दो अथवा अधिक उपस्तम्भ, जो तान धरन व मुख्य राफ्टर को जकड़े रखते हैं, क्वीन पोस्ट के नाम से जाने जाते हैं।

**(10) सम्पीडांग** (Strut)—यह मुख्य राफ्टर व तान धरन को जकड़ने के लिये उनके मध्य लगाये जाते हैं। इसमे सम्पीडन प्रतिबल उपजते हैं।

**(11) रिज** (Ridge)—कैंची का सबसे ऊपरी क्षेत्र (शीर्ष), जहाँ दोनों तरफ से ढालू मुख्य राफ्टर आकर मिलते हैं, रिज कहलाता है। छत-शीर्ष से वर्षाजल को घुसने से रोकने के लिये, इसे विशेष गोलाकार आकृति दी जाती है।

**(12) पर्लिन** (Purlin)—यह सतत प्रकार का धरन होता है, जो एक कैंची को दूसरी कैंची से जकड़ने के लिये तथा आवरण-चादरों को सहारा देने के लिये, मुख्य राफ्टर के ऊपर, इसकी आड़ी दिशा मे लगाया जाता हैं। पर्लिन कैंची के रिज के समानान्तर होते है।

पर्लिनों की आपसी दूरी, आवरण-चादरो की लम्बाई व मुख्य राफ्टर के पेनल जोड़ों (Panel Joints) की स्थिति पर निर्भर करती है। जब पर्लिन पेनल-जोड़ (Nodes) से हटकर लगाये जाते है, तब मुख्य राफ्टर मे प्रत्यक्ष प्रणोद (Direct Thrust) के साथ-साथ बंकन आघूर्ण व कर्तन बल भी उपजते है। ऐसी स्थिति मे मुख्य राफ्टर का परिमाप अधिक रखना पड़ता है।

सामान्यत: पर्लिन की आपसी दूरी 1·50 मी० से 3·0 मी० रखी जाती है।

**(13) साधारण राफ्टर** (Common Rafter)—कैंचियो को ढाँपने के लिये, पर्लिनो के ऊपर, इनकी आड़ी दिशा मे जो थोड़ी-थोड़ी दूरी पर कम मोटाई की कड़ियाँ लगायी जाती है, उन्हे साधारण राफ्टर कहते है। साधारण राफ्टरो की आपसी दूरी, इनके ऊपर दिये जाने वाले छत-आवरण-स्लेटें, टाइले आदि के परिमापो पर निर्भर करती है। साधारण राफ्टर, मुख्य राफ्टर के समानान्तर लगाये जाते है।

**(14) रिज रेखा** (Ridge Line)—छत कैंचियो के शीर्ष (Apex) को मिलाने वाली क्षैतिज रेखा को कूट या रिज रेखा कहते है। कूट रेखा पर्लिनो के समानान्तर मानी जाती है।

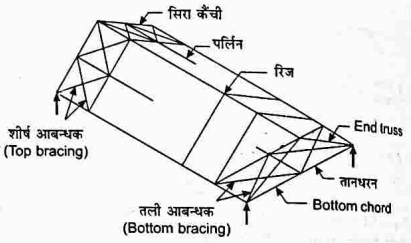
**(15) कैंचियों की दूरी** (Bay)—दो क्रमागत कैंचियो के बीच, केन्द्र से केन्द्र दूरी कैंचियों की दूरी कहलाती है। कैंचियो की आपसी दूरी, इनके सिरो पर दिये गये स्तम्भो के अन्तराल पर निर्भर करती है, परन्तु यह कैंची के पाट से अधिक नहीं रखी जाती है।

**(16) भागक बिन्दु** (Panel Point)—कैंची के ऊपरी कोर्ड (Top Chord) पर, जहाँ दो या अधिक अवयव आकर मिलते हैं, भागक बिन्दु कहलाते हैं। पर्लिन को सामान्यत: भागक बिन्दु पर टिकाया जाता है।

**(17) भागक दूरी** (Panel Distance)—दो क्रमागत भागक बिन्दुओ के मध्य, सीधी दूरी भागक दूरी कहलाती है।

**(18) आबन्धक** (Bracing)—तेज हवाये जब रिज के समानान्तर बहती है, तो ढालू छत की सिरो वाली कैंचियो को विकृत करने व विस्थापन (उखाड़ने) की चेष्टा करती है। इसे रोकने के लिये, सिरो वाली अन्तिम दो कैंचियों के ऊपरी व निचले कोर्डों को आड़े-तिरछे उपांगों से जोड़ दिया जाता है, जिसे आबन्धक कहते है।

जब सिरे वाली कैंची को चिनाई की गेबल-नुमा दीवार (Gable End) मे दबा दिया जाता है, तब आबन्धक लगाने की आवश्यकता नहीं होती है।



चित्र 9.4

## § 9.5. छत आवरण (Roof Coverings) :

ढालू छतों को ऊपर से ढाँपने के लिये मृत्तिका टाइले (इलाहाबादी, मंगलूरी, स्यालकोटी आदि), स्लेटें, एस्बेस्टस सीमेन्ट की लहरिया चादरें (A.C. Sheets), जस्ती लोहे की लहरिया चादरें (G.I. Sheets), रेशा-काँच की चादरें (Fibre Glass Sheets), एल्यूमिनियम चादरे इत्यादि प्रयोग की जाती है।

स्लेटो व टाइलो की ढालू छते गर्मी, ठण्ड, वायु वर्षा से कम प्रभावित होती है, परन्तु इनको लगाने के लिये कैंची की पिच कुछ अधिक (पिच = 1/4) रखनी पड़ती है।

एस्बेस्टस सीमेण्ट चादरे साधारण लहरियेदार अथवा आंशिक लहरियेदार (ट्रैफोर्ड—Trafford) प्रकार की होती हैं। ये चादरें 1·05 मी चौडी, 1·05 से 3·0 मी लम्बी व 6 mm या 7 mm मोटाई में मिलती है।

जस्ती लहरियादार चादरें 0·9 मी चौड़ी, 1·8 मी से 3·2 मी लम्बी व 16 से 24 गेज में उपलब्ध होती हैं।

लहरिया चादरों को $J$-बोल्टो व लिम्पट वाशर द्वारा पर्लिनो के ऊपर जड़ दिया जाता है। एक सामान्य लम्बाई की चादर तीन (ऊपरी-मध्य-निचले) बिन्दुओं पर पर्लिनो पर टिकी होनी चाहिये। चादरों को पार्श्व में 1 से 2 लहरों (Corrugations) का तथा सिरों (Ends) पर 10 से 15 cm का चढ़ाव देना चाहिये। $J$-बोल्ट 8 mm $\phi$ के 35 cm c/c लगाये जाते हैं।

एस्बेस्टस सीमेण्ट चादरो के लिये I.S: 459–1970 व जस्ती चादरों के लिये I.S: 227–1962 का अनुपालन करें।

## § 9.6. छत कैंचियों की मितव्ययी दूरी (Economical Spacing of Steel Trusses) :

कैंचियो के मध्य वह दूरी, जिसे अपनाने पर ढालू छत की निर्माण लागत (कैंचियों, पर्लिनों व छत-आवरण की लागत) न्यूनतम आये, कैंचियों की मितव्ययी दूरी (अन्तराल) कहलाती हैं। मितव्ययी दूरी की जांच निम्न समीकरण से की जा सकती है—

$$T = 2P + R \qquad ...(9.3)$$

यहाँ $T$ = एक छत कैंची की लागत

$P$ = पर्लिनों की लागत

$R$ = छत आवरण पदार्थ का मूल्य।

15 मी० पाट तक कैंचियो के मध्य 3 मी० से 45 मी० और 15 से 30 पाट की कैंचियो के मध्य 4·5 से 7·5 मी० का अन्तराल, कैंचियों के लिये मितव्ययी दूरी ली जा सकती है।



## § 9.7. छत कैंचियों पर भार (Loads on Roof Trusses) :

छत कैंची पर निम्न भार आते है—

(i) अचल भार (Dead Load)

(ii) चल भार (Live Load)

(iii) पवन (वायु) भार (Wind Load)

(iv) हिम भार (Snow Load)

छत पर स्थायी (स्थिर) पदार्थों का भार अचल भार कहलाता है। छत पर अस्थायी भार जैसे श्रमिको आदि का भार, चल भार के अन्तर्गत लिया जाता है। जब पवन (चलती वायु) संरचनाओं से टकराती है, तब इन पर दाब डालती है, जिसे वायु भार के रूप मे लिया जाता है। पहाड़ी क्षेत्रो में छत पर गिरने वाली बर्फ, हिम भार कहलाता है।

उपरोक्त भारो मे हिम भार, भारत के कुछ ही पर्वतीय क्षेत्रो, जहाँ हिमपात होता है, लिया जाता है।

कैंची (Truss) के अभिकल्पन के लिये, उपरोक्त भारो के लिये कैंची का विश्लेषण किया जाता है और सभी अवयवों मे, प्रत्येक भार के कारण उत्पन्न प्रतिबलों के मान अलग-अलग ज्ञात किये जाते हैं।

कैंची के लिये सर्वाधिक विनाशकारी (Most Destructive) स्थिति जानने के लिये, उपरोक्त भारों को निम्न प्रकार संयुक्त (Combination of Loads) किया जाता है—

(a) अचल भार + चल भार (Dead Load + Live Load)

(b) अचल भार + वायु भार अथवा भूकम्प भार (Dead Load + Wind Load or Earthquake Load)

(c) अचल भार + हिम भार (Dead Load + Snow Load)

जब हिम भार पर विचार किया जाता है, तब उपरोक्त संयोजन (a) या (c) में जो भी मान अधिक हो, लिया जाता है। संयोजन (a) व (b) पर विचार करने पर, दोनों संयोजन में, जिस संयोजन के मान अधिक हैं, उन्हीं मान के आधार पर कैंची के अवयवों का अभिकल्पन किया जाता है।

भवनों पर वायु भार और भूकम्प भार, दोनों एक साथ कार्यरत नहीं माने जायेगें। उपरोक्त भारो की गणना-विधि अगले अनुच्छेदों में स्पष्ट की गयी है।

## § 9.8. अचल भार (Dead Loads) :

कैंची-छत पर पड़ने वाले अचल भार निम्न होते हैं—

(i) कैंची का स्वयम् का भार (Selft Weight of Truss),

(ii) पर्लिनों का भार (Weight of Purlins),

(iii) वायु-आबन्धकों का भार (Weight of Wind Braces),

(iv) छत आवरण का भार (Weight of Roof Covering).

अचल भार की गणना kg/m$^2$ आवरित क्षैतिज क्षेत्रफल (Covered Plan Area) के आधार पर की जाती है।

**(1) कैंची का स्वयम् का भार**—क्योंकि कैंची के अवयवो के माप शुरु मे ज्ञात नहीं होते हैं (इन्हें ज्ञात करने के लिये हो तो अभिकल्पन करना पड़ता है), अत: मोटे तौर पर छत कैंची का अपना भार प्रति वर्ग मी० आवरित क्षैतिज क्षेत्रफल (Covered Plan Area) के लिये 10 kg/m$^2$ से 20 kg/m$^2$ मान लिया जाता है अर्थात—

कैंची के 6 मी० पाट तक = 10 kg/m$^2$

6 मी० से 12 मी० पाट = 15 kg/m$^2$

12 मी० से अधिक पाट पर = 20 kg/m$^2$ अनुभानित किया जाता है।

छोटे पाट की कैंचियो के लिये, जिनकी आपसी दूरी (Spacing) 4 मी० व आवरण: जस्ती चादरो का हो, कैंची का स्वयम् का भार निम्न सूत्र से भी ज्ञात कर सकते हैं—

$$W = \left(\frac{S}{3} + 5\right) \text{ kg/m}^2 \qquad ...(9.4)$$

यहाँ $W$ = आवरित क्षैतिज क्षेत्रफल के प्रति वर्ग मी० पर कैंची का भार

$S$ = कैंची का पाट, मी० मे

**(2) पर्लिनों का भार**—इसे कैंची के पाट व कैंचियो की आपसी दूरी के आधार पर, 8 kg से 15 kg प्रति वर्ग मी० आवरित क्षैतिज क्षेत्रफल माना जाता है।

**(3) वायु आबन्धकों का भार**—इसे 1.5 kg/m$^2$ आवरित क्षैतिज क्षेत्रफल अनुमानित किया जा सकता है।

**(4) छत आवरण का भार**—इसकी गणना छत के आवरित ढालू क्षेत्रफल (Sloping Area of Roof) के लिये की जाती है। लहरियादार जस्ती चादरो के लिये, यह भार चादर की गेज के आधार पर निम्न लिया जाता है—

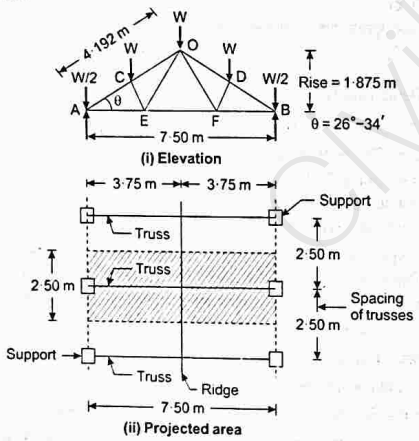
**तालिका 9.2—लहरिया जस्ती चादरें**

| चादर की गेज | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|
| भार प्रति वर्ग मी० (kg मे) | 17·6 | 14·2 | 11·3 | 9·3 | 7·4 |

ऐस्बेस्टस सीमेण्ट चादरो के लिये यह भार 12 kg से 15 kg/m$^2$ आवरित ढालू क्षेत्रफल लिया जाता है।

इस प्रकार कुल अचल भार ज्ञात होने पर, इसे कैंची के ऊपरी कोर्ड (Top Chord) के पेनल बिन्दुओं (Panel Points) पर समान रूप से बाँट दिया जाता है।

**उदाहरण 9.1 : चित्र 9.5 में दर्शायी गयी कैंची का पाट 7·5 मी० है और कैंचियों की आपसी दूरी 2·5 मी० तथा पिच 1/4 रखी गयी है। कैंची पर 18 गेज की जी०आई० चादरें डाली गयी हैं। कैंची के लिये अचल भार की गणना कीजिये।**




चित्र 9.5



**हल : (a) कैंची का भार—**

कैंची का पाट = 7·5 m

कैंची का पिच $\frac{1}{4} = \frac{\text{उठान}}{\text{पाट}}$

$$\text{उठान} = \frac{\text{पाट}}{4} = \frac{7{\cdot}5}{4} = 1{\cdot}875 \text{ m}$$

कैंचियों का अन्तराल (Spacing) = 2·5 m

एक कैंची द्वारा आवरित क्षैतिज क्षेत्रफल = 7·5 × 2·5 m$^2$ = 18·75 m$^2$

छत की एक ओर की ढालू लम्बाई (Length Along Slope),

$$OA = \sqrt{\left(\frac{\text{पाट}}{2}\right)^2 + (\text{उठान})^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{7{\cdot}5}{2}\right)^2 + (1{\cdot}875)^2}$$

$$= \sqrt{14{\cdot}06 + 3{\cdot}575}$$

$$= 4{\cdot}192 \text{ m}$$

एक कैंची पर विचार करते हुये—

माना कैंची का स्वयम् का भार = 15 kg/m$^2$

पर्लिन का भार = 12 kg/m$^2$

आबन्धन का भार = 1·5 kg/m$^2$

योग 28·5 kg/m$^2$

यह भार क्षैतिज क्षेत्रफल (Projected Plan Area) पर आता हुआ माना जाता है।

अत: एक कैंची के आवरित क्षैतिज क्षेत्रफल पर कुल भार = (7·5 × 2·5) × 28·5

= 534·38 kg ...(i)

(b) 18 गेज की जी०आई० चादरों का भार = 14·2 kg/m$^2$ (तालिका 9.2 से)

छत की एक तरफ की ढालू लम्बाई (Slopy Length) = 4·192 m

कैंचियों का अन्तराल = 2·5 m

छत का कुल ढालू क्षेत्रफल = 2 × 4·192 × 2·5 m$^2$

एक कैंची पर आवरण चादरों का कुल भार = (2 × 4·192 × 2·5) × 14·2 kg = 297.63 kg ...(ii)

अत: छत कैंची (प्लान क्षेत्रफल 7·5 m × 2·5 m) पर कुल भार = (i) + (ii)

= 534·38 + 297·63 kg

= 832·01 kg अथवा 832 kg

अत: एक कैंची जो 7·5 m × 2·5 m क्षैतिज क्षेत्रफल ढाँपती है, पर 832 kg का अचल भार पड़ रहा है। **उत्तर**

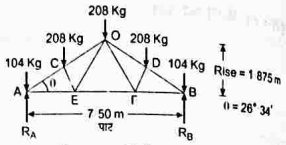
यह भार कैंची के चारों पैनल $AC$, $CO$, $OD$ व $DB$ पर समान रूप से आता हुआ माना जाता है, जो अन्ततः पैनल-बिन्दुओं (Panel Points) पर कार्यरत होता है। अत: पैनल-बिन्दु $C$, $O$, $D$ पर यदि इस भार का भान $W$ है तो प्रत्येक आलम्ब $A$ व $B$ पर यह $\frac{W}{2}$ मान होगा।

$$\therefore \quad \frac{W}{2} + W + W + W + \frac{W}{2} = 832 \text{ kg}$$

$$4W = 832 \text{ kg}$$

$$W = 208 \text{ kg}$$

नीचे को कार्यरत (↓)




चित्र 9.6—कैंची पर अचल भार

अत: प्रत्येक आलम्ब $A$ व $B$ पर 104 kg तथा पैनल-जोड़ $C$, $O$ व $D$ पर 208 kg का अचल भार आयेगा, जैसा चित्र 9.6 मे दर्शाया गया है।

## § 9.9. चल भार (Live Load) :

छतो (चपटी, ढालू आदि) पर चल भार, छत की ढाल (Slope), छत पर व्यक्तियो के जाने (Access) अथवा न जाने का प्रावधान इत्यादि बातो पर निर्भर करता है। भारतीय मानक I.S: 875 के अनुसार चल भार के मान निम्न दिये जा रहे है। **चल भार में वायु भार व हिम भार सम्मिलित नहीं होता है।**

**तालिका 9.3—छतों पर चल भार (I.S : 875)**

| छत की प्रकार | प्लान क्षेत्रफल पर चल भार | न्यूनतम चल भार |
|---|---|---|
| **ढाल छतें** (Slopy Roofs)— | | |
| (i) 10° ढाल तक की छते— | | |
| (a) जब छत पर जाने का प्रावधान है | 150 kg/m² | |
| (b) जब छत पर जाने का प्रावधान नही है (अनुरक्षण/मरम्मत के अतिरिक्त) | 75 kg/m² | न्यूनतम 40 kg/m² (प्लान क्षेत्रफल पर) |
| (ii) 10° से 20° ढाल तक की छते— (a) व (b) दोनो के लिये | प्रत्येक डिग्री ढाल पर 1 kg की दर से कमी | |
| (iii) 20° से अधिक ढाल की छते— (a) व (b) दोनो के लिये | प्रत्येक डिग्री ढाल पर 2 kg की दर से कमी | |

**टिप्पणी**—ढालू छतो के ऊपर, अनुरक्षण/मरम्मत कार्य के अतिरिक्त, जाने का प्रावधान (सीढ़ी आदि) नहीं होता है (क्योंकि चपटी छतो की भाँति इनका उठने-बैठने के लिये उपयोग नहीं किया जाता है)।

**उदाहरण 9.2 : चित्र 9.5 में दर्शायी गयी छत कैंची पर चल भार की गणना कीजिये, जबकि छत पर जाने का प्रावधान नहीं है।**

**हल :** चित्र 9.5 (पृष्ठ 255) के अनुसार—

कैंची का पाट = 7·5 m

कैंची का उठान (Rise) = 1·875 m

$$\therefore \quad \text{छत की ढाल, } \theta, \text{ के लिये } \tan\theta = \frac{\text{उठान}}{\text{आधा पाट}}$$

$$= \frac{1{\cdot}875}{3{\cdot}75} = 0{\cdot}50$$

$$\therefore \quad \theta = 26°\text{–}34' \quad \text{अथवा} \quad 26{\cdot}6°$$



क्योंकि छत पर जाने का प्रावधान नही है, अत: तालिका 9.3 के अनुसार—

10° तक ढाल के लिये चल भार = 75 kg/m²

10° से 20° तक ढाल के लिये चल भार में कमी = 1 kg प्रति डिग्री ढाल की दर से

अत: 20° ढाल पर चल भार = 75 – (10 × 1) = 65 kg/m²

20° से अधिक ढाल के लिये चल भार मे कमी 2 kg प्रति डिग्री ढाल है!

अत: 26·6° के लिये चल भार = 65 – (6·6 × 2) kg/m²

= 51·8 kg/m²

यह भार प्लान क्षेत्रफल पर कार्यरत माना जाता है।

एक कैंची के द्वारा आवरित प्लान क्षेत्रफल (Covered Horizontal Area)

= कैंची का पाट × कैंचियो का अन्तराल

= 7·5 × 2·5 m²

= 18·75 m²

अत: एक कैंची पर कुल चल भार = (भार दर प्रति वर्ग मी०) × (आवरित क्षैतिज क्षेत्रफल)

= 51·8 × 18·75 kg

= 971·25 kg

यह भार सभी पैनलो पर समान रूप से वितरित होगा।

अत: एक पैनल बिन्दु (Panel Point) पर चल भार = $\frac{971{\cdot}25}{4}$ = 242.82 kg अथवा 243 kg (नीचे को कार्यरत)।

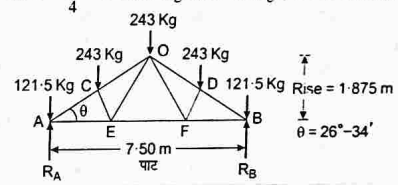
अत: कैंची पर चल भार—

प्रत्येक पैनल बिन्दु $C$, $O$, $D$ पर = **243 kg**

आलम्ब बिन्दु $A$ व $B$ पर = **121·5 kg**

**उत्तर**

यह भार व्यवस्था चित्र 9.7 मे दिखायी गयी है।




चित्र 9.7

## § 9.10. वायु (पवन) भार (Wind Load) :

जब पवन (प्रवाहित वायु) किसी संरचना से टकराती है, तो इस पर दाब डालती है। इसे वायु दाब (Wind Pressure) कहते है। वायु दाब का मान पवन की गति (धीरे, सामान्य, द्रुत, आँधी आदि) तथा संरचना की आकृति (खड़ी, पड़ी, ढालू आदि) व सामान्य भूमितल से औसत ऊँचाई पर निर्भर करता है। ऊँची सरचनाओ पर वायु दाब की तीव्रता अधिक होती है। इस वायु दाब को **मूल वायु दाब** (Basic Wind Pressure) की संज्ञा दी जाती है और '$p$' से प्रदर्शित किया जाता है। मूल वायु दाब की दिशा क्षैतिज (भू-सतह के समानान्तर) ली जाती है। I.S: 875–1964 मे सरचना की विभिन्न ऊँचाइयो के लिये, मूल वायु दाब ($p$) के मान दिये गये है। छतो व ढालू सतहो पर वायु भार ज्ञात करने के लिये, मूल वायु दाब का ढालू सतह के लम्बवत् (Normal) घटक ज्ञात किया जाता है। इसके लिये Duchemin का आनुभविक सूत्र अपनाया जाता है। ढालू सतह के लम्बवत् कार्यरत वायु भार ही गणना में लिया जाता है। ढाल की दिशा में (Along the Slope) घटक का मान बहुत ही कम होता है, अत: इसे छोड़ दिया जाता है।

छत कैंचियो के अभिकल्पन में वायु भार अत्यन्त महत्त्वपूर्ण है। वायु दाब संरचना के बाहरी व भीतरी, दोनो भागो पर कार्यरत होता है और दाब (Pressure) अथवा निर्वात (Suction) दोनो स्थितियाँ उत्पन्न करता है।

**9.10-1. मूल वायुदाब** (Basic Wind Pressure)—I.S. के अनुसार मूल वायु दाब की निम्न दो स्थितियों पर विचार किया जा है—

(i) मूल वायु दाब—जब अल्प अवधि की आँधियों पर विचार किया जाता है।

(ii) मूल वायु दाब—जब अल्प अवधि की आँधियों पर विचार **नहीं** किया जाता है।

संरचना की विभिन्न ऊँचाइयों के लिये, उपरोक्त दोनों स्थितियों के लिये मूल वायु दाब के मान तालिका 9.4 में दिये गये

**9.10-2. अनुज्ञेय प्रतिबलों में वृद्धि** (Increase in Permissible Stress)—किसी संरचना को वायु भार के लिये अभिकल्पित क समय, तालिका 9.4 में अंकित मूल वायु दाब (अल्प अवधि की आँधियों सहित) तथा मूल वायु दाब (अल्प अवधि की आँधि रहित) के अनुपात के अनुसार अनुज्ञेय प्रतिबलों में वृद्धि की जाती है, अतः

$$k = \frac{\text{मूल वायु दाब (अल्प अवधि की आँधियों सहित)}}{\text{मूल वायु दाब (अल्प अवधि की आँधियों रहित)}}$$

'$k$' के मान तालिका 9.5 में दिये गये है।

**तालिका 9.4—मूल वायु दाब ($p$) (I.S : 875 – 1964)**

| संरचना की ऊँचाई मी० में | मूल वायु दाब, $kg/m^2$ | | टिप्पणी |
|---|---|---|---|
| | अल्प आँधियों सहित | अल्प आँधियों के बगैर | |
| 30 | 150 | 60 | (i) यह मान पंजाब, हरियाणा, उत्तरप्रदेश, राजस्थान व प्र प्रदेश के अधिकांश क्षेत्रों, बिहार तथा पूर्वी भारत के लि मान्य है। |
| 35 | 156 | 62 | |
| 40 | 158 | 63 | |
| 45 | 163 | 65 | |
| 50 | 167 | 67 | (ii) $N/m^2$ के लिये उपरोक्त मान को 10 से गुणा करें। |
| 60 | 172 | 69 | |
| 70 | 177 | 71 | (iii) 100 मी० से ऊँची संरचनाओं के मान के लिये IS : 8 देखें। |
| 80 | 183 | 73 | |
| 100 | 191 | 76 | |

**तालिका 9.5—अनुज्ञेय प्रतिबलों में वृद्धि**

| $k$ | 1·0 | 1·50 | 1·67 | 2·0 | 2·50 |
|---|---|---|---|---|---|
| अनुज्ञेय प्रतिबलों में प्रतिशत वृद्धि | 33% | 39% | 41% | 44% | 50% |

**स्पष्टीकरण**—30 मी० ऊँचाई तक की संरचना के लिये—

$$k = \frac{\text{मूल वायु दाब (अल्प आँधियों सहित)}}{\text{मूल वायु दाब (अल्प आँधियों रहित)}} = \frac{150}{60} = 2{\cdot}5$$

अतः उपरोक्त तालिका 9.5 के आधार पर वायु भार की गणना करते समय, खण्ड में अनुज्ञेय प्रतिबल का मान 50% बढ़ा जा सकता है।

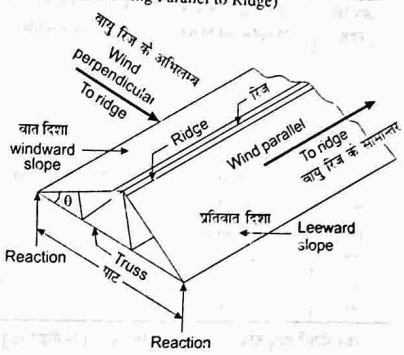
## § 9.11. ढालू छतों पर वायु दाब (Wind Pressure on Slopy Roofs) :

जैसा ऊपर बताया गया है, ढालू छतों पर वायु दाब ज्ञात करने के लिये, वायु प्रवाह की दिशा **क्षैतिज** मानी जाती है। छतों पर वायु निम्न दो दिशाओं में प्रवाहित होती हुयी मानी जाती है—



(a) जब वायु रिज रेखा के अभिलम्ब प्रवाहित हो रही हो। (Wind Blowing Perpendicular to Ridge)

(b) जब वायु रिज रेखा के समान्तर प्रवाहित हो रही हो। (Wind Blowing Parallel to Ridge)




**चित्र 9.8—ढालू छतों वायु दिशा**

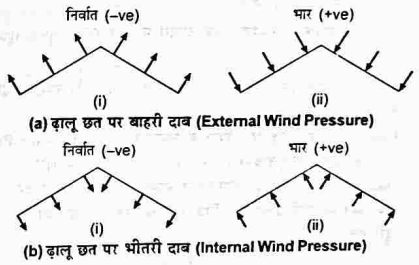
ढालू छत की जिस फलक (ढाल) से वायु आकर टकराती है, उसे वातदिशा (Windward Side) तथा उसके विपरीत वाली प्रतिवात दिशा (Leeward Side) कहलाती है। चित्र 9.8 में वायु प्रवाह की उपरोक्त दोनों दिशायें दिखायी गयी है।

जब वायु रिज के अभिलम्ब चल रही है, तो इसके छत-ढाल के अनुलम्ब कार्यरत घटक (Component Normal to Roof Slope) पर ही विचार किया जाता है।

जब वायु किसी संरचना से टकराती है, तब संरचना के बाहरी तथा भीतरी, दोनों भागों पर दाब पड़ता है। इन्हे (i) बाहरी वायु दाब (External Wind Pressure) तथा (ii) भीतरी वायु दाब (Internal Air Pressure) कहते है। यह दाब, दाब (Pressure) अथवा निर्वात (Suction) कुछ भी हो सकते हैं। बाहरी वायु दाब और भीतरी वायु दाब, दोनों की अलग-अलग गणना की जाती है, परन्तु अभिकल्प वायु भार (Design Wind Load) निर्धारित करने के लिये, उपरोक्त दोनों दाब (बाहरी व भीतरी) को संयुक्त कर लिया जाता है।

चित्र 9.9 में मूल वायु दाब के कारण ढालू छत पर कार्यरत बाहरी व भीतरी वायुदाब की दिशा दिखायी गयी है। बाहरी वायु दाब, ढालू छत की ढाल के अनुरूप धनात्मक (+ve) अथवा ऋणात्मक (–ve) हो सकता है। धनात्मक दाब को दाब और ऋणात्मक दाब को निर्वात (Suction) माना जाता है। बाहरी दाब की प्रतिक्रिया के रूप में छत के भीतरी भाग पर भी धनात्मक अथवा ऋणात्मक दाब उत्पन्न होता है। छत पर अधिकतम वायु दाब ज्ञात करने के लिये, समान दिशा वाले बाहरी व भीतरी दाब का योगफल लिया जाता है।

चित्र 9.9 (a) (i) तथा (b) (i) में वायु दाब के कारण चूषण (Suction) दिखाया गया है। यहाँ बाहरी वायु दाब, बाहर की तरफ और भीतरी वायु दाब अन्दर की तरफ उत्पन्न होता है। इस दाब को चूषण कहा जाता है और इसे ऋणात्मक (–ve) माना गया है। चित्र 9.9 (a) (ii) तथा (b) (ii) में प्रदर्शित वायु दाब को धनात्मक (+ve) माना गया है। इस प्रकार बाहरी व भीतरी वायु दाब को ऋणात्मक व धनात्मक, दो प्रकार में विभाजित किया गया है। इनके मान वायु की दोनों दिशाओं, रिज के लम्बवत् तथा रिज के समान्तर के लिये अलग-अलग ज्ञात किये जाते है। अब बाहरी व भीतरी दाब को संयुक्त करते हुये, सर्वाधिक विनाशकारी स्थिति के लिये कैंचियों का विश्लेषण किया जाता है।




**चित्र 9.9**

**Case 1—वायु प्रवाह रिज रेखा के अभिलम्ब (Wind Blowing Perpendicular to Ridge)—**

(a) **बाहरी वायु दाब** (External Wind Pressure)—जब वायु रिज रेखा के अभिलम्ब बहती है, तो दोनों ढालों पर वायु दाब, मूल वायु दाब ($p$) के अनुपात में तालिका 9.6 के अनुसार लिये जाते हैं। ये दाब छत की ढालू सतह (Sloping Surface) के लम्बवत् होंगे और ढाल के कोण के अनुसार ऋणात्मक (–ve) अथवा धनात्मक (+ve) हो सकते हैं।

**तालिका 9.6—ढालू छत पर बाहरी वायु दाब (वायु रिज के अभिलम्ब)**

| छत की ढाल | वात दिशा पर दाब (Windward Slope) | वायु की ओट पर दाब (Leeward Slope) | टिप्पणी |
|---|---|---|---|
| 0° | $-1{\cdot}0\,p$ | | (i) '$p$' मूल वायु दाब |
| 10° | $-0{\cdot}70\,p$ | | (ii) मध्य की ढालो के लिये दाब-गुणांक अंतर्वेशन द्वा |
| 20° | $-0{\cdot}40\,p$ | | ज्ञात किया जाता है। |
| 30° | $-0{\cdot}10\,p$ | | |
| 40° | $+0{\cdot}10\,p$ | सभी ढालो के लिये | (iii) दाब की दिशा छत की ढालू सतह के लम्बवत् होत |
| 50° | $+0{\cdot}30\,p$ | $-0{\cdot}5\,p$ | |
| 60° | $+0{\cdot}40\,p$ | | (iv) (+) दाब को तथा (–) निर्वात को दर्शाता है। |
| 70° | $+0{\cdot}50\,p$ | | |
| 80° | $+0{\cdot}50\,p$ | | |
| 90° | $+0{\cdot}50\,p$ | | |

**(b) भीतरी वायु दाब** (Internal Air Pressure)—भीतरी वायु दाब संरचना की पारगम्यता (Permeability) पर निर्भर करत है। पारगम्यता तीन प्रकार की होती है—

(i) शून्य या न्यूनतम
(ii) सामान्य
(iii) अधिक

इन पारगम्यताओं के लिये भीतरी वायु दाब के मान निम्न दिये गये हैं। मान अंक के पूर्व (+) चिह्न दाब (Pressure) या (–ve) चिह्न निर्वात (Suction) दर्शाता है।

(i) शून्य (अथवा न्यूनतम) पारगम्यता = शून्य

(ii) सामान्य पारगम्यता $= \pm 0{\cdot}2\,p$

(iii) अधिक पारगम्यता (जब दीवारों में खुले भागो (openings) का क्षेत्रफल 20% से अधिक हो)

$= \pm 0{\cdot}5\,p$

यहाँ $p$ मूल वायु दाब (Basic Wind Pressure) है। उपरोक्त दाब छत की भीतरी सतहों के लम्बवत् कार्यरत माना जा है।

**Case 2—वायु प्रवाह रिज रेखा के समान्तर (Wind Blowing Parallel to Ridge)—**

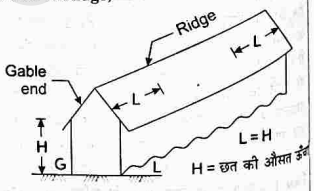
**(a) बाहरी वायु दाब** (External Wind Pressure)—(i) गेबल (Gable) सिरे से, छत की भूमितल से औसत ऊँचाई के बराबर दूरी तक, छत की दोनो ढालों पर (चित्र 9.10 के अनुसार) छत की $L$-दूरी तक

$= -0{\cdot}6\,p$

(ii) छत की शेष लम्बाई पर, दोनों ढालो के लिये

$= -0{\cdot}4\,p$

यहाँ $p$ मूल वायु दाब है।

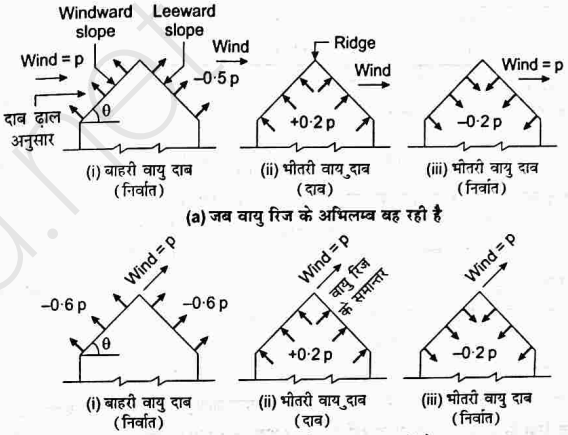



चित्र 9.10

**(b) भीतरी वायु दाब** (Internal Air Pressure)—संरचना की पारगम्यता (शून्य, सामान्य, अधिक) के अनुसार जो म अभिलम्ब दिशा के लिये दिये गये है, वही अपनाये जाते है।



**9.11-1. परिणामी वायु दाब** (Resultant Wind Pressure)—ढालू छत पर परिणामी वायु दाब, बाहरी व भीतरी वायु दाब का योगफल होता है। बाहरी व भीतरी दाब को संयुक्त करते हुये, सर्वाधिक विनाशकारी स्थिति के लिये कैंचियो का विश्लेषण किया जाता है। दोनों दिशाओं पर कार्यरत वायु दाब के गुणांक चित्र 9.11 में दर्शाये गये हैं। वातदिशा ढाल अथवा प्रतिवात दिशा ढाल पर अधिकतम दाब तब आता है, जब बाहरी व भीतरी, दोनों दाब की प्रकृति (दिशा) समान हो।




**चित्र 9.11—ढालू छतों पर वायु दाब के गुणांक**

**उदाहरण 9.3 : आजमगढ़ में बनी एक ढालू छत का पिच 1/5 है। छत की भूमि तल से औसत ऊँचाई 10 मी० है। संरचना की विभिन्न पारगम्यताओं (Permeabilities) के लिये छत कैंची पर वायु दाब (Wind Pressure) की गणना कीजिये।**

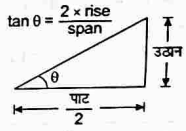
**हल :** प्रश्न के अनुसार कैंची का पिच, $\dfrac{\text{उठान}}{\text{पाट}} = \dfrac{1}{5}$

यदि ढाल का कोण = $\theta$

तब $\tan\theta = \dfrac{\text{उठान}}{\text{पाट}/2}$

$= \dfrac{2 \times \text{उठान}}{\text{पाट}} = \dfrac{2\times 1}{5} = 0{\cdot}40$

$\therefore \quad \theta = \tan^{-1} 0{\cdot}40 = 21°\text{–}48'$ अथवा $21{\cdot}8°$




चित्र 9.12

I.S : 875 के अनुसार उत्तर प्रदेश क्षेत्र के, 30 मी० ऊँचाई तक, अल्प अवधि की आँधियो **सहित** मूल वायु दाब, $p = 150\ \text{kg/m}^2$ ...(तालिका 9.4)

**स्थिति (I) जब वायु रिज रेखा के लम्बवत् बह रही है—**

**(a) छत पर बाहरी वायु दाब :**

| कैंची की ढाल (θ) | वातदिशा (Windward Side) | प्रतिवात दिशा (Leeward Side) |
|---|---|---|
| 20° | $-0{\cdot}40\,p$ | $-0{\cdot}5\,p$ |
| 30° | $-0{\cdot}10\,p$ | $-0{\cdot}5\,p$ |

प्रश्न मे कैची का कोण $\theta = 21{\cdot}8°$ है। अन्तर्वेशन द्वारा मान—

$10°$ के लिये दाब गुणांक मे परिवर्तन $= -0{\cdot}30\,p$

$$1{\cdot}8° \text{ के लिये परिवर्तन} = (-0{\cdot}30\,p) \times \frac{1{\cdot}8}{10} = -0{\cdot}054\,p$$

अत: $21{\cdot}8°$ ढालू छत के लिये वात दिशा पर दाब $= -0{\cdot}40\,p - (-0{\cdot}054\,p)$

$$= -0{\cdot}346\,p$$

प्रतिवात दिशा पर दाब $= -0{\cdot}50\,p$

**(b) छत पर भीतरी वायु दाब :**

(i) शून्य पारगम्यता के लिये = शून्य दाब

(ii) सामान्य पारगम्यता के लिये $= \pm 0{\cdot}2\,p$

(iii) अधिक पारगम्यता के लिये $= \pm 0{\cdot}5\,p$

प्रत्येक पारगम्यता के लिये बाहरी व भीतरी वायु दाब संयुक्त किया जाता है। गणनायें निम्न हैं—

**(I) वायु रिज रेखा के लम्बवत, छत पर बाहरी व भीतरी दाब ($p$ =150 kg/m²)**

| पारगम्यता | वातदिशा ढाल (Windward Slope) | प्रतिवात दिशा ढाल (Leeward Slope) |
|---|---|---|
| (क) शून्य (Zero) | $= -0{\cdot}346p$<br>$= -0{\cdot}346 \times 150$<br>$= \mathbf{-51{\cdot}9\ kg/m^2}$ | $= -0{\cdot}5p$<br>$= -0{\cdot}5 \times 150$<br>$= \mathbf{-75\ kg/m^2}$ |
| (ख) सामान्य (Normal) | $= -0{\cdot}346\,p \pm 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}346p + 0{\cdot}2p$ or $-0{\cdot}346p - 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}146p$ or $-0{\cdot}546p$<br>$= -0{\cdot}146 \times 150$ or $-0{\cdot}546 \times 150$<br>$= \mathbf{-21{\cdot}9\ kg/m^2}$ or $\mathbf{-81{\cdot}9\ kg/m^2}$ | $= -0{\cdot}5p \pm 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}5p + 0{\cdot}2p$ or $-0{\cdot}5p - 0{\cdot}2p$<br>$-0{\cdot}3p$ or $-0{\cdot}7p$<br>$= -0{\cdot}3 \times 150$ or $-0{\cdot}7 \times 150$<br>$= \mathbf{-45\ kg/m^2}$ or $\mathbf{-105\ kg/m^2}$ |
| (ग) अधिक (Large) | $= -0{\cdot}346p \pm 0{\cdot}5p$<br>$= -0{\cdot}346p + 0{\cdot}5p$ or $-0{\cdot}346p - 0{\cdot}5p$<br>$= +0{\cdot}154p$ or $-0{\cdot}846p$<br>$= 0{\cdot}154 \times 150$ or $-0{\cdot}846 \times 150$<br>$= \mathbf{23{\cdot}1\ kg/m^2}$ or $\mathbf{-126{\cdot}9\ kg/m^2}$ | $= -0{\cdot}5p \pm 0{\cdot}5p$<br>$= -0{\cdot}5p + 0{\cdot}5p$ or $-0{\cdot}5p - 0{\cdot}5p$<br>$= 0$ or $-1{\cdot}0p$<br>$= -1{\cdot}0 \times 150$<br>$= \mathbf{-150\ kg/m^2}$ |

उपरोक्त गणनाओ के आधार पर अधिकतम वायुदाब (जब वायु रिज रेखा के लम्बवत् बह रही है) $= -150\ kg/m^2$ है, अर्थात प्रतिवात दिशा ढ़ाल पर निर्वात उत्पन्न होगा।



**स्थिति (II) जब वायु रिज रेखा के समांतर बह रही है—**

(i) छत की दोनों ढालो पर बाहरी वायु दाब (अधिकतम) $= -0{\cdot}6\,p$

(ii) छत पर भीतरी वायु दाब—

शून्य पारगम्यता के लिये = शून्य

सामान्य पारगम्यता के लिये $= \pm 0{\cdot}2\,p$

अधिक पारगम्यता के लिये $= \pm 0{\cdot}5\,p$

तथा

लिया जाता है। प्रत्येक पारगम्यता के बाहरी व भीतरी दाब जोड़ लिये जाते है। गणनायें निम्न हैं—

**(II) वायु रिज रेखा के समान्तर, छत पर बाहरी व भीतरी दाब**

**($p$ = 150 kg/m²)**

| पारगम्यता | वातदिशा ढाल (Windward Slope) | प्रतिवात दिशा ढाल (Leeward Slope) |
|---|---|---|
| (क) शून्य (Zero) | $= -0{\cdot}6p$<br>$= -0{\cdot}6 \times 150$<br>$= \mathbf{-90\ kg/m^2}$ | $= -0{\cdot}6p$<br>$= -0{\cdot}6 \times 150$<br>$= \mathbf{-90\ kg/m^2}$ |
| (ख) सामान्य (Normal) | $= -0{\cdot}6p \pm 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}6p + 0{\cdot}2p$ or $-0{\cdot}6p - 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}4p$ or $-0{\cdot}8p$<br>$= -0{\cdot}4 \times 150$ or $-0{\cdot}8 \times 150$<br>$= -60\ kg/m^2$ or $\mathbf{-120\ kg/m^2}$ | $= -0{\cdot}6p \pm 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}6p + 0{\cdot}2p$ or $-0{\cdot}6p - 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}4p$ or $-0{\cdot}8p$<br>$= -0{\cdot}4 \times 150$ or $-0{\cdot}8 \times 150$<br>$= \mathbf{-60\ kg/m^2}$ or $\mathbf{-120\ kg/m^2}$ |
| (ग) अधिक (Large) | $= -0{\cdot}6p \pm 0{\cdot}5p$<br>$= -0{\cdot}6p + 0{\cdot}5p$ or $-0{\cdot}6p - 0{\cdot}5p$<br>$= 0{\cdot}1p$ or $-1{\cdot}1p$<br>$= 0{\cdot}1 \times 150$ or $-1{\cdot}1 \times 150$<br>$= \mathbf{-15\ kg/m^2}$ or $\mathbf{-165\ kg/m^2}$ | $= -0{\cdot}6p \pm 0{\cdot}5p$<br>$= -0{\cdot}6p + 0{\cdot}5p$ or $-0{\cdot}6p - 0{\cdot}5p$<br>$= -0{\cdot}1p$ or $-1{\cdot}1p$<br>$= -0{\cdot}1 \times 150$ or $-1{\cdot}1 \times 150$<br>$= \mathbf{-15\ kg/m^2}$ or $\mathbf{-165\ kg/m^2}$ |

अत: उपरोक्त गणनाओं के अनुसार, दोनों स्थितियों में सर्वाधिक विनाशकारी प्रतिबल ($-165 kg/m^2$) है और यह तब उत्पन्न होगे, जब वायु रिज रेखा के समान्तर बह रही है (स्थिति II) और भवन की पारगम्यता अधिक (Large) ली गयी है।

**उदाहरण 9.4 : उदाहरण 9.1 में दी गयी छत कैंची के लिये सर्वाधिक विनाशकारी स्थिति के लिये वायु दाब का मान ज्ञात कीजिये। छत की औसत ऊँचाई भूमितल से 10 मी० मान लें। भवन सामान्य पारगम्यता के लिये बना हुआ है।**

**हल :** कैंची के परिमापों के लिये चित्र 9.5 देखें। चित्रानुसार—

कैंची का पाट = 7·5 m

$$\text{पिच} = \frac{\text{उठान}}{\text{पाट}} = \frac{1}{4}$$

माना कैंची की ढाल $\theta$ है,

$$\therefore \quad \tan\theta = \frac{\text{उठान}}{\text{आधा पाट}} = \frac{\text{उठान} \times 2}{\text{पाट}}$$

$$= \frac{1}{4} \times 2 = 0{\cdot}50$$

$$\theta = \tan^{-1} 0{\cdot}50 = 26{\cdot}6°$$

10 मी० की ऊँचाई पर वायु दाब, $p = 150$ kg/m$^2$ (अल्पकालीन आँधियो सहित)

**स्थिति (I) जब वायु रिज रेखा के लम्बवत् बह रही है—**

**(a) बाहरी वायु दाब :**

| कैंची की ढाल (θ) | वातदिशा ढाल (Windward Slope) | प्रतिवात दिशा ढाल (Leeward Slope) |
|---|---|---|
| 20° | $-0{\cdot}40\,p$ | $-0{\cdot}5\,p$ |
| 30° | $-0{\cdot}10\,p$ | $-0{\cdot}5\,p$ |

कैंची का कोण 26·6 है। अन्तर्वेशन द्वारा मान—

10° के अन्तर पर दाब मे परिवर्तन $= -0{\cdot}30\,p$

$\therefore$ 6·6° के लिये परिवर्तन $= \dfrac{-0{\cdot}30p \times 6{\cdot}6}{10}$

$= -0{\cdot}20\,p$

अत: 26·6° ढालू छत के लिये, वातदिशा पर दाब की तीव्रता

$= -0{\cdot}40\,p - (-0{\cdot}20\,p)$

$= -0{\cdot}20\,p$

प्रतिवात दिशा पर तीव्रता $= -0{\cdot}50\,p$

**(b) भीतरी वायु दाब**—सामान्य पारगम्यता के लिये $= \pm 0{\cdot}2\,p$

**स्थिति (II) जब वायु रिज रेखा के समांतर बह रही है—**

(a) छत की दोनो ढालो पर बाहरी वायु दाब $= -0{\cdot}6\,p$

(b) भीतरी वायु दाब (सामान्य पारगम्यता के लिये) $= \pm 0{\cdot}2\,p$

उपरोक्त दोनों स्थितियों के लिये गणनायें निम्न हैं—

| वायु की दिशा | छत पर बाहरी व भीतरी दाब | |
|---|---|---|
| | वातदिशा ढाल (Windward Slope) | प्रतिवात दिशा ढाल (Leeward Slope) |
| (1) वायु रिज के लम्बवत् | $= -0{\cdot}20p \pm 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}2p + 0{\cdot}2p$ or $-0{\cdot}2p - 0{\cdot}2p$<br>$= -0$ or $-0{\cdot}4p$<br>$= -0{\cdot}4 \times 150 = -60$ kg/m$^2$ | $= -0{\cdot}5p \pm 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}5p + 0{\cdot}2p$ or $-0{\cdot}5p - 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}3p$ or $-0{\cdot}7p$<br>$= -0{\cdot}3 \times 150$ or $-0{\cdot}7 \times 150$<br>$= -45$ kg/m$^2$ or $-105$ kg/m$^2$ |
| (2) वायु रिज के समान्तर | $= -0{\cdot}6p \pm 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}6p + 0{\cdot}2p$ or $-0{\cdot}6p - 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}4p$ or $-0{\cdot}8p$<br>$= -0{\cdot}4 \times 150$ or $-0{\cdot}8 \times 150$<br>$= -60$ kg/m$^2$ or $-120$ kg/m$^2$ | $= -0{\cdot}6p \pm 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}6p + 0{\cdot}2p$ or $-0{\cdot}6p - 0{\cdot}2p$<br>$= -0{\cdot}4p$ or $-0{\cdot}8p$<br>$= -0{\cdot}4 \times 150$ or $-0{\cdot}8 \times 150$<br>$= -60$ kg/m$^2$ or $-120$ kg/m$^2$ |



अत: उपरोक्त गणनाओ के अनुसार सर्वाधिक विनाशकारी स्थिति ($-120$ kg/m$^2$) तब उत्पन्न होगी, जब वायु रिज के समान्तर बह रही है और बाहरी वायु दाब $-0{\cdot}6\,p$ और भीतरी वायु दाब $\pm 0{\cdot}2\,p$ है

**कैंची पर भार वितरण**—चित्र 9.3 के अनुसार

$$OA = \sqrt{(3{\cdot}75)^2 + (1{\cdot}875)^2}$$

$$= 4{\cdot}192 \text{ m}$$

कैंचियो की आपसी दूरी = 2·5 m

कैंची पर कार्यरत वायु दाब की तीव्रता $= -120$ kg/m$^2$

क्योंकि यह दाब ऋणात्मक (–ve) है, अत: यह निर्वात है और इसकी कार्यरत दिशा ऊपर (Upward) को होगी।

$\therefore$ छत की ढालू सतह पर कुल वायु भार (एक ढाल पर) $= 4{\cdot}192 \times 2{\cdot}5 \times 120$ kg

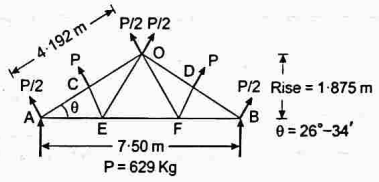
$= 1257{\cdot}6$ kg अथवा 1258 kg

चित्र 9.13 के अनुसार यह भार $A$, $C$, $O$ पर निम्न प्रकार वितरित होगा

$$\frac{p}{2} + p + \frac{p}{2} = 1258 \text{ kg}$$

$\therefore$ $p = 629$ kg

तथा $\dfrac{p}{2} = 314{\cdot}5$ kg




चित्र 9.13

कैंची की अन्य ढाल पर भी भार वितरण ऊपर की भाँति होगा।

वायु भार कैंची के पैनल जोड़ (Panel Points) पर कार्यरत माना जाता है। यह व्यवस्था चित्र 9.13 में दर्शायी गयी है। **उत्तर**

## § 9.12. हिम भार (Snow Load) :

भारत में केवल कुछ ऊँचे पर्वतीय क्षेत्रों में (जहाँ प्राय: बर्फ पड़ती है), संरचनाओं के अभिकल्पन में हिम भार लिया जाता है। भारतीय मानक I. S: 875– 1964 के अनुसार हिम भार प्रति सेमी० हिमपात के लिये 2·5 kg/m$^2$ लिया जा सकता है। यदि छत की ढाल 50° से अधिक है, तब अभिकल्पन में हिम भार नहीं लिया जाता है।

## § 9.13. छत पर्लिन का अभिकल्पन (Design of Roof Purlin) :

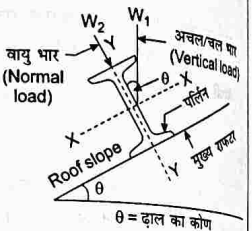
ढालू छतों मे, छत-आवरण (Covering) को सम्भाले रखने के लिये, जो अवयव कैंची की आड़ी दिशा में, मुख्य राफ्टर के ऊपर जड़े जाते हैं, उन्हें पर्लिन कहते हैं। पर्लिन रिज के समान्तर होते है। इनकी आपसी दूरी सामान्यत: मुख्य राफ्टर के पैनल बिन्दुओ की दूरी के बराबर होती है। पर्लिन पर छत-आवरण का भार ऊर्ध्वाधर और वायु भार छत-ढाल के लम्बवत् कार्यरत होता है। पर्लिन आयताकार, I, चैनल, एंगल अथवा नलिकाकार खण्डों के होते हैं। आयताकार व I-खण्ड अपने दोनो अक्षों पर सममित (Symmetrical) होते हैं, चैनल एक अक्ष पर सममित होती है, परन्तु एंगल किसी भी अक्ष पर सममित नहीं होता है। पर्लिन को ढालू राफ्टर पर स्थिर करने के लिये, इसके पीछे क्लीट-गुटका लगाया जाता है। पर्लिन एक सतत धरन की भाँति कार्य करता है। इस पर मुख्य राफ्टर के एक पैनल की चौड़ाई का भार आता हुआ माना जाता है।

**9.13-1. पर्लिन पर भार** (Loads on Purlin)—चित्र 9.14 के अनुसार एक पर्लिन पर निम्न भार आते हैं—

(i) छत आवरण का भार व चल भार, जो ऊर्ध्वाधर नीचे को कार्यरत है। इसे $W_1$ मान लेते हैं।

(ii) वायु भार, जो कैची की ढाल के लम्बवत् कार्यरत होता है। इसे $W_2$ कहते हैं।

पर्लिन पर द्विअक्षीय ($XX$ व $YY$ अक्षों पर) बंकन होता है। पर्लिन का पाट दो निकटतम कैंचियो की आपसी दूरी ली जाती है। पर्लिन खण्ड में अधिकतम बकन प्रतिबल ज्ञात करने के लिये, इसके दोनों अक्षों पर अलग-अलग बंकन आघूर्ण ज्ञात करके उनको जोड़ लिया जाता है।



चित्र 9.14

**9.13-2. I-खण्ड पर्लिन की अभिकल्पन विधि** (Design of I-Purlin)—

**(a) भार विश्लेषण व बंकन आघूर्ण**—चित्र 9.14 मे I-खण्ड पर्लिन दिखाया गया है, जो कैची के मुख्य राफ्टर पर आलम्बित है। इस पर दो भार, $W_1$ व $W_2$ कार्यरत हैं। I-खण्ड का $XX$ अक्ष, कैची-ढाल के समान्तर (क्षैतिज θ° पर नत) और $YY$ अक्ष ढाल से लम्बवत् माना गया है (उपरोक्त भारों को ढाल के समान्तर व लम्बवत् विभाजित करने के लिये)। अत: चित्र के अनुसार—

ढाल के लम्बवत् भारो के घटक (Components), $W_x = W_2 + W_1 \cos\theta$

ढाल के समान्तर भारो के घटक, $W_y = W_1 \sin\theta$

यहाँ θ कैची का कोण है।

पर्लिन पर पड़ने वाले भारो के लिये दोनो अक्षों ($XX$ व $YY$) में बंकन आघूर्ण ज्ञात किया जाता है।

$$M_{xx} = W_x \times L \quad \text{तथा} \quad M_{yy} = W_y \times L$$

यहाँ $L$ = पर्लिन का पाट है।

खण्ड की गणना अधिकतम बंकन आघूर्ण के लिये की जाती है, जो $M_{xx}$ ही होता है।

अत:
$$Z_{xx} = \frac{M_{xx}}{f}$$

अब स्टील टेबल से ऐसे खण्ड का चयन करें, जिसका $Z$, उपरोक्त $Z_{xx}$ से लगभग 50% अधिक हो।

**(b) जाँच—(i) प्रतिबलों के लिये**—इसके लिये दोनों अक्षों के बंकन प्रतिबलों को जोड़ लिया जाता है। यह मान अनुज्ञेय प्रतिबल मान से अधिक नहीं होना चाहिये।

यदि $M_{xx}$ = ढाल के लम्बवत् भारो के कारण बंकन आघूर्ण

$y$ = उदासीन अक्ष ($XX$) से ऊपरी रेशों की अधिकतम दूरी तथा

$M_{yy}$ = ढाल के समान्तर भारो क कारण बंकन आघूर्ण

$x$ = उदासीन अक्ष ($YY$) से ढाल के समान्तर रेशों की अधिकतम दूरी। यह $\left(\frac{1}{2} \times \text{खण्ड की चौड़ाई}\right)$ होती है।

$I = XX$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण

$I_{yy} = YY$ अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण

$f_{max}$ = अधिकतम बंकन प्रतिबल

∴
$$f_{max} = \pm\left[\frac{M_{xx} \cdot y}{I_{xx}} + \frac{M_{yy} \cdot x}{I_{yy}}\right] \quad ...(9.5)$$



यहाँ सम्पीडन प्रतिबल धनात्मक (+ve) तथा तनन प्रतिबल ऋणात्मक (–ve) माने गये हैं।

उपरोक्त ज्ञात किया गया अधिकतम बंकन प्रतिबलों का मान, अनुज्ञेय प्रतिबल से कम होना चाहिये।

**(ii) विक्षेप** (Deflection) **के लिये**—पर्लिन खण्ड मे अधिकतम विक्षेप $\frac{\text{पाट}}{325}$ से अधिक नहीं होना चाहिये। पर्लिन का बंकन दो दिशाओं मे होने के कारण—

यदि $\delta_x$ = ढाल के समान्तर $XX$ अक्ष पर विक्षेप

$\delta_y$ = ढाल के लम्बवत $YY$ अक्ष पर विक्षेप

$$\delta_x = \frac{5}{384} \times \frac{W_x L^3}{E I_{xx}} \quad \text{तथा} \quad \delta_y = \frac{5}{384} \times \frac{W_y L^3}{E I_{yy}} \quad ...(9.6)$$

अधिकतम विक्षेप, $\delta = \sqrt{(\delta_x)^2 + (\delta_y)^2}$ ...(9.7)

δ का मान $\frac{\text{पाट}}{325}$ से अधिक नहीं होना चाहिये।

**9.13-3. एंगल पर्लिन की अभिकल्पन विधि** (Design of L-purlin)—छोटे पाट के लिये तथा कैंचियों की आपसी दूरी कम होने पर, एंगल-खण्ड का पर्लिन प्रयोग किया जाता है। यह मितव्ययी होता है। सामान्यत: असम-भुजी एंगल खण्ड (Unequal Angle) का चयन करके, इसकी बड़ी टाँग ढाल के लम्बवत् (खड़ी स्थिति में) रखी जाती है।

क्योंकि एंगल-खण्ड किसी भी अक्ष ($XX$ or $YY$) पर सममित (Symmetrical) नहीं होता है, इसलिये इसके मूल नमन अक्ष (Principal Bending Axes) ज्ञात करने होते हैं, जो काफी समयलेवा प्रक्रिया है। अत: 30° तक ढालू कैंचियों का I.S : 800 के आधार पर, एंगल पर्लिन का अभिकल्पन निम्न सरल विधि से किया जा सकता है—

(i) एंगल पर्लिन की गहरायी, $d = \frac{L}{45}$ से कम नहीं होनी चाहिये।

(ii) एंगल पर्लिन की चौड़ाई, $b = \frac{L}{60}$ से कम नहीं होनी चाहिये।

यहाँ $L$ = पर्लिन के आलम्बो के मध्य c/c दूरी

(iii) पर्लिन में अधिकतम नमन आघूर्ण, $M_{max} = \frac{WL}{10}$ से ज्ञात करें।

यहाँ $W$ = पर्लिन पर कुल वितरित भार (U.D.L. )। इस भार में वायु भार (Wind Load) भी सममित है तथा भार को छत-ढाल के लम्बवत् माना गया है (क्योंकि भार को ढाल के लम्बवत् कार्यरत मान लिया जाता है, अत: लघु अक्ष (Minor Axis) पर बंकन पर विचार नहीं किया जाता है)

इन आघूर्ण के लिये अधिकतम बंकन प्रतिबल, अनुज्ञेय प्रतिबल से अधिक नहीं होने चाहियें।

**उदाहरण 9.5 : एक पालीटेक्निक कार्यशाला के लिये, निम्नलिखित आँकड़ों के आधार पर I-खण्ड पर्लिन का अभिकल्पन कीजिये। कैंची का पाट = 15 m, कैंचियों की आपसी दूरी = 3·75 m, छत आवरण का भार = 20 kg/m² छत का पिच = 1/4, वायु दाब (लम्बवत् कार्यरत) = 120 kg/m², अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल = 165 N/mm² (165 MPa)।**

**हल :**

कैची का पाट = 15 m

$$\text{पिच} = \frac{\text{उठान}}{\text{पाट}} = \frac{1}{4}$$

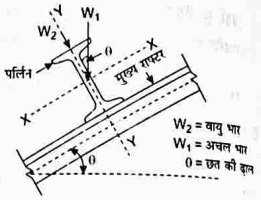
∴
$$\text{उठान} = \frac{\text{पाट}}{4} = \frac{15}{4} = 3{\cdot}75 \text{ m}$$

$$\tan\theta = \frac{\text{उठान}}{\text{आधा पाट}} = \frac{3{\cdot}75}{7{\cdot}5} = 0{\cdot}50$$

अत: $\theta = \tan^{-1} 0{\cdot}5 = 26° - 34'$

$\sin\theta = 0{\cdot}4455$

$\cos\theta = 0{\cdot}8944$




चित्र 9.15

एक ढाल के मुख्य राफ्टर की लम्बाई

$$= \sqrt{(7{\cdot}50)^2 + (3{\cdot}75)^2} = \sqrt{56{\cdot}25 + 14{\cdot}06}$$
$$= 8{\cdot}385 \text{ m}$$

मुख्य राफ्टर को चार समान पैनल मे विभाजित करने पर,

प्रत्येक पैनल की लम्बाई $= \frac{8{\cdot}385}{4} = 2{\cdot}096$ m

अत: एक पर्लिन पर एक पैनल का भार आयेगा, जिसका क्षेत्रफल $3{\cdot}75 \times 2{\cdot}096$ m$^2$ है।

**(1) भारों की गणना**—ऐसा समझा जाता है कि (अचल भार + वायु भार) का प्रभाव (अचल भार + चल भार) से अधिक होगा। इसलिये गणना मे (अचल भार + वायु भार) के संयोजन पर ही विचार करेंगे।

(i) पर्लिन का स्वयम् का भार (15 kg/m मानते हुये) $= 3{\cdot}75 \times 15 = 56{\cdot}25$ kg

(ii) छत आवरण का भार (20 kg/m$^2$) लेने पर $= 2{\cdot}096 \times 3{\cdot}75 \times 20 = 157{\cdot}50$ kg

योग $213{\cdot}75$ kg ...($W_1$)

यह भार ऊर्ध्वाधर कार्यरत है। ...($W_1$)

(iii) वायु भार $= 2{\cdot}096 \times 3{\cdot}75 \times 120 = 943{\cdot}20$ kg ...($W_2$)

यह भार छत-ढाल के लम्बवत् कार्यरत है

अत: पर्लिन के लम्बवत् भारों के घटक, $W_x = W_2 + W_1 \cos\theta$

$= 943{\cdot}20 + 213{\cdot}75 \times 0{\cdot}8944$ kg

$= 943{\cdot}20 + 190{\cdot}50$ kg

$= 1133{\cdot}7$ kg ...(i)

पर्लिन के समान्तर भारों के घटक, $W_y = W_1 \sin\theta$

$= 213{\cdot}75 \times 0{\cdot}4455$ kg

$= 95{\cdot}16$ kg ...(ii)

**(2) अधिकतम बंकन आघूर्ण** (Max. B.M.)—

ढाल के लम्बवत्, $M_{xx} = \frac{W_x \cdot L}{10}$

$= \frac{1133{\cdot}7 \times 3{\cdot}75}{10}$ kg m

$= \frac{1133{\cdot}7 \times 3{\cdot}75 \times 100}{10}$ kg cm

$= 42513$ kg cm.

ढाल के समान्तर, $M_{yy} = \frac{W_y \cdot L}{10}$



$= \frac{95{\cdot}16 \times 3{\cdot}75 \times 100}{10}$ kg cm

$= 3568$ kg cm

अत: आवश्यक परिच्छेद मापांक, $f_{max} = 165$ N/mm$^2$ (or 165 kg/cm$^2$) अपनाते हुये

$$Z_{xx} = \frac{M_{xx}}{f}$$

$$= \frac{42513}{1650} = 25{\cdot}76 \text{ cm}^3$$

तथा $$Z_{yy} = \frac{3568}{1650} = 2{\cdot}16 \text{ cm}^3$$

अत: I.S.L.B.–150 का चयन करने पर—

| | |
|---|---|
| $I = 688{\cdot}2$ | $Z_{xx} = 91{\cdot}8$ |
| $I_{yy} = 55{\cdot}2$ | $Z_{yy} = 13{\cdot}8$ |
| चौड़ाई = 80 mm | गहरायी = 150 mm |

**(3) जाँच**—

**(a) प्रतिबलों के लिये**—

अत: अधिकतम बंकन प्रतिबल, $f_{max} = \frac{M_{xx} \times y}{I_{xx}} + \frac{M_{yy} \times x}{I_{yy}}$

$= \frac{42513 \times 7{\cdot}5}{688{\cdot}2} + \frac{3568 \times 4}{55{\cdot}2}$ kg/cm$^2$

$= 463{\cdot}10 + 258{\cdot}55$ kg/cm$^2$

$= 721{\cdot}65$ kg/cm$^2$ $= 72{\cdot}165$ N/mm$^2$

यह 165 N/mm$^2$ से कम है, अत: सुरक्षित है।

(यह खण्ड अति सुरक्षित है, अत: इससे हल्का खण्ड भी अपनाया जा सकता है)।

**(b) विक्षेपन** (Deflection) **के लिये**—

अधिकतम अनुमत विक्षेप $= \frac{\text{पाट}}{325} = \frac{3{\cdot}75 \times 100}{325}$

$= 1{\cdot}15$ cm

$E = 2 \times 10^6$ kg/cm$^2$ लेते हुये—

(i) ढाल के लम्बवत् विक्षेप, $\delta_1 = \frac{5}{384} \times \frac{WL^3}{EI}$ ...(सूत्र)

$\therefore$ $\delta_1 = \frac{5}{384} \times \frac{1133{\cdot}7 \times (3{\cdot}75)^3 \times (1000)^3}{2 \times 10^6 \times 688{\cdot}2}$ cm

$= 0{\cdot}565$ cm

(ii) ढाल के समान्तर विक्षेप, $\delta_1 = \frac{5}{384} \times \frac{95{\cdot}16 \times 3{\cdot}75^3 \times 100^3}{2 \times 10^6 \times 55{\cdot}2}$ cm

$= 0{\cdot}591$ cm

civilguru.net

अत: खण्ड मे उत्पन्न (अधिकतम) विक्षेप, $\delta = \sqrt{(\delta_x)^2 + (\delta_y)^2}$

$= \sqrt{(0{\cdot}591)^2 + (0{\cdot}565)^2}$ cm

$= \sqrt{(0{\cdot}350 + 0{\cdot}318)}$ cm

$= 0{\cdot}817$ cm

यह अनुमत 1·15 cm से कम है, अत: पर्लिन विक्षेपन के प्रति सुरक्षित है।

अत: पर्लिन के **लिये ISLB 150 उपयुक्त रहेगा।** उत्तर

**उदाहरण 9.6 : निम्न आँकड़ों के आधार पर एक छत कैंची के लिये चैनल-पर्लिन का अभिकल्पन कीजिये—कैंची का पाट = 12 m, कैंचियों का अन्तराल = 4·5 m, कैंची की ढाल = 30°, पर्लिन की केन्द्र से केन्द्र दूरी = 2 m, वायु दाब = 100 kg/m², छत के लम्बवत् $\sigma_{bs}$ = 165 N/ mm² मान लें।**

**हल :** एक पर्लिन पर एक पैलन क्षेत्र का भार आता हुआ माना जाता है, जिसका परिमाप 2 m × 4·5 m है। पर्लिन एक सतत धरन की भाँति कार्य करता है।

**(1) भार**—(i) पर्लिन का स्वयम् का भार 16 kg/m² लेते हुये = 4·5 × 16 = 72 kg

(ii) छत आवरण का भार 20 kg/m² लेने पर = 2·0 × 4·5 × 20 = **180 kg**

योग 252 kg ...($W_1$)

यह भार छत पर ऊर्ध्वाधर कार्यरत है।

(iii) वायु भार 100 kg/m² की दर से, प्रश्नानुसार = 2 × 4·5 × 100 = 900 kg ...($W_2$)

वायु भार छत ढाल के लम्बवत् अर्थात क्षैतिज के 30° पर नत है।

अत: (a) पर्लिन के लम्बवत् कार्यरत भार, $W_x = W_2 + (W_1 \cos 30°)$

$= 900 + (252 \times 0{\cdot}866)$

$= 1118{\cdot}23$ kg

(b) ढाल के समान्तर कार्यरत भार, $W_y = (W_2 \times 0) + (W_1 \sin 30°)$

$= 252 \times 0{\cdot}50$

$= 126$ kg

**(2) अधिकतम बंकन आघूर्ण** $= \dfrac{W \times L}{10}$ (पर्लिन के लिये, I.S. अनुसार)

(a) ढाल के लम्बवत्, $M_{xx} = \dfrac{1118{\cdot}23 \times 4{\cdot}5}{10}$

$= 503{\cdot}21$ kg m = 50321 kg cm.

(b) ढाल के समान्तर, $M_{yy} = \dfrac{126 \times 4{\cdot}5}{10}$

$= 56{\cdot}7$ kg m = 5670 kg cm.

अत: आवश्यक परिच्छेद मापांक (Z), $f = 1650$ kg/cm² लेते हुये—

$$Z_{xx} = \frac{M_{xx}}{f} = \frac{50321}{1650} = 30{\cdot}50 \text{ cm}^3$$

तथा

$$Z_{yy} = \frac{M_{yy}}{f} = \frac{5670}{1650} = 3{\cdot}44 \text{ cm}^3$$



I.S. 800 के अनुसार—

पर्लिन की न्यूनतम चौडाई, $B = \dfrac{1}{60} = \dfrac{450}{60} = 7{\cdot}5$ cm

पर्लिन की न्यूनतम गहरायी, $D = \dfrac{L}{45} = \dfrac{450}{45} = 10$ cm

स्टील टेबल से ISLC 150 @ 14·4 kg/m का चयन करने पर—

गुणधर्म निम्न है—चैनल की चौड़ाई = 75 mm, गहरायी = 150 mm, $A = 18{\cdot}36$ cm²

$Z_{xx} = 93$ cm³ $I_{xx} = 697{\cdot}2$ cm⁴

$Z_{yy} = 20{\cdot}2$ cm³ $I_{yy} = 103{\cdot}2$ cm⁴

उपरोक्त खण्ड की जाँच निम्न प्रकार की जायेगी।

**(3) जाँच**—

**(a) प्रतिबलों के लिये**—खण्ड में वास्तविक (अधिकतम) उत्पन्न बंकन प्रतिबल,

$$f_{max} = \frac{M_{xx} \times y}{I_{xx}} + \frac{M_{yy} \times x}{I_{yy}}$$

यहाँ $y = \dfrac{15}{2} = 7{\cdot}50$ cm व $x = \dfrac{7{\cdot}5}{2} = 3{\cdot}75$ cm है

$\therefore$ $f_{max} = \left(\dfrac{50321 \times 7{\cdot}5}{697{\cdot}2}\right) + \left(\dfrac{5670 \times 3{\cdot}75}{103{\cdot}2}\right)$

$= 541{\cdot}32 + 206{\cdot}03$ cm²

$= 747{\cdot}35$ kg/cm² = 74·74 N/mm²

यहाँ 165 N/mm² से कम है, अत: चयनित खण्ड बंकन प्रतिबलों के प्रति सुरक्षित है।

**(b) विक्षेपन के लिये—**

अनुमत (अधिकतम) विक्षेप $= \dfrac{\text{पाट}}{325}$

$= \dfrac{4{\cdot}5 \times 100}{325} = 1{\cdot}39$ cm

$E = 2 \times 10^6$ kg/cm² लेते हुये—

(i) ढाल के लम्बवत् विक्षेप, $\delta_y = \dfrac{5}{384} \times \dfrac{WL^3}{E \cdot I_{xx}}$

$= \dfrac{5}{384} \times \dfrac{1118{\cdot}23 \times (4{\cdot}5 \times 100)^3}{2 \times 10^6 \times 697{\cdot}2}$

$= 0{\cdot}95$ cm

(ii) ढाल के समान्तर विक्षेप, $\delta_x = \dfrac{5}{384} \times \dfrac{WL^3}{E \cdot I_{yy}}$

$= \dfrac{5}{384} \times \dfrac{126 \times (4{\cdot}5 \times 100)^3}{2 \times 10^6 \times 103{\cdot}2}$

$= 0{\cdot}75$ cm

civilguruji.net

अत: अधिकतम विक्षेप $= \sqrt{(\delta_x)^2 + (\delta_y)^2}$

$= \sqrt{(0.73)^2 + (0.95)^2}$

$= \sqrt{(0.5329) + (0.9025)}$

$= 1.20$ cm

यह अनुपात 1.39 cm से कम है, अत: पर्लिन के लिये ISLC 150 @ 14.40 kg/m उपयुक्त रहेगी। उत्तर

**उदाहरण 9.7 : निम्नलिखित आँकड़ों के आधार पर एक छत-कैंची के लिये उपयुक्त एंगल पर्लिन का चयन कीजिये। पाट = 7.5 मी०, पिच = 1/4, कैंचियों की दूरी = 2.5 m, छत-आवरण का भार = 17 kg/m², वायु भार = 120 kg/m² कैंची के पैनलों की संख्या (दोनों ढालों पर) = 4 है।**

**हल :** उपरोक्त आँकड़ो के आधार पर कैंची की आकृति चित्र 9.5 मे दर्शायी गयी है।

कैंची का पाट = 7.5 m

$$\text{पिच} = \frac{1}{4} = \frac{\text{उठान}}{\text{पाट}}$$

$$\therefore \quad \text{उठान} = \frac{\text{पाट}}{4} = \frac{7.5}{4} = 1.875 \text{ m}$$

$$\text{मुख्य राफ्टर की लम्बाई} = \sqrt{\left(\frac{7.5}{2}\right)^2 + (1.875)^2}$$

$= 4.192$ m

कैंचियों की आपसी दूरी = 2.5 m

एक ढाल पर दो पैनल लेते हुये, एक पैनल का माप $= \frac{4.192}{2} = 2.096$ m

$\therefore$ एक पैनल द्वारा आलम्बित क्षेत्रफल $= 1 \times 2.096 \times 2.5$

$= 5.24$ m²

**पर्लिन पर भार**—(अचल भार + वायु भार) का संयोजन करते हुये, क्योंकि यह संयोजन, सामान्यत: (अचल भार + चल भार) से अधिक घातक होता है।

(i) पर्लिन का स्वयम् का भार, 10 kg/m लेने पर $= 1 \times 2.5 \times 10 =$ 25.0 kg

(ii) छत आवरण का भार, 17 kg/m² की दर से $= 5.24 \times 17 =$ 89.0 kg

(iii) वायु भार $= 5.24 \times 120 =$ 628.8 kg

योग **742.8 kg**

सरलता के लिये, उपरोक्त भार को छत-ढाल के लम्बवत् कार्यरत मान लिया जाता है और पर्लिन के लघु अक्ष (Axis YY) पर बंकन छोड़ दिया जाता है।

पर्लिन का पाट = 2.5 m

$$\text{अधिकतम बंकन आघूर्ण (B.M.)} = \frac{WL}{10}$$



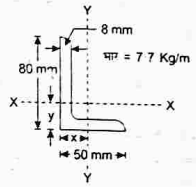
$$= \frac{742.8 \times 2.5}{10} \text{ kg m}$$

$= 185.70$ kg m अथवा 18570 kg cm

$$\therefore \quad \text{आवश्यक परिच्छेद मापांक, } Z = \frac{M}{f}$$

$f = 1650$ kg/cm² लेने पर,

$$Z = \frac{18570}{1650} = 11.25 \text{ cm}^2$$



चित्र 9.16

एंगल पर्लिन के लिये अनुमत परिमाप—

न्यूनतम गहरायी, $\frac{L}{45} = \frac{250}{45} = 5.55$ cm

न्यूनतम चौड़ाई, $\frac{L}{60} = \frac{250}{60} = 4.16$ cm

अत: स्टील टेबल से— $80 \times 50 \times 8$ (mm)

असम भुज एंगल खण्ड के गुणधर्म—

$I_{xx} = 61.90, \quad C_{xx} = 2.73, \quad \bar{Y} = 2.73$

$\therefore \quad y = 8.0 - 2.73 = 5.27$ cm

अत: $$\text{परिच्छेद मापांक, } Z = \frac{I}{y} = \frac{61.90}{5.27}$$

$= 11.74 \text{ cm}^2 > 11.25 \text{ cm}^3$

चौड़ाई = 5.0 cm > 4.16 cm

गहरायी = 8.0 cm > 5.55 cm अत: उपरोक्त खण्ड सुरक्षित है।

टिप्पणी—उपरोक्त खण्ड का परिच्छेद मापांक, आवश्यक परिच्छेद मापांक के लगभग बराबर आता है, अत: अतिरिक्त सुरक्षा के लिये इससे अगला खण्ड माप चयन करें, जो $90 \times 60 \times 8$ (mm) है। इसका परिच्छेद मापांक 15.14 cm³ है।

## § 9.14. इस्पातीय छत-कैंची का अभिकल्पन (Design Procedure of Steel Roof Truss) :

इस्पातीय छत-कैंची के अभिकल्पन के चरण निम्नलिखित है—

(i) कैंची की आकृति का चयन (Selection of Shape of Truss)

(ii) भारो की गणना (Calculations of Loads)

(iii) पर्लिन का अभिकल्पन (Design of Purlin)

(iv) उपरोक्त भारो के लिये कैंची का विश्लेषण (Analysis of Roof Truss for Loads Set-up)

(v) कैंची के अवयवो का अभिकल्पन (Design of Truss Members)

(vi) धारक का अभिकल्पन (Design of Truss Bearings)

**(1) छत कैंची की आकृति का चयन**—चित्र 9.2 मे इस्पातीय कैंचियो की विभिन्न आकृतियाँ दिखायी गयी है। पाट के अनुरूप उपयुक्त कैंची का चयन कर लिया जाता है। जब शेड मे अधिक प्राकृतिक प्रकाश की आवश्यकता हो, उत्तर प्रकाशी कैंची (North Light Truss) या मॉनीटर कैंची (Monitor Truss) अपनायी जा सकती है।

कैंची का पिच 1/6 से 1/12 तक रखा जा सकता है। पर्वतीय क्षेत्रो मे जहाँ बर्फ पड़ती है, कैंची का पिच 1/4 लिया जा सकता है। मैदानी क्षेत्रो मे पिच 1/5 या 1/6 अपनाया जा सकता है।

civilguru.net

कैचियो की आपसी दूरी, पाट का 1/3 से 1/5 रखी जा सकती है। एक के पीछे एक लगी कैचियाँ, दूर से देखने पर, इनके निचला कोर्ड (Tie) कुछ नीचे को झुका जान पड़ता है। इस भ्रम को दूर करने के लिये निचले कोर्ड को उपयुक्त कैम्बर (Camber) देकर, कुछ ऊपर उठा दिया जाता है और मध्य मे झोल-रोधी छड़ (Sag Tie) लगा दी जाती है।

**(2) भारों की गणना**—छत कैचियो पर अचल, चल, वायु तथा हिम भार आते है। हिम भार भारत के केवल कुछ पर्वतीय क्षेत्रो मे लिया जाता है। भारो का सयोजन अनुच्छेद 9.7 मे दिया गया है।

**(3) पर्लिन का अभिकल्पन**—कैचियो की आपसी दूरी तथा भारो का मान निर्धारित होने पर पर्लिन का अभिकल्पन किया जाता है। कम पाट व सामान्य भारो वाली कैची के लिये असम-भूजीय एगल पर्लिन उपयुक्त रहते है। पर्लिन के अभिकल्पन की विधि अनुच्छेद 9.13 मे दी गयी है।

**(4) कैची का विश्लेषण**—कैची का विश्लेषण विभिन्न भारो के लिये किया जाता है। भारो की गणना-पद्धति अनुच्छेद 9.9 से 9.10 मे विस्तार से दी गयी है। ये भार कैची के पैनल-बिन्दुओ (Panel Points) पर आते हुये माने जाते है। कैची के प्रत्येक उपाग मे उपरोक्त भारो से उत्पन्न बलो के मान अलग-अलग (प्रत्येक भार के लिये) ज्ञात किये जाते हैं। यह कार्य आरेख विधि (Graphical Method) से सरल पड़ता है।

बलो को निम्न प्रकार सयुक्त किया जाता है—

(i) अचल भार + चल भार
(ii) अचल भार + वायु भार अथवा भूकम्प भार
(iii) अचल भार + हिम भार

जब हिम भार पर विचार किया जाता है, तब उपरोक्त (i) या (iii) में से जो भी अधिक हो, लिया जाता है।

**(5) उपांगों का अभिकल्पन**—प्रत्येक उपाग मे उत्पन्न अधिकतम तनन अथवा सम्पीडन बल ज्ञात करने के बाद, इसके प्रतिबलो के अनुरूप खण्ड का परिमाप निर्धारित किया जाता है और स्टील टेबल में दिये गये खण्डों के परिच्छेद मापक (2) से तुलना करके, इसके सुरक्षित होने की जाँच की जाती है। अभिकल्पन सम्बन्धी अन्य बातें निम्न है—

(i) सभी अवयव, सिरो पर एक-दूसरे के साथ रिवेट जोड अथवा वेल्डन द्वारा जोड़े जाते हैं। अवयव एक-दूसरे से गसेट प्लेट के माध्यम मे जड़े जाते है। गसेट प्लेट 6 mm अथवा इससे मोटी हो सकती है। न्यूनतम 16 mm $\phi$ के रिवेट प्रयोग किये जाते है।

(ii) सन्तुलन व सममितयता, बनाये रखने के लिये, सामान्यत: कैची के ऊपरी कोर्ड व निचले कोर्ड (मुख्य उपाग) के लिये दो-दो एगल खण्डो का प्रयोग किया जाता है, जो गसेट प्लेट के दोनो तरफ (पीठ से पीठ) एक-एक लगाये जाते है। न्यूनतम एगल $50 \times 50 \times 6$ (mm) लिया जाता है।

(iii) कैची के अन्य उपागो के लिये एकल एगल, चपटी पत्ती आदि का प्रयोग किया जा सकता है।

(iv) जब असम एगल (Unequal Angles) प्रयोग करने हो, तो इनकी बड़ी टाँग गसेट प्लेट के साथ जोड़ी जाती है।

(v) सम्पीडन उपागो की तनुता अनुपात (Slenderness Ratio) के लिये भी जाँच आवश्यक है।

तनन व सम्पीडन अवयवो व जोड़ो की अभिकल्पन विधि इसी पुस्तक मे, सम्बन्धित अध्यायों के अन्तर्गत दी गयी है।

**(6) सिरा-आलम्ब** (End Supports) **का अभिकल्पन**—छत का भार कैची से होता हुआ, इसके दोनो सिरो के नीचे दी गयी दीवारो/स्तम्भो पर अन्तरित होता है। भार को अधिक क्षेत्रफल पर फैलाने के लिये, कैची के सिरों के नीचे धारक प्लेट दी जाती है। कैची को ऊपर उठने (निर्वात के कारण) मे रोकने के लिये, आलम्बो पर एंकर बोल्ट (Anchor Bolt) कंक्रीट मे गाढ़ दिये जाते है, जिन पर धारक प्लेट रखकर नट कस दिये जाते है।

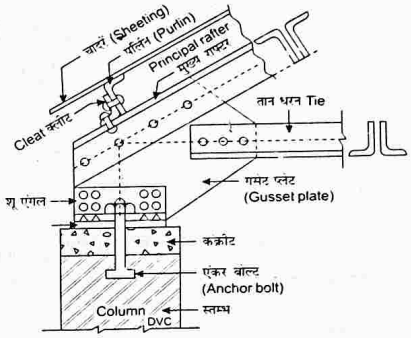
आलम्बो के अन्तर्गत निम्न तत्त्वो का अभिकल्पन आता है—

(i) शू-एगल (Shoe Angle)
(ii) धारक प्लेट (Bearing Plate)
(iii) स्थिरण बोल्ट (Anchor Bolts)



वर्णन निम्न है—

(i) **शू-एंगल**—कैची के मुख्य गर्डर, मुख्य टाई आदि के सिरे गसेट प्लेट के माध्यम मे शू-एंगलो से जोड़े जाते है और शू-एगलो को धारक प्लेट से जोड़ा जाता है। शू-एंगल की खड़ी टाँग गसेट प्लेट से और पड़ी टाँग धारक प्लेट से जोड़ी जाती है। धारक प्लेट को स्तम्भ-शीर्ष पर स्थिर किया जाता है। गसेट प्लेट की दोनो फलकों पर एक-एक शू-एंगल लगाया जाता है। शू-एंगल का माप इतना रखा जाता है कि आवश्यक सख्या मे रिवेट लगाने के लिये पर्याप्त जगह उपलब्ध हो सके। रिवेटो की संख्या आलम्ब पर कार्यरत भार को रिवेट-मान से विभाजित करके ज्ञात की जाती है। शू-एगलो को गसेट प्लेट से जोड़ने के लिये जितने रिवेट लगाये जाते है, उतने ही धारक प्लेट से जोड़ने के लिये लगाने चाहिये। रिवेटो की सख्या बहुत कम आने पर भी, व्यवहारिक दृष्टि से न्यूनतम रिवेट अवश्य लगाने चाहिये।

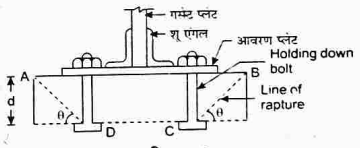


चित्र 9.17

शू-एगलो का न्यूनतम माप $75 \times 50 \times 6$ (mm) लिया जाता है। कैची के सिर-जोड़ की व्यवस्था चित्र 9.17 में दर्शायी गयी है।

(ii) **धारक प्लेट**—कैंची के सिरे पर आने वाले भार और इस्पातीय प्लेट मे अनुज्ञेय धारण प्रतिबलों के आधार पर, धारक प्लेट का परिमाप ज्ञात किया जाता है। धारक प्लेट की मोटाई बंकन प्रतिबलो के आधार पर निर्धारित की जाती है।

(iii) **एंकर बोल्ट**—वायु दाब के कारण उत्पन्न निर्वात के फलस्वरूप कैची के आलम्बो से ऊपर उठने (उखड़ने) की सम्भावना बन जाती है। इसे रोकने के लिये आलम्ब शीर्ष पर एंकर-बोल्ट दिये जाते हैं, जो धारक प्लेट से कस दिये जाते हैं।



चित्र 9.18

बोल्टो का व्यास निर्वात बल से उत्पन्न प्रतिबलों के आधार पर और बोल्टो की लम्बाई (कंक्रीट पिण्ड में दबायी गयी), कंक्रीट के अधिलाग प्रतिबलों के आधार पर ज्ञात की जाती है। बोल्ट की गहरायी '$d$' निम्न समीकरण से ज्ञात की जाती है (चित्र 9.18)।

वायु भार की प्रतिक्रिया = कंक्रीट/चिनाई $ABCD$ का भार

चित्र मे $\theta$ भार के संचरण की दिशा का क्षैतिज कोण होता है।

**(7) कैची के उपांगों के न्यूनतम माप**—

एंगल = $50 \times 30 \times 6$ (mm) अथवा $50 \times 50 \times 5$ (mm)

फ्लेट = $50 \times 6$ (mm)

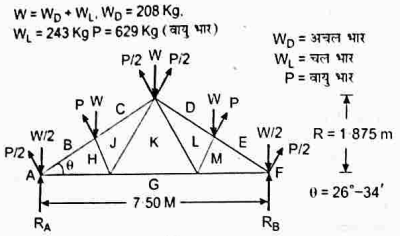
छड़ = 16 mm $\phi$

गसेट प्लेट = 6 mm

मोटाई रिवेट = 16 mm $\phi$, न्यूनतम दो नग

अधिकतम तनुता अनुपात = 180

**उदाहरण 9.8 : चित्र 9.19 में दर्शायी गयी एक कैंची के अवयवों के लिये अभिकल्प भार (Design Loads) ज्ञात कीजिये। कैंची की छत उत्तर प्रदेश के मैदानी क्षेत्र में बनायी जायेगी। वायु भार की गणना सामान्य पारगम्यता के लिये करें।**




चित्र 9.19

**हल :** क्योंकि उत्तर प्रदेश के मैदानी क्षेत्रो मे हिमपात नही होता है, अत: उपरोक्त छत कैंची के लिये निम्न भारो की गणना की जायेगी।

(i) अचल भार, (ii) चल भार तथा (iii) वायु भार

अभिकल्पन के लिये भारो का संयोजन इस प्रकार किया जायेगा।

(a) अचल भार + चल भार अथवा (b) अचल भार + वायु भार।

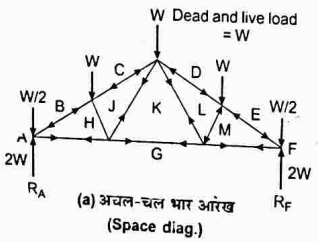
**भार—** (i) कैंची के लिये अचल भार की गणना उदाहरण 9.1 मे की गयी है। उसके अनुसार प्रत्येक पैनल बिन्दु पर अचल भार $W_D = 208$ kg और आलम्बो पर 104 kg है (चित्र 9.6)।

(ii) कैंची के लिये चल भार की गणना उदाहरण 9.2 मे की गयी है। उसके अनुसार प्रत्येक पैनल बिन्दु पर भार $W_L = 243$ kg और आलम्बो पर 121·5 kg है (चित्र 9.7)।

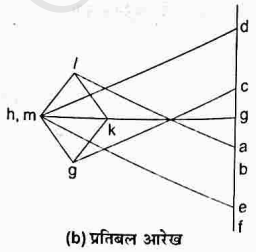
(iii) कैंची के लिये वायुभार की गणना उदाहरण 9.4 मे की गयी है। उसके अनुसार मुख्य पैनल बिन्दुओं पर $P = 629$ kg (छत की ढाल के लम्बवत् व ऊपर को कार्यरत) और आलम्बो पर 314·5 kg आयेगा।

कैंची के पैनल बिन्दुओ पर इकाई भार $W$ के कारण, विभिन्न अवयवो मे उत्पन्न प्रतिबलो के गुणांक (Coefficients) व प्रकृति प्रतिबल आरेख (चित्र 9.20) द्वारा ज्ञात करके प्रतिबल तालिका (पृष्ठ 277) मे दिये गये है।

क्योंकि अचल भार व चल भार की कार्यरत दिशा समान (ऊर्ध्वाधर) है, अत: इन भारो के लिये एक ही प्रतिबल आरेख खीचा जा सकता है। अचल व चल भारो के प्रतिबल आरेख के लिये, पैनल बिन्दुओं पर भार $W$ माना गया है और कैंची के सिरा-बिन्दुओं (आलम्बो पर) $\frac{W}{2}$ लिया गया है।




(a) अचल-चल भार आरेख
(Space diag.)




(b) प्रतिबल आरेख
(Stress diag.)

चित्र 9.20



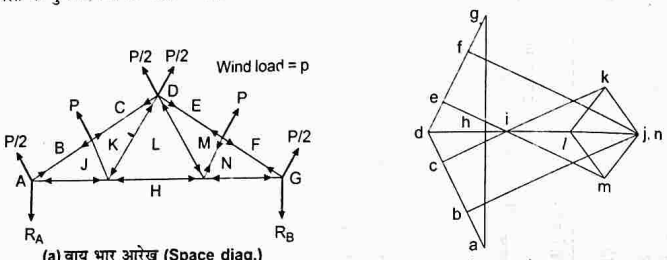
**तालिका 9.7 : प्रतिबल चार्ट (STRESS CHART)**
(चित्र 9.19 में दर्शित कैंची के लिये प्रतिबलो का संयोजन)

तनन (+)
संपीडन (–)

| उपांग की प्रकार | उपांग का नाम | इकाई भार $W$ के लिये अचल भार ($W_D$) व चल भार ($W_L$) के गुणांक (प्रतिबल आरेख से) | वायु भार के लिये गुणांक $P$ (प्रतिबल आरेख से) | मूल मान (kg) | | | प्रतिबलों का संयोजन | | अभिकल्प भार | उपांग की लम्बाई |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | अचल भार $W_D = 208$ kg | चल भार $W_L = 243$ kg | वायु भार $P = 629$ kg | अचल + चल ($W_D + W_L$) Kg | अचल + वायु ($W_D + P$) Kg | Kg | (मी० में) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| शीर्ष कोर्ड (Top Chord) | *AC, BD* | – 3·35 *W* | + 2·75 *P* | – 697 | – 815 | + 1730 | – 1512 | + 1033 | – 1512 व + 1417 | 2·10 |
| | *CO, DO* | – 2·80 *W* | + 2·75 *P* | – 583 | – 681 | + 1730 | – 1264 | + 1147 | | |
| सम्पीडांग (Strut) | *CE, DF* | – 0·85 *W* | + 0·9 *P* | – 177 | – 207 | + 566 | – 384 | + 389 | – 384 व + 389 | 1·13 |
| तली कोर्ड (Bottom Chord) | *AE, BF* | + 3·0 *W* | – 2·2 *P* | + 624 | + 729 | – 1384 | + 1353 | – 760 | – 760 व + 1353 | 2·50 |
| | *EE* | + 2·0 *W* | – 1·25 *P* | + 416 | + 486 | – 786 | + 902 | – 370 | | |
| तनाग (Tie) | *OE, OF* | + 0·85 *W* | – 0·9 *P* | + 177 | + 207 | – 566 | + 384 | – 389 | – 389 व + 384 | 2·25 |

**नोट—** उपांगों की लम्बाई व उनमें उत्पन्न अधिकतम प्रतिबल, उपरोक्त चार्ट से ज्ञात होने पर, उनका अभिकल्पन अध्याय 5 (तनांग) व 6 (संपीडांग) मे दी गयी पद्धति के अनुसार किया जाता है।

चूंकि वायु भार की दिशा कैंची ढाल के लम्बवत है और ऊपर को कार्यरत (निर्वात) है, अत: इसके लिये प्रतिबल आरेख अलग से बनाया जायेगा। वायु भार के लिये प्रतिबल आरेख चित्र 9.21 में तथा विभिन्न उपागो मे वायु भार के कारण उत्पन्न प्रतिबलो के गुणाक, प्रतिबल तालिका (पृष्ठ 277) मे $P$ के अनुपात मे दिये गये है।




(a) वायु भार आरेख (Space diag.) (b) प्रतिबल आरेख (Stress diag.)

चित्र 9.21

उपरोक्त प्रतिबल आरेखों में प्रत्येक अवयव में अचल भार, चल भार तथा वायु भार के कारण उत्पन्न प्रतिबलो के मान तालिका के रूप में (Stress Chart), अनुच्छेद 9.14 के अनुसार संयुक्त करके अंकित किये गये है।

अवयवो के नाम चित्र 9.20 के अनुसार लिये गये है।

प्रतिबल तालिका भरने के लिये संकेत—

कॉलम 3 व 4 प्रतिबल आरेख से भरें

कॉलम 5 = कॉलम 3 × $W_D$
कॉलम 6 = कॉलम 3 × $W_L$
कॉलम 7 = कॉलम 4 × $P$
कॉलम 8 = कॉलम 5 + कॉलम 6
कॉलम 9 = कॉलम 5 + कॉलम 7

## § 9.15. नलिकाकार कैंचियाँ (Tubular Trusses) :

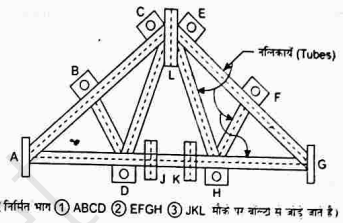
कैंचियों के लिये अब नलिकाकार खण्डो (Tubular Sections) का उपयोग भी बड़ी तेजी से होने लगा है। नलिकाकार कैंचियां भार मे हल्की और देखने मे आकर्षक लगती है। क्योंकि ट्यूब का सतही क्षेत्रफल (Surfaces Area), इसके समतुल्य भार के अन्य इस्पातीय खण्डो से 30 से 40 प्रतिशत् कम होता है, अत: इसका अनुरक्षण व्यय भी कम होता है।

पहले नलिकाकार कैंचियो का उत्पाद इसलिये कम था, क्योंकि इसके जोड़ बनाने मे दिक्कत आती थी, परन्तु अब स्वचालित आक्सी-ऐसेटिलीन ट्यूब कर्तन मशीन (Oxy-acetylene Tube Cutting Machine) के विकास से यह कार्य सरल हो गया है। इस्पातीय नलिकाये 15 mm से 225 mm व्यास में बनायी जाती हैं और उत्पादन की दृष्टि से निम्न प्रकार की होती हैं—

(i) HFW (Hot Finished Welded) Tubes.
(ii) HFS (Hot Finished Seamless) Tubes.
(iii) ERW (Electric Resistance Butt-Welded) Tubes.

संरचनाओ मे ट्यूब के प्रयोग की विशिष्टियाँ I.S : 806–1957 में दी गयी है। नलिकाकार कैंची का स्वरूप चित्र 9.22 में दर्शाया गया है।






चित्र 9.22—नलिकाकार कैंची

## § 9.16. नलिकाकार कैंची का अभिकल्पन (Design of Tubular Truss) :

ट्यूबलर कैंची पर चल, व वायु भार की गणनाये सामान्य कैंची-छत की भांति ही की जाती है और प्रत्येक उपांग मे सम्पीडन/तनन बल ज्ञात किये जाते हैं। उपांगो के अभिकल्पन की विधि निम्न है—

**(a) सम्पीडांग (Compression Member) का अभिकल्पन—**

(i) अवयव पर कार्यरत भार, $P$ kg तथा लम्बाई, $L$ मी० ज्ञात है। दे रखी है।

(ii) सम्पीडन प्रतिबल, $f_c = 800$ kg/cm$^2$ (80 N/mm$^2$) मान ले।

(iii) नलिका के परिच्छेद का क्षेत्रफल, $A = \frac{P}{f_c}$ होगा।

(iv) नलिका सारणी से उपरोक्त क्षेत्रफल के लिये उपयुक्त व्यास वाली नलिका का चयन करें और नलिका की मोटाई, $t$ व परिभ्रमण त्रिज्या, $r$ (Radius of Gyration) के मान पढ़ ले।

(v) अवयव की प्रभावी लम्बाई, $l = 0{\cdot}80\,L$ लें (I.S. 800-1984)।

(vi) तनुता अनुपात (Slenderness Ratio), $k = \frac{l}{r}$ ज्ञात करें।

(यह मान 180 से कम होना चाहिये)।

(vii) तनुता अनुपात सारणी (I.S. 800–1984) से $k$ के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल $f_c$ पढ़ें।

(viii) अत: सम्पीडांग की भार वहन क्षमता, $P_c = A \times f_c$. यह भार उपरोक्त भार $P$ से अधिक होना चाहिये।

**(b) तानांग (Tension Member) का अभिकल्पन—**

(i) ज्ञात है—अवयव पर कार्यरत भार = $T$ kg

(ii) अनुज्ञेय अक्षीय तनन प्रतिबल, $f_t = 1500$ kg/cm$^2$ (150 N/mm$^2$) मान लें।

(iii) क्योकि कैंची के जोड़ वेल्डित है, अत:—

नलिका का शुद्ध (Net) क्षेत्रफल = नलिका का सकल (Gross) क्षेत्रफल।

$\therefore$ शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल, $A = \frac{T}{f_t}$ cm$^2$

(iv) उपरोक्त क्षेत्रफल के लिये नलिका-सारणी से उपयुक्त माप का चयन करे।

**उदाहरण 9.9 : एक नलिकाकार छत कैंची के (सतत) पर्लिन की लम्बाई 2·50 मी० है। पर्लिन पर 745 kg का भार पड़ रहा है। पर्लिन के लिये उपयुक्त नलिकाकार खण्ड (Tubular Section) का चयन करें। बंकन में $f_{bc}$ = 165 N/mm$^2$ मान लें।**

**हल :** पर्लिन पर कुल भार = 745 kg अथवा 7450 N

पर्लिन की लम्बाई $L = 2{\cdot}5$ m

अधिकतम बंकन आघूर्ण, B.M. $= \dfrac{WL}{10}$

$= \dfrac{7450 \times 2{\cdot}5 \times 1000}{10}$

$= 18625 \times 10^2$ N/mm.

अनुज्ञेय प्रतिबल, $f_{bc} = 165$ N/mm$^2$

$\therefore \quad Z = \dfrac{M}{f_{bc}} = \dfrac{18625 \times 100}{165}$

$= 11288$ mm$^3$ $= 11{\cdot}29$ cm$^3$

नलिका-खण्ड सारणी से—

नलिका का भीतरी व्यास = 65 mm

बाहरी व्यास = 76·1 mm

$Z = 12{\cdot}8$ cm$^3$

भार = 5·8 kg/m. उत्तर

**उदाहरण 9.10 : छत-कैंची के एक अवयव की लम्बाई 2·10 मी० है। इस पर अधिकतम सम्पीडन भार 1512 kg और अधिकतम तनन भार 1147 kg आ रहा है। अवयव के लिये नलिकाकार खण्ड का अभिकल्पन कीजिये। $\sigma_{sc} = 80$ N/ mm$^2$ व $\sigma_{st} = 150$ N/mm$^2$ मान ले।**

**हल : (a) अवयव का सम्पीडांग के तौर पर अभिकल्पन—**

लम्बाई, $L = 2{\cdot}10$ m अथवा 2100 mm

अधिकतम सम्पीडन भार = 1512 kg अथवा 15120 N

अनुमत प्रतिबल, $\sigma_{sc} = 80$ N/mm$^2$

परिच्छेद का आवश्यक क्षेत्रफल, $A = \dfrac{W}{\sigma_{sc}} = \dfrac{15120}{80} = 189$ mm$^2$

अथवा $= 1{\cdot}89$ cm$^2$

अत: 32 mm भीतरी नामन व्यास की हल्की प्रकार की नलिका का चयन करते हुये—

बाहरी व्यास = 42·4 mm

$Z = 3{\cdot}05$ cm$^3$

$r = 1{\cdot}41$ cm

परिच्छेद क्षेत्रफल, $A = 3{\cdot}25$ cm$^2$

अवयव की प्रभावी लम्बाई, $l = 0{\cdot}8\,L$ [I.S.: 800-1984]

तनुता अनुपात, $k = \dfrac{l}{r}$

$= \dfrac{0{\cdot}8 \times 2{\cdot}10 \times 100}{1{\cdot}41}$

$= 119{\cdot}15$ यह 180 से कम है।



इस तनुता अनुपात के लिये, अनुमत प्रतिबल (तालिका 6.3)—

$l/r$ 110 के लिये — 720 kg/cm$^2$

$l/r$ 120 के लिये — 640 kg/cm$^2$

10 के अन्तर के लिये (–) 80 kg/cm$^2$

$l/r$ 119·15 का मान अन्तर्वेशन द्वारा $= 720 - \left[\dfrac{80}{10} \times 9{\cdot}15\right]$

$= 720 - 73{\cdot}2$

$= 646{\cdot}8$ kg/cm$^2$

अवयव की सम्पीडन भार दक्षता, $P = 3{\cdot}25 \times 646{\cdot}8 = 2102$ kg

यह 1512 kg से बहुत अधिक है, अत: खण्ड सुरक्षित है।

**(b) अवयव की तानांग (Tension Memeber) के रूप में जांच—**

कुल तनन बल, $T = 1147$ kg अथवा 11470 N

अनुमत तनन प्रतिबल, $\sigma_{st} = 1500$ kg/cm$^2$ (150 N/m.m$^2$)

क्योंकि जोड़ो के लिये वेल्डिन अपनायी जाती है, अत:

नलिका का शुद्ध (Net) क्षेत्रफल = नलिका का सकल (Gross) क्षेत्रफल

$A = \dfrac{T}{\sigma_{st}}$ अथवा $T = A \times \sigma_{sc}$

यहाँ $A = 3{\cdot}25$ cm$^2$ (पूर्व ज्ञात किया गया है)

तनांग की तनन क्षमता, $T = 3{\cdot}25 \times 1500 = 4875$ kg

यह मान 1147 kg से अधिक है, अत: अवयव तनन में भी सुरक्षित हैं। उत्तर

## अभ्यास प्रश्न-9

1. (i) कैंची (Truss) किसे कहते है? इसकी मूल आकृति कैसी होती है, लिखिये।
   (ii) पूर्ण ढाँचा तथा अपूर्ण ढाँचा मे क्या भेद है? बताइये।
2. निम्नलिखित की परिभाषा दे—
   पिच, किंगपोस्ट, रिज, पर्लिन, क्लीट।
3. ढालू छतो पर प्रयोग होने वाले मुख्य छत-आवरण पर प्रकाश डालें।
4. 6 मी० पाट के लिये एक कैंची की आकृति सुझाये। कैंची का पिच (Pitch) 1/4 मान ले।
5. कैंची के पिच व उठान मे सम्बन्ध स्पष्ट करें।
6. छत कैंची पर कौन-कौन भार कार्य करते है, उनके नाम दे।
7. ढ़ालू छत पर पड़ने वाले भारो का व्यवहारिक संयोजन लिखिये।
8. अचल भार मे कौन-कौन भार सम्मिलित होते है लिखिये।
9. ढालू छतो पर चल भार की किस आधार पर गणना की जाती है, बताइये।
10. एक कैंची की ढाल 30° है। छत पर जाने का प्रावधान नही है। कैंची पर चल भार की गणना करे।
11. ढालू छतो पर किन-किन दिशाओ से पवन आती हुयी अनुमानित की जाती है, लिखिये।
12. निम्नलिखित दिशाओ मे वायु दाब का मान क्या होगा, यदि छत की ढाल 26·6° है—

civilguru.net

(i) रिज की अभिलम्ब दिशा में,

(ii) रिज की समान्तर दिशा में।

13. लखनऊ नगर में स्थित एक कर्मशाला शेड के लिये वायु भार ज्ञात करें। कैंची का पाट 10 मी० और पिच 1/4 है। भूमितल से छत की औसत ऊँचाई 10 मी० मान लें। मूल वायु दाब का मान 150 kg/m$^2$ है भवन की पारगम्यता सामान्य लें।

14. उत्तर प्रदेश के मैदानी क्षेत्र में स्थित एक कैंची का पाट 12 मी० है और पिच 1/5 है। भूमितल से कैंची की औसत ऊँचाई 10 मी० है। मूल वायुदाब, $p$ =150 kg/m$^2$ लेते हुये, छत-कैंची पर वायु भार ज्ञात करें। भवन समान्य पारगम्यता का है।

15. निम्न आँकड़ों के आधार पर छत-कैंची के पर्लिन का माप ज्ञात करें—

(i) पर्लिन का पाट = 2·5 m

(ii) दो पर्लिनों के मध्य दूरी = 1·5 m

(iii) कैंची की ढाल = 26·6

(iv) छत आवरण का भार = 20 kg/m$^2$

(v) अभिलम्ब वायु दाब 120 kg/m$^2$

16. छत कैंची के एक अवयव की लम्बाई 2·50 मी० है। इस पर अधिकतम सम्पीडन भार 1600 kg और अधिकतम तनन बल 1200 kg आ रहे है। अवयव के लिये नलिकाकार खण्ड का अभिकल्पन करें। $\sigma_{sc}$ = 80 N/mm$^2$ व $\sigma_{st}$ = 150 N/mm$^2$ मान लें।

17. एक इस्पातीय छत-कैंची के लिये एक चैनल ISMC 300 @ 35·8 kg/m का प्रयोग किया गया है। कैंची की ढाल 30° वाली है। पर्लिन पर 1000 × 10$^4$ N.mm का बंकन आघूर्ण लग रहा है, जो ऊर्ध्वाधर समतल पर कार्य कर रहा है। पर्लिन का अधिकतम प्रतिबल ज्ञात कीजिये।

(संकेत—ISMC 300 के गुणधर्म—
$D$ = 300 mm, $b$ = 90 mm, $A$ = 45·64 cm$^2$,
$I_{xx}$ = 6362·6 cm$^4$, $I_{yy}$ = 310·8 cm$^4$,
$Z_{xx}$ = 424·2 cm$^3$, $Z_{yy}$ = 46·8 cm$^3$).

भाग-2

# चिनाई तथा प्रकाष्ठ संरचनायें

## (MASONRY AND TIMBER STRUCTURES)



civilguru.net

भाग-2

# चिनाई तथा प्रकाष्ठ संरचनायें

# (MASONRY AND TIMBER STRUCTURES)

civiguru.net

# 10 चिनाई संरचनायें एवं नींव (MASONRY STRUCTURES AND FOUNDATIONS)

## § 10.1. परिचय (Introduction) :

ईंट, पत्थरों, कंक्रीट-ब्लॉकों से चिनकर खड़ी की गयी रचना, चिनाई संरचना कहलाती है। चिनाई संरचनाओं में मुख्यत: दीवारें (walls), स्तम्भ (columns), चिमनी (chimney), पुल-पुलिया (bridges), बाँध (dams) तथा प्रतिधारक दीवारें (retaining walls) सम्मिलित हैं। इस अध्याय में इन संरचनाओं के (उन पर आ रहे भारों के परिणामों के संदर्भ में) स्थायित्व (stability) पर विचार किया गया है।

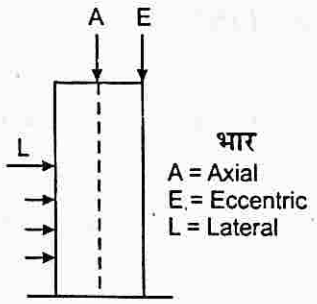
## § 10.2. संरचनाओं पर भार (Loads on Structures) :

संरचनाओं पर, इनके स्वयं के भार के अतिरिक्त पवन, मृदा-भराव अथवा जल का भार आता है। संरचनाओं पर आने वाले भारों को उनकी क्रिया रेखा (line of action) तथा संरचना के अक्ष की स्थिति के अनुसार निम्न प्रकार वर्गीकृत किया गया है (चित्र 10.1)—

(i) अक्षीय भार (Axial load),

(ii) उत्केन्द्रित भार (Eccentric load),

(iii) पार्श्व भार (Lateral load)।



चित्र 10.2

(i) **अक्षीय भार**—वह भार है जिसकी क्रिया रेखा तथा वह संरचना (या उसका उपांग) जिस पर वह लगा हो, के अक्ष की स्थिति एक होती है।

(ii) **उत्केन्द्रित भार**—वह भार है जिसकी क्रिया रेखा, संरचना (या संरचना का उपांग) जिस पर वह लगा हो, के अक्ष के समानान्तर यद्यपि उससे अलग होती है। भार की क्रिया रेखा तथा संरचना (या संरचना का उपांग) जिस पर वह लगा हो, के अक्ष के बीच लम्बवत् दूरी को **उत्केन्द्रिता** (eccentricity) कहा जाता है।

(iii) **पार्श्व भार**—यह भार संरचनाओं के पार्श्व तलों पर आता है। अध्याय 1 की अनुच्छेद 1.7 में अक्षीय भार, उत्केन्द्रित भार तथा उत्केन्द्रिता के परिणामों के बारे में चर्चा की गयी है। इस अध्याय में पार्श्व भार (lateral load) तथा उनके परिणामों के बारे में अध्ययन किया जायेगा।

## (I) प्रतिधारक दीवारें तथा मृदा दाब (Retaining Walls and Earth Pressure)

## § 10.3. पार्श्व भार (Lateral Loads) :

किसी संरचना के पार्श्व सतहों पर भार निम्न कारणों से आ सकता है—

(i) मृदा भराव का दाब (Soil pressure),

(ii) जल भराव का दाब (Water pressure),

(iii) पवन दाब (Wind pressure)।

मृदा (soil) या ऐसे ही अन्य पदार्थों के भराव को रोके रखने वाली दीवार को प्रतिधारक दीवार (retaining wall) कहा जाता है। संचयित जल (stored water) को रोकने वाली दीवार को बाँध (dam) कहते है। कल-कारखानों में बनी चिमनियों (chimney) या ऊँची दीवारों (जैसे दुर्ग की दीवार) पर पवन दाब आता है। इन दाबों का संरचनाओं के संदर्भ में विश्लेषण अगले अनुच्छेदों में किया जा रहा है।

## § 10.4. परिभाषायें (Definitions) :

(1) **प्रतिधारक दीवार** (Retaining Wall)—प्रतिधारक दीवार ऐसी दीवार को कहते है, जो निर्माण के बाद, अपने पीछे भरी गई मृदा अथवा ऐसे ही अन्य किसी ढीले पदार्थ के भराव को रोके रखती है। उपरोक्त भराव के कारण प्रतिधारक दीवार के भराव वाली फलक पर मृदा दाब आता है। इसके कारण दीवार की पलटने की (overtuning) प्रवृत्ति होती है। इसका प्रतिरोध दीवार अपने स्वयं के भार द्वारा करती है।

(2) **पृष्ठ भराव** (Back filling)—किसी दीवार द्वारा रोका गया भराव जो दीवार के निर्माण के बाद दीवार तथा प्राकृतिक भूमि के बीच के स्थान मे भरा जाता है।

(3) **मृदा दाब** (Earth pressure)—दीवार के पीछे रोके गये मृदा भराव के द्वारा दीवार पर आने वाले दाब को मृदा दाब कहा जाता है।

(4) **सक्रिय मृदा दाब** (Active Earth Pressure)—दीवार के **पीछे** भरे गये मृदा भराव द्वारा दीवार पर आने वाले पार्श्व दाब को सक्रिय मृदा दाब कहा जाता है।

(5) **प्रतिघाती मृदा दाब** (Passive Earth pressure)—दीवार के **आगे** स्थित मृदा के पार्श्व प्रतिरोध (lateral resistance) को प्रतिघाती मृदा दाब कहा जाता है।

(6) **विश्राम कोण** (Angle of Repose)—किसी खुले स्थान पर डाली गयी मृदा के ढेर द्वारा बनी स्थिर ढाल जिसमे नीचे की ओर फिसलने की प्रवृत्ति शेष न हो तथा क्षैतिज समतल के बीच बनने वाले कोण को विश्राम कोण कहा जाता है। प्राय: इसे $\phi$ से प्रदर्शित किया जाता है। यदि मिट्टी, बालू या ऐसे ही पदार्थ को कुछ समय के लिये खुले स्थान पर मुक्त छोड़ दिया जाये तो उसकी सतह पर फिसलन (slipping) होगी, जो धीरे-धीरे एक स्थिर ढाल में परिवर्तित हो जायेगी। इस स्थिति मे यह ढाल तथा क्षैतिज समतल के बीच का कोण, विश्राम कोण कहलाता है। घनी या ठोस (dense) मृदा के लिये विश्राम कोण लगभग 35° मे 46° के मध्य होता है, जबकि ढीली या शिथिल (loose) मृदा क लिये यह कोण 28° से 35° के बीच होता है।

(7) **अधिभार** (Surcharge)—प्रतिधारक दीवार के पीछे भराव में स्थित पदार्थ का वह भाग अथवा भार जो दीवार के शिखर तल के ऊपर आलम्बित हो, को अधिभार (surcharge) कहा जाता है। अधिभार का कोण, भराव (मृदा) के विश्राम कोण से **अधिक** नही हो सकता है।

## § 10.5. मृदा दाब (Earth Pressure) :

मृदा दाब की गणना हेतु निम्न सिद्धान्तो का उपयोग किया जा सकता है—

(i) कूलॉम का सिद्धान्त (Coulomb's theory),

(ii) रैंकिन का सिद्धान्त (Rankine's theory)।

**(1) कूलॉम का सिद्धान्त** (Coulomb's Theory)—इस सिद्धान्त में यह मानते हुये मृदा दाब की गणना की जाती है कि दीवार तथा उसके पीछे स्थित (अधिभार रहित) भराव मे विदरण समतल (plane of rupture) के ऊपर मृदा के स्फान (wedge) मे स्थित मृदा की दीवार की ओर फिसलन (slipping) के कारण दीवार पर प्रणोद (thrust) आता है, जिसका दीवार द्वारा प्रतिरोध किया जाता है। इस सिद्धान्त मे दीवार पर आ रहे प्रणोद की दिशा निर्धारित नही होती है, यद्यपि इसे दीवार के आधार (base) के ऊपर, 1/3 ऊँचाई पर क्षैतिज माना जाता है।

**(2) रैंकिन का सिद्धान्त** (Rankine's Theory)—इस सिद्धान्त में मृदा दाब की गणना के निम्न आधार है—

(i) मृदा के कण दानेदार अथवा रवेदार है तथा समंजन (cohesion) से मुक्त हैं, यद्यपि घर्षण (friction) के कारण अपने स्थान पर बने रहते है।

(ii) मृदा भराव असीमित (unlimited) है।

(iii) मृदा भराव मे किसी समतल पर दाब सर्पण (slipping) के बिना उस समतल पर लम्ब से विश्राम कोण से अधिक नत नही हो सकता।



यदि $w$ = मृदा का घनत्व (kN/m$^3$)

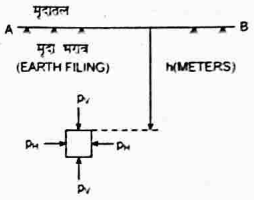
$h$ = गहराई (meters)

$p_V$ = मृदा का ऊर्ध्वाधर दाब (kN/m$^2$)

$p_H$ = संबद्ध क्षैतिज दाब (kN/m$^2$)

$\phi$ = विश्राम कोण

चित्र 10.2 मे मृदा भराव मे मृदा तल ($AB$) के नीचे "$h$" मीटर गहराई पर मृदा का एक अल्पांश (element) दिखाया गया है। रैंकिन सिद्धान्त के अनुसार, इस अल्पांश पर आ रहे दाब $p_V$ तथा $p_H$ में निम्न सम्बन्ध है—



चित्र 10.2

$$\frac{p_H}{p_V} = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$$

अथवा $$p_H = p_V \times \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$$

यहाँ $p_V = w.h$

अत: मृदा तल से "$h$" गहराई पर क्षैतिज दाब

$$p_H = w.h.\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} \qquad ...(10.1)$$

(इन सिद्धान्तों के विस्तार से अध्ययन हेतु पाठक सम्बद्ध विषय की डिग्री स्तर की पाठ्य पुस्तक देखें)

## § 10.6. समलम्बाकार प्रतिधारक दीवार (Trapezoidal Retaining Wall)

स्थिरता की दृष्टि से सामान्यत: प्रतिधारक दीवार का खण्ड समलम्बाकार रखा जाता है। चित्र 10.3 में यह खण्ड दिखाया गया है। इस चित्र के अनुसार यदि—

$a$ = दीवार की शिखर चौड़ाई, मी० में

$b$ = दीवार की आधार चौड़ाई, मी० मे

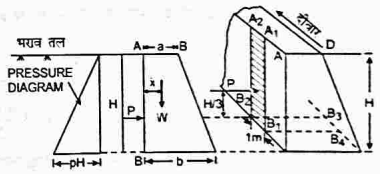
$H$ = दीवार की ऊँचाई, मी० मे

$h$ = मृदा भराव की ऊँचाई, मी० मे

$w$ = मृदा का घनत्व (kN/m$^3$)

$\rho$ = चिनाई का घनत्व (kN/m$^3$)

$\phi$ = मृदा का विश्राम कोण



चित्र 10.3

$P$ = दीवार की एक मीटर लम्बाई के लिये ऊर्ध्वाधर पृष्ठ ($A_1B_1B_2A_2$) पर कुल मृदा दाब (kN)

$W$ = एक मीटर लम्बाई के लिये दीवार का स्वयं का भार (kN)

$\bar{x}$ = स्वयंभार ($W$) की क्रिया रेखा की मृदाफलक $AB$ से लम्बवत् दूरी।

दीवार की एक मीटर लम्बाई के लिये पिछली धारा मे हमने देखा कि मृदातल से "$h$" गहराई पर मृदा का क्षैतिज दाब

$$p_H = w.h.\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right) \qquad ...(\text{रैंकिन सूत्र})$$

मृदातल पर दाब = शून्य (यहाँ $h = 0$)

यहाँ मृदा भराव की ऊँचाई तथा दीवार की ऊँचाई समान है। अन्य शब्दो मे $h = H$

अत: धारा 10.5 (2) के अनुसार—

दीवार के शिखर तल पर ($h = 0$) दाब की तीव्रता = शून्य

तथा दीवार के आधार तल पर ($h = H$) दाब की तीव्रता = $wH\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$ ($h = H$ रखने पर)

अत: दीवार के शिखर से आधार तक दाब की तीव्रता शून्य से $\left(wH\times\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$ तक परिवर्तित होती है जैसा दाब आरेख (pressure diagram) मे दिखाया गया है। दीवार की एक मीटर लम्बाई को विचार मे लेने पर ऊर्ध्वाधर पृष्ठ ($A_1B_1B_2A_2$) पर क्षैतिज दाब (चित्र 10.3 देखे)

$P$ = पृष्ठ का क्षेत्रफल × औसत दाब

$$= \text{क्षेत्रफल}\ A_1A_2B_2B_1\times\frac{1}{2}(0+p_H)$$

$$= (1\times H)\times\left\{\frac{1}{2}\left(0+wH\times\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)\right\}$$

यहाँ $AB = A_1B_1 = A_2B_2 = H$

$$\therefore\quad P = \frac{wH^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)\text{kN} \qquad ...(10.2)$$

इसकी क्रिया रेखा (Line of action) आधार से $\frac{H}{3}$ ऊँचाई पर होगी। अत: यह आधार से $\frac{H}{3}$ ऊँचाई पर कार्य करेगा। (चित्र 10.3) देखे।

**10.6-1. क्षैतिज दाब का परिणाम**—दीवार पर आ रहे क्षैतिज दाब ($P$) की प्रवृत्ति दीवार को पलटने (Overtuning) की होगी। इसका प्रतिरोध दीवार के स्वयं के भार ($W$) द्वारा किया जायेगा।

दीवार का स्वयं का भार = घनत्व × (आयतन)

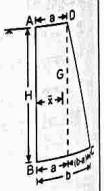
$$W = \rho\times\left(\frac{a+b}{2}\right)\times H\times 1\text{ kN}$$

$$\therefore\quad W = \rho\times\left(\frac{a+b}{2}\right)\times H\text{ kN} \qquad ...(10.3)$$

यह ऊर्ध्वाधर (Vertical) होगा तथा इसकी क्रिया-रेखा खण्ड के गुरुत्व केन्द्र से गुजरेगी। चित्र (10.4) के अनुसार यदि—

$\bar{x}$ = खण्ड के गुरुत्व केन्द्र की मृदा फलक $AB$ से लम्बवत् दूरी। तब चित्र के अनुसार खण्ड को आयताकार व त्रिभुजाकार क्षेत्रफलो मे विभाजित कर बिन्दु $B$ का आघूर्ण लेते हुए—

$$\left[(aH)\times\frac{a}{2}\right]+(b-a)\times\frac{H}{2}\times\left(a+\frac{b-a}{3}\right) = \bar{x}\times\left(\frac{a+b}{2}\right)\times H$$



चित्र 10.4

अथवा

$$(a+b)\bar{x} = a^2+(b-a)\left(a+\frac{b-a}{3}\right)$$

$$= a^2+(b-a)\,a+(b-a)\left(\frac{b-a}{3}\right)$$

$$= a^2+ab-a^2+\frac{b^2+a^2-2ab}{3}$$

$$= \frac{3ab+a^2+b^2-2ab}{3}$$



अथवा

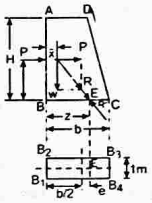
$$\bar{x} = \frac{a^2+ab+b^2}{3(a+b)} \qquad ...(10.4)$$

चित्र 10.5 मे दीवार पर आ रहे भारो को दिखाया गया है।

$P$ = दीवार की 1 मीटर लम्बाई पर क्षैतिज भार

$W$ = दीवार की 1 मीटर लम्बाई का अपना भार

इन दोनो भारो का परिणामी भार '$R$' दीवार के आधार पर बिन्दु '$E$' मे प्रतिच्छेदित करता है। वहाँ पर $R'$ भूमि प्रतिक्रिया होगी जो परिणामी भार '$R$' के समान व विपरीत दिशा मे होगी। इस प्रकार बिन्दु $E$ पर दो समान व विरुद्ध बल $R$ व $R'$ कार्य करेगे।



चित्र 10.5

यदि भूमि प्रतिक्रिया $R'$ को क्षैतिज व ऊर्ध्वाधर घटको मे विभाजित किया जाये तो—

$R'$ का क्षैतिज घटक = $P$

$R'$ का ऊर्ध्वाधर घटक = $W$

दोनो की क्रिया-रेखाये बिन्दु $E$ से गुजरेगी।

यदि दूरी $BE = Z$ हो, तो $P$, $W$ तथा $R'$ के घटको का बिन्दु $B$ पर आघूर्ण लेने से,

$$P\times\frac{H}{3}+W\,\bar{x} = W\times Z+P\times 0$$

अथवा

$$Z = \bar{x}+\frac{P}{W}\times\frac{H}{3} \qquad ...(10.5)$$

अत: क्षैतिज भार '$P$' के कारण दीवार के भार '$W$' की क्रिया-रेखा बिन्दु $E$ तक सरकती है। दीवार की 1 मीटर लम्बाई का आधार $B_1B_2B_3B_4$ चित्र 10.5 मे दर्शित है। यह आधार ($B_1B_2B_3B_4$) आयताकार है तथा इस पर बिन्दु '$E$' पर भार '$W$' कार्यरत होगा। अत: भार की उत्केन्द्रिता (Eccentricity)—

$$e = \left(Z-\frac{b}{2}\right)$$

तथा बंकन आघूर्ण = $W\cdot e$ $\left(\text{संकेत}\ \frac{M}{I} = \frac{f}{y}\right)$

अत: इस पर, अक्षीय प्रतिबल = $\frac{W}{1\times b} = \frac{W}{b}$ (kN/m$^2$)

परिच्छेद मापांक = $\frac{1\times b^2}{6}$ $\left(\text{संकेत}\ \frac{bd^3}{12}\times\frac{2}{d}\right)$

तथा बंकन प्रतिबल = $\pm\frac{6\cdot We}{b^2}$

इस प्रकार आधार भुजा $B_3B_4$ पर संपीडन (+ve) तथा भुजा $B_1B_2$ पर तनन प्रतिबल (-ve) होगा। अत: आधार पर परिणामी प्रतिबल (Resultant stress)—

$$= \frac{W}{b}\pm\frac{6\cdot We}{b^2}$$

$$= \frac{W}{b}\left(1\pm\frac{6e}{b}\right) \qquad ...(10.6)$$

चिनाई मे तनन प्रतिबल उत्पन्न नही होना चाहिये। इसके लिये उपरोक्त परिणामी प्रतिबल के सूत्र मे $\left(1 \pm \frac{6e}{b}\right)$ का मान हमेशा धनात्मक (+ve) रहना चाहिये।

अत: $\frac{6e}{b} \le 1$ अथवा $e \le \frac{b}{6}$

**अत: उत्केन्द्रिता आधार मध्य के दोनों ओर $\frac{b}{6}$ तक सीमित होनी चाहिये।**

इस प्रकार, चिनाई मे तनन प्रतिबल उत्पन्न न होने के लिये क्षैतिज भार '$P$' तथा दीवार का अपना भार "$W$", के परिणामी बल '$R$' का आधारतल पर प्रतिच्छेदन बिन्दु '$E$' आधार के मध्य तिहाई भाग (middle third portion) में होना चाहिये। इसे ही **मध्य तिहाई नियम** (middle third rule) कहा जाता है।

## § 10.7. दीवार के स्थायित्व की जाँच (Check for Stability) :

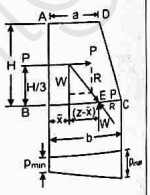
दीवार की स्थायित्व के लिए जाँच की जाती है। दीवार पर आ रहे क्षैतिज भार '$P$', दीवार का अपना भार '$W$' तथा भूमि प्रतिक्रिया $R'$ के कारण निम्न परिणामो के लिये जाँच आवश्यक है—

(i) दीवार का बिन्दु "$C$" पर पलटना (Check against over Turning),
(ii) दीवार मे तनन प्रतिबल उत्पन्न होना (Check against Tension Failure),
(iii) चिनाई का अधिकतम प्रतिबल के कारण संदलन (Check against Crushing of Masonry),
(iv) दीवार का आधार तल ($B_1B_2B_3B_4$) पर सरक कर विफल होना (Check against Sliding)

**10.7-1. दीवार का बिन्दु 'C' पर पलटना**—दीवार पर क्षैतिज भार '$P$' के कारण वर्तन आघूर्ण (turning moment)

$$= P \times \frac{H}{3}$$

तथा भूमि प्रतिक्रिया (ground reaction) $R'$ के ऊर्ध्वाधर घटक '$W$' तथा दीवार के अपने भार '$W$' द्वारा उत्पन्न संतुलन आघूर्ण (चित्र 10.6 देखे)।



चित्र 10.6

$$e = Z - \frac{b}{2}$$

अथवा $$Z = \left(\frac{b}{2} + e\right)$$

तथा स्थिरता के लिये, $$\left(P \times \frac{H}{3}\right) = W(Z - \bar{x})$$

$Z$ का मान रखने पर, $$\left(P \times \frac{H}{3}\right) = W\left\{\left(\frac{b}{2} + e\right) - \bar{x}\right\}$$

अथवा $$\frac{P}{W} \times \frac{H}{3} = \left(\frac{b}{2} - \bar{x}\right) + e$$

स्पष्ट है कि ($b/2 - \bar{x}$) का मान स्थिर होगा यदि '$P$' का मान बढ़ता है तो उत्केन्द्रिता "$e$' मे वृद्धि होगी परिणामस्वरूप दूरी '$BE$' अथवा $Z$ मे वृद्धि होगी।

अन्य शब्दो मे बिन्दु '$E$' व बिन्दु '$C$' के बीच दूरी कम होगी। '$P$' का मान क्रमश: बढ़ने पर दूरी '$EC$' क्रमश: कम होगी तथा एक स्थिति वह आयेगी जब बिन्दु '$E$' व '$C$' एक होगे। (अथवा $EC = 0$)। इस स्थिति मे दीवार बिन्दु '$C$' पर पलटने की स्थिति मे आयेगी (यद्यपि पलटेगी नही)।



'$P$' का मान और अधिक बढ़ने पर बिन्दु '$E$' दीवार के बाहर (अर्थात् $BE > BC$) होगा अथवा '$e$' का मान $b/2$ से अधिक होगा तथा दीवार पलटेगी।

अत: पलटने मे स्थिरता के लिये $e \le \frac{b}{2}$

सामान्यत: **मध्य तिहाई नियम** के अनुसार उत्केन्द्रिता '$e$' का मान '$b/6$' तक सीमित रखा जाता है। ऐसी स्थिति मे दीवार पलटने के प्रति स्थिर रहती है तथा पलटने के लिये जांच आवश्यक नहीं होती है।

**10.7-2. दीवार में तनन बल उत्पन्न न होना**—इसके लिये मध्य तिहाई नियम के अनुसार, $e \le \frac{b}{6}$

बिन्दु $E$ की स्थिति आधार चौड़ाई के मध्य तिहाई (Middle third) में होना चाहिये।

**10.7-3. चिनाई का अधिकतम प्रतिबल के कारण संदलन**—चिनाई मे उत्पन्न अधिकतम प्रतिबल का मान चिनाई के लिये अनुमत संदलन प्रतिबल (Crushing stress) से कम होना चाहिये।

$$\text{अधिकतम प्रतिबल} = \frac{W}{b}\left\{1 + \frac{6e}{b}\right\}$$

अत: यह मान निर्धारित सीमा (संदलन प्रतिबल) से कम होना चाहिये।

**10.7-4. सरकने के लिये जाँच** (Check for Sliding)—क्षैतिज भार '$P$' की प्रवृत्ति दीवार को आधार तल $B_1B_2B_3B_4$ (चित्र 10.5 देखे) पर सरकने की होगी।

यदि $\mu$ = **चिनाई** व **चिनाई** में घर्षण गुणांक

$W$ = दीवार का अपना भार

तब प्रतिरोध बल (Resisting force) = $\mu W$

पुन: क्षैतिज बल = $P$ (जो दीवार को काट सकता है)

अत: स्थिरता (stability) के लिये, $P < \mu W$

**$\mu$ का मान सामान्यत: 0·6 से 0·7 तक हो सकता है।**

स्पष्ट है कि विशिष्ट ऊँचाई के मृदा भराव के लिये '$P$' का मान स्थिर होगा तथा दीवार की स्थिरता के लिये दीवार का अपना भार '$W$' पर्याप्त हेना चाहिये जिससे दीवार उपरोक्त सभी परिणामो के विपरीत स्थिर होगी।

इसके लिये दीवार की आधार चौड़ाई पर्याप्त होनी चाहिये, जो निर्धारित की जाती है।

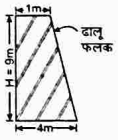
**उदाहरण 10.1 : चिनाई की एक समलम्बाकार प्रतिधारक दीवार की शीर्ष चौड़ाई 1·0 मी०, आधार चौड़ाई 4·0 मी० तथा ऊँचाई 9 मी० है। यह अपने ऊर्ध्वाधर फलक पर एक भराव को रोकती है, जिसके फलस्वरूप दीवार पर क्षैतिज दाब शिखर तल पर शून्य से आधार तल पर 25 kN/m² हो जाता है। यदि चिनाई का घनत्व 20 kN/m³ हो तो आधार पर उत्पन्न अधिकतम व न्यूनतम प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये।**

**हल :** इस दीवार के लिये चित्र 10.7 के अनुसार,

$a = 1{\cdot}0$ m, $\rho = 20$ kN/m³

$b = 4{\cdot}0$ m, $p_H = 25$ kN/m²

$H = 9{\cdot}0$ m,



चित्र 10.7

दीवार की 1 मीटर लम्बाई के लिये

$$\text{दीवार पर कुल दाब} = \frac{0 + 25}{2} \times 9 \text{ kN}$$

अथवा $$P = 112{\cdot}5 \text{ kN}$$

इसकी क्रिया रेखा आधार तल से 9/3 अथवा 3 मीटर ऊँचाई पर होगी।

दीवार का स्वयं का भार, $W = \rho \times \frac{a+b}{2} \times H$

$= 20 \times \frac{1+4}{2} \times 9 = 450$ kN

इसकी क्रिया-रेखा दीवार के ऊर्ध्वाधर फलक (vertical face) से $\bar{x}$ दूरी पर स्थित होगी

अत: $\bar{x} = \frac{a^2+ab+b^2}{3(a+b)}$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर, $\bar{x} = \frac{1+4+16}{3(1+4)} = \frac{21}{15}$ अथवा 1·4 मी०

तथा क्षैतिज भार $P$ व दीवार का भार '$W$' के परिणामी बल के आधार पर प्रतिच्छेदन बिन्दु '$E$' की ऊर्ध्वाधर फलक से दूरी—

$$Z = \bar{x} \times \frac{P}{W} \times \frac{H}{3} \quad \text{...(सूत्र)}$$

$= 1{\cdot}40 + \frac{112{\cdot}5}{450} \times \frac{9}{3}$ m

$= 1{\cdot}4 + 0{\cdot}75$ m

$= 2{\cdot}15$

अत: उत्केन्द्रिता (Eccentricity), $e = Z - \frac{b}{2} = \left(2{\cdot}15 - \frac{4}{2}\right) = 0{\cdot}15$ m

तथा $\frac{6e}{b} = \frac{6 \times 0{\cdot}15}{4} = \frac{0{\cdot}9}{4} = 0{\cdot}225$

अत: आधार पर उत्पन्न प्रतिबलों के मान निम्नवत् होंगे—

(i) अधिकतम प्रतिबल $= \frac{W}{b}\left(1 + \frac{6e}{b}\right)$ ...(सूत्र)

$= \frac{450}{4} \times (1 + 0{\cdot}225)$

$= 112{\cdot}5 \times 1{\cdot}225$

$= \mathbf{137{\cdot}81\ kN/m^2}$ (संपीडन) उत्तर

(ii) न्यूनतम प्रतिबल $= 112{\cdot}5 \times (1 - 0{\cdot}225)$

$= 112{\cdot}5 \times 0{\cdot}775$

$= \mathbf{87{\cdot}18\ kN/m^2}$ (संपीडन) उत्तर

**उदाहरण 10.2 : उदाहरण 10.1 में अंकित प्रतिधारक दीवार के लिये न्यूनतम आधार चौड़ाई ज्ञात कीजिये, ताकि चिनाई में तनन उत्पन्न न हो।**

**हल :** माना दीवार की आवश्यक चौड़ाई $= b$ मी०

शिखर चौड़ाई $= a = 1$ m

ऊँचाई $= H = 9$ m

दीवार की एक मीटर लम्बाई के लिये, क्षैतिज दाब, $P = 112{\cdot}5$ kN



दीवार का अपना भार, $W = \rho\left(\frac{a+b}{2}\right)H$

$= 20\left(\frac{1+b}{2}\right) \times 9$

$= 90\,(1+b)$ kN

तनन उत्पन्न न होने के लिये, अधिकतम उत्केन्द्रिता, $e = \frac{b}{6}$

तथा $Z = \frac{b}{2} + e = \frac{b}{2} + \frac{b}{6} = \frac{2b}{3}$

इस प्रकार $Z = \frac{2b}{3} = \bar{x} + \frac{P}{W} \cdot \frac{H}{3}$

अथवा $\frac{2b}{3} = \frac{a^2+ab+b^2}{3(1+b)} + \frac{112{\cdot}5}{90(1+b)} \times \frac{9}{3}$ $\because\ a = 1$ m

$2b = \frac{1+b+b^2}{(1+b)} + \frac{112{\cdot}5}{10(1+b)}$

अथवा $2b(1+b) = 1 + b + b^2 + 11{\cdot}25$

अथवा $b^2 + b = 12{\cdot}25$ (यह एक द्विघातीय समीकरण है।)

हल करने पर, $(b + 0{\cdot}5)^2 = 12{\cdot}25 + 0{\cdot}25$

अथवा $(b + 0{\cdot}5) = \sqrt{(12{\cdot}5)} = 3{\cdot}54$ m

$\therefore$ $b = 3{\cdot}54 - 0{\cdot}5 = 3{\cdot}04$ m

अत: न्यूनतम आवश्यक चौड़ाई $= \mathbf{3{\cdot}04\ m}$ **उत्तर**

**उदाहरण 10.3 : 6·6 मी० गहरे मृदा भराव को रोकने के लिये एक आयताकार खण्ड की प्रतिधारक दीवार (Retaining wall) के लिये आवश्यक चौड़ाई ज्ञात कीजिये। अन्य आंकड़े निम्नवत् लीजिये–मृदा का भार = 16 kN/m³, विश्राम कोण = 32°, चिनाई का भार = 19·8 kN/m³, मृदा भराव शिखर के समतल है।**

**हल :** माना कि दीवार की चौड़ाई '$b$' m

ऊँचाई $H = 6{\cdot}6$ m (चित्र 10.8 देखें)

**दीवार की 1 मी० लम्बाई के लिये—**

कुल मृदा दाब, $P = \frac{wH^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$

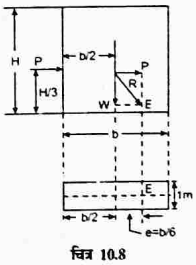
यहाँ $w = 16$ kN/m³, $H = 6{\cdot}6$

$\phi$ = विश्राम कोण = 32°, $\sin\phi = 0{\cdot}53$

तथा $\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{0{\cdot}47}{1{\cdot}53} = 0{\cdot}3071$

अत: $P = \frac{16 \times 6{\cdot}6^2}{2} \times 0{\cdot}3071$ kN

$= 107{\cdot}0$ kN ...(i)



चित्र 10.8

civilguru.net

दीवार का भार, $W = b\,H\rho$

$= b \times 6{\cdot}6 \times 19{\cdot}8$ kN

$= 130{\cdot}68\,b$ ...(i)

आयताकार खण्ड के लिये, $\bar{x} = \dfrac{b}{2}$

अधिकतम उत्केन्द्रिता, $e = \dfrac{b}{6}$

$$Z = \frac{b}{2} + \frac{b}{6} = \frac{2b}{3} = \bar{x} + \frac{P}{W} \times \frac{H}{3}$$

$$\therefore \quad \frac{2p}{3} = \frac{b}{2} + \frac{107}{130{\cdot}69\,b} \times \frac{6{\cdot}6}{3}$$

$$= 1{\cdot}5b + \frac{5{\cdot}40}{b}$$

अथवा $0{\cdot}5\,b^2 = 5{\cdot}4$

$\therefore \quad b = \sqrt{(10{\cdot}8)} = 3{\cdot}286$ अथवा **3·30 m** उत्तर

**उदाहरण 10.4 : एक समलम्बाकार प्रतिधारक दीवार की शीर्ष चौड़ाई 2·5 m, ऊँचाई 8·5 m तथा आधार चौड़ाई 5·5 m है। यदि दीवार का मृदा फलक ऊर्ध्वाधर हो तथा मृदा शिखर के समतल हो तो दीवार के स्थायित्व की जाँच कीजिये। मृदा का भार = 16·2 kN/m³, चिनाई का भार = 20·0 kN/m³, विश्राम कोण = 30°, चिनाई व चिनाई घर्षण गुणांक = 0·60, संदलन प्रतिबल = 650 kN/m²**

**हल:** इस दीवार के लिये (चित्र 10.9 देखे)—

$a = 2{\cdot}5$ m $\qquad \phi = 30°$

$b = 5{\cdot}5$ m $\qquad w = 16{\cdot}20$ kN/m³

$H = 8{\cdot}5$ m $\qquad \rho = 20{\cdot}00$ kN/m³

चित्र 10.9

$$\sin\phi = \frac{1}{2} \quad \text{तथा} \quad \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-0{\cdot}5}{1+0{\cdot}5} = \frac{1}{3}$$

दीवार के एक मीटर लम्बाई पर आने वाले बल निम्न होंगे—

**(i) मृदा दाब**—मृदा भराव शिखर के समतल है—

$$P = \frac{wH^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right) \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$\therefore \quad P = \frac{16{\cdot}20 \times 8{\cdot}5^2}{2} \times \frac{1}{3} = 195{\cdot}07 \text{ kN}$$

इसकी क्रिया-रेखा आधार से $\dfrac{H}{3}$ अथवा $\dfrac{8{\cdot}5}{5}$ m की ऊँचाई पर होगी।

**(ii) दीवार का स्वयं भार**—

$$W = \rho \times \frac{a+b}{2} \times H$$

$$\therefore \quad W = 20{\cdot}0 \times \frac{2{\cdot}5+5{\cdot}5}{2} \times 8{\cdot}5 = 680{\cdot}0 \text{ kN}$$



इसकी क्रिया-रेखा की मृदा-फलक से दूरी—

$$\bar{x} = \frac{a^2+ab+b^2}{3(a+b)} \quad \text{...(सूत्र)}$$

अत: $$\bar{x} = \frac{2{\cdot}5^2 + 2{\cdot}5 \times 5{\cdot}5 + 5{\cdot}5^2}{3(2{\cdot}5+5{\cdot}5)}$$

$$= \frac{6{\cdot}25+13{\cdot}75+30{\cdot}25}{3\times 8}$$

$$= \frac{50{\cdot}25}{24} = 2{\cdot}093 \text{ m}$$

$P$ व $W$ के परिणामी बल $R$ के आधार पर प्रतिच्छेदन बिन्दु की मृदा फलक से दूरी—

$$Z = \bar{x} + \frac{H}{3} \times \frac{P}{W} \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$\therefore \quad Z = 2{\cdot}093 + \frac{8{\cdot}5}{3} \times \frac{195{\cdot}07}{680} \text{ m}$$

$$= 2{\cdot}093 + 0{\cdot}812 \text{ m}$$

$$= 2{\cdot}905 \text{ m}$$

अत: उत्केन्द्रता, $e = Z - \dfrac{b}{2}$

$$\therefore \quad e = 2{\cdot}905 - \frac{5{\cdot}5}{2}$$

$$= 2{\cdot}905 - 2{\cdot}75 = 0{\cdot}155 \text{ m}$$

**स्थायित्व की जाँच—**

**(a) तनन प्रतिबल के लिये** (Tension Check)— $e < \dfrac{b}{6}$

$e = 0{\cdot}155$ m $\qquad$ तथा $\qquad \dfrac{b}{6} = \dfrac{5{\cdot}5}{6} = 0{\cdot}916$ m

अत: $e < \dfrac{b}{6}$ $\qquad$ अर्थात् $\qquad 0{\cdot}155 \text{ m} < 0{\cdot}916 \text{ m}$

अत: चिनाई मे **तनन प्रतिबल उत्पन्न नहीं होगा।**

**(b) सरकने के लिये** (For sliding)—

मृदा भार = 195·07 kN

चिनाई व चिनाई में घर्षण गुणांक = 0·60

दीवार का भार = 680·0 kN

अत: प्रतिरोध = 680 × 0·60

= 408 kN

यह मृदा दाब 195·07 kN से अधिक है।

अत: **दीवार सरकने के प्रति सुरक्षित है।**

civilguru.net

**(c) संदलन के लिये** (For crushing)—

उत्केन्द्रिता $e = 0{\cdot}155$ m

अत: $\dfrac{6e}{b} = \dfrac{6\times 0{\cdot}155}{5{\cdot}5} = 0{\cdot}169$

अत: चिनाई मे उत्पन्न अधिकतम प्रतिबल $= \dfrac{W}{b}\left(1+\dfrac{6e}{b}\right)$ kN/m$^2$

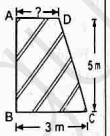
$= \dfrac{680}{5{\cdot}5}\times 1{\cdot}169$ kg/m$^2$

$= 144{\cdot}54$ kN/m$^2$

यह संदलन प्रतिबल (crushing stress) 650 kN/m$^2$ से कम है, अत: **दीवार संदलन में सुरक्षित है।** उत्तर

**उदाहरण 10.5 : चिनाई के एक समलम्बाकार प्रतिधारक दीवार से सम्बन्धित आँकड़े निम्न हैं। यदि मृदा-फलक ऊर्ध्वाधर हो तो दीवार के लिये आवश्यक शिखर चौड़ाई ज्ञात कीजिये। मृदा भराव शिखर तल तक है। दीवार की ऊँचाई, $H = 5{\cdot}0$ m, आधार चौड़ाई, $b = 3{\cdot}0$ m, मृदा का घनत्व, $w = 16{\cdot}0$ kN/m$^3$, चिनाई का घनत्व, $\rho = 19{\cdot}2$ kN/m$^3$, विश्राम कोण, $\phi = 35°$, अधिकतम प्रतिबल $= 84$ kN/m$^2$, न्यूनतम प्रतिबल $= 60$ kN/m$^2$।**

**हल :** माना प्रतिधारक दीवार की शिखर चौड़ाई $= a$ मी०



चित्र 10.10

दीवार की ऊँचाई, $H = 5{\cdot}0$ मी

आधार चौड़ाई, $b = 3{\cdot}0$ मी

चिनाई का घनत्व, $\rho = 19{\cdot}2$ kN/m$^3$

मृदा का घनत्व, $\omega = 16{\cdot}0$ kN/m$^3$

विश्राम कोण, $\phi = 35°$

मृदा दाब, $P = \dfrac{wH^2}{2}\left(\dfrac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$

यहाँ $\phi = 35°$ तथा $\sin\phi = 0{\cdot}5736$

तथा $\dfrac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \dfrac{0{\cdot}4264}{1{\cdot}5736} = 0{\cdot}271$

अत: मृदा दाब, $P = \dfrac{16\times 5\times 5}{2}\times 0{\cdot}271$ kN

$= 54{\cdot}2$ kN ...(i)

दीवार का भार, $W = \rho\left(\dfrac{a+b}{2}\right)\times H$ ...(सूत्र)

$= 19{\cdot}2\times\left(\dfrac{a+3}{2}\right)\times 5$ kN

$W = 48\,(a+3)$ kN ...(ii)

अधिकतम प्रतिबल $= \dfrac{W}{b}\left(1+\dfrac{6e}{b}\right)$ ...(सूत्र)

$= \dfrac{W}{3}(1+2e)$ kN/m$^2$



न्यूनतम प्रतिबल $= \dfrac{W}{3}(1-2e)$ kN/m$^2$ ...(सूत्र)

अब $W$ ज्ञात करने के लिये, पहले $e$ का मान निम्न प्रकार ज्ञात करते हैं—

अत: $\dfrac{\text{अधिकतम प्रतिबल}}{\text{न्यूनतम प्रतिबल}} = \dfrac{84}{60} = \dfrac{1+2e}{1-2e} = 1{\cdot}4$

अत: $1+2e = 1{\cdot}4\,(1-2e) = 1.4 - 2{\cdot}8e$

अथवा $4{\cdot}8e = 0{\cdot}4$ अथवा $e = \dfrac{0{\cdot}4}{4{\cdot}8} = 0{\cdot}084$

पुन: $b = 3{\cdot}0$ m

तथा $\dfrac{6e}{b} = \dfrac{6\times 0{\cdot}084}{3} = 0{\cdot}168$

ज्ञात मान रखने पर, अधिकतम प्रतिबल, $\dfrac{W}{b}\left(1+\dfrac{6e}{b}\right) = \dfrac{W}{3}\times 1{\cdot}168 = 84$ kN/m$^2$

अत: $W = \dfrac{84\times 3}{1{\cdot}168} = 215{\cdot}75$ kN ...(iii)

समीकरण (ii) व (iii) को तुल्य रखने पर—

$215{\cdot}75 = 48\,(a+3)$

$\therefore\quad a+3 = \dfrac{215{\cdot}75}{48} = 4{\cdot}494$ अथवा $4{\cdot}5$ m

तथा $a = (4{\cdot}5-3)$ m $= 1{\cdot}5$ m

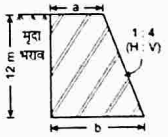
अत: दीवार की आवश्यक शिखर-चौड़ाई **1·5 मी** होगी। **उत्तर**

**उदाहरण 10.6 : चिनाई के एक समलम्बाकार प्रतिधारक दीवार की ऊँचाई 12 मी० है। यह अपने ऊर्ध्वाधर फलक द्वारा मृदा भराव को रोकती है जो शिखर समतल तक है। दीवार का दूसरा फलक 1 क्षैतिज, 4 ऊर्ध्वाधर झुकाव रखता है। दीवार के लिये सुरक्षित शिखर चौड़ाई तथा आधार चौड़ाई निर्धारित कीजिये। मृदा का घनत्व 16 kN/m$^3$, चिनाई का घनत्व 20 kN/m$^3$ तथा मृदा का विश्राम कोण $\phi = 30°$ लीजिये।**

**हल :** माना दीवार की शिखर चौड़ाई '$a$' मी० है। प्रश्नानुसार दीवार की ऊँचाई 12 m है। दीवार का मृदा-फलक ऊर्ध्वाधर है।

दूसरी फलक का झुकाव 1 क्षैतिज व 4 ऊर्ध्वाधर है।

यदि दीवार की आधार चौड़ाई '$b$' हो



चित्र 10.11

तब $(b-a) = \dfrac{12}{4} = 3$ m

अथवा $b = (a+3)$ m

प्रश्नानुसार मृदा का घनत्व, $w = 16$ kN/m$^3$

चिनाई का घनत्व, $\rho = 20$ kN/m$^3$

शिखर चौड़ाई $= a$

आधार चौड़ाई $= (a+3)$

मृदा का विश्राम कोण, $\phi = 30°$ तथा $\dfrac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \dfrac{1-0{\cdot}50}{1+0{\cdot}50} = \dfrac{1}{3}$

दीवार की ऊँचाई, $H = 12$ मी०

civilguru.net

अत: मृदा-दाब, $P = \frac{wH^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$ ...(सू.)

$$= \frac{16\times12\times12}{2}\times\frac{1}{3}$$

∴ $P = 384$ kN

इसकी क्रिया-रेखा आधार से $\frac{H}{3}$ अर्थात् 4 m ऊँचाई पर होगी।

दीवार का भार, $W = \rho\left(\frac{a+b}{2}\right)H = 20\left\{\frac{a+(a+3)}{2}\right\}\times12$ kN

$= 120\,(2a+3)$ kN

इसकी क्रिया-रेखा की ऊर्ध्वाधर मृदा फलक से दूरी,

$$\bar{x} = \frac{a^2+ab+b^2}{3(a+b)}$$ ...(सू.)

$b = (a+3)$ रखने पर, $\bar{x} = \frac{a^2+a(a+3)+(a+3)^2}{3(a+a+3)}$

$$= \frac{a^2+a^2+3a+a^2+6a+9}{3(2a+3)} = \frac{3a^2+9a+9}{3(2a+3)}$$

∴ $\bar{x} = \frac{a^2+3a+3}{(2a+3)}$

इस प्रकार मृदा दाब '$P$' व दीवार का भार '$W$' के परिणामी बल के आधार पर प्रतिच्छेदन बिन्दु की ऊर्ध्वाधर मृदा-फलक से दूरी

$$Z = \bar{x} + \frac{P}{W}\times\frac{H}{3}$$ ...(सू.)

$$= \frac{a^2+3a+3}{2a+3} + \frac{384}{120(2a+3)}\times\frac{12}{3}$$

$$= \frac{a^2+3a+3}{2a+3} + \frac{12{\cdot}8}{2a+3}$$

∴ $Z = \frac{a^2+3a+15{\cdot}8}{2a+3}$

चिनाई में तनन बल न आने के लिये—

$$Z = \frac{2b}{3} = \frac{2(a+3)}{3} = \frac{a^2+3a+15{\cdot}8}{2a+3}$$

अथवा $2(a+3)(2a+3) = 3a^2+9a+47{\cdot}4$

अथवा $2(2a^2+6a+3a+9) = 3a^2+9a+47{\cdot}4$

अथवा $4a^2+18a+18 = 3a^2+9a+47{\cdot}4$

अथवा $a^2+9a = 47{\cdot}4-18 = 29{\cdot}4$



अथवा $(a+4{\cdot}5)^2 = 29{\cdot}4+4{\cdot}5^2 = 29{\cdot}4+20{\cdot}25 = 49{\cdot}65$

अथवा $(a+4{\cdot}5) = \sqrt{(49{\cdot}65)} = 7{\cdot}05$

तथा $a = 7{\cdot}05-4{\cdot}5 = \mathbf{2{\cdot}55\ m}$

$b = (a+3) = 2{\cdot}55+3 = \mathbf{5{\cdot}55}$

**उत्तर**

## § 10.8. जब प्रतिधारक दीवार मृदा भराव की ओर ढालू अथवा खसकेदार फलक रखती हो (Retaining Wall, with Earth Face Sloping or Stepped) :

दीवार की मृदा-फलक कभी-कभी ढालू अथवा खसकेदार बनायी जाती है जैसा चित्र 10.12 व 10.13 मे दिखाया गया है। चित्र 10.12 में ढालू मृदा फलक (sloping earth face) दर्शित है। यहाँ ऊर्ध्वाधर बलो मे ढाल पर स्थित मृदा का भार भी चिनाई के भार में जोड़ा जाता है। दीवार के खण्ड को त्रिभुजाकार/आयताकार भागो मे विभाजित कर ऊर्ध्वाधर बल ज्ञात किया जाता है तथा क्रिया-रेखा (line of action) की स्थिति आघूर्ण लेते हुए ज्ञात की जाती है। चित्र 10.13 में खसकेदार मृदा फलक दर्शित है। यहाँ भी खण्ड को आयताकार भागों में विभाजित करते हुए खसको पर स्थित मृदा व चिनाई के भारो की गणना की जाती है तथा आघूर्ण लेते हुए ऊर्ध्वाधर भार की क्रिया-रेखा (line of action) की स्थिति ज्ञात की जाती है। मृदा भार के परिणामो के विश्लेषण हेतु गणना विधि नीचे दी गयी तालिका 10.1 में स्पष्ट की गयी है।

यहाँ $w$ = मृदा का घनत्व, kN/m$^3$ मे

$\rho$ = चिनाई का घनत्व, kN/m$^3$ में

$\phi$ = मृदा का विश्राम कोण

**तालिका 10.1 : गणना विधि (Method of Calculation)**

**(दीवार की 1 मी० लम्बाई के लिये)**

**(A) ढालू मृदा फलक (Sloping Earth Faces) (चित्र 10.12)**

(a) कुल मृदा दाब, $P = \frac{wH^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$

क्रिया रेखा आधार से $\frac{H}{3}$ ऊँचाई पर क्षैतिज

(b) **ऊर्ध्वाधर भार** (Vertical load)—ढाल पर स्थित मृदा व दीवार को 1, 2, 3, 4 क्षेत्रो मे विभाजित करते हुए—

(1) $W_1$ = मृदा $AFB$ का भार = $w\times\frac{AF\times FB}{2}$

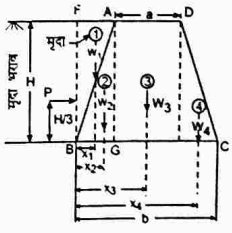
$x_1$ = क्रिया-रेखा की बिन्दु $B$ से दूरी = $\frac{FA}{3}$

(2) $W_2$ = चिनाई $ABG$ का भार = $\rho\times\frac{AG\times BG}{2}$

$x_2$ = क्रिया-रेखा की बिन्दु $B$ से दूरी = $\frac{2}{3}\times BG = \frac{2}{3}AF$

(3) $W_3$ = चिनाई $AGJD$ का भार = $AD\times AG\times\rho$

$x_3$ = क्रिया रेखा की बिन्दु $B$ से दूरी = $BG+\frac{1}{2}GJ$




चित्र 10.12

(4) $W_4$ = चिनाई $DJC$ का भार = $\rho \times DJ \times \frac{JC}{2}$

$x_4$ = क्रिया-रेखा की बिन्दु $B$ से दूरी = $BG + GJ + \frac{1}{3}JC$

कुल भार, $W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$

$\bar{x}$ = क्रिया रेखा की '$B$' से दूरी

$$\bar{x} = \frac{W_1x_1 + W_2x_2 + W_3x_3 + W_4x_4}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}$$

$$Z = \bar{x} + \frac{H}{3} \times \frac{P}{W} \quad \text{तथा} \quad e = \left(Z - \frac{b}{2}\right)$$

(c) आधार पर उत्पन्न प्रतिबल = $\frac{W}{b}\left(1 \pm \frac{6e}{b}\right)$

### (B) खसकेदार मृदा फलक (Stepped Earth Face) (चित्र 10.13)

(a) कुल मृदा दाब, $P = \frac{wH^2}{2}\left(\frac{1+\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$, क्रिया रेखा आधार से $\frac{H}{3}$ ऊँचाई पर क्षैतिज।

(b) **ऊर्ध्वाधर भार** (Vertical loads)—खसके पर स्थित मृदा तथा दीवार को (1), (2), (3) क्षेत्रों मे विभाजित करते हुए—

(1) $W_1$ = मृदा $AFGJ$ का भार = $FA \times FG \times w$

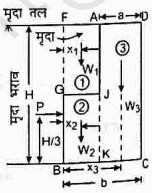
$x_1$ = क्रिया-रेखा की बिन्दु $B$ से दूरी = $\frac{FA}{2}$

(2) $W_2$ = चिनाई $GBKJ$ का भार = $GB \times BK \times \rho$

$x_2$ = क्रिया-रेखा की $B$ से दूरी = $\frac{1}{2}BK$

(3) $W_3$ = चिनाई $AKCD$ का भार = $AK \times KC \times \rho$

$x_3$ = क्रिया-रेखा की $B$ से दूरी = $BK + \frac{1}{2}KC$



चित्र 10.13

कुल भार, $W = W_1 + W_2 + W_3$

$$\bar{x} = \frac{W_1x_1 + W_2x_2 + W_3x_3}{W_1 + W_2 + W_3}$$

$$Z = \bar{x} + \frac{H}{3} \times \frac{P}{W} \quad \text{तथा} \quad e = \left(Z - \frac{b}{2}\right)$$

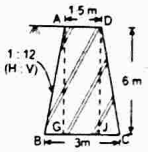
(c) आधार पर उत्पन्न प्रतिबल = $\frac{W}{b}\left(1 \pm \frac{6e}{b}\right)$



**उदाहरण 10.7 : चिनाई के एक प्रतिधारक दीवार की शीर्ष चौड़ाई 1·5 मी० है। यह अपने मृदा फलक, जिसकी ढाल 1 : 12 (H : V) है, पर मृदा भराव रोकती है जो शिखर समतल तक है। दीवार की ऊँचाई 6 मीटर तथा आधार-चौड़ाई 3 मी० है। यदि मृदा का घनत्व 16 kN/m³, चिनाई का घनत्व 20 kN³ तथा $\phi = 40°$ हो तो आधार पर उत्पन्न प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये।**

हल : चित्र 10.14 देखें।

मृदा फलक की ढाल = तथा ऊँचाई $H = 6·0$ m



चित्र 10.14

अतः $\frac{BG}{AG} = \frac{BG}{6} = \frac{1}{12}$

अतः $BG = \frac{6}{12} = 0·5$

तथा $GJ = AD = 1·5$ m

आधार चौड़ाई 3·0 मीटर है।

अतः $JC = 3·0 - (0·5 + 1·5) = 1·0$ m

**दीवार की एक मीटर लम्बाई पर—**

**(i) दीवार पर कुल मृदा दाब** = $\frac{wH^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$ ...(सूत्र)

यहाँ $\phi = 40°$, $\sin\phi = 0·643$

$$= \frac{16·0 + 6·0^2}{2}\left(\frac{1-0·643}{1+0·643}\right) \text{kN}$$

$$= 62·58 \text{ kN}$$

इसकी क्रिया-रेखा आधार से 6/3 अथवा 2.0 मीटर ऊँचाई पर होगी।

**(ii) ऊर्ध्वाधर भार** (Vertical loads)—दीवार व ढाल पर स्थित मृदा को (1), (2), (3), (4) क्षेत्रों मे विभाजित करते हुये (चित्र 10.12 देखे)।

(1) $W_1$ = मृदा $AFB$ का भार = $\frac{FA \times FB}{2} \times w$

$$= \frac{0·5 \times 6}{2} \times 16·0 \text{ kN} = 24·0 \text{ kN}$$

$x_1$ = भार $W_1$ की क्रिया रेखा $B$ से दूरी = $\frac{0·5}{3}$ m

(2) $W_2$ = चिनाई $ABG$ का भार = $\frac{BG \times AG}{2} \times \rho$

$$= \frac{0·5 \times 6}{2} \times 20·0 \text{ kN} = 30·0 \text{ kN}$$

$x_2$ = भार $W_2$ की क्रिया-रेखा $B$ से दूरी = $\frac{0·5 \times 2}{3}$ m

(3) $W_3$ = चिनाई $AGJD$ का भार = $AG \times GJ \times \rho$

$$= 6 \times 1·5 \times 20·0 \text{ kN} = 180·0 \text{ kN}$$

$x_3$ = भार $W_3$ की क्रिया-रेखा $B$ से दूरी = $0·5 + \frac{1·5}{2}$ m = 1·25 m

civilguru.net

(4) $W_4$ = चिनाई $DJC$ का भार = $\frac{DJ \times JC}{2} \times \rho = \frac{6 \times 1}{2} \times 20{\cdot}0 = 60{\cdot}0$ kN

$x_4$ = भार $W_4$ की क्रिया रेखा की $B$ से दूरी = $BG + GJ + \frac{JC}{3}$

$= \left(0{\cdot}5 + 1{\cdot}5 + \frac{1}{3}\right)$ m

$= 2{\cdot}33$ अथवा $\left(\frac{7}{3}\right)$ m

कुल भार, $W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$

$= 24{\cdot}0 + 30{\cdot}0 + 180{\cdot}0 + 60{\cdot}0$ kN

$= 294{\cdot}0$ kN

$\bar{x}$ = भार $W$ के क्रिया-रेखा की $B$ से दूरी

$$x = \frac{W_1 x_1 + W_2 x_2 + W_3 x_3 + W_4 x_4}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}$$

$$= \frac{\left(24 \times \frac{0{\cdot}5}{3}\right) + \left(30 \times \frac{1}{3}\right) + (180 \times 1{\cdot}25) + \left(60 \times \frac{7}{3}\right)}{24 + 30 + 180 + 60}$$

$$= \frac{4{\cdot}0 + 10{\cdot}0 + 225{\cdot}0 + 14{\cdot}0}{294} \text{ मी०}$$

$$= \frac{379}{294} = 1{\cdot}29 \text{ मी०}$$

अत: $Z = \bar{x} + \frac{P}{W} \times \frac{H}{3}$ ...(सूत्र)

$= 1{\cdot}29 + \frac{62{\cdot}58}{294} \times \frac{6}{3}$ मी०

$= 1{\cdot}29 + 0{\cdot}426$ m

$= 1{\cdot}716$ m

तथा $e$ = उत्केन्द्रिता = $Z - \frac{b}{2}$

$= \left(1{\cdot}716 - \frac{3}{2}\right)$ मी०

$= 0{\cdot}216$ मी०

तथा $\frac{6e}{b} = \frac{6 \times 0{\cdot}216}{3} = 0{\cdot}432$

अत: आधार पर प्रतिबल के मान

$$\frac{W}{b}\left(1 \pm \frac{6e}{b}\right) = \frac{294}{3}(1 \pm 0{\cdot}432) \text{ kN/m}^2$$

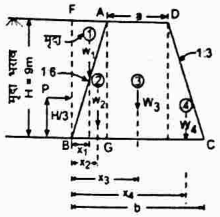
अधिकतम प्रतिबल = $98 \times 1{\cdot}432 = \mathbf{140{\cdot}33\ kN/m^2}$ उत्तर

न्यूनतम प्रतिबल = $98 \times 0{\cdot}568 = \mathbf{55{\cdot}66\ kN/m^2}$ उत्तर



**उदाहरण 10.8 : चिनाई के एक समलम्बाकार प्रतिधारक दीवार के स्थायित्व की जाँच कीजिये। दीवार की शिखर चौड़ाई 2·0 मी०, ऊँचाई 9 मी०, मृदा-फलक 1 : 6 (क्षैतिज भार : ऊर्ध्वाधर) झुकाव पर है। दीवार की दूसरी फलक 1 : 3 (क्षैतिज : ऊर्ध्वाधर) झुकाव का है। दीवार अपने शिखर तल तक मृदा भराव को रोकती है। मृदा का घनत्व 16 kN/m³, चिनाई का घनत्व 20 kN/m², $\phi = 30°$, $\mu = 0{\cdot}6$ तथा चिनाई के लिये संदलन प्रतिबल 600 kN/m² लीजिये।**

**हल : प्रश्न में दिये गये आँकड़े—**



चित्र 10.15

मृदा का घनत्व, $\omega = 16$ kN/m³

चिनाई का घनत्व, $\rho = 20$ kN/m³

विश्राम कोण, $\phi = 30°$

घर्षण गुणांक, $\mu = 0{\cdot}6$

संदलन प्रतिबल = 600 kN/m²

**प्रतिधारक दीवार के परिमाप**—(चित्र 10.15)

शिखर चौड़ाई, $a$ = m; ऊँचाई, $H = 9$ m

मृदाफलक की ढाल = 1 क्षैतिज व 6 ऊर्ध्वाधर

दूसरे फलक की ढाल = 1 क्षैतिज व 3 ऊर्ध्वाधर

मृदा भराव की गहराई, $H = 9$ m

$$\frac{BG}{AG} = \frac{BG}{9} = \frac{1}{6}$$

तथा $BG = \frac{9}{6} = 1{\cdot}5$ m

$GJ = AD = a = 2{\cdot}0$ m

तथा $JC = \frac{9}{3} = 3{\cdot}0$ m

अत: आधार चौड़ाई, $b = BG + GJ + JC$

$= 1{\cdot}5 + 2{\cdot}0 + 3{\cdot}0$ m

$= 6{\cdot}5$ m

**दीवार की 1 मीटर लम्बाई पर विचार करते हुए—**

**(a) क्षैतिज भार (मृदा दाब)**

कुल मृदा दाब, $P = \frac{wH^2}{2}\left(\frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}\right)$ ...(सूत्र)

$\phi = 30°$ तथा $\frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \frac{1}{3}$

$P = \frac{16 \times 9^2}{2} \times \frac{1}{3} = 216$ kN

इसकी क्रिया-रेखा आधार से $\frac{H}{3}$ अथवा 3 मी ऊँचाई पर क्षैतिज होगी।

civilguruji.net

**(b) ऊर्ध्वाधर भार की गणना**—मृदा-फलक पर स्थित मृदा व दीवार को 1, 2, 3, 4 उप क्षेत्रों मे विभाजित करते—

(1) $W_1$ = मृदा $AFB$ का भार

$$W_1 = w \times \frac{AF \times FB}{2} \qquad (AF = BG = 1{\cdot}5\text{ m})$$

$$= 16 \times \frac{1{\cdot}5 \times 9}{2} = 180\text{ kN}$$

$\bar{x}_1$ = क्रिया-रेखा की बिन्दु $B$ से दूरी = $\frac{FA}{3} = \frac{1{\cdot}5}{3} = 0{\cdot}5$ m

तथा इस भार का बिन्दु $B$ के प्रति आघूर्ण = $W_1 \bar{x}_1 = 108 \times 0{\cdot}5 = 54$ kN.m

(2) $W_2$ = त्रिकोणीय चिनाई $ABG$ का भार—

$$= \rho \times \frac{BG \times AG}{2}$$

$$= 20 \times \frac{1{\cdot}5 \times 9}{2}\text{ kN} = 135\text{ kN}$$

इसके क्रिया-रेखा की $B$ से दूरी, $\bar{x}_2 = \frac{2}{3} \times BG = 1{\cdot}0$ m

तथा भार का बिन्दु $B$ के प्रति आघूर्ण, $W_2 \bar{x}_2 = 135 \times 1{\cdot}0 = 135$ kN.m

(3) $W_3$ = आयताकार चिनाई $AGJD$ का भार

$$= AD \times AG \times \rho$$

$$= 2{\cdot}0 \times 9 \times 20\text{ (kN)} = 360\text{ kN}$$

इसके क्रिया-रेखा की $B$ से दूरी, $\bar{x}_3 = BG + \frac{1}{2}GJ = 1{\cdot}5 + 1{\cdot}0 = 2{\cdot}5$ m

तथा भार का बिन्दु $B$ के प्रति आघूर्ण, $W_3 \bar{x}_3 = 360 \times 2{\cdot}5 = 900$ kN.m

(4) $W_4$ = त्रिकोणीय चिनाई $DJC$ का भार

$$= \rho \times \frac{DJ \times JC}{2}$$

$$= 20 \times \frac{9{\cdot}0 \times 3{\cdot}0}{2}\text{ (kN)} = 270\text{ kN}$$

इसके क्रिया-रेखा की $B$ से दूरी, $\bar{x}_4 = BG + GJ + \frac{1}{3}JC$

$$= 1{\cdot}5 + 2{\cdot}0 + 1{\cdot}0 = 4{\cdot}5\text{ m}$$

तथा भार का बिन्दु $B$ के प्रति आघूर्ण—

$$W_4 \bar{x}_4 = 270 \times 4{\cdot}5 = 1215\text{ kN.m}$$

कुल भार, $W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$

$$= 108 + 135 + 360 + 270 = 873\text{ kN}$$

कुल भार का बिन्दु $B$ के प्रति आघूर्ण—

$$= W_1 \bar{x}_1 + W_2 \bar{x}_2 + W_3 \bar{x}_3 + W_4 \bar{x}_4$$



$$= 54 + 135 + 900 + 1215$$

$$= 2304\text{ kN.m}$$

कुल भार की क्रिया-रेखा की बिन्दु $B$ से दूरी—

$$\bar{x} = \frac{\text{कुल भार का बिन्दु } B \text{ पर आघूर्ण}}{\text{कुल भार}}$$

$$= \frac{2304}{873} = 2{\cdot}64\text{ m}$$

**(c) दीवार के स्थायित्व की जाँच** (Check for stability)—

**(i) तनन प्रतिबल के लिये**—

क्षैतिज भार, $P = 216$ kN, ऊर्ध्वाधर भार, $W = 873$ kN

इसके क्रिया-रेखा की $B$ से दूरी = $\bar{x} = 2{\cdot}64$ m

$P$ व $W$ के परिणामी बल के आधार पर प्रतिच्छेदन बिन्दु की बिन्दु $B$ से दूरी—

$$Z = \bar{x} + \frac{P}{W} \times \frac{H}{3} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

$$= 2{\cdot}64 + \frac{216}{873} \times \frac{9}{3}\text{ m}$$

$$= 2{\cdot}64 + 0{\cdot}742\text{ m} = 3{\cdot}282\text{ m}$$

उत्केन्द्रिता, $e = Z - \frac{b}{2}$ ...(सूत्र)

$$= 3{\cdot}382 - \frac{6{\cdot}5}{2} = 0{\cdot}132\text{ m}$$

तथा $\frac{6e}{b} = \frac{6 \times 0{\cdot}132}{6{\cdot}5} = 0{\cdot}122 < 1$

अत: तनन प्रतिबल उत्पन्न नहीं होगा।

**(2) संदलन (Crushing) के लिये**—

अनुमत संदलन प्रतिबल = 600 kN/m$^2$

विगत गणना से—

$W$ = कुल ऊर्ध्वाधर = 873 kN

$b$ = आधार पर चौड़ाई = 6·5 m

$$\frac{6e}{b} = 0{\cdot}122$$

अत: प्रतिबलों के मान— ...(सूत्र)

(i) अधिकतम प्रतिबल = $\frac{W}{b}\left(1 + \frac{6e}{b}\right)$

$$= \frac{873}{6{\cdot}5} \times 1{\cdot}22\text{ kN/m}^2 \quad \text{(संपीडन)}$$

$$= 150{\cdot}7\text{ kN/m}^2 < 600\text{ kN/m}^2$$

civilguru.net

(ii) न्यूनतम प्रतिबल $= \frac{W}{b}\left(1-\frac{6e}{b}\right)$ ...(सूत्र)

$= \frac{873}{6{\cdot}5}(1-0{\cdot}122)\ \text{kN/m}^2$ संपीडन

$= 117{\cdot}92\ \text{kN/m}^2$

अधिकतम प्रतिबल अनुमत संदलन प्रतिबल से कम है। अत: दीवार संदलन के प्रति सुरक्षित है।

**(3) सरकने (Sliding) के लिये—**

क्षैतिज बल, $P = 216$ kN,

ऊर्ध्वाधर बल, $W = 873$ kN

घर्षण गुणांक, $\mu = 0{\cdot}6$

प्रतिरोध बल $= \mu W$

$= 0{\cdot}6 \times 873$ kN

$= 523{\cdot}8$ kN

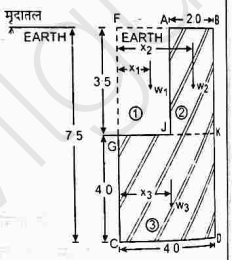
यह क्षैतिज बल 216 kN से अधिक है। अत: दीवार सरकने के विपरीत सुरक्षित है। अत: दीवार **स्थायी** (stable) है।

**उदाहरण 10.9 : चित्र 10.16 में दर्शित खसकेदार प्रतिधारक दीवार के आधार पर उत्पन्न प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये। मृदा भराव दीवार के शिखर तल तक है। मृदा का घनत्व 16 kN/m³, चिनाई का घनत्व 20 kN/m³, तथा मृदा का विश्राम कोण $\phi = 35°$ लीजिये।**

**हल :** मृदा का घनत्व, $w = 16$ kN/m³

चिनाई का घनत्व, $\rho = 20$ kN/m³

विश्राम कोण, $\phi = 30°$



चित्र 10.16

**प्रतिधारक दीवार के परिमाप—**

शिखर चौड़ाई, $a = 2{\cdot}0$ m

आधार चौड़ाई, $b = 4{\cdot}0$ m

निचले खसके तक ऊँचाई, $GC = 4{\cdot}0$ m

खसके के ऊपर चौड़ाई, $GJ = 2{\cdot}0$ m

**दीवार पर कार्यरत भार—**

**(i) क्षैतिज भार (मृदा दाब),**

मृदा भराव शिखर तल तक है, जिसकी गहराई, $H = 7{\cdot}5$ m

मृदा का घनत्व $w = 16$ kN/m³

कुल मृदा दाब, $P = \frac{wH^2}{2}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$ ...(सूत्र)

$\phi = 35°$, $\sin\phi = 0{\cdot}5736$

तथा $\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-0{\cdot}5736}{1+0{\cdot}5736} = \frac{0{\cdot}4264}{1{\cdot}5736} = 0{\cdot}271$

अत: $P = \frac{16\times 7{\cdot}5^2}{2}\times 0{\cdot}271\ \text{kN} = 122\ \text{kN}$



इसकी क्रिया-रेखा आधार से $\frac{H}{3}$ अथवा 2·5 मी ऊँचाई पर क्षैतिज होगी।

**(ii) ऊर्ध्वाधर भारों (Vertical loads) की गणना**—खसके पर स्थित मृदा तथा दीवार को (1), (2), (3) खण्डों में विभाजित करते हुये—

(1) $W_1$ = खसके पर मृदा $AFGJ$ का भार—

$= FA \times FG \times w = 2\times 3{\cdot}5\times 16 = 112$ kN

इसकी क्रिया-रेखा की $C$ से दूरी $= x_1 = 1{\cdot}0$ m

इसका बिन्दु $C$ के प्रति आघूर्ण, $W_1x_1 = 112\times 1{\cdot}0 = \mathbf{112\ kN.m}$

(2) चिनाई $ABKJ$ का भार, $W_2 = AB\times AJ\times\rho$

$= 2{\cdot}0\times 3{\cdot}5\times 20 = 140$ kN

इसके क्रिया-रेखा की बिन्दु $C$ से दूरी, $x_2 = FA + \frac{AB}{2} = 2{\cdot}0 + 1{\cdot}0 = 3$ m

तथा इसका बिन्दु $C$ के प्रति आघूर्ण $= W_2x_2 = 140\times 3 = \mathbf{420\ kN.m}$

(3) चिनाई $GKDC$ का भार, $W_3 = GK\times GC\times\rho$

$= 4\times 4\times 20 = 320$ kN

इसकी क्रिया-रेखा की बिन्दु $C$ से दूरी, $x_3 = \frac{GK}{2} = 2{\cdot}0$ m

तथा इसका बिन्दु $C$ के प्रति आघूर्ण $= W_3x_3 = 320\times 2 = \mathbf{640\ kN.m}$

अत: कुल भार, $W = W_1 + W_2 + W_3$

$= (112 + 140 + 320)$ kN $= 572$ kN

यदि इसके क्रिया-रेखा की बिन्दु $C$ से दूरी $= \bar{x}$ हो, तब बिन्दु $C$ पर आघूर्ण,

$W\bar{x} = W_1x_1 + W_2x_2 + W_3x_3$

$= (112 + 420 + 640)$ kN.m

$= 1172$ kN.m

तथा $\bar{x} = x\frac{W\bar{x}}{W}$

$= \frac{1172}{572} = 2{\cdot}05$ m

क्षैतिज भार $P$ व ऊर्ध्वाधर भार $W$ के परिणामी बल के आधार पर प्रतिच्छेदन बिन्दु की बिन्दु $C$ से दूरी—

$Z = \bar{x} + \frac{P}{W}\times\frac{H}{3}$ ...(सूत्र)

$= 2{\cdot}05 + \frac{122}{572}\times 2{\cdot}5$

$= 2{\cdot}05 + 0{\cdot}49$ m

$= 2{\cdot}54$ m

**(iii) प्रतिबलों की गणना—**

$Z = 2{\cdot}54$ m तथा $b = 4{\cdot}0$ m

भार की उत्केन्द्रिता, $e = Z - \frac{b}{2}$

$= 2{\cdot}54 - 2{\cdot}0\text{ m} = 0{\cdot}54\text{ m}$

तथा $\frac{6e}{b} = \frac{6\times 0{\cdot}54}{4} = 0{\cdot}81 < 1{\cdot}0$

अत: आधार पर **संपीडन प्रतिबल उत्पन्न** होगा।

तथा प्रतिबलों के मान—

(i) अधिकतम प्रतिबल $= \frac{W}{b}\left(1+\frac{6e}{b}\right)$

$= \frac{572}{4}(1+0{\cdot}81)\text{ kN/m}^2$

$= \mathbf{258{\cdot}83\text{ kN/m}^2}$ (संपीडन) उत्तर

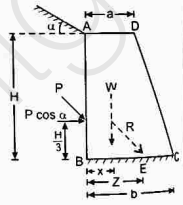
(ii) न्यूनतम प्रतिबल $= \frac{W}{b}\left(1-\frac{6e}{b}\right)$

$= \frac{572}{4}(1-0{\cdot}81)$

$= \mathbf{27{\cdot}17\text{ kN/m}^2}$ **(संपीडन)** उत्तर

## § 10.9. जब प्रतिधारक दीवार की पृष्ठ पर भराव अधिभारित हो (Surcharged Retaining Wall):

जब मृदा-भराव प्रतिधारक दीवार के शिखर (top) से भी ऊपर किसी ढ़ाल पर हो, तब इसे अधिभार (surcharge) कहते हैं। मान लो मृदा अधिभार दीवार की शिखर-क्षैतिज के साथ $\alpha$ कोण बनाता है (चित्र 10.17)। मृदा की स्थिरता की दृष्टि से यह अधिभार कोण, भराव की मृदा के विश्राम कोण (angle of repose) से अधिक नही होता है। अधिभारित स्थिति मे, भराव के कारण दीवार पर भराव की ढ़ाल के **समान्तर** एक बल कार्य करता है, जो निम्न सूत्र से ज्ञात किया जाता है—



चित्र 10.17

अत: मृदा का दाब, $P = \frac{wH^2}{2}\cos\alpha \times \left[\frac{\cos^2\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos^2\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}\right]$ ...(10.7)

यह बल दीवार पर, आधार से $\frac{H}{3}$ की ऊँचाई पर कार्यरत होता है। इस बल को क्षैतिज घटक $P_H$ तथा ऊर्ध्व घटक $P_V$ में ज्ञात कर लिया जाता है।

अत: (i) $P_H = P\cos\alpha$ यह घटक आधार से $\frac{H}{3}$ की ऊँचाई पर कार्यरत होगा। यहाँ $H$ = दीवार की ऊँचाई है।

बिन्दु $B$ के प्रति इसका आघूर्ण, $M_0 = P_H \times \frac{H}{3}$ होगा।

तथा (ii) $P_V = P\sin\alpha$ बिन्दु $B$ के प्रति इसका आघूर्ण, $M_1 = P_V \times 0 = 0$ होगा।

(iii) दीवार की प्रति मी० लम्बाई मे स्वयं का भार, $W = \left(\frac{a+b}{2}\right)\times H \times 1 \times \rho$ ...(सूत्र)



यह भार $B$ से $\bar{x}$ की क्षैतिज दूरी पर कार्यरत होगा। $B$ के प्रति इसका आघूर्ण, $M_2 = W\bar{x}$ होगा।

अत: $B$ के प्रति सभी आघूर्णों का बीजगणितीय योग—

$\Sigma M = M_0 + M_1 + M_2$ (सभी दक्षिणावर्ती दिशा में)

माना परिणामी बल, $R$ आधार को मृदा-फलक मे $Z$ दूरी पर काटता है। $R$ का ऊर्ध्व घटक,

$V = P_V + W$

चूँकि $R$ का आघूर्ण $\Sigma M$ है।

$B$ पर इसका आघूर्ण $\Sigma M = V\,Z$

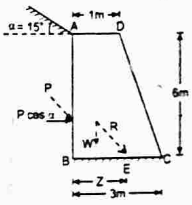
$\therefore$ $Z = \frac{\Sigma M}{V}$ तथा $e = Z - \frac{b}{2}$

आधार पर अभिलम्ब प्रतिबल—

$f_{max} = \frac{V}{b}\left[1+\frac{6e}{b}\right]$ ...(सूत्र)

$f_{min} = \frac{V}{b}\left[1-\frac{6e}{b}\right]$ ...(सूत्र)

**उदाहरण 10.10 : चित्र 10.18 में दर्शायी गयी एक प्रतिधारक दीवार की भीतरी ऊर्ध्वफलक पर अधिभारित (surcharged) मृदा भरी है, जिसका कोण 15° है। मृदा व चिनाई का घनत्व क्रमश: 16 kN/m³ व 20 kN/m³ हैं तथा मृदा का विश्राम कोण 30° है। दीवार की तली पर उत्पन्न प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिए।**



चित्र 10.18

हल : प्रश्नानुसार—

$a = 1\text{ m}, b = 3\text{ m}, H = 6\text{ m}, \phi = 30°, \alpha = 15°$

(i) प्रतिधारक दीवार की प्रति मी० लम्बाई पर मृदा दाब—

$P = \frac{wH^2}{2}\cos\alpha\left[\frac{\cos^2\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos^2\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}\right]$ ...(सूत्र)

$\cos\alpha = \cos 15° = 0{\cdot}9659$ तथा $\cos^2\alpha = 0{\cdot}9330$

$\cos\phi = \cos 30° = 0{\cdot}8660$ तथा $\cos^2\phi = 0{\cdot}7500$

$\therefore$ $P = \frac{16\times 6^2}{2}\times 0{\cdot}9659\left[\frac{0{\cdot}933 - \sqrt{0{\cdot}933 - 0{\cdot}750}}{0{\cdot}933 + \sqrt{0{\cdot}933 - 0{\cdot}750}}\right]$

$= 288\times 0{\cdot}9659\left[\frac{0{\cdot}933 - 0{\cdot}428}{0{\cdot}933 + 0{\cdot}428}\right]$

$= 288\times 0{\cdot}9659\times\frac{0{\cdot}505}{1{\cdot}361} = 103{\cdot}22\text{ kN}$

यह दाब आधार से $\frac{H}{3}$ पर अधिभारित भार के समान्तर अर्थात् क्षैतिज से 15° के कोण पर कार्यरत होगा। इस दाब का क्षैतिज घटक, $P_H = P\cos\alpha$ होगा।

$\therefore$ $P_H = 103{\cdot}22 \times 0{\cdot}9659$

$= 99{\cdot}70$ kN

दाब का ऊर्ध्व घटक, $P_V = P \sin \alpha$

$\therefore$ $P_V = 103{\cdot}22 \times 0{\cdot}2588$

$= 26{\cdot}71$ kN

(ii) प्रति मी० लम्बाई मे दीवार का भार—

$$W = \left(\frac{a+b}{2}\right) \times H \times 1 \times \rho \quad \text{...(मूल)}$$

$$= \left(\frac{1+3}{2}\right) \times 6 \times 1 \times 20 = 240 \text{ kN}$$

यह भार ऊर्ध्व फलक से $\bar{x}$ की दूरी पर कार्यरत है।

$$\bar{x} = \frac{a^2 + b^2 + ab}{3(a+b)} \quad \text{...(मूल)}$$

$$= \frac{1^2 + 3^2 + (1 \times 3)}{3(1+3)} = 1{\cdot}08$$

नीचे की ओर कार्यरत कुल ऊर्ध्व बल—

$V = P_V \times W$

$= 26{\cdot}71 + 240$

$= 266{\cdot}71$ kN

माना परिणामी बल, $R$ आधार को बिन्दु $B$ से $Z$ की दूरी पर काटता है और $R$ का ऊर्ध्व घटक $V$ है। $B$ के प्रति इसका आघूर्ण लेने पर—

$$V \times Z = \left(P_H \times \frac{H}{3}\right) + (W \bar{x})$$

$$266{\cdot}71 \times Z = \left(99{\cdot}7 \times \frac{6}{3}\right) + (240 \times 1{\cdot}08)$$

$$266{\cdot}71\, Z = 458{\cdot}6$$

$\therefore$ $Z = 1{\cdot}72$ m

उत्केन्द्रता, $e = Z - \frac{b}{2} = 1{\cdot}72 - 1{\cdot}5 = 0{\cdot}22$ m

$\therefore$ आधार पर प्रतिबल तीव्रता—

(i) $$f_{max} = \frac{V}{b}\left[1 + \frac{6e}{b}\right] = \frac{266{\cdot}71}{3}\left[1 + \frac{6 \times 0{\cdot}22}{3}\right]$$

$$= \frac{266{\cdot}71}{3} \times 1{\cdot}44 = \mathbf{128\ kN/m^2}$$ उत्तर

(ii) $$f_{min} = \frac{V}{b}\left[1 - \frac{6e}{b}\right] = \frac{266{\cdot}71}{3}\left[1 - \frac{6 \times 0{\cdot}22}{3}\right]$$

$$= \frac{266{\cdot}71}{3} \times 0{\cdot}56 = \mathbf{50\ kN/m^2}$$ उत्तर



## (II) प्रतिधारक दीवारें तथा जल-दाब
## (Retaining Walls and Water Pressure)

### § 10.10. जल-दाब (Water Pressure) :

जब किसी दीवार के एक तरफ जल का भराव किया जाता है, इसे बाँध (Dam) कहते हैं। बाँध मृदा, चिनाई, इस्पात अथवा कंक्रीट के हो सकते है। यहां हम चिनाई बाँध की चर्चा कर रहे है। चिनाई बाँध भी एक प्रतिधारक दीवार की भाँति कार्य करता है और इस पर बलो का विश्लेषण भी प्रतिधारक दीवार की भाँति किया जाता है।

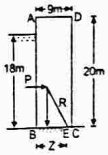
बहो-बाँध के जिस ओर जल भरा रहता है, उसे प्रतिप्रवाह (upstream) कहते है और विपरीत फलक अनुप्रवाह (Down stream) कहलाती है। प्रतिप्रवाह (U/S) मे जल निर्गंडारण बाँध के शीर्ष (Top) से कुछ नीचे तक ही किया जाता है ताकि अधिप्रवाह (Overflow) होने पर, बाँध क्षतिग्रस्त न हो जाये। जलाशय पूर्ण जल तल (Full Lake Level) तथा बाँध शीर्ष के ऊर्ध्व-अन्तर को मुक्तान्तर (Free Board) कहते है। बाँध की जल-भराव फलक सामान्यत: ऊर्ध्व रखी जाती है और पीट को आवश्यक ढालू रखा जाता है, ताकि परिणामी बल (Resultant) आधार की मध्य-तिहाई (Middle Third) मे पारित हो।

बाँध के प्रतिप्रवाह (U/S) में लगने वाले जल-दाब की तीव्रता जल-सतह पर शून्य (zero) होती है और तली पर बढ़ते-बढ़ते $wh$ हो जाती है। यहाँ $w$ जल का घनत्व और $h$ बाँध मे जल की गहरायी (ऊँचाई) है। अत: दाब आरेख त्रिभुजाकार (Triangular Pressure Diagram) बनती है। दाब आरेख के अनुसार बाँध पर जल-दाब $P = \frac{wh^2}{2}$ लगता है, जो आधार (तली) से $\frac{h}{3}$ की ऊँचाई पर कार्यरत होता है। यह दाब बाँध-पिण्ड को तली पर खिसकाने/पलटने का जतन करता है, जबकि बाँध-चिनाई का भार, $W$, जो इसके गुरुत्व केन्द्र से ठीक ऊर्ध्व नीचे को कार्यरत होता है, बाँध को स्थिरता प्रदान करता है। बाँध की सुरक्षा की दृष्टि से इन दोनों बलो का परिणामी $R$, बाँध के आधार से पारित होना चाहिये और बाँध-चिनाई मे तनन प्रतिबलो को उपजने से रोकने के लिये, उपरोक्त परिणामी आधार की **मध्य-तिहाई** से निकलना आवश्यक है।

उपरोक्त की विस्तृत चर्चा अनुच्छेद 10.6 में की गयी है।

**उदाहरण 10.11 : चिनाई के एक आयताकार परिच्छेद वाले बाँध की चौड़ाई 9 मी० और ऊँचाई 20 मी० है। इसके प्रतिप्रवाह में 18 मी० की ऊँचाई तक जल भरा हुआ है। बाँध पर कार्यरत बलों के परिणामी की स्थिति ज्ञात करें। चिनाई का घनत्व 20 kN/m³ और जल का 10 kN/m³ मान लें।**

हल : बाँध की एक मी० लम्बाई पर विचार करते हुये—



चित्र 10.19

(i) बाँध पर जल दाब, $P = \frac{wh^2}{2} \times 1$

$$= \frac{10 \times 18^2}{2} \times 1 = 1620 \text{ kN}$$

यह दाब तली से $\frac{18}{3} = 6$ मी० की ऊँचाई पर कार्य करेगा।

(ii) बाँध का स्वयं का भार, $W = (9 \times 20 \times 1) \times 20$

$= 3600$ kN

यह भार बाँध की मध्य चौड़ाई अर्थात् प्रतिप्रवाह फलक से $\frac{9{\cdot}0}{2} = 4{\cdot}5$ मी० की दूरी पर कार्य करेगा।

(iii) मानो उपरोक्त दोनो बलो का परिणामी $R$, प्रतिप्रवाह फलक से $Z$ की दूरी पर, बिन्दु $E$ (चित्र 10.19) से पारित होता है।

इस बिन्दु के प्रति सभी बलों का आघूर्ण लेने पर—

$$P \times \frac{18}{3} = W\left(Z - \frac{9}{2}\right)$$

$$\therefore \quad Z = \frac{P \times 18}{3W} + \frac{9}{2}$$

अथवा $$= \frac{1620 \times 18}{3 \times 3600} + \frac{9}{2} = 2{\cdot}7 + 4{\cdot}5 = \mathbf{7{\cdot}2\ m}$$ उत्तर

उत्केन्द्रता, $e = Z - \frac{b}{2} = 7{\cdot}2 - \frac{9{\cdot}0}{2} = \mathbf{2{\cdot}7\ m}$ उत्तर

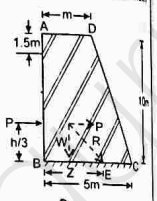
**उदाहरण 10.12 : एक चिनाई-बाँध शीर्ष पर एक मी० और तली पर 5 मी० चौड़ा है और इसकी ऊँचाई 10 मी० है। बाँध का मुक्तान्तर (Free Board) 1·5 मी० है। यदि चिनाई का घनत्व 25 kN/m³ और जल का घनत्व 18 kN/m³ हो, नींव पर अधिकतम व न्यूनतम प्रतिबल ज्ञात कीजिए।** (B.T.E.)

**हल :** बाँध की लम्बाई एक मी० लेते हुये—

प्रतिप्रवाह मे जल की गहरायी = 10 – 1·5 = 8·5 m

(i) दीवार पर लगने वाला जल-दाब—

$$P = \frac{wh^2}{2} = \frac{10 \times (8{\cdot}5)^2}{2} = 361{\cdot}52\ \text{kN}$$



चित्र 10.20

यह बल तली से $\frac{h}{3}$ अर्थात् $\frac{8{\cdot}5}{3}$ की ऊँचाई पर कार्यरत होगा। यह बल दीवार को पलटने की चेष्टा करेगा।

(ii) चिनाई के भार के कारण ऊर्ध्व बल, $W = \left(\frac{a+b}{2}\right) \times H \times 1 \times \rho$ ...(सूत्र)

यहाँ $a$ = शीर्ष चौड़ाई = 1 m, $b$ = तली चौड़ाई = 5 m

$H$ = कुल ऊँचाई = 10 m

$\rho$ = चिनाई का घनत्व = 25 kN/m³

अत: $$W = \left(\frac{1+5}{2}\right) \times 10 \times 1 \times 25$$

$$= 750\ \text{kN}$$

यह बल बाँध की जल-फलक से $\bar{x}$ की दूरी पर, इसके गुरुत्व केन्द्र पर ऊर्ध्व कार्यरत होगा और बाँध को परिस्थापित करेगा।

अत: $$\bar{x} = \frac{a^2 + ab + b^2}{3(a+b)}$$ ...(सूत्र)

$$\therefore \quad \bar{x} = \frac{1+5+25}{3(1+5)} = 1{\cdot}72\ \text{m}$$

माना जल-दाब $P$ व चिनाई भार $W$ बलों का परिणामी ($R$), तली पर बिन्दु $E$ से पारित होता है और इस बिन्दु की जल फलक से दूरी $Z$ है।



बिन्दु $E$ के प्रति उपरोक्त बलों का आघूर्ण लेने पर—

$$P \times \frac{h}{3} = W(Z - \bar{x})$$

$$\therefore \quad Z = \bar{x} + \frac{Ph}{3W}$$

ज्ञात मान रखने पर $$Z = 1{\cdot}72 + \left[\frac{361{\cdot}25 \times 8{\cdot}5}{3 \times 750}\right]$$

$$= 1{\cdot}72 + 1{\cdot}37 = 3{\cdot}09\ \text{m}$$

$$\therefore \quad \text{उत्केन्द्रता, } e = Z - \frac{b}{2} \quad \because \ b = 5$$

$$= 3{\cdot}09 - 2{\cdot}5 = 0{\cdot}59\ \text{m}$$

तली पर प्रतिबल वितरण $= \frac{W}{b}\left[1 \pm \frac{6e}{b}\right]$ ...(सूत्र)

अत: (i) अधिकतम प्रतिबल $= \frac{750}{5}\left(1 + \frac{6 \times 0{\cdot}59}{5}\right)$

$$= 150 \times 1{\cdot}708$$

$$= \mathbf{256{\cdot}2\ kN/m^2}\ \text{सम्पीडन}$$ उत्तर

(ii) न्यूनतम प्रतिबल $= \frac{750}{5}\left[1 - \frac{6 \times 0{\cdot}59}{5}\right] = 150 \times 0{\cdot}292$

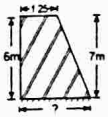
$$= \mathbf{43{\cdot}8\ kN/m^2}\ \text{सम्पीडन}$$ उत्तर

**उदाहरण 10.13 : एक समलम्बाकार चिनाई के बाँध की आधार पर न्यूनतम चौड़ाई ज्ञात कीजिए, जबकि इसके शीर्ष की चौड़ाई 1·25 मी० है और ऊँचाई 7 मी० है। बाँध के प्रतिप्रवाह में जल की गहरायी 6 मी० है और यह फलक ऊर्ध्वाधर है। चिनाई का घनत्व 22 kN/m³ और जल का इकाई भार 10 kN/m³ मान लें। नींव मृदा व चिनाई के मध्य घर्षण गुणांक 0·6 लें।**

**हल :** बाँध की एक मी० लम्बाई पर विचार करते हुये—

माना बाँध की आधार-चौड़ाई $b$ मी० है।

बाँध के अन्य माप चित्र 10.21 मे दिखाये गये हैं।



चित्र 10.21

(i) बाँध पर जल-दाब, $P = \frac{wh^2}{2}$ ...(सूत्र)

$$= \frac{10 \times (6)^2}{2} = 180\ \text{kN}$$

यह दाब आधार से $\frac{h}{3} = \frac{6}{3} = 2$ m की ऊँचाई पर क्षैतिज कार्यरत होगा।

(ii) बाँध का स्वयं का भार, $W = \left(\frac{a+b}{2}\right) \times H \times 1 \times \rho$ ...(सूत्र)

$$= \left(\frac{1{\cdot}25 + b}{2}\right) \times 7 \times 1 \times 22$$

$$= 77\,(1{\cdot}25 + b)\ \text{kN}$$

civilguru.net

यह भार बाँध की ऊर्ध्वफलक से $\bar{x}$ दूरी पर कार्य करेगा।

$\bar{x}$ का मान निम्न सूत्र से ज्ञात किया जाता है—

$$\bar{x} = \frac{a^2 + ab + b^2}{3(a+b)} \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= \frac{(1{\cdot}25)^2 + 1{\cdot}25b + b^2}{3(1{\cdot}25 + b)}$$

$$\therefore \quad \bar{x} = \frac{b^2 + 1{\cdot}25b + 1{\cdot}563}{3(b + 1{\cdot}25)}$$

(iii) माना $P$ व $W$ बलों का परिणामी $R$, प्रतिप्रवाह फलक से $Z$ की दूरी पर आधार से परावर्तित होता है। अत: तनन प्रतिबल न उपजने के लिये, $Z = \frac{2}{3}b$ होना चाहिये (मध्य-तिहाई नियम के अनुसार)।

परन्तु $$Z = \bar{x} + \left(\frac{P}{W} \times \frac{h}{3}\right) \quad \text{...(सूत्र)}$$

अत: $$\frac{2b}{3} = \left[\frac{b^2 + 1{\cdot}25b + 1{\cdot}56}{3(b + 1{\cdot}25)}\right] + \left[\frac{180}{77(b + 1{\cdot}25)} \times \frac{6}{3}\right]$$

अथवा $$\frac{2b}{3} = \frac{b^2 + 1{\cdot}25b + 1{\cdot}56}{3(b + 1{\cdot}25)} + \frac{14{\cdot}03}{3(b + 1{\cdot}25)}$$

अथवा $$2b\,(b + 1{\cdot}25) = b^2 + 1{\cdot}25\,b + 1{\cdot}56 + 14{\cdot}03$$

$b^2 + 1{\cdot}25b - 15{\cdot}59 = 0$ यह एक द्विघातीय समीकरण (Quadratic Equation) है, हल करने पर,

$$b = 3{\cdot}37 \text{ m}$$

बाँध की सरकने के प्रति जाँच, $P < \mu W$

यहाँ $\mu = 0{\cdot}6$ $W = 77\,(11{\cdot}25 + b)$

$= 77\,(1{\cdot}25 + 3{\cdot}37) = 355{\cdot}74$ kN

जाँच $180 < 0{\cdot}60 \times 355{\cdot}74$

$180 < 213{\cdot}45$ kN, अत: बाँध सरकने के प्रति सुरक्षित है।

अत: बाँध की आधार चौड़ाई $3{\cdot}37$ m say **3·4 m** उत्तर

## (III) पवन दाब तथा चिमनियाँ
## (Wind Pressure and Chimneys)

### § 10.10. पवन दाब (Wind Pressure) :

ऊँची दीवारों तथा कारखानों की चिमनियों पर वायुदाब लगता है। ये संरचनायें सामान्यत: चिनाई/कंक्रीट की होती है। इनके अभिकल्पन में पवन दाब विचार में लिया जाता है। यह दाब भी पार्श्व दाब ही होता है।

विगत धाराओं में पार्श्व दाब के अन्तर्गत मृदा दाब एवं उसके प्रतिधारक दीवार पर होने वाले परिणामों की चर्चा की गयी है। मृदा दाब की तीव्रता मृदा भराव के ऊपरी तल पर शून्य तथा निचले तल पर अधिकतम होती है। यह गहराई के अनुपात में बढ़ती जाती है। पवन दाब की तीव्रता **एक-समान** (uniform) रहती है और इसकी प्रवृत्ति मृदा दाब की भाँति संरचना (ऊँची दीवार या चिमनी) को आधार पर पलटाने की होती है। इस प्रकार पवन दाब के कारण संरचना के आधार पर बंकन आघूर्ण



आता है, जिसके फलस्वरूप आधार खण्ड पर बंकन प्रतिबल (bending stress) उत्पन्न होता है। संरचना के स्वयं के भार के कारण आधार खण्ड पर अक्षीय प्रतिबल (axial stress) उत्पन्न होता है।

इस प्रकार संरचना के आधार खण्ड पर परिणामी प्रतिबल का वितरण उपरोक्त अक्षीय तथा बंकन प्रतिबलों के बीजगणितीय योग द्वारा प्राप्त होता है। इसे आरेख द्वारा भी दर्शित किया जाता है।

यदि किसी संरचना (ऊँची दीवार/चिमनी) के लिये—

$W$ = संरचना का स्वयं का भार (Self weight of Structure) (kN)

$P$ = कुल पवन दाब (Total wind Pressure) (kN)

$\bar{h}$ = कुल पवन दाब '$P$' के क्रिया-रेखा की संरचना के आधार से ऊँचाई (m)

$M$ = आधार पर बंकन आघूर्ण (kNm)

$Z$ = आधार खण्ड का परिच्छेद मापांक (Section modulus) ($m^3$)

$A$ = आधार खण्ड का क्षेत्रफल ($m^2$)

$K$ = आकृति गुणांक (Shape factor)

$A_p$ = पवन दिशा के लम्बवत् समतल पर संरचना का प्रक्षेपित क्षेत्रफल (Projected area) ($m^2$)

$p_1$ = पवन दाब की एक-समान तीव्रता ($kN/m^2$)

$p_a$ = अक्षीय प्रतिबल (Axial stress) ($kN/m^2$)

$p_b$ = बंकन प्रतिबल (Bending stress) ($kN/m^2$)

$p$ = परिणामी प्रतिबल (Resultant stress) ($kN/m^2$)

तब, (i) संरचना के भार के कारण उत्पन्न अक्षीय प्रतिबल

$$P_a = \frac{W}{A} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(ii) कुल पवन दाब $P = Kp_1A_p$ (kN)

(iii) पवन दाब के कारण आधार पर बंकन आघूर्ण, $M = P\bar{h}$ (kN.m)

(iv) बंकन आघूर्ण के फलस्वरूप आधार पर उत्पन्न बंकन प्रतिबल

$$p_b = \pm \frac{M}{Z} = \pm \frac{P\bar{h}}{Z} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

इस प्रकार अक्षीय प्रतिबल ($p_a$) तथा बंकन प्रतिबल ($p_b$) का मान ज्ञात होने पर परिणामी प्रतिबल का मान इसके बीजगणितीय योग से प्राप्त होगा।

इस प्रकार परिणामी प्रतिबल, $p = p_a + p_b = \frac{W}{A} \pm \frac{P\bar{h}}{Z}$

उपरोक्तानुसार संरचना (ऊँची दीवार/चिमनी) के आधार पर उत्पन्न परिणामी प्रतिबल वितरण ज्ञात होगा। स्पष्ट है सरचना की सुरक्षा के लिये—

(i) चिनाई में तनन प्रतिबल उत्पन्न नहीं होना चाहिये।

(ii) अधिकतम उपजे प्रतिबल संदलन प्रतिबल (crushing stress) से कम होना चाहिये।

उपरोक्त आधार पर प्रत्येक संरचना का विश्लेषण निम्न है—

civilguru.net

**10.11-1. दीवार पर पवन दाब** (Wind pressure on walls)—चित्र 10.22 मे ऊँची दीवार दर्शित है।

यदि—

$H$ = दीवार की ऊँचाई (m),

$\rho$ = चिनाई का घनत्व (kN/m$^3$)

$T$ = दीवार की मोटाई (m)

**दीवार की 1 मी० लम्बाई के लिये—**

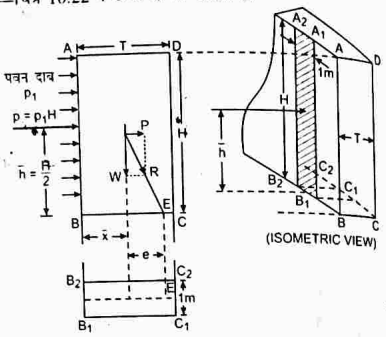
$A_p$ = क्षेत्रफल $A_1A_2B_2B_1$

$= H \times 1$ (m$^2$)

जिस पर पवन दाब आता है।

$A$ = आधार पर क्षेत्रफल

$= T \times 1$ (m$^2$)




चित्र 10.22

$W$ = दीवार का स्वयं भार = $(T \times 1 \times H \times \rho)$ kN

$P$ = कुल पवन दाब = $p_1 \times H \times 1$ (kN)

$\bar{h}$ = कुल पवन दाब के क्रिया-रेखा की ऊँचाई = $\frac{H}{2}$ (m)

अत: अक्षीय प्रतिबल, $p_a = \frac{W}{A} = \frac{T.H.\rho}{T} = H\rho$ kN/m$^2$ ...(i)

बकन आघूर्ण, $M = P\bar{h} = (p_1 \times H)\frac{H}{2} = \frac{p_1H^2}{2}$ (kN.m)

आधार खण्ड का परिच्छेद मापांक = $Z = \frac{1 \times T^2}{6}$

अत: बंकन प्रतिबल = $\pm \frac{M}{Z} = \pm \frac{p_1H^2}{2} \times \frac{6}{T^2}$

$= \pm \frac{3p_1H^2}{T^2}$ kN/m$^2$ ...(ii)

अत: परिणामी प्रतिबल = $\frac{W}{A} \pm \frac{M}{Z}$

$= H\rho \pm \frac{3p_1H^2}{T^2}$ kN/m$^2$ ...(10.8)

**10.11-2. चिमनियों पर पवन दाब** (Wind Pressure on Chimneys)—चिमनियाँ दीवारों की अपेक्षा ऊंची होती हैं। यद्यपि उन पर पवन दाब का परिणाम उसी तरह होता है जैसा धारा 10.11 मे वर्णित है।

चिमनियाँ सभी ऊँचाईयो पर एक समान खण्ड अथवा टेपर हो सकती हैं। जब ऊँचाई अधिक होती है, तब चिमनी के शिखर पर परिमाप उसके आधार खण्ड के परिमापो से कम रखे जाते है। ऐसा चिमनी की स्थिरता को ध्यान में रखते हुये किया जाता है। ऐसी चिमनी को **टेपर चिमनी** (taper chimney) कहा जाता है।



चिमनी एक समान खण्ड की हो या टेपर चिमनी हो, उस पर पवन दाब का परिणाम वही होगा जैसा चित्र 10.11 में वर्णित है। हमे चिमनी के लिये अक्षीय प्रतिबल $p_a$ तथा बंकन प्रतिबल "$p_b$" के मान ज्ञात कर चिमनी के आधार पर उत्पन्न परिणामी प्रतिबल वितरण ज्ञात करना होगा।

अनुच्छेद 10.11 मे अंकित आकृति गुणांक का मान निम्नवत् अनुच्छेद 10.11-3 के अनुसार लिया जायेगा।

**10.11-3. आकृति गुणांक** (Shape Factor)—भारतीय मानक I.S. : 875 द्वारा चिमनी के खण्डो के विभिन्न आकारो के लिये गुणांक निर्धारित किये गये है। इन्हें आकृति गुणांक कहा जाता है।

यह गुणांक पवन की दिशा तथा चिमनी की ऊँचाई एवं उसकी आधार खण्ड पर चौड़ाई के अनुपात के आधार पर निर्धारित किये गये है। आकृति गुणांक को "K" से दर्शित किया जाता है।

विभिन्न खण्डों के लिये आकृति गुणांक तालिका 10.2 मे दिये गये है—

**तालिका 10.2—आकृति गुणांक (Shape factor)**

| खण्ड की आकृति एवं पवन दिशा | आकृति गुणांक | | |
|---|---|---|---|
| | चिमनियों की ऊँचाई व आधार खण्ड पर चौड़ाई का अनुपात H/B अथवा H/D) | | |
| | 0 से 4 | 4 से 8 | 8 से अधिक |
| 1. गोलाकार | 0·7 | 0·7 | 0·7 |
| 2. अष्टभुजाकार (octagonal) | 0·8 | 0·9 | 1·0 |
| 3. वर्गाकार, पवन खण्ड के विकर्ण (diagonal) के लम्बवत् | 0·8 | 0·9 | 1·0 |
| 4. वर्गाकार, पवन बाहरी फलक (face) के लम्बवत् | 1·0 | 1·15 | 1·30 |

**10.11-4. कुल पवन दाब की क्रिया-रेखा की स्थिति**—धारा 10.11 में अंकित कुल पवन दाब $P$ का मान निम्नवत् ज्ञात होगा—

$$P = K p_1 A_p \text{ (kN)} \quad ...(10.9)$$

यहाँ $K$ = आकृति गुणांक (shape factor)

$p_1$ = पवन दाब की एक समान तीव्रता (kN/m$^2$)

$A_p$ = पवन दिशा के लम्बवत् समतल पर चिमनी का प्रक्षेपित क्षेत्रफल (m$^2$)

स्पष्ट है कि पवन दाब चिमनी के बाहरी सतह पर पूरी ऊँचाई में क्रियाशील होगा तथा बाहरी सतह पवन दिशा के लम्बवत् होगी या नत (inclined) होगी।

बाहरी सतह नत होने की स्थिति मे संरचना के उपरोक्तानुसार प्रक्षेपित क्षेत्रफल $A_p$ पर पवन दाब क्रियाशील होगा।

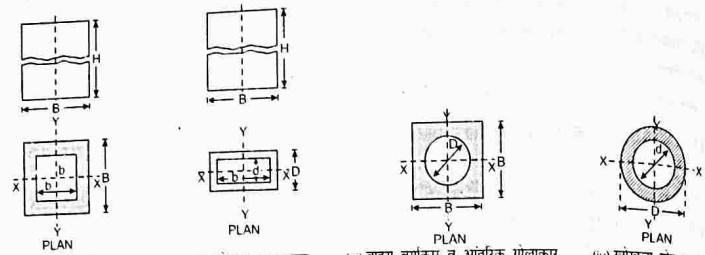
अत: कुल पवन दाब $P$ की क्रिया-रेखा प्रक्षेपित क्षेत्रफल $A_p$ के गुरुत्व केन्द्र से गुजरती है।

इस प्रकार कुल पवन दाब के क्रिया-रेखा की स्थिति क्षेत्रफल $A_p$ के गुरुत्व-केन्द्र की स्थिति से ज्ञात की जावेगी। यह आगे प्रत्येक चिमनी के विश्लेषण में स्पष्ट किया गया है।

**10.11-5. चिमनियों के लिये खण्ड** (Sections for Chimneys)—चिमनियो के लिये खण्ड कई प्रकार के हो सकते है। चित्र 10.23 मे कुछ खण्ड दर्शित किये गये है। चित्र मे परिमाप भी दर्शित है।

चित्र 10.23 मे दर्शित खण्डो के गुणधर्म तालिका 10.3 में दिये गये है। तालिका मे अंकित प्रक्षेपित क्षेत्रफल एकसमान खण्ड की चिमनी मानते हुये दिया गया है। टेपर चिमनी के लिये गणना धारा 10.13 मे दी गयी है—

civilguruji




चित्र 10.23—चिमनियों के विशेष खण्ड (Sections)

तालिका 10.3—आधार खण्डों के गुण धर्म, चित्र 10.23 के अनुसार

| आधार खण्ड का प्रकार | क्षेत्रफल ($A$) | पवन दाब की दिशा | प्रक्षेपित क्षेत्रफल ($Ap$) | परिच्छेद मापांक ($Z$) |
|---|---|---|---|---|
| (क) खोखला वर्गाकार | $(B^2 - b^2)$ | $XX$ अथवा $YY$ के लम्बवत | $B \times H$ | $\frac{1}{6B}(B^4 - b^4)$ |
| (ख) खोखला आयताकार | $(BD - bd)$ | $XX$ के लम्बवत् | $B \times H$ | $\frac{1}{6B}(BD^3 - bd^3)$ |
| | | $YY$ के लम्बवत् | $D \times H$ | $\frac{1}{6B}(DB^3 - db^3)$ |
| (ग) बाहर से वर्गाकार आन्तरिक गोलाकार | $\left(B^2 - \frac{\pi}{4}D^2\right)$ | $XX$ अथवा $YY$ के लम्बवत् | $B \times H$ | $\frac{2}{B}\left\{\frac{B^4}{12} - \frac{\pi D^4}{64}\right\}$ |
| (घ) खोखला गोलाकार | $\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ | $XX$ अथवा $YY$ के लम्बवत | $D \times H$ | $\frac{\pi}{32} \times \frac{(D^4 - d^4)}{D}$ |

## § 10.12. एकसमान खण्ड की चिमनियाँ (Chimneys with Uniform Section) :

जैसा कि अनुच्छेद 10.11-2 मे वर्णित है, इन चिमनियों का खण्ड सभी ऊँचाईयो पर एकसमान होता है। अत: चिमनी का पूर्ण ऊँचाई मे खण्ड का क्षेत्रफल, आधार खण्ड के क्षेत्रफल के बराबर होता है। अन्य शब्दो मे चिमनी भूमि पर खड़े ऊर्ध्वाधर बेलन की भाँति होगी।

अत: अनुच्छेद 10.11 के अनुसार चिमनी मे सम्बन्धित सभी मात्राये दर्शित करने पर—

**(1) अक्षीय प्रतिबल ($p_a$)—**

चिमनी का अपना भार, $W$ = चिमनी का आयतन (Volume) × चिनाई का घनत्व

चिमनी का आयतन, $V$ = आधार-खण्ड पर क्षेत्रफल × ऊँचाई

$\therefore$ $V = A \times H\ (m^3)$

यदि $\rho$ = चिनाई का घनत्व $(kN/m^3)$

तब भार, $W = \rho A.H\ (kN)$



तथा अक्षीय प्रतिबल—

$$p_a = \frac{W}{A} = \frac{AH\rho}{A} = H\rho\ (kN/m^3) \qquad ...(10.9)$$

**(2) आधार खण्ड पर बंकन प्रतिबल**—अनुच्छेद 10.11-4 के अनुसार

कुल पवन दाब = $P = K \cdot p_1 A_p$

यहाँ $K$ = आकृति गुणांक (तालिका 10.2 के अनुसार लिया जायेगा)

$p_1$ = पवन दाब की एकसमान तीव्रता $(N/m^2)$

$A_p$ = पवन दिशा के लम्बवत् समतल पर चिमनी का प्रक्षेपित क्षेत्रफल $(m^2)$

स्पष्ट है कि क्षेत्रफल $A_p$ आयताकार होता है तथा $A_p = B \times H$ (अथवा $D \times H$)

यहाँ $H$ = ऊँचाई ... (m)

तथा $B$ (अथवा $D$) = आधार-खण्ड पर चिमनी की चौड़ाई (अथवा व्यास) (m)

इस प्रकार $P = K p_1 A_p$

तथा इसकी क्रिया-रेखा $\frac{H}{2}$ ऊँचाई पर स्थित होगी। अथवा $\bar{h} = \frac{H}{2}$

अत: आधार पर बंकन आघूर्ण, $M = P\bar{h} = \frac{PH}{2}$

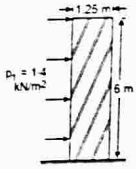
तथा आधार-खण्ड पर बंकन प्रतिबल, $P_b = \pm \frac{M}{Z} = \pm \frac{PH}{2 \times Z}$ ...(10.10)

यहाँ $Z$ = आधार-खण्ड के लिये परिच्छेद मापांक (section modulus)।

तालिका 10.3 मे कुछ खण्डो के लिये परिच्छेद मापांक (section modulus)।

तालिका 10.3 मे कुछ खण्डो के लिये परिच्छेद मापांक के लिये सूत्र दिये गये है। अन्य खण्डो के लिये इसे गणना द्वारा ज्ञात किया जायेगा।

**उदाहरण 10.14 : चिनाई की एक दीवार 1·25 मी मोटी तथा 6·0 मी० ऊँची है। यदि दीवार पर 1·4 kN/m² एकसमान (uniform) क्षैतिज पवन दाब आ रहा हो तो दीवार के आधार पर उत्पन्न प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये। चिनाई का घनत्व 19·5 kN/m³ लीजिये।**




चित्र 10.24

**हल : दीवार की 1 मीटर लम्बाई के लिये—**

$p_1 = 1{\cdot}4\ kN/m^2$ $\quad T = 1{\cdot}25\ m$

$H = 6{\cdot}0\ m$ $\quad \rho = 19{\cdot}5\ kN/m^3$

(i) दीवार का स्वयं का भार, $W = T.H.\rho$

आधार क्षेत्रफल, $A = T \times 1$

अत: अक्षीय प्रतिबल, $p_a = \frac{TH\rho}{T \times 1} = H\rho\ kN/m^2$

$= 6 \times 19{\cdot}5\ kN/m^2$

$= 117{\cdot}0\ kN/m^2$ ...(i)

(ii) दीवार पर कुल पवन दाब—

$P = p_1 \times A_p$ जहाँ $A_p = H \times 1\ m^2$ (प्रक्षेपित क्षेत्रफल)

$= p_1 \times H = 1{\cdot}4 \times 6\ kN$

$\bar{h}$ = इसकी क्रिया-रेखा की आधार से ऊँचाई = $\frac{H}{2}$ = 3·0 m

अत: बंकन आघूर्ण = $P\bar{h}$ = 1·4 × 6 × 3 kN.m
= 25·2 kN.m

परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{1 \times T^2}{6} = \frac{1 \times 1{\cdot}25^2}{6}$ m³

अत: बंकन प्रतिबल, $P_b = \pm \frac{M}{Z} = \pm \frac{25{\cdot}2 \times 6}{1{\cdot}25^2}$ kN/m²
= ± 96·77 kN/m² ...(ii)

अत: परिणामी प्रतिबल = $p_a \pm p_b$
= 117 ± 96·77 kN/m²
= **213·77 kN संपीडन**

तथा = **20.23 kN/m² संपीडन** उत्तर

**उदाहरण 10.15 : एक दुर्ग की दीवार, जो समान रूप से 2·0 मी० मोटी और 20·0 मी० ऊँची है, पर 0·8 kN/m² का एक-समान पवन-दाब लग रहा है। चिनाई का घनत्व 20 kN/m³ है। आधार पर उपजे प्रतिबल ज्ञात कीजिये।**

**हल :** दीवार की एक मी० लम्बाई पर विचार करने पर—

(i) दीवार का स्वयं का भार, $W = 1 \times T \times H \times P$
$= 1 \times 2 \times 20 \times 20$
= 800 kN

अक्षीय या सीधा प्रतिबल, $p_a = \frac{W}{A} = \frac{800}{1 \times 2}$ = 400 kN/m²

(ii) दीवार पर कुल क्षैतिज पवन दाब, $P$ = सम्पर्क सतह का क्षेत्रफल × दाब-तीव्रता
$= 1 \times H \times p$
$= 1 \times 20 \times 0{\cdot}8$ = 16 kN

यह दाब आधार से $\frac{H}{2}$ की ऊँचाई पर कार्यरत है।

अत: आधार पर बंकन आघूर्ण, $M = P \times \frac{H}{2} = 16 \times \frac{20}{2}$ = 160 kN.m

बंकन प्रतिबल, $p_b = \pm \frac{M}{I} \times y$
$= \pm \frac{160 \times 3}{2} \times I$
= 240 kN/m²

$I = \frac{1 \times T^3}{12} = \frac{1 \times 2^3}{12} = \frac{2}{3}$ m⁴

$Y = \pm \frac{T}{2} = \frac{2}{2} = 1$ m

आधार पर प्रतिबल—

(i) $p_{max} = p_a + p_b$
= 400 + 240 = **640 kN/m² (सम्पीडन)** उत्तर

(ii) $p_{min} = p_a - p_b$
= 400 − 240 = **160 kN/m² (सम्पीडन)** उत्तर



**उदाहरण 10.16 : चिनाई के एक दीवार की मोटाई 0.90 मीटर है। यदि इस दीवार पर 2·5 kN/m² का एक-समान क्षैतिज पवन दाब आ रहा हो तो दीवार की वह ऊँचाई ज्ञात कीजिये, जिसमें उसमें तनन प्रतिबल उत्पन्न न हो। चिनाई का घनत्व 20 kN/m³ लीजिये।**

**हल :** माना कि (चित्र 10.22 देखें)

$H$ = दीवार की ऊँचाई, मी० में
$T$ = दीवार की मोटाई = 0·9 मी०
ρ = चिनाई का घनत्व = 20 kN/m³

दीवार की 1 मीटर लम्बाई के लिये—

(1) आधार पर अक्षीय प्रतिबल (axial stress)—

$p_a = H\rho = 20H$ kN/m² ...(i)

पवन दाब की तीव्रता, $p_1$ = 2·5 kN/m²

दीवार का लम्बवत् क्षेत्रफल, $A_p = H \times 1$ m²

अत: कुल पवन दाब, $P = p_1 \times A_p$
$= 2{\cdot}5H$ (kN)

क्रिया-रेखा (line of action) की ऊँचाई, $\bar{h} = \frac{H}{2}$

अत: बंकन आघूर्ण, $M = P\bar{h}$
$= \frac{2{\cdot}5H^2}{2}$

परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{1 \times T^2}{6} = \frac{1 \times (0{\cdot}9)^2}{6} = \frac{0{\cdot}81}{6}$ m³

तथा बंकन प्रतिबल = $\pm \frac{M}{Z}$

$P_b = \pm \frac{2{\cdot}5H^2}{2} \times \frac{6}{0{\cdot}81}$ kN/m² ...(ii)

तनन प्रतिबल उत्पन्न न होने के लिये, $p_a = p_b$

अत: $20H = \frac{2{\cdot}5H^2}{2} \times \frac{6}{0{\cdot}81}$

$20 = \frac{7{\cdot}5H}{0{\cdot}81}$

∴ $H = \frac{20 \times 0{\cdot}81}{7{\cdot}5}$ = **2·16 m** उत्तर

**उदाहरण 10.17 : ईंट चिनाई की एक दीवार भूमितल से 4·5 मी० ऊँची है। इस पर 30 kN/m का छत भार तथा 0·4 kN/m² की दर से क्षैतिज पवन दाब लग रहा है। दीवार की आवश्यक मोटाई ज्ञात करें। चिनाई का भार 20 kN/m³ और सम्पीडन सामर्थ्य 600 kN/m² मान लें।** (B.T.E.)

**हल :** माना दीवार की मोटाई = $T$ मी०

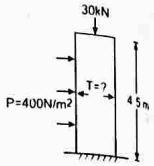
दीवार की एक मी० लम्बाई लेते हुये—

(i) दीवार का स्वयं का भार = $W \times 1 \times T \times H \times \rho$

civilguru.net

$= 1 \times T = 4{\cdot}5 \times 20$

$= 90\,T$ kN



चित्र 10.25

दीवार पर नीचे की ओर लग रहा कुल ऊर्ध्व बल $= (90\,T + 30)$ kN

इस भार के कारण उत्पन्न सीधा प्रतिबल, $P_a = \dfrac{\text{कुल भार}}{\text{आधार का क्षेत्रफल}}$

$\therefore \quad P_a = \dfrac{90T + 30}{1 \times T}$ kN/m$^2$ ...(i)

(ii) प्रति मी० लम्बाई दीवार पर कार्यरत पवन दाब,

$P = 1 \times 4{\cdot}5 \times 0{\cdot}4 = 1{\cdot}8$ kN

यह भार आधार से $\dfrac{4{\cdot}5}{2} = 2{\cdot}25$ m की ऊँचाई पर कार्यरत है।

$\therefore$ आधार पर बंकन आघूर्ण, $M = 1{\cdot}8 \times 2{\cdot}25 = 4{\cdot}05$ kN.m

पवन दाब के कारण बंकन प्रतिबल, $p_b = \pm \dfrac{M}{I} \times y$

यहाँ $I = \dfrac{bd^3}{12} = \dfrac{1 \times T^3}{12}$ तथा $y = \pm \dfrac{T}{2}$

$\therefore \quad p_b = \dfrac{4{\cdot}05 \times 12}{1 \times T^3} \times \dfrac{T}{2}$

$= \dfrac{24{\cdot}3}{T^2}$ kN/m$^2$ ...(ii)

अधिकतम प्रतिबल $= p_a + p_b$

$600 = \dfrac{90T + 30}{T} + \dfrac{24{\cdot}3}{T^2}$

अथवा $600 = 90 + \dfrac{30}{T} + \dfrac{24{\cdot}3}{T^2}$

अथवा $510\,T^2 - 30\,T - 24{\cdot}3 = 0$

अथवा $T^2 - 0{\cdot}059T - 0{\cdot}048 = 0$ यह एक द्विघातीय समीकरण है।

हल करने पर, $T = \dfrac{-(-0{\cdot}059) \pm \sqrt{(-0{\cdot}059)^2 - 4 \times 1(-0{\cdot}048)}}{2 \times 1}$

$= \dfrac{0{\cdot}059 \pm \sqrt{0{\cdot}0035 + 0{\cdot}192}}{2}$

$= \dfrac{0{\cdot}059 \pm 0{\cdot}442}{2} = \dfrac{0{\cdot}501}{2} = 0{\cdot}25$ m

अत: दीवार 30 cm ($1\dfrac{1}{2}$ ईंट) **मोटी रखी जायेगी।** उत्तर



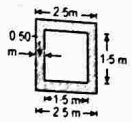
**उदाहरण 10.18 : चिनाई के एक चिमनी का भीतरी माप 1·5 × 1·5 मी० तथा मोटाई 0·50 मी० है। चिमनी की ऊँचाई 18 मी० है। इसके ऊर्ध्वाधर आयताकार फलक पर एकसमान लम्बवत् पवन दाब 1·6 kN/m$^2$ आ रहा है। यदि चिनाई का घनत्व 22 kN/m$^3$ हो तो आधार-खण्ड पर उत्पन्न प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये।**

हल : चिमनी का खण्ड खोखला वर्गाकार है जैसा कि 10.26 में दर्शित है।

चिमनी का आंतरिक परिमाप, $b = 1{\cdot}5$ m

मोटाई $= 0{\cdot}5$ m

बाहरी माप, $B = (1{\cdot}5 + 2 \times 0{\cdot}5) = 2{\cdot}5$ m



चित्र 10.26

अत:

**(i) अक्षीय प्रतिबल ($p_a$)—**

चिमनी की ऊँचाई, $H = 18$ m

चिनाई का घनत्व, $\rho = 22$ kN/m$^3$

चिमनी का खण्ड पूरे ऊँचाई में एकसमान मानते हुये,

$p_a = H\rho = 18 \times 22 = 396$ kN/m$^2$ ...(i)

**(ii) बंकन प्रतिबल ($p_b$)—**

पवन दाब की तीव्रता, $p_1 = 1{\cdot}6$ kN/m$^2$

ऊर्ध्वाधर फलक का क्षेत्रफल, $A_p = B \times H = 2{\cdot}5 \times 18 = 45$ m$^2$

ऊँचाई : चौड़ाई का अनुपात $= \dfrac{H}{B} = \dfrac{18}{2{\cdot}5} = 7{\cdot}2$

तालिका 10.2 से आकृति गुणांक $K = 1{\cdot}15$

अत: कुल पवन दाब, $P = K p_1 A_p$

$= 1{\cdot}15 \times 1{\cdot}6 \times 45$ kN

$= 82{\cdot}8$ kN

इसके क्रिया-रेखा की ऊँचाई, $\bar{h} = \dfrac{H}{2} = \dfrac{18}{2} = 9$ m

अत: बंकन आघूर्ण, $M = P\bar{h} = 82{\cdot}8 \times 9 = 745{\cdot}2$ kN.m

आधार खण्ड का परिच्छेद मापांक, तालिका 10.3 से—

$Z = \dfrac{B^4 - b^4}{6B} = \dfrac{2{\cdot}5^4 - 1{\cdot}5^4}{6 \times 2{\cdot}5} = \dfrac{39{\cdot}06 - 5{\cdot}06}{15} = \dfrac{34}{15}$ m$^3$

अत: $p_b = \dfrac{M}{Z} = \dfrac{745{\cdot}2 \times 15}{34} = 328{\cdot}8$ kN/m$^2$ ...(ii)

**(iii) परिणामी प्रतिबल—**

अत: $p = p_a \pm p_b = 396 \pm 328{\cdot}8$ kN/m$^2$

अधिकतम प्रतिबल $= 396 + 328{\cdot}8 = \mathbf{724{\cdot}8}$ kN/m$^2$ **संपीडन**

न्यूनतम प्रतिबल $= 396 - 328{\cdot}8 = \mathbf{67{\cdot}2}$ kN/m$^2$ **संपीडन** उत्तर

**उदाहरण 10.19 : चिनाई के एक चिमनी की भीतरी माप 1·5 × 1·5 मी० है। चिमनी की ऊँचाई 16 मी० है। इसके ऊर्ध्वाधर फलक पर एकसमान लम्बवत् पवन दाब 1·6 kN/m$^2$ आ रहा है। यदि चिनाई का घनत्व 20 kN/m$^3$ हो तथा अनुज्ञेय अधिकतम प्रतिबल 550 kN/m$^2$ हो तो चिमनी की आवश्यक मोटाई ज्ञात कीजिये। आकृति गुणांक 1·15 लीजिये।**

civilguruji.net

**हल :** चिमनी का खण्ड खोखला वर्गाकार है। चिमनी की पूरी ऊँचाई मे एक समान खण्ड मानते हुये—

ऊँचाई, $H = 16$ m, $p_1$ = पवन दाब = 1·6 kN/m$^2$

चिनाई का घनत्व, $\rho = 20$ kN/m$^3$, भीतरी माप, $b = 1{\cdot}5$ m

बाहरी परिमाप $B$ मानते हुये, यदि $p_a$ = अक्षीय प्रतिबल व $p_b$ = बंकन प्रतिबल

तब अधिकतम प्रतिबल, $p_{max} = p_a + p_b = 550$ kN/m$^2$

$$p_a = H\rho = 16 \times 20 = 320 \text{ kN/m}^2$$

अत: $$p_b = 550 - 320 = 230 \text{ kN/m}^2$$

चिमनी के लिये—

ऊर्ध्वाधर फलक का क्षेत्रफल, $A_p = B \times H = 16\,B$ m$^2$

आकृति गुणाक, $K = 1{\cdot}15$

एकसमान पवन दाब, $p_1 = 1{\cdot}6$ kN/m$^2$

अत: कुल पवन दाब, $P = K p_1 A_p = 1{\cdot}15 \times 1{\cdot}6 \times 16\,B$ kN

$= 29{\cdot}44\,B$ (kN)

इसके क्रिया-रेखा की ऊँचाई, $\bar{h} = \dfrac{H}{2} = 8$ m

अत: बंकन आघूर्ण, $M = P\bar{h} = 29{\cdot}44\,B \times 8$ kN.m

$= 235{\cdot}52B$ kN.m

आधार-खण्ड के लिये बाह्य परिमाप $B$ लेने पर,

परिच्छेद मापांक $Z = \dfrac{B^4 - 1{\cdot}5^4}{6B} = \dfrac{B^4 - 5{\cdot}0625}{6B}$

अत: बंकन प्रतिबल, $p_b = \dfrac{M}{Z} = \dfrac{235{\cdot}52\,B \times 6B}{B^4 - 5{\cdot}0625} = 230$

अथवा $$B^4 = 5{\cdot}0625 = \frac{235{\cdot}52 \times 6B^2}{230} = 6{\cdot}144\,B^2$$

इस प्रकार, $B^4 - 6{\cdot}144\,B^2 = 5{\cdot}0625$

अथवा $(B^2 - 3{\cdot}072)^2 = 5{\cdot}0625 + (3{\cdot}072)^2 = 14{\cdot}4997$ अथवा $= 14{\cdot}5$

तथा $(B^2 - 3{\cdot}072) = \sqrt{(14{\cdot}5)} = 3{\cdot}807$

तथा $B^2 = 3{\cdot}807 + 3{\cdot}072 = 6{\cdot}879$ m अथवा $6{\cdot}88$ m

तथा $B = \sqrt{(6{\cdot}88)} = 2{\cdot}623$ m

अत: चिमनी के लिये आवश्यक मोटाई $= \dfrac{B-b}{2} = \dfrac{2{\cdot}623 - 1{\cdot}5}{2}$

$= 0{\cdot}5615$ अथवा **0·60 m** उत्तर

अत: $B = 1{\cdot}5 + 2 \times 0{\cdot}6 = \mathbf{2{\cdot}7}$ **m** उत्तर



**उदाहरण 10.20 : चिनाई की एक खोखली गोलाकार चिमनी का भीतरी व्यास 1·5 मी० तथा बाहरी व्यास 3 मी० है। इस पर 1·6 kN/m$^2$ तीव्रता का पवन भार एक-समान आ रहा है जो क्षैतिज है। यदि चिनाई का घनत्व 20 kN/m$^3$ हो तो चिमनी की आवश्यक ऊँचाई ज्ञात कीजिये, जिससे चिनाई में तनन प्रतिबल उत्पन्न न हो। आकृति गुणांक 0·70 मान लें।**

**हल :** चिमनी का खण्ड सभी ऊँचाईयों पर एक समान मानते हुये

ऊँचाई = $H$ मी०

यदि चिनाई का घनत्व, $\rho = 20$ kN/m$^3$

अत: अक्षीय प्रतिबल, $p_a = H\rho = 20\,H$ kN/m$^2$

पुन: $p_1$ = एकसमान पवन दाब की तीव्रता = 1·6 kN/m$^2$

$K$ = आकृति गुणांक = 0·70

$A_p$ = पवन दाब के लम्बवत् चिमनी का प्रक्षेपित क्षेत्रफल

= बाहरी व्यास × ऊँचाई = $3.0\,H$ m$^2$

अत: कुल पवन दाब, $P = k p_1 A_p$ ...(मूल)

$= 0{\cdot}7 \times 1{\cdot}6 \times 3{\cdot}0H$

$= 3{\cdot}36H$

इसके क्रिया रेखा की ऊँचाई, $\bar{h} = \dfrac{H}{2}$

तथा बंकन आघूर्ण, $M = \dfrac{PH}{2} = \dfrac{3{\cdot}36 \times H^2}{2}$

अथवा $$M = 1{\cdot}68\,H^2 \quad \text{...(i)}$$

आधार खण्ड के लिये परिच्छेद मापांक, $Z = \dfrac{\pi}{32}\left[\dfrac{D^4 - d^4}{D}\right]$ ...(मूल)

अत: $$Z = \frac{\pi}{32} \times \left[\frac{3^4 - 1{\cdot}5^4}{3}\right] \text{m}^3$$

$$= \frac{\pi}{32} \times \frac{81 - 5{\cdot}0625}{3{\cdot}0} \text{ m}^3$$

$\therefore$ $$Z = 2{\cdot}4854 \text{ m}^3 \quad \text{...(ii)}$$

तथा बंकन प्रतिबल, $p_b = \dfrac{M}{Z} = \dfrac{1{\cdot}68H^2}{2{\cdot}4854} = 0{\cdot}676\,H^2$

तली पर तनन प्रतिबल उत्पन्न न होने के लिये, $p_a = p_b$

अथवा $$20\,H = 0{\cdot}676\,H^2$$

$\therefore$ $$H = \frac{20}{0{\cdot}676} = \mathbf{29{\cdot}6}\ \mathbf{m}$$ उत्तर

civilguruji

**उदाहरण 10.21 : उदाहरण 10.18 में अंकित चिमनी के आधार पर उत्पन्न प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये यदि पवन दाब विकर्ण के लम्बवत् हो तथा पवन दाब की तीव्रता 0·6 kN/m² हो।**

**हल :** उदाहरण 10.18 से चिमनी के लिये

$B$ = बाहरी माप = 2·5 m, भीतरी परिमाप = 1·5 m

चिमनी का खण्ड वर्गाकार है

ऊँचाई, $H$ = 18 m, चिनाई का घनत्व, $\rho$ = 22 kN/m³

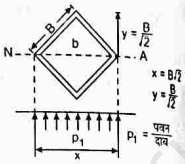
अक्षीय प्रतिबल, $p = H\rho = 18 \times 22$

$= 396$ kN/m²

**पवन दाब व बंकन प्रतिबल—**

पवन दाब की तीव्रता = 6 kN/m²

यह विकर्ण (diagonal) के लम्बवत् कार्यरत है। चित्र 10.27 के अनुसार, $B$ = 2·5 m




चित्र 10.37

विकर्ण की लम्बाई, $x = \frac{2B}{\sqrt{2}} = B\sqrt{2} = 2{\cdot}5\sqrt{2}$

$= 3{\cdot}536$ m

$y = \frac{B}{\sqrt{2}} = \frac{2{\cdot}5}{\sqrt{2}} = 1{\cdot}768$ m

चिमनी की ऊँचाई = $H$ = 18 m

अत: प्रक्षेपित क्षेत्रफल, $A_p = x \times H = 3{\cdot}536 \times 18$

$= 63{\cdot}648$ m²

पुन: $\frac{H}{B} = \frac{18}{2{\cdot}5} = 7{\cdot}2$

तथा इस अनुपात के लिये आकृति गुणांक (तालिका 10.2) से—

$k = 0{\cdot}9$

पवन दाब की तीव्रता, $p_1 = 0{\cdot}6$ kN/m²

अत: पवन दाब, $P = Kp_1A_f = 0{\cdot}9 \times 0{\cdot}6 \times 63{\cdot}648 = 34{\cdot}37$ kN

इसके क्रिया रेखा की आधार से ऊँचाई = $\frac{H}{2} = \frac{18}{2} = 9$ m

तथा बंकन आघूर्ण, $M = 34{\cdot}37 \times 9 = 309{\cdot}33$ kN/m

चिमनी के खण्ड का उदासीन अक्ष (NA) पर जड़त्व आघूर्ण

(चित्र 10.27 देखें) यहाँ $x = B\sqrt{2}$ तथा $y = \frac{B}{\sqrt{2}}$ रखने पर

$$I = 2 \times \left[ B\sqrt{2} \times \frac{B^3}{2\sqrt{2}} \times \frac{1}{12} \right] = \frac{B^4}{12}$$

तथा खोखले खण्ड के लिये, $I = \frac{B^4 - b^4}{12} = \frac{2{\cdot}5^4 - 1{\cdot}5^4}{12} = 2{\cdot}833$ m⁴

$y$ = उदासीन अक्ष से खण्ड के रेशो की अधिकतम दूरी = 1·768 m



परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{I}{y} = \frac{2{\cdot}833}{1{\cdot}768} = 1{\cdot}602$ m²

तथा बंकन प्रतिबल, $p_b = \pm\frac{M}{Z} = \pm\frac{339{\cdot}33}{1{\cdot}602} = \pm 211{\cdot}8$ kN/m²

अत: परिणामी प्रतिबल, $p = p_a \pm p_b$

इस प्रकार अधिकतम प्रतिबल = $p_{max} = 396 + 211{\cdot}8 = \mathbf{607{\cdot}8\ kN/m^2}$ **(संपीडन)**

तथा न्यूनतम प्रतिबल = $p_{min} = 396 - 211{\cdot}8 = \mathbf{184{\cdot}2\ kN/m^2}$ **(संपीडन)** **उत्तर**

## § 10.13. टेपर चिमनी (Taper Chimney) :

जब ऊँचाई अधिक होती है तब चिमनी की स्थिरता को ध्यान में रखते हुये, चिमनी के शिखर पर परिमाप आधार पर निर्धारित परिमापों से कम रखे जाते हैं। ऐसी चिमनी को **टेपर चिमनी** कहा जाता है। इस चिमनी की आकृति शंकु-छिन्नक जैसी होती है। चिमनी में धुएं के निकास के लिये ऊर्ध्व छिद्र रखा जाता है, जबकि लाट (मिनार) पूर्णत: ठोस हो सकती है। टेपर चिमनी चित्र 10.28 में दर्शायी गयी है।

**10.13·1. टेपर चिमनी का भार एवं अक्षीय प्रतिबल की गणना** (Self Weight of Taper Chimney and Axial Stress)—

टेपर चिमनी का भार = (टेपर चिमनी का आयतन) × (चिनाई का घनत्व)

यदि— $W$ = टेपर चिमनी का भार (self weight) (kN)

$V$ = टेपर चिमनी का आयतन (volume) ( m³)

$\rho$ = चिनाई का घनत्व (kN/m³)

तब $W = V.\rho$ (kN)

स्पष्ट है कि टेपर चिमनी का आकार एक शंकु या पिरैमिड (Pyramid) के छिन्नक की भाँति होगा जिसका आयतन क्षेत्रमिति के निम्न सूत्र से ज्ञात किया जा सकता है—

$$\text{आयतन, } V = \frac{H}{3}\left\{A + a + \sqrt{(Aa)}\right\} \qquad \ldots(10.11)$$

यहाँ $H$ = छिन्नक की ऊँचाई

$A$ = आधार पर क्षेत्रफल (Area at base)

$a$ = शिखर पर क्षेत्रफल (Area at top)

टेपर चिमनी एक खोखले छिन्नक की तरह होगी। चित्र 10.28 मे एक टेपर चिमनी दर्शित है जिसके लिये,

$D$ = आधार पर बाहरी व्यास
$D_1$ = शिखर पर बाहरी व्यास
$d$ = आधार पर भीतरी व्यास
$d_1$ = शिखर पर भीतरी व्यास

} सभी मीटर मे

यदि चिमनी वर्गाकार हो तो उपरोक्त परिमाप क्रमश: $B$, $B_1$, $b$ तथा $b_1$ लिये जायेंगे।

यदि— $V_o$ = बाहरी परिमापो के आधार पर आयतन (m³)

$V_i$ = भीतरी परिमापो के आधार पर आयतन (m³)

तब $V$ = चिमनी का शुद्ध आयतन

तथा $V = V_o - V_i$

$W = V.\rho$

civilguruji.in

यदि $A_1$ तथा $A_2$ बाहरी परिमापो के लिये क्रमश: आधार व शिखर पर क्षेत्रफल तथा $a_1$ व $a_2$ भीतरी परिमापो के अनुसार आधार व शिखर पर क्षेत्रफल है, तब गोलाकार खण्ड के लिये गणना निम्नवत् की जाये।

| बाहरी परिमापो के अनुसार— | भीतरी परिमापो के अनुसार— |
|---|---|
| $A_1 = \frac{\pi}{4}D^2$ | $a_1 = \frac{\pi}{4}d^2$ |
| $A_2 = \frac{\pi}{4}D_1^2$ | $a_2 = \frac{\pi}{4}d_1^2$ |
| $\sqrt{(A_1A_2)} = \sqrt{\left\{\left(\frac{\pi}{4}\right)^2 D^2D_1^2\right\}}$ | $\sqrt{(a_1a_2)} = \frac{\pi}{4}dd_1$ |
| $= \frac{\pi}{4}DD_1$ | |
| तथा $V_o = \frac{H}{3}\left\{A_1 + A_2 + \sqrt{(A_1A_2)}\right\}$ | तथा $V_i = \frac{H}{3}\left\{a_1 + a_2 + \sqrt{(a_1a_2)}\right\}$ |

तथा $V = V_o - V_i$ (जैसा ऊपर अंकित है)

इस प्रकार चिमनी का आयतन $V$ प्राप्त होने पर, चिमनी का भार, $W = V\rho$

पुन: आधार खण्ड पर क्षेत्रफल $A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$

तथा अक्षीय प्रतिबल (Axial stress)—

$$p_a = \frac{W}{A}$$

**10.13-2. कुल पवन दाब एवं बंकन प्रतिबल की गणना** (Total Wind Pressure and Bending Stress)—विगत धारा में वर्णित टेपर चिमनी चित्र 10.28 मे दर्शित है।

कुल पवन दाब, $P = Kp_1A_p$

यहाँ $P$ = कुल पवन दाब (kN)

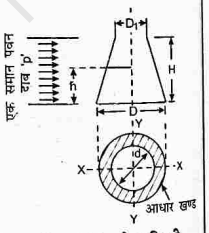
$K$ = आकृति गुणांक (shape factor)

$p_1$ = एकसमान पवन दाब की तीव्रता (kN/m²)

$A_p$ = पवन दिशा के लम्बवत् चिमनी का प्रक्षेपित (Projected) क्षेत्रफल (m²)

चिमनी पर पवन दाब आ रहा है, जो क्षैतिज है।

अत: प्रक्षेपित क्षेत्रफल, $A_p = \frac{D + D_1}{2} \times H$ (m²)



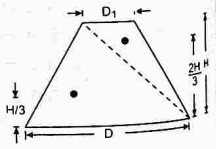
चित्र 10.28—टेपर चिमनी

यदि $\bar{h}$ = क्षेत्रफल $A_p$ के गुरुत्व केन्द्र की आधार तल से ऊँचाई,

क्षेत्रफल $A_p$ की दो त्रिभुजो मे विभाजित करते हुये आधार पर आघूर्ण लेने पर (चित्र 10.29 के अनुसार)—

$$A_p\bar{h} = \left[\frac{D \times H}{2} \times \frac{H}{3}\right] + \left[\frac{D_1 \times H}{2} \times \frac{2H}{3}\right]$$

अथवा $$\frac{D + D_1}{2} \times H \times \bar{h} = \left[\frac{D \times H}{2} \times \frac{H}{3}\right] + \left[\frac{D_1 + H}{2} \times \frac{2H}{3}\right]$$



चित्र 10.29



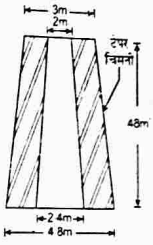
अथवा $$(D + D_1)\bar{h} = \frac{H}{3}(D + 2D_1)$$

अथवा $$\bar{h} = \left[\frac{D + 2D_1}{D + D_1}\right] \times \frac{H}{3} \quad \text{तथा} \quad M = P\bar{h}$$

यदि $Z$ = आधार खण्ड का परिच्छेद मापांक, तब बंकन प्रतिबल $p_b = \pm\frac{M}{Z} = \pm\frac{P\bar{h}}{Z}$

तथा परिणामी प्रतिबल, $p = p_a \pm p_b$

**उदाहरण 10.22 : एक टेपर चिमनी की ऊँचाई 48 m है। आधार पर इसका बाहरी व्यास 4·8 m तथा मोटाई 1·2 m है। शिखर पर बाहरी व्यास 3 m तथा मोटाई 0·5 m है। यदि चिनाई का घनत्व 19·2 kN/m³ हो तथा चिमनी पर एक-समान 0·8 kN/m² क्षैतिज पवन दाब आ रहा हो, तो आधार पर उत्पन्न प्रतिबलों के मान ज्ञात कीजिये।**



चित्र 10.30

**हल :** चिमनी चित्र 10.30 में दर्शित है तथा तद्नुसार आधार पर बाहरी व्यास, $D = 4·8$ m मोटाई $= 1·2$ m

अत: आधार पर भीतरी व्यास, $d = 4·8 - (2 \times 1·2) - 2·4$ m

इसी प्रकार, शिखर पर बाहरी व्यास, $D_1 = 3·0$ m

मोटाई $= 0·5$ m

अत: शिखर पर भीतरी व्यास, $d_1 = 3 - (2 \times 0·5) = 2·0$ m

**(a) चिमनी के भार की गणना—**

| बाहरी परिमापों के अनुसार | भीतरी परिमापों के अनुसार |
|---|---|
| **आधार पर क्षेत्रफल** | |
| $A_1 = \frac{\pi}{4}D^2 = \frac{\pi}{4} \times 4·8^2$ | $a_1 = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{\pi}{4} \times 2.4^2$ |
| $= 18·096$ m² | $= 4·524$ m² |
| **शिखर पर क्षेत्रफल** | |
| $A_2 = \frac{\pi}{4}D_1^2 = \frac{\pi}{4} \times 3·0^2$ | $a_2 = \frac{\pi}{4} \times d_1^2 = \frac{\pi}{4} \times 2·0^2$ |
| $= 7·07$ m² | $= 3·142$ m² |
| $\sqrt{(A_1A_2)} = \sqrt{(18·096 \times 7·07)}$ | $\sqrt{(a_1a_2)} = \sqrt{(4·524 \times 3·142)}$ m² |
| $= \sqrt{(127·94)} = 11·31$ m² | $= \sqrt{(14·21)}$ m² $= 3·77$ m² |
| $A_1 + A_2 + \sqrt{(A_1A_2)}$ | $a_1 + a_2 + \sqrt{(a_1a_2)}$ |
| $= (18·096 + 7·07 + 11·31)$ | $= 4·524 + 3·142 + 3·77$ m² |
| $= 36·476$ m² | $= 11·436$ m² |
| ऊँचाई $H = 48$ m | ऊँचाई $H = 48$ m |
| बाहरी आयतन, | भीतरी आयतन, |
| $V_o = \frac{H}{3}\left\{A_1 + A_2 + \sqrt{(A_1A_2)}\right\}$ | $V_i = \frac{H}{3}\left\{a_1 + a_2 + \sqrt{(a_1a_2)}\right\}$ |
| $= 16 \times 36·476$ | $= 16 \times 11·436$ |
| $= 583·616$ m³ | $= 182·98$ m³ |

civilguru.net

अत: चिमनी का शुद्ध आयतन, $V = V_o - V_i = 583{\cdot}616 - 182{\cdot}98 = 400{\cdot}636\ m^3$

तथा चिमनी का भार, $W = 400{\cdot}636 \times 19{\cdot}2 = 7692{\cdot}2\ kN$

आधार-खण्ड का क्षेत्रफल, $A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$

$= \frac{\pi}{4}(4{\cdot}8^2 - 2{\cdot}4^2)$

$= \frac{\pi}{4}(23{\cdot}04 - 5{\cdot}76)$

$= \frac{\pi}{4} \times 17{\cdot}28$

$\therefore \quad A = 13{\cdot}58\ m^2$

तथा अक्षीय प्रतिबल, $p_a = \frac{W}{A} = \frac{7692{\cdot}2}{13{\cdot}57} = 566{\cdot}85\ kN/m^2$

**(b) पवन भार की गणना व बंकन प्रतिबल—**

कुल पवन दाब, $P = Kp_1A_p$ ...(सूत्र)

यहाँ $K$ = आकृति गुणांक = 0·7 (गोलाकार खण्ड के लिये)

$p_1$ = एक समान पवन दाब = 0·8 kN/m²

$A_p$ = प्रक्षेपित क्षेत्रफल = $\frac{D + D_1}{2} \times H$

$D$ = आधार पर बाहरी व्यास = 4·8 m

$D_1$ = शिखर पर बाहरी व्यास = 3·0 m

$H$ = ऊँचाई = 48 m

तथा प्रक्षेपित क्षेत्रफल, $A_p = \frac{4{\cdot}8 + 3{\cdot}0}{2} \times 48 = 187{\cdot}2\ m^2$

अत: कुल पवन दाब, $P = 0{\cdot}7 \times 0{\cdot}8 \times 187{\cdot}2\ kN = 104{\cdot}832\ kN$

इसके क्रिया-रेखा की आधार से ऊँचाई, $\bar{h} = \frac{D + 2D_1}{D + D_1} \times \frac{H}{3}$ ...(सूत्र)

$= \frac{4{\cdot}8 + 2 \times 3}{4{\cdot}8 + 3} \times \frac{48}{3} = \frac{10{\cdot}8 \times 16}{7{\cdot}8}\ m$

$= 22{\cdot}15\ m$

तथा बंकन आघूर्ण, $M = P\bar{h} = 104{\cdot}832 \times 22{\cdot}15\ kN.m$

$= 2322{\cdot}03\ kN.m$

आधार-खण्ड के लिये परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{\pi}{32}\frac{(D^4 - d^4)}{D}$ ...(सूत्र)

$= \frac{\pi}{32} \times \frac{4{\cdot}8^4 - 2{\cdot}4^4}{4{\cdot}8}\ m^3$



$= \frac{\pi}{32} \times \frac{530{\cdot}84 - 33{\cdot}18}{4{\cdot}8}\ m^3$

$= \frac{\pi \times 497{\cdot}66}{32 \times 4{\cdot}8}\ m^3 = 10{\cdot}18\ m^3$

अत: बंकन प्रतिबल, $p_b = \pm \frac{M}{Z} = \pm \frac{2322{\cdot}03}{10{\cdot}18} = \pm\ \mathbf{228{\cdot}10\ kN/m^2}$

अत: परिणामी प्रतिबल = $p_a \pm p_b$

तदनुसार, अधिकतम प्रतिबल = 566·85 + 228·10 = 794·95 अथवा **795 kN/m²**

न्यूनतम प्रतिबल = 566·85 − 228·10 = **338·75 kN/m²** **उत्तर**

## (IV) नींव का अभिकल्पन (Design of Masonry Foundation)

### § 10.14. नींव (Foundation) :

सभी संरचनाये भूमि पर स्थित होती है। अत: किसी संरचना पर आने वाला भार संरचना के स्वयं के भार सहित अन्तत: भूमि द्वारा वहन किया जाता है। नीव किसी संरचना का वह भाग है जिसके माध्यम से उपरोक्त भार भूमि द्वारा वहन किया जाता है। भूमि के ऊपरी स्तर मे सामान्यत: मृदा होती है। अत: नीव का अभिकल्पन मृदा के गुणधम (properties) से प्रभावित होता है। मृदा के निम्न प्रमुख गुणधम पर नीव का अभिकल्पन आधारित होता है—

(i) **मृदा का घनत्व** (Density)—यह मृदा के इकाई आयतन का भार होता है। इसे $\kappa$ द्वारा दर्शित किया जाता है।

(ii) **मृदा का विश्राम कोण** (Angle of respose)—जिसे $\phi$ द्वारा दर्शित किया जाता है। (अनुच्छेद 10.3-6 देखें)।

(iii) **मृदा की धारण क्षमता** (Bearing capacity of soil)—यह मृदा द्वारा सुरक्षित वहन किया जाने वाला, प्रति इकाई क्षेत्रफल भार होता है। इसे $p$ द्वारा दर्शित किया जाता है।

**10.14-1. नींव के परिमाप**—नीव के अभिकल्पन मे नीव के निम्न परिमाप निर्धारित किये जाते है—

(i) नीव का क्षेत्रफल (area of foundation),

(ii) नीव की गहराई (depth of foundation)।

नीव का क्षेत्रफल व गहराई महत्वपूर्ण होते है, जिन्हे ज्ञात करना आवश्यक होता है। क्षेत्रफल ज्ञात होने पर नीव का आकार (shape) तथा अन्य सम्बद्ध परिमाप जैसे लम्बाई/चौड़ाई/व्यास आदि संरचना के अनुसार निश्चित किये जा सकते है।

**(i) नींव का क्षेत्रफल**—नीव का क्षेत्रफल संरचना से आ रहे कुल भार तथा मृदा की धारण क्षमता (bearing capacity) पर निर्भर करता है। नीव का अपना भार भी अंतत: भूमि द्वारा वहन किया जाता है। इसे सामान्यत: मरचना से आ रहे कुल भार का 10 प्रतिशत मान लिया जाता है।

यदि $W$ = संरचना से आने वाला कुल भार (kN)

$p$ = मृदा की धारण क्षमता (kN/m²)

$A$ = नीव का क्षेत्रफल (m²)

नीव का स्वयं का भार = $\frac{W}{10} = 0{\cdot}1\,W$ (kN)

अत: भूमि पर आने वाला कुल भार = $1{\cdot}1\,W$

$\therefore$ क्षेत्रफल, $A = \frac{1{\cdot}1W}{p}$ (m²) ...(10.13)

**(ii) नींव की न्यूनतम गहराई**—नीव की गहराई रैंकिन के सिद्धान्त (Rankine's theory) द्वारा निर्धारित की जाती है। चित्र 10.31 मे एक दीवार की नीव दिखायी गयी है। इसमे मृदा के दो अल्पाश दिखाये गये है। अल्पाश $A$ नीव के ठीक नीचे

है। अल्पांश $B$ अल्पांश $A$ के ठीक पास मे उसी क्षैतिज समतल में, यद्यपि नींव के बाहर स्थित है। अल्पांश $A$ पर संरचना व नींव के भार के कारण उत्पन्न प्रतिबल $p$ आ रहा है जो सामान्यत: मृदा की धारण क्षमता के समान होता है। ( $p = 1{\cdot}1W/A$ ) अल्पांश $B$ पर उसमे ऊपर स्थित मृदा के भार के कारण प्रतिबल आ रहा है।

यदि $p$ = अल्पांश $A$ पर प्रतिबल ($kN/m^2$)

$w$ = मृदा का घनत्व ($kN/m^3$)

$h$ = नींव को न्यूनतम आवश्यक गहराई (m)

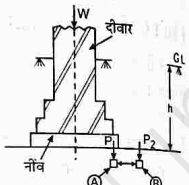
$\phi$ = विश्राम कोण

$p_2$ = अल्पांश $B$ पर ऊपर स्थित मृदा के कारण आने वाला प्रतिबल ($kN/m^2$)

$p$ तथा $p_2$ प्रतिबलो को सन्तुलित करने के लिये दोनो अल्पांशों (elements) के बीच क्षैतिज प्रतिबल उत्पन्न होगा। $p, p_1$ तथा $p_2$ मे सम्बन्ध रैंकिन के सिद्धान्त के आधार पर स्थापित किया जा सकता है।

$p_1$, $p$ के लम्बवत् दिशा मे है।

तथा $p_2$, $p_1$ के लम्बवत् दिशा मे है।



चित्र 10.31

अत: रैंकिन सिद्धान्त से, $\frac{p_1}{p} = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$

तथा $p_1 = p\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$

इसी प्रकार, $\frac{p_2}{p_1} = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$

अत: $p_2 = p_1\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right) = p\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)^2$

$p_2$ = अल्पांश $B$ के ऊपर स्थित मृदा के कारण प्रतिबल = $w.h$

अत: $w.h = p\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)^2$

अथवा $h = \frac{p}{w}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)^2$ ...(10.14)

यह नींव की न्यूनतम गहराई होगी तथा गहराई किसी भी स्थिति में इससे कम नही रखी जाती है।

## § 10.15. स्तम्भ के लिये नींव (Foundaton for Column) :

नींव का क्षेत्रफल व गहराई अनुच्छेद 10.14 के अनुसार ज्ञात की जाती है। नींव के अन्य परिमाप (dimensions) स्तम्भ के खण्ड के अनुसार निश्चित किये जाते है।

**(i) वर्गाकार स्तम्भ** (Square column)—वर्गाकार स्तम्भ के लिये वर्गाकार नींव दी जायेगी।

यदि $W$ = स्तम्भ पर आने वाला भार (kN)

$p$ = मृदा की धारण क्षमता ($kN/m^2$)

$A$ = नींव का क्षेत्रफल ($m^2$)

नींव का स्वयं भार = 0·1 $W$ ( अनुमानित)



अत: $A = \sqrt{\left(\frac{1{\cdot}1W}{p}\right)}$ ($m^2$) ...(10.15)

वर्गाकार नींव का परिमाप = $\sqrt{A}$

**(ii) आयताकार स्तम्भ** (Rectangular column)—यदि स्तम्भ का खण्ड आयताकार हो तो खण्ड की लम्बाई व चौड़ाई निश्चित की जाती है। नींव का क्षेत्रफल उपरोक्त (i) के अनुसार ज्ञात किया जाता है।

**उदाहरण 10.23 : चिनाई के एक स्तम्भ पर 250 kN भार (उसके भार सहित) आ रहा है। इस स्तम्भ के लिये नींव के परिमाप निर्धारित कीजिये यदि (i) स्तम्भ वर्गाकार हो। (ii) स्तम्भ आयताकार खण्ड 600 mm × 450 mm का हो। मृदा का घनत्व = 16 kN/m³, धारण क्षमता = 100 kN/m².**

**हल :** स्तम्भ पर उसके भार सहित आ रहा भार, $W = 250$ kN

नींव का भार 10% लेते हुये, कुल भार = 1·1 $W$

= 1·1 × 250 kN = 275 kN

मृदा की धारण क्षमता = 100 kN/m²

अत: नींव का क्षेत्रफल, $A = \frac{275}{100}$ m² = 2·75 m²

नींव की गहराई, $h = \frac{p}{w}\left(\frac{1-\sin\theta}{1+\sin\theta}\right)^2$ ...(मूत्र)

$\theta = 30°$ तथा $\sin\theta = 0{\cdot}5$, $p = 100$ kN/m², $w = 16$ kN/m²

ज्ञात मान रखने पर, नींव की गहरायी—

$$h = \frac{100}{16}\left\{\frac{1+0{\cdot}5}{1+0{\cdot}5}\right\}^2 \text{ m}$$

$$= \frac{100}{16\times 9} \text{ m}$$

= 0·694 m अथवा 700 mm

**(a) यदि स्तम्भ वर्गाकार हो**—वर्गाकार स्तम्भ के लिये नींव का परिमाप—

$= \sqrt{A} = \sqrt{(2{\cdot}75)} = 1{\cdot}658$ m अथवा 1·70 m

अत: नींव 1·7 × 1·7 m तथा गहराई 0·7 m अथवा 700 mm होगी।

**(b) यदि स्तम्भ आयताकार हो**—खण्ड का परिमाप—600 mm × 450 mm अथवा 0·6 m × 0·45 m, अनुपात 4 : 3

माना नींव की लम्बाई = $x$ m

तब नींव की चौड़ाई = $x$ m

तथा क्षेत्रफल, $A = 0{\cdot}75x \times x = 0{\cdot}75x^2$

अथवा $0{\cdot}75x^2 = 2{\cdot}75$

अत: $x = \sqrt{\left(\frac{2{\cdot}75}{0{\cdot}75}\right)} = \sqrt{(3{\cdot}66)}$ m = 1.92 m

अत: नींव की लम्बाई = 1·92 m अथवा 2·0 m रखी जाये।

नींव की चौड़ाई = 0·75 × 2·0 = 1·50 m

अत: नींव का परिमाप **2·0 m × 1·50 m** तथा गहराई **0·7 m (700 mm)** रखी जाय। **उत्तर**

civilguru.net

## § 10.16. दीवार की नींव (Foundation of Wall) :

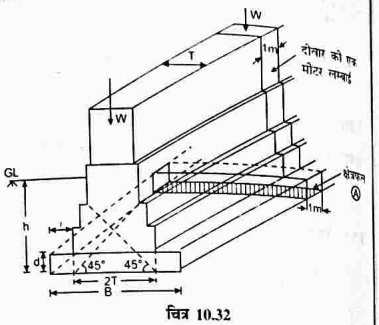
भवनो की दीवारो के लिये नीव का अभिकल्पन करते समय निम्न परिमाप निर्धारित किये जाते है—

(i) नीव की चौड़ाई

(ii) नीव की न्यूनतम गहराई

(iii) नीव मे कंक्रीट ब्लॉक की गहराई।

उपर्युक्त मुख्य परिमाप ज्ञात होने पर दीवार की नीव के लिये अन्य परिमाप निश्चित किये जाते है। चित्र 10.32 मे दीवार के लिये नीव दिखायी गयी है। अधिकल्पन मे सभी गणना दीवार की एक मीटर लम्बाई के लिये की जाती है। गणना मे—




चित्र 10.32

$p$ = मृदा की धारण क्षमता (kN/m$^2$)

$w$ = मृदा का घनत्व (kN/m$^3$)

$\phi$ = मृदा का विश्राम कोण

$W$ = दीवार की एक मीटर लम्बाई पर आ रहा भार (kN)

$B$ = नीव की चौड़ाई (m)

$T$ = दीवार की मोटाई (m)

**(i) नीव की चौड़ाई** (चित्र 10.32 देखे)

दीवार की 1 मीटर लम्बाई पर भार = $W$

नीव का स्वय का भार = 0·1 $W$ (अनुमानित) (10% लेते हुये)

कुल भार = $W + 0{\cdot}1\,W = 1{\cdot}1\,W$ (kN)

धारण क्षमता = $p$ kN/m$^2$

क्षेत्रफल, $A = (B \times 1)$

अत: $$A = B \times 1 = \frac{1{\cdot}1W}{p}$$

अत: $$B = \text{नीव की चौड़ाई} = \frac{1{\cdot}1W}{p} \text{ (m)}$$

**(ii) नींव की न्यूनतम गहराई**—चित्र 10.30 मे इसे '$h$' द्वारा दिखाया गया है। यह रैंकिन सिद्धान्त से अनुच्छेद 10.14 मे अंकित सूत्र से ज्ञात की जाती है।

$$\therefore \quad \text{न्यूनतम गहरायी, } h = \frac{p}{w}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)^2 \text{ (m)}$$

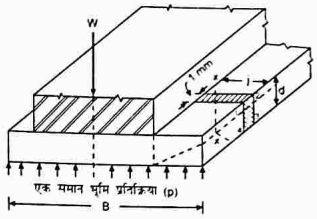
यह न्यूनतम आवश्यक गहराई है। वास्तविक गहराई इससे अधिक हो सकती है, परन्तु इससे कम नहीं रखी जा सकती। सामान्य संरचनाओ के लिये गहराई भूमितल (finished G.L.) से 500 mm अथवा 0·5 m से कम नही होनी चाहिये।



## § 10.17. नींव में कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई (Thickness of Concrete Block) :

चित्र 10.33 मे नीव का निचला भाग दिखाया गया है। नीव मे सबसे नीचे कंक्रीट ब्लॉक दिया जाता है जिसके द्वारा भूमि पर ऊपर से आ रहे भार को एक समान वितरित किया जाता है।

ब्लॉक के निचले तल पर उपरिमुख एक समान भूमि प्रतिक्रिया आती है। अत: ब्लॉक की प्रोजेक्टेड लम्बाई '$j$' पर सीधा उपरिमुख भाग (upward load) आता है। चित्र मे ब्लॉक का '$XX$' खण्ड क्रान्तिक खण्ड (critical section) होगा।




चित्र 10.33

**इस खण्ड ($XX$) पर,**

(i) अधिकतम बंकन आघूर्ण आयेगा जिसकी गणना प्रास धरन (Cantilever) की भाँति की जाती है। यहाँ विफलता बंकन द्वारा (failure by bending) होगी।

(ii) ब्लॉक अपरूपण द्वारा विफल (Failure by shear) हो सकता है।

दो स्थितियो के लिये ब्लॉक की आवश्यक मोटाई ज्ञात की जाती है तथा जो भी अधिक हो रखी जाती है। इस गणना मे,

$j$ = कंक्रीट ब्लॉक की प्रोजेक्टेड लम्बाई (mm)

$p$ = मृदा का उपरिमुख (Upward) दाब (N/mm$^2$)

$d$ = कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई (mm)

$m$ = कंक्रीट के लिये भंजक मापांक (N/mm$^2$)

$q$ = अनुज्ञेय अपरूपण (Shear) प्रतिबल (N/mm$^2$)

$B$ = नीव की चौड़ाई (mm)

**10.17-1. बंकन आघूर्ण के आधार पर ब्लॉक की मोटाई**—पिछली धाराओं से दीवार के प्रति मीटर लम्बाई पर

भूमि पर आ रहा कुल भार = 1·1 $W$ N

नीव की चौड़ाई = $B \times 1000$ mm

अत: $p$ = मृदा का उपरिमुख दाब $= \dfrac{1{\cdot}1W}{B \times 1000}$ N/mm$^2$

अत: ब्लॉक के 1 mm लम्बाई पर उपरिमुख दाब = $1 \times j \times p$ ...(चित्र 10.27)

इसकी क्रिया-रेखा क्रांतिक खण्ड $XX$ से $\dfrac{j}{2}$ दूरी पर होगी।

अत: $$\text{बंकन आघूर्ण} = (1 \times j \times p) \times \frac{j}{2}$$

$$= \frac{p \cdot j^2}{2} \text{ (N.mm)} \qquad \text{...(i)}$$

यहाँ ब्लॉक एक प्रास धरन की तरह कार्य करता है तथा धरन के खण्ड (1-2-3-4) की चौड़ाई 1 mm व गहराई '$d$' mm होगी। (चित्र 10.33 देखे)

अत: $$\text{इस खण्ड का परिच्छेद मापांक} = \frac{1 \times d^2}{6} \text{ (mm}^3\text{)}$$

civilguruji

अत: प्रतिरोध आघूर्ण $= m \times \frac{d^2}{6}$ ...(ii)

इसे बकन आघूर्ण के समान रखने पर, $m\frac{d^2}{6} = \frac{p.j^2}{2}$

तथा $d = \sqrt{\left(\frac{6 \cdot p \cdot j^2}{2m}\right)}$ mm ...(10.16)

**नोट**— भंजन मापांक '$m$' सादा कंक्रीट के विशिष्ट धरन के लिये विफलता के समय उत्पन्न बंकन प्रतिबल होता है। $M-150$ कंक्रीट के लिये 7 दिन बाद इसका मान 2·1 N/mm² होता है। नींव के अभिकल्पन मे इसका मान सामान्यत: 0·25 N/mm² लिया जा सकता है।

**10.17-2. अपरूपण के आधार पर मोटाई**—ब्लॉक के 1mm लम्बाई के लिये खण्ड का क्षेत्रफल = $(1 \times d)$ mm²

अधिकतम अपरूपण बल = $p \times j$

अत: औसत अपरूपण प्रतिबल $= \frac{p \times j}{d}$

आयताकार खण्ड के लिये (अध्याय 1 अनुच्छेद 1.7-5.3 देखे)

अधिकतम अपरूपण प्रतिबल $= \frac{3}{2} \times$ औसत अपरूपण प्रतिबल $= \frac{3}{2} \times \frac{p.j}{d} = q$

अत: $d = \frac{3}{2} \cdot \frac{p.j}{q}$ ...(10.17)

कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई न्यूनतम 200 mm अथवा अधिकतम प्रोजेक्टेड लम्बाई ($j$) की दो गुना जो भी अधिक हो रखी जाती है।

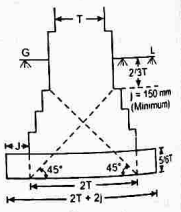
## § 10.18. दीवार के लिये नींव के वास्तविक परिमाप (Actual Dimension of Foundation of a Wall):

नींव के लिये न्यूनतम परिमाप निम्नवत् होगे—

(i) आवश्यक न्यूनतम चौड़ाई (कुल भार व धारण क्षमता के आधार पर) तथा

(ii) आवश्यक न्यूनतम गहराई (रैंकिन सूत्र के आधार पर)

उपरोक्त परिमाप ज्ञात किये जाने पर नींव के वास्तविक परिमाप निम्नवत् निर्धारित किये जा सकते हैं। यह किसी भी स्थिति मे उपरोक्त न्यूनतम आवश्यक परिमापो से कम नही होने चाहिये। विभिन्न परिमाप जैसे खसको द्वारा दीवार की मोटाई मे वृद्धि, खसको की गहराई, कंक्रीट ब्लॉक के प्रक्षेप, मोटाई निर्धारित करते समय इस बात को ध्यान मे रखा जाये कि भार का वितरण कोण (angle of dispersion) 45° बना रहे। कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई न्यूनतम 200 mm अथवा ब्लॉक के अधिकतम प्रक्षेप के दो गुना से जो भी अधिक हो रखी जाये। इस प्रकार खसको द्वारा मोटाई मे आवश्यक प्रस्तावित वृद्धि की जाये। तदोपरान्त आवश्यक सख्या में खसके दिये जाये जिससे मोटाई (नींव की चौड़ाई) मे वृद्धि प्रस्तावित वृद्धि मे अधिक हो। खसको की गहराई इस प्रकार निर्धारित की जाये जिससे वितरण कोण 45° बना रहे।



चित्र 10.34

उपरोक्तानुसार नींव के परिमाप निर्धारित किये जाने पर वास्तविक परिमाप न्यूनतम आवश्यक परिमापो से अधिक होगे तथा नींव सुरक्षित होगी। मार्गदर्शन के लिये चित्र 10.34 देखे।



**उदाहरण 10.24 : एक दीवार पर उसके भार सहित 150 kN प्रति मीटर लम्बाई भार आता है। यदि मृदा की धारण क्षमता 100 kN/m² तथा घनत्व 16 kN/m² तथा $\phi = 30°$ हो तो इस नींव के लिये उपयुक्त गहराई व चौड़ाई ज्ञात कीजिये।**

**हल :** दीवार की एक मीटर लम्बाई के लिये—

आ रहा भार, $W = 150$ kN

10% लेने पर नींव का भार $= 0{\cdot}1\ W =$ 15 kN

कुल भार = 165 kN

मृदा की धारण क्षमता, $P = 100$ kN/m²

अत: नींव की चौड़ाई, $B = \frac{1{\cdot}1W}{P} = \frac{165}{100} = 1{\cdot}65$ m

मृदा का घनत्व, $w = 16$ kN/m³

विश्राम कोण, $\phi = 30°$ तथा $\sin\phi = 0{\cdot}50$

अत: रैंकिन सूत्र से न्यूनतम गहराई, $h = \frac{P}{w}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)^2$ ...(मूत्र)

$= \frac{100}{16}\left(\frac{1-0{\cdot}5}{1+0{\cdot}5}\right)^2$

$= 0{\cdot}694$ m अथवा **0·70 m** **उत्तर**

**उदाहरण 10.25 : एक 300 mm मोटी दीवार पर उसके भार सहित 75 kN प्रति मीटर लम्बाई भार आ रहा है। यदि मृदा का घनत्व 16 kN/m³, विश्राम कोण $\phi = 30°$ तथा धारण क्षमता 90 kN/m² हो तो नींव का अभिकल्पन करें।**

**हल :** दीवार की एक मीटर लम्बाई के लिये—

दीवार पर भार, $W = 75$ kN

नींव का भार $= 0{\cdot}1\ W = 7{\cdot}5$ kN (10% लेने पर)

कुल भार $= 1{\cdot}1\ W = 82{\cdot}5$ kN

मृदा की धारण क्षमता, $p = 90$ kN/m²

नींव की चौड़ाई $= \frac{1{\cdot}1W}{p} = \frac{82{\cdot}5}{90}$ m

$= 0{\cdot}916$ m अथवा 0·92 m

$\phi = 30°$ तथा $\sin\phi = 0{\cdot}50$, मृदा का घनत्व, $w = 16$ kN/m³

अत: रैंकिन सूत्र से— न्यूनतम गहराई, $h = \frac{90}{16}\left(\frac{1-0{\cdot}5}{1+0{\cdot}5}\right)^2$ m

$= \frac{90}{16\times 9}$ m $= 0{\cdot}625$ m अथवा 0·63 m

अत: नींव के न्यूनतम परिमाप—

गहराई = 0·63 m अथवा 630 mm

चौड़ाई = 0·92m अथवा 920 mm

वास्तविक परिमाप इससे अधिक रखे जा सकते हैं, परन्तु किसी भी स्थिति मे परिमाप उपरोक्त से कम नही रखे जाने चाहिये।

कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई न्यूनतम 200 mm अथवा अधिकतम प्रक्षेप (projection) के दो गुना जो भी अधिक हो रखी जाये। कंक्रीट ब्लॉक का प्रक्षेप 150 mm रखा जाता है। अत: ब्लॉक की मोटाई 300 mm रखी जाये। खसकेदार नींव मे चिनाई मे प्रक्षेप 50 mm रखे जाये।

अधिरचना मे दीवार की मोटाई = 300 mm

कुर्सी तल पर मोटाई = 400 mm (दो प्रक्षेपो के साथ)

नींव की चौड़ाई = 920 mm (न्यूनतम आवश्यक)

कंक्रीट ब्लॉक के प्रक्षेप = 2 × 150 = 300 mm

कुर्सी तल पर मोटाई + कंक्रीट ब्लॉक के प्रक्षेप = 400 + 300 mm

= 700 mm

अत: खसको (offsets) द्वारा मोटाई मे वृद्धि = 920 – 700 mm

= 220 mm

प्रत्येक खसके (offset) द्वारा मोटाई मे 100 mm वृद्धि होगी। अत: 220 mm (या अधिक) वृद्धि हेतु तीन खसके (three offsets) दिये जाये। प्रत्येक खसके की म्हराई 100 mm रखी जाये।

**इस प्रकार वास्तविक परिमाप—**

**नींव की चौड़ाई**, $B$ = (कुर्सी तल पर मोटाई) + (खसको द्वारा वृद्धि) + (कंक्रीट प्रक्षेपो से वृद्धि)

= 400 + 3 × 100 + 2 × 150

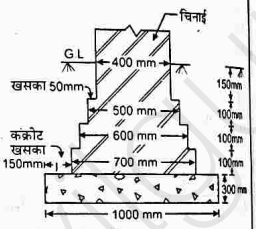
= 400 + 300 + 300 mm

= **1000 mm > 920 mm सुरक्षित**

**नींव की गहराई** = 150 + 3 × 100 + 300

= **750 mm > 630 mm सुरक्षित।**

उपरोक्त नीव चित्र 10.35 मे दर्शायी गयी है।




चित्र 10.35

## अभ्यास प्रश्न-10

**(I) प्रतिधारक दीवारें—**

1. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—

(i) विश्राम कोण से आप क्या समझते है?

(ii) रैंकिन के सिद्धान्त मे मृदा दाब की गणना के आधार लिखे।

(iii) प्रतिधारक दीवार के स्थायित्व की जाँच हेतु आप किन बिन्दुओ पर विचार करते है?

(iv) मध्य तिहाई नियम का महत्व स्पष्ट करे।

(v) प्रतिधारक दीवार मे तनन प्रतिबल उत्पन्न न होने के लिये शर्त चित्र द्वारा स्पष्ट कीजिये।

(vi) प्रतिधारक दीवार पलटने की स्थिति मे कब आती है? चित्र द्वारा स्पष्ट कीजिये।

2. चिनाई के एक प्रतिधारक दीवार की शिखर चौड़ाई 1·2 मी० ऊँचाई 7·5 मी० तथा आधार चौड़ाई 4·0 मी० है। दीवार का मृदा फलक ऊर्ध्वाधर है। यह दीवार मृदा भराव को रोकती है जो शिखर समतल मे है। दीवार के आधार पर प्रतिबल वितरण ज्ञात कीजिये। मृदा का घनत्व 16·5 kN/m$^3$, चिनाई का घनत्व 19·5 kN/m$^3$ तथा विश्राम कोण $\phi = 35°$ लीजिये।

[उत्तर : $P$ = 125·8 kN, $W$ = 380·25 kN, $e$ = 0·253, $\bar{x}$ = 1·426, $p_{max}$ = 131·14 व $p_{min}$ = 59·90 kN/m$^2$]



3. चिनाई की एक प्रतिधारक दीवार का परिच्छेद समलम्बाकार है। दीवार की शिखर पर चौड़ाई 2 मी० व आधार पर चौड़ाई 6 मी० है। दीवार की ऊँचाई भूमितल से 10 मी० है। इसकी ऊर्ध्वाधर फलक के साथ 9 मी० की ऊँचाई तक मृदा भरी हुयी है। चिनाई का भार 20 kN/m$^3$, मृदा का भार 16·kN/m$^3$ और $\phi = 30°$ मान ले। आधार पर प्रतिबलो की गणना कीजिए।

[136/130·6 kN/m$^2$]

4. निम्न प्रतिधारक दीवारे समलम्बाकार है तथा अपने ऊर्ध्वाधर मृदा-फलक पर मृदा-भराव को रोकती है, जो शिखर तल तक है। इनके लिये आवश्यक आधार चौड़ाई (base width) ज्ञात कीजिये, जिसमे चिनाई मे तनन प्रतिबल उत्पन्न न हो।

| दीवार सं० | शिखर चौड़ाई (m) | ऊँचाई (m) | विश्राम कोण ($\phi$) |
|---|---|---|---|
| 1. | 1·8 m | 7·0 m | 30° |
| 2. | 2·0 m | 8·0 m | 45° |
| 3. | 2·5 m | 9·0 m | 30° |
| 4. | 3·0 m | 12·0 m | 45° |

मृदा का घनत्व 16 kN/m$^3$ तथा चिनाई का घनत्व 19·2 kN/m$^3$ लीजिये।

[उत्तर : (1) 3·30 m, (2) 2·76 m, (3) 4·26 m, (4) 5·12 m]

5. चिनाई के एक समलम्बाकार प्रतिधारक दीवार की ऊँचाई 8·4 m है। मृदा का घनत्व 16 kN/m$^2$ तथा चिनाई का घनत्व 1·92 kN/m$^3$ लेते हुये दीवार के लिये आवश्यक शिखर चौड़ाई तथा आधार चौड़ाई ज्ञात कीजिये। मृदा-फलक ऊर्ध्वाधर है तथा दूसरा फलक 1 क्षैतिज तथा 4 ऊर्ध्वाधर झुकाव का है। मृदा के लिये विश्राम कोण 35° लीजिये।

[उत्तर : (a) = 1·48 अथवा 1·5 m (b) = 3·6 m]

6. निम्न समलम्बाकार प्रतिधारक दीवारो मे आधार पर उत्पन्न प्रतिबलो के मान ज्ञात कीजिये। आवश्यक आकड़े निम्नवत् लीजिये। मृदा का घनत्व 16 kN/m$^3$ तथा चिनाई का घनत्व 20 kN/m$^3$ मान ले।

| दीवार सं० | शिखर चौड़ाई (m) | आधार चौड़ाई (m) | ऊँचाई (m) | मृदा भराव | मृदा-फलक | विश्राम कोण ($\phi$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 1·0 | 3·5 | 8·1 | शिखर तल तक | ऊर्ध्वाधर | 40° |
| 2. | 2·0 | 6·0 | 10·5 | तदैव | तदैव | 30° |
| 3. | 2·5 | 6·5 | 12·0 | शिखर तल के नीचे 1·5 मी तक | तदैव | 35° |
| 4. | 2·5 | 7·0 | 12·0 | तदैव | 1 : 6 (H : V) | 35° |
| 5. | 3·0 | 9·0 | 15·0 | शिखर तल तक | 1 : 5 (H : V) | 30° |

[उत्तर :

| | मृदा की ओर | बाहरी ओर |
|---|---|---|
| 1. | 44·36 kN/m$^2$ | 163·92 kN/m$^2$ |
| 2. | 85·12 kN/m$^2$ | 194·88 kN/m$^2$ |
| 3. | 178·0 kN/m$^2$ | 154·7 kN/m$^2$ |
| 4. | 148·6 kN/m$^2$ | 219·16 kN/m$^2$ |
| 5. | 111·36 kN/m$^2$ | 368·64 kN/m$^2$ |

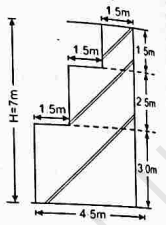
7. निम्नांकित समलम्बाकार प्रतिधारक दीवारो के स्थायित्व की जाँच कीजिये। मृदा का घनत्व 16 kN/m$^3$, चिनाई का घनत्व 21 kN/m$^3$, $\phi = 30°$, घर्षण गुणांक $\mu = 0·6$, सदलन प्रतिबल 550 kN/m$^2$ मान लीजिये।

civilguruji.net

| दीवार सं० | शिखर चौड़ाई (m) | आधार चौड़ाई (m) | ऊँचाई (m) | मृदा-फलक | मृदा भराव | विश्राम कोण |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 1·50 | 4·0 | 8·7 | ऊर्ध्वाधर | शिखर तल तक | 35° |
| 2. | 1·8 | 3·6 | 6·0 | ऊर्ध्वाधर | शिखर तल तक | 30° |
| 3. | 2·0 | 7·0 | 12·0 | 1 : 6 (H : V) | शिखर तल तक | 40° |

[उत्तर–: 1. स्थायी $P_{max} = 204{\cdot}22$ kN/m², $P_{min} = 47{\cdot}03$ kN/m²
2. स्थायी $P_{max} = 120{\cdot}3$ व $P_{min} = 68{\cdot}7$ kN/m²
3. स्थायी $P_{max} = 217{\cdot}27$ व $P_{min} = 161{\cdot}58$ kN/m²]

8. चित्र 10.36 मे दर्शित खमकेदार प्रतिधारक दीवार के आधार पर उत्पन्न प्रतिबलो के मान ज्ञात कीजिये यदि—

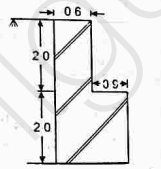


चित्र 10.36

(i) मृदा भराव दीवार के खमकेदार भाग की ओर शिखर तल तक हो।
(ii) मृदा भराव दीवार के ऊर्ध्वाधर फलक द्वारा शिखर तल तक रोका गया हो।
$w = 16$, $\rho = 20$ kN/m² तथा $\phi = 30°$ लीजिये।
[उत्तर : (i) 233·5 kN/m² तथा 31·84 kN/m²
(ii) 140·35 तथा 66·34 kN/m²]

9. चित्र 10.37 मे दर्शित दीवार के आधार पर उत्पन्न प्रतिबलो के मान ज्ञात कीजिये। चिनाई व मृदा के घनत्व क्रमश: 20 तथा 16 kN/m³ तथा $\phi = 30°$ लीजिये।
[उत्तर : 179·2 तथा – 67·2 kN/m²]

10. चित्र 10.37 मे दर्शित दीवार के लिये मृदा-भराव की वह गहरायी ज्ञात कीजिए, जिससे चिनाई मे तनन प्रतिबल उत्पन्न न होने पाये। $\rho = 20$, $w = 16$ kN/m³ तथा $\phi = 30°$ लीजिए।
[उत्तर : 3·0 मी०]



चित्र 10.37

**(II) चिमनी—**

11. संक्षिप्त उत्तर दीजिये—
(i) पवन दाब से आप क्या समझते है? इसका किसी दीवार/चिमनी की स्थिरता पर क्या परिणाम होता है।
(ii) आकृति गुणाक से आप क्या समझते है? यह किन बातो पर निर्भर करता है?
(iii) निम्न खण्डो की चिमनियो के लिये आकृति गुणाक ज्ञात करे—
(क) गोलाकार ऊँचाई 36 m, आधार पर व्यास 4 m
(ख) वर्गाकार ऊँचाई 24 m, आधार भुजा 3.2 m।
(iv) टेपर चिमनी से आप क्या समझते है? टेपर चिमनी का निर्माण कब और क्यो किया जाता है?
(v) टेपर चिमनी पर आने वाला कुल पवन दाब एव उसके क्रिया-रेखा की स्थिति आप कैसे ज्ञात करेगे?
(vi) मृदा की धारण क्षमता से आप क्या समझते है?
(vii) भजक मापांक (modulus of rupture) से आप क्या समझते है?
(viii) नींव की न्यूनतम गहराई ज्ञात करने हेतु सूत्र लिखे? यह सूत्र किस सिद्धान्त पर आधारित है?
(ix) 300 mm मोटी दीवार के लिये आवश्यक न्यूनतम गहराई 750 mm तथा चौड़ाई 1050 mm है। इस दीवार के लिये खमकेदार नींव को चित्रित कीजिये।



(x) दीवार के लिये नीव मे कक्रीट ब्लॉक मोटाई कैसे निर्धारित करेंगे? कक्रीट ब्लॉक की न्यूनतम गहराई कितनी रखी जाती है?

12. चिनाई की एक दीवार 1·5 मीटर मोटी तथा 5 मी० ऊँची है। इस पर 2·0 kN/m² तीव्रता का एकसमान क्षैतिज पवन दाब आ रहा है। यदि चिनाई का घनत्व 22·4 kN/m² हो तो आधार पर उत्पन्न प्रतिबलो के मान ज्ञात कीजिये।
[उत्तर : 178·7 तथा 45·3 kN/m² संपीडन]

13. चिनाई के एक चिमनी की ऊँचाई 15 मी० है। चिमनी एक समान खण्ड की है जिसका बाह्य परिमाप 2·5 × 2·5 मी तथा आतरिक परिमाप 1·5 मी० व्यास (गोलाकार) है। इस चिमनी के पार्श्व फलक पर लम्बवत् पवन दाब की तीव्रता ज्ञात कीजिये जिससे चिनाई मे तनन प्रतिबल उत्पन्न न हो। चिनाई का घनत्व 20 kN/m³ लीजिये। [उत्तर : 2·23 kN/m²]

14. प्रश्न 13 मे अंकित चिमनी के आधार पर उत्पन्न प्रतिबल ज्ञात कीजिये यदि 1·10 kN/m² तीव्रता का पवन दाब—
(i) पार्श्वफलक पर लम्बवत् आ रहा हो।
(ii) विकर्ण के लम्बवत् आ रहा हो।
[उत्तर : (i) 447·9 तथा 152·1 kN/m² संपीडन, (ii) 531·6 तथा 68·4 kN/m² संपीडन]

15. एक समान खण्ड की चिनाई के एक चिमनी की ऊँचाई 25·0 मी० है तथा इसके आतरिक परिमाप 1·2 m × 1·2 m है। इसके लिये आधार पर चिनाई की आवश्यक मोटाई ज्ञात कीजिये यदि चिनाई मे अनुज्ञेय अधिकतम प्रतिबल 750 kN/m² हो, पवन दाब 1·2 kN/m² हो तथा चिनाई का घनत्व 20 kN/m³ हो। आकृति गुणांक 1·15 लीजिये। [उत्तर : 1·025 m]

16. एक समान खण्ड के एक खोखले वर्गाकार चिनाई के चिमनी के बाह्य परिमाप 3·2 × 3·2 मी० तथा मोटाई 0·8 मी० है। चिमनी की ऊँचाई 20 मी० है। चिनाई का घनत्व 20 kN/m³ तथा अनुज्ञेय अधिकतम प्रतिबल 750 kN/m³ लेते हुये एक समान पवन दाब की तीव्रता ज्ञात कीजिये यदि—
(i) पवन दाब ऊर्ध्वाधर फलक के लम्बवत् हो।
(ii) पवन दाब विकर्ण के लम्बवत् हो। [उत्तर : (i) 2·434 kN/m², (ii) 1·55 kN/m²]

17. चिनाई के एक टेपर चिमनी की ऊँचाई 45 मी० है। आधार पर बाह्य व आतरिक व्यास क्रमश: 6·0 व 3·0 मी० तथा शिखर पर इनके मान क्रमश: 3·0 व 2·0 मी० हैं। चिनाई का घनत्व 19·2 kN/m³ तथा क्षैतिज एक समान पवन दाब की तीव्रता 1·75 kN/m² लेते हुये निम्न ज्ञात कीजिये—चिमनी का भार, कुल पवन दाब, परिच्छेद मापांक, अधिकतम व न्यूनतम प्रतिबलो के मान। [उत्तर : 9952 kN, 248·1 kN, 19·88 m³, 718·9 तथा 219·70 kN/m² संपीडन]

18. 24 मी० ऊँची एक टेपर चिमनी का आधार पर बाह्य परिमाप 3·5 × 3·5 मी० आंतरिक परिमाप 2·0 × 2·0 मी० है। शिखर पर इनके परिमाप क्रमश: 2·0 × 2·0 तथा 1·4 × 1·4 मी० है। चिनाई का घनत्व 20 kN/m³ तथा एक समान पवन दाब की तीव्रता 1·9 kN/m² क्षैतिज लेते हुये निम्न ज्ञात कीजिये—
चिमनी का आयतन, कुल पवन दाब एवं उसके क्रिया-रेखा की आधार से ऊँचाई, अधिकतम व न्यूनतम प्रतिबलो के मान।
[उत्तर : 115·92 m³, 144·21 kN, आधार से 10·91 मी० ऊँचाई पर, 527·45 व 34·55 kN/m² संपीडन]

19. प्रश्न 18 मे अंकित चिमनी पर आने वाला पवन दाब यदि विकर्ण के लम्बवत् हो तथा तीव्रता 1·1 kN/m² हो तो आधार पर उत्पन्न प्रतिबलो के मान ज्ञात कीजिये।
[उत्तर : $P = 92{\cdot}4$ kN, $Z = 4{\cdot}5134$ m³, $\bar{h} = 10{\cdot}91$ m, प्रतिबल 504·37 तथा 57·63 kN/m²]

**(III) नींव—**

20. एक स्तम्भ के लिये उपर्युक्त नीव के परिमाप ज्ञात कीजिये; स्तम्भ 0·60 × 6·0 मी० वर्गाकार खण्ड का है। इस पर 1200 kN अक्षीय भार आ रहा है। मृदा का घनत्व 16 kN/m³, धारण क्षमता 160 kN/m² तथा $\phi = 30°$ लीजिये।
[उत्तर : 2·87 × 2·87 मी०, गहराई 1·11 मी०]

21. निम्नांकित तालिका मे प्रत्येक दीवार पर उसके भार सहित भूमितल पर आने वाले प्रति मीटर लम्बाई पर भार तथा मृदा के गुणधर्म दिये है। प्रत्येक दीवार के लिये नींव की आवश्यक न्यूनतम गहराई व चौड़ाई ज्ञात कीजिये—

| भार प्रति मी० (kN) | घनत्व | विश्राम कोण | धारण क्षमता |
|---|---|---|---|
| 102 | 16 kN/m$^3$ | 30° | 80 kN/m$^2$ |
| 120 | 16 kN/m$^3$ | 30° | 90 kN/m$^2$ |
| 175 | 18 kN/m$^3$ | 35° | 100 kN/m$^2$ |
| 250 | 18 kN/m$^3$ | 35° | 160 kN/m$^2$ |

**[उत्तर :** (1) 556 mm, 1402 mm, (2) 625 mm, 1467 mm, (3) 408 mm, 1925 mm, (4) 653 mm, 1719 mm]

22. एक भवन की 300 mm मोटी दीवार अपने भार सहित कुल 300 kN प्रति मी लम्बाई पर भार स्थानांतरित करती है। यदि मृदा का घनत्व 17·6 kN/m$^3$, विश्राम कोण $\phi = 30°$ तथा धारण क्षमता 160 kN/m$^2$ हो तो नीव के न्यूनतम परिमाप ज्ञात कीजिये।

**[उत्तर :** गहराई 1010 mm, चौड़ाई 2062 mm]

23. एक 400 mm मोटी दीवार अपने भार सहित कुल 110 kN प्रति मी लम्बाई भार स्थानांतरित करती है। इसके लिये नीव के अभिकल्पन करे तथा चित्र द्वारा दर्शित करे। मृदा की धारण क्षमता 90 kN/m$^2$, विश्राम कोण $\phi = 30°$ तथा घनत्व 18 kN/m$^3$ लीजिये।

**[उत्तर :** न्यूनतम गहराई 556 mm, चौड़ाई 1345 mm]

24. एक भवन की 345 mm मोटी दीवार 100 kN प्रति मी० का कुल भार स्थानांतरित करती है। मृदा का घनत्व 16·2 kN/m$^3$ धारण क्षमता 100 kN/m$^2$ तथा $\phi = 30°$ लेते हुये नीव का अभिकल्पन करे। नीव के परिमाप निर्धारित कर चित्र द्वारा दर्शित करे। यदि चिनाई मे अनुज्ञेय संपीडन प्रतिबल 1·0 N/mm$^2$ हो तो दीवार की संपीडन मे सुरक्षा के लिये जांच करे।

**[उत्तर :** न्यूनतम परिमाप गहराई 686 mm, चौड़ाई 1100 mm]

25. चिनाई के एक दीवार के लिये नीव का अभिकल्पन करें। दीवार 230 mm मोटी है तथा कुर्सी तल पर 100 kN प्रति मी लम्बाई पर कुल भार स्थानांतरित करती है। मृदा की धारण क्षमता 90 kN/m$^2$, $\phi = 26°$ तथा घनत्व 16 kN/m$^3$ लीजिये।

**[उत्तर :** न्यूनतम गहराई 858 mm तथा चौड़ाई 1222 mm]

# 11 प्रकाष्ठ संरचनायें (TIMBER STRUCTURES)

## § 11.1. इमारती लकड़ी (Timber) :

प्रकाष्ठ इस धरती पर पत्थरो के बाद सबसे पुराना और सब जगहो पर आसानी से उपलब्ध होने वाला निर्माण पदार्थ है। यह भवन निर्माण मे अनेक अवयवो के लिये प्रयोग होता आ रहा है। सम्मीडन, तनन व वकन प्रतिबलो के वहन के लिये, इस्पात के बाद यह पर्याप्त सन्तोषजनक निर्माण पदार्थ है। भवन निर्माण मे प्रकाष्ठ दरवाजे-खिड़कियो के अतिरिक्त, कड़ियो (Joists), धनो (Beams), स्तम्भो (Posts), पाइलो (Piles), पटरो (Planks), वल्लियो (Logs) के लिये प्रयोग किया जाता है। यह अस्थायी निर्माण कार्यों जैसे पाड़, फर्माबन्दी, तख्ताबन्दी टेक बन्दी आदि के लिये भी काम आता है। सामान्यत: वहिर्जात वृक्षो (Exogenous Trees) की लकड़ी ही स्थायी रचनाओ के लिये काम मे लायी जाती है। भारत मे टीक (Teak), शीशम (Shisham), देवदार (Deodar), कैल (Kail), चीड़ (Chir), साल (Sal), हल्दू (Haldu), आम (Mango) आदि वृक्षो की प्रकाष्ठ अधिक काम मे आती है। प्रकाष्ठ को प्रयोग मे लाने से पहले, इसका संशोषण (Seasoning) करना आवश्यक होता है। पूर्णत: शुष्क (Bone Dry) काष्ठ पर कार्य करने में कठिनाई आती है, अत: इसमे कुछ नमी (Moisture) अवश्य बनी रहनी चाहिये। इमारती लकड़ी का भार इसमे 12% नमी पर आँका जाता है। प्रकाष्ठ गाँठो (Dead Knots), विभिन्न विपाटो (Shakes) व क्षतिग्रस्त व विकृत रेशो मे मुक्त होना चाहिये। प्रकाष्ठ सीधी धूप, वर्षा, पानी, नम-मृदा के सम्पर्क मे आने पर तथा काष्ठ-कीटो, दीमक, फफूद लगने से शीघ्र नष्ट हो जाता है। अत: लम्बे काल तक सेवा योग्य बनाये रखने के लिये, इसका परिरक्षण आवश्यक हो जाता है। प्रकाष्ठ गठन की दृष्टि से मृदु (Soft) या कठोर (Hard), दो प्रकार का होता है। मृदु काष्ठ पर कार्य करना (रंदा/आरी चलाना) सरल पड़ता है। देवदार, कैल, चीर की लकड़ी मृदु और टीक, शीशम, साल, बबूल, आम की लकड़ी कठोर होती है।

सेवा-योग्य आयु के आधार पर प्रकाष्ठ संरचनाओ को निम्न तीन श्रेणियो मे बाँटा गया है—

प्रकाष्ठ श्रेणी I— औसत आयु 10 वर्ष से अधिक

प्रकाष्ठ श्रेणी II — औसत आयु 5-10 वर्ष

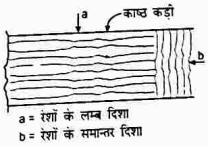
प्रकाष्ठ श्रेणी III — औसत आयु 5 वर्ष तक

मुक्त वायु व शुष्क स्थिति में प्रयुक्त प्रकाष्ठ की आयु काफी होती है, परन्तु बार-बार नम-सूखी स्थिति मे आने पर यह शीघ्र गल-सड़ जाता है। प्रकाष्ठ कर्तन (Shear) मे विफल नही होता है। जिन धरनो की गहरायी, इसकी चौड़ाई से 3 गुना से अधिक होती है और/अथवा जिनका पाट, चौड़ाई से 50 गुना से अधिक होता है, इनके पार्श्व मे झुक जाने (व्याकुंचन) (Buckling) व मुड़ जाने (Twisting) की सम्भावना रहती है, अत: इनको उचित दूरी पर पार्श्व-रोक की आवश्यकता रहती है। ऐसे गोलाकार धरन की, जिसका व्यास, किसी वर्गाकार धरन की एकल फलक के बराबर होता है, सामर्थ्य वर्गाकार धरन-खण्ड की कुल 3/5th ही होती है।

## § 11.2. प्रकाष्ठ के वर्ग तथा अनुज्ञेय प्रतिबल (Grades of Timber and Permissible Stresses) :

प्रकाष्ठ के अनुज्ञेय प्रतिबल निम्न कारको से प्रभावित होते है—

**(1) प्रकाष्ठ के रेशों की बनावट व स्थिति** (Grains of Timber)—प्रकाष्ठ की सामर्थ्य का इसके रेशो से सीधा सम्बन्ध रहता है। ये सीधे अथवा ऐठे (विकृत) हो सकते है। चित्र 11.1 मे प्रकाष्ठ खण्ड मे सीधे या समान्तर रेशे दर्शाये गये है। सीधे रेशो की समान्तर दिशा मे काष्ठ की सामर्थ्य अन्य दिशा से अधिक होती है। सामान्यत: रेशो के समान्तर (along the grains) अथवा रेशो के लम्ब (across the grains) दिशा की सामर्थ्य पर ही विचार किया जाता है।



चित्र 11.1

**(2) प्रकाष्ठ के वर्ग** (Grading of Timber)—प्रकाष्ठ को इसके रेशों के गठन, रचना, दोष (गाँठे, दरारें, तिरछे इत्यादि) के आधार पर I.S. 883 के अनुसार निम्न 3 वर्ग मे रखा गया है—

(a) चयनित प्रकाष्ठ (Selected grade)

(b) मानक प्रकाष्ठ (Standard grade या Grade I)

(c) सामान्य प्रकाष्ठ (Common grade या Grade II)

चयनित ग्रेड का प्रकाष्ठ सभी दोषो से मुक्त तथा उत्तम होता है। बहुत कम दोष वाला प्रकाष्ठ मानक ग्रेड वाला और कुछ अधिक दोषो वाला प्रकाष्ठ सामान्य ग्रेड मे लिया जाता है।

मानक वर्ग के प्रकाष्ठ के परीक्षणो (वंकन, कर्तन व सम्पीडन प्रतिबल) से प्राप्त आँकड़ो के आधार पर, अन्य वर्ग के प्रकाष्ठो के प्रतिबलो को ज्ञात करने के लिये. निम्नलिखित गुणांक (Factors) अपनाये जाते हैं —

(i) चयनित (Selected) वर्ग के लिये = मानक वर्ग का $\frac{7}{6}$ या 1·16

(ii) सामान्य (Common) वर्ग के लिये = मानक वर्ग का $\frac{5}{6}$ या 0·84

**(3) अवयव की संरचना में अवस्थिति** (Location of Wooden Member)—प्रकाष्ठ मे विद्यमान नमी (Moisture) की मात्रा, इसकी सामर्थ्य को प्रभावित करती है। प्रकाष्ठ अवयव की संरचना मे अवस्थिति, इसमे नमी की मात्रा को घटा-बढ़ा देती है। मोटे तौर पर यह अवस्थिति निम्न 3 प्रकार की हो सकती है—

**(a) आंतरिक अवस्थिति** (Inside Location)—इस स्थिति मे प्रकाष्ठ अवयव पर मौसम का प्रभाव कम पड़ता है और यह सूखा बना रहता है।

**(b) बाह्य अवस्थिति** (Outside Location)—इस स्थिति मे काष्ठ खुले मे रहता है और मौसम के कारण गीला होता अथवा सूखता रहता है।

**(c) भीगी अवस्थिति** (Wet Location)—इस स्थिति मे काष्ठ नम अवमृदा अथवा जल के सम्पर्क में रहता है और गीला बना रहता है।

मानक वर्ग के विभिन्न प्रकाष्ठ के लिये, इसकी उपरोक्त अवस्थितियो के लिये, सुरक्षित प्रतिबल I.S. 883 के अनुसार तालिका 11.1 मे दिये गये है।

**तालिका 11.1—मानक वर्ग के प्रकाष्ठ के लिये सुरक्षित प्रतिबल**
**(Permissible Stresses for Standard grade Timber) (I.S. 883)**

| प्रतिबल के प्रकार | सुरक्षित प्रतिबल, kg/cm² में | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | टीक Teak | साल Sal | देवदार Deodar | शीशम Shisham | आम Mango | बबूल Kiker | जामुन Jamb-aline | चीर Chir |
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| **(1) सम्पीडन प्रतिबल :** | | | | | | | | |
| (a) रेशो के समान्तर— | | | | | | | | |
| (i) आंतरिक स्थिति | 88 | 106 | 78 | 106 | 74 | 112 | 91 | 64 |
| (ii) बाह्य स्थिति | 78 | 94 | 70 | 92 | 66 | 102 | 84 | 56 |
| (iii) भीगी स्थति | 64 | 78 | 50 | 78 | 52 | 80 | 67 | 46 |
| (b) रेशो के लम्बवत्— | | | | | | | | |
| (i) आंतरिक स्थिति | 40 | 45 | 26 | 64 | 31 | 65 | 58 | 22 |
| (ii) बाह्य स्थिति | 31 | 35 | 21 | 50 | 25 | 50 | 45 | 17 |
| (iii) भीगी स्थति | 25 | 29 | 17 | 41 | 19 | 41 | 36 | 14 |



| प्रतिबल के प्रकार | सुरक्षित प्रतिबल, kg/cm² में | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | टीक Teak | साल Sal | देवदार Dead or | शीशम Shisham | आम Mango | बबूल Kiker | जामुन Jamb-aline | चीर Chir |
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| **(2) वंकन व तनन प्रतिबल :** | | | | | | | | |
| (i) आंतरिक स्थिति | 140 | 168 | 102 | 168 | 124 | 182 | 151 | 84 |
| (ii) बाह्य स्थिति | 116 | 140 | 88 | 140 | 102 | 154 | 126 | 70 |
| (iii) गीली स्थति | 94 | 112 | 70 | 112 | 80 | 124 | 102 | 60 |
| **(3) कर्तन प्रतिबल :** | | | | | | | | |
| (i) क्षैतिज (सभी स्थितियाँ) | 10 | 9.4 | 7 | 16 | 9 | 15 | 12 | 6 |
| (ii) रेशो के समान्तर (सभी स्थितियाँ) | 14 | 13 | 10 | 16 | 13 | 22 | 17 | 9 |
| **(4) औसत इकाई भार :** | | | | | | | | |
| 12% जलाश पर (kg/m³) | 640 | 800 | 560 | 800 | 690 | 880 | 850 | 575 |
| **(5) प्रत्यास्थता मापांक:** | | | | | | | | |
| E(kg/cm²) (सभी वर्ग के काष्ठ के लिये) | $96 \times 10^3$ | $127 \times 10^3$ | $95 \times 10^3$ | $93 \times 10^3$ | $91 \times 10^3$ | $108 \times 10^3$ | $112 \times 10^3$ | $98 \times 10^3$ |

**(4) चढ़ाव** (Bearing)—चिनाई में टिकाते समय, काष्ठ के आनमन अवयवो के सिरे उपयुक्त खाँचे (Recesses) मे रखने चाहिये ताकि उनको मुक्त वायु लगती रहे। दो अवयवों के संगम पर 75 mm का चढ़ाव (Overlap) होना चाहिये। चिनाई दीवारों पर टिकायी गयी कड़ियो के नीचे दीवार-पट्टिका (Wall Plate) (न्यूनतम माप 75 mm × 40 mm) देनी चाहिये। लकड़ी की कड़ियाँ इस्पातीय I-धरनों के निचले फ्लेंज पर नहीं रखनी चाहिये।

**टिप्पणी—**

(i) धरनों के लिये क्षैतिज कर्तन प्रतिबल तथा अन्य अवयवों के लिये रेशो के समान्तर प्रतिबल प्रयोग करने चाहिये।

(ii) अभिकल्प में सरलता के लिये, उपरोक्त मान जहाँ आवश्यक हुआ, पूर्णांकित (Round off) कर दिये गये हैं।

(iii) $kg/cm^2 \rightarrow N/mm^2$ गुणांक (0·10) लगायें।
$kg/m^2 \rightarrow kN/m^2$ गुणांक ($10^{-2}$) लगायें।
$N/mm^2$ अथवा MPa.

## (I) काष्ठ स्तम्भ का अभिकल्पन (Design of Timber Columns)

### § 11.3. काष्ठ स्तम्भ (Timber Column) :

प्रकाष्ठ का ठोस स्तम्भ गोलाकार या आयताकार बल्लियो (लट्ठो) का बनाया जाता है। स्तम्भ की भार-वहन क्षमता इसके तनुता अनुपात (Slenderness Ratio) पर निर्भर करती है। गोलाकार सतम्भ कम प्रयोग मे आता है। अभिकल्पन सम्बन्धी निम्न बाते (I.S. 833) महत्व रखती है—

(1) प्रकाष्ठ के अवयव का परिच्छेद (Cross-section) सम्पूर्ण लम्बाई मे ठोस आयताकार अथवा वृत्ताकार हो सकता है (गोलाकार खण्ड के लिये नीचे दी गयी टिप्पणी देखे)।

(2) स्तम्भ की तनुता अनुपात की गणना करके, ज्ञात करे कि यह स्तम्भ—

(a) लघु (Short), (b) मध्यवर्ती (Intermediate) अथवा (c) दीर्घ (Long) है।

$$\text{तनुता अनुपात} = \frac{\text{प्रभावी लम्बाई}}{\text{न्यूनतम पार्श्व माप}} = \frac{l}{d}$$

अत: (a) जब $\frac{l}{d}$ का मान **11** से कम है, यह लघु स्तम्भ (Short Column) है।

(b) जब $\frac{l}{d}$ का मान **11** तथा '$k$' के बीच है, इसे मध्यवर्ती स्तम्भ (Intermediate Column) माना जायेगा।

(c) यदि $\frac{l}{d}$ का मान '$k$' से अधिक है, यह दीर्घ स्तम्भ (Long Column) होगा।

यहाँ $l$ = स्तम्भ की अन-आलम्बित (Un-supported) लम्बाई, सेमी० में।

$d$ = स्तम्भ की न्यूनतम पार्श्व माप, सेमी० में

$k$ = स्थिराक $= 0{\cdot}702\sqrt{\frac{E}{f_c}}$ ...(11.1)

यहाँ $E$ = काष्ठ का प्रत्यास्थता मापांक, kg/cm² में

$f_c$ = काष्ठ के रेशो के समान्तर अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल, kg/cm² में

(d) ठोस **प्रकाष्ठ** स्तम्भ में $\frac{l}{d}$ का मान **50** से अधिक नही होगा।

(3) अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल की गणना निम्न प्रकार करे—

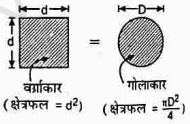
| (a) लघु स्तम्भ (Short Column) | (b) मध्यवर्ती स्तम्भ (Intermediate Column) | (c) दीर्घ स्तम्भ (Long Column) |
|---|---|---|
| अनुज्ञेय प्रतिबल, $f$ तालिका 11.1 से अपनाये | अनुज्ञेय प्रतिबल— $f = f_c\left[1-\frac{1}{3}\left(\frac{l}{dk}\right)^4\right]$ kg/cm² | अनुज्ञेय प्रतिबल— $f = \frac{0{\cdot}329\,E}{\left(\frac{l}{d}\right)^2}$ kg/cm² |

(4) स्तम्भ की भार-वहन क्षमता = (काट-क्षेत्रफल) × अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल kg में ...(11.2)

**टिप्पणी**— गोलाकार परिच्छेद वाले स्तम्भ के लिये न्यूनतम भुजा '$d$', समान क्षेत्रफल वाले वर्ग की भुजा के बराबर ली जाती है। अत: '$D$' व्यास वाले स्तम्भ के लिये न्यूनतम भुजा,

$$d = \sqrt{\frac{\pi}{4}D^2}$$

अथवा $d = 0{\cdot}88\,D$ ...(11.3)



चित्र 11.2

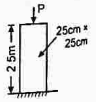
**उदाहरण 11.1 : साल (Sal) के एक खम्बा (Wooden Post) का परिच्छेद 25 cm × 25 cm है और प्रभावी ऊँचाई 2.50 m है। खम्बे पर सुरक्षित भार ज्ञात करें, यदि काष्ठ में अनुमत सम्पीडन प्रतिबल (रेशों के समान्तर) 94 kg × cm²(9·4 MPa) हो।**

**हल :** स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई = 2·5 m = 250 cm

स्तम्भ की न्यूनतम फलक = 25 cm

∴ तनुता अनुपात $= \frac{l}{d} = \frac{250}{25} = 10$

यह मान 11 से कम है, अत: यह एक लघु स्तम्भ है।



चित्र 11.3



अक्षीय सम्पीडन में अनुमत प्रतिबल, $f_c = 94$ kg/cm²

∴ स्तम्भ पर सुरक्षित भार = क्षेत्रफल × अनुमत प्रतिबल

$P = (25 \times 25) \times 94 = 58750$ kg अथवा **58·75 टन** **उत्तर**

**उदाहरण 11.2 : शीशम का एक स्तम्भ 25 सेमी० × 25 सेमी० माप का बना है तथा इसकी प्रभावी लम्बाई 3 मी० है। यदि काष्ठ में अनुमत सम्पीडन प्रतिबल (रेशों के समान्तर) 92 kg/cm², प्रत्यास्थता मापांक, $E = 93 \times 10^3$ kg/cm² हो, स्तम्भ के लिये सुरक्षित भार की गणना कीजिए।**

**हल :** स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई = 300 cm

स्तम्भ की न्यूनतम फलक = 25 cm

∴ तनुता अनुपात $= \frac{l}{d} = \frac{300}{25} = 12$

यह मान 11 से अधिक है, अत: स्तम्भ लघु नही है। स्तम्भ की प्रकार जानने के लिये '$k$' ज्ञात करना होगा।

$$k = 0{\cdot}702\sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= 0{\cdot}702\sqrt{\frac{93000}{92}} = 22{\cdot}32$$

चूँकि तनुता अनुपात 11 व 22·32 के मध्य है, अत: यह एक मध्यवर्ती स्तम्भ होगा।

∴ मध्यवर्ती स्तम्भ के लिये अक्षीय सम्पीडन में अनुमत प्रतिबल— ...(सूत्र)

$$f = f_c\left[1-\frac{1}{3}\left(\frac{l}{d}\times\frac{1}{k}\right)^4\right]$$

$$= 94\left[1-\frac{1}{3}\left(12\times\frac{1}{22{\cdot}32}\right)^4\right]$$

$$= 94\left[1-\frac{1}{3}(0{\cdot}0836)\right]$$

$$= 94 \times 0{\cdot}972 = 91{\cdot}4 \text{ kg/cm}^2$$

∴ स्तम्भ पर सुरक्षित भार = क्षेत्रफल × अनुमत प्रतिबल

$P = (25 \times 25) \times 91{\cdot}4$

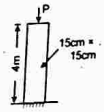
$= 57125$ kg अथवा **57·125 टन** **उत्तर**

**उदाहरण 11.3 : साल की लकड़ी के एक स्तम्भ का परिच्छेद 15 सेमी० × 15 सेमी० है और प्रभावी ऊँचाई 4·0 मी० है। यदि साल में अनुमत सम्पीडन प्रतिबल (रेशों के समान्तर) 94 kg/cm² और प्रत्यास्थता मापांक, $E = 1270$ kN/cm² हो, स्तम्भ पर सुरक्षित भार की गणना कीजिए।**

**हल :** स्तम्भ का परिच्छेद = 15 cm × 15 cm

स्तम्भ की प्रभावी ऊँचाई = 400 cm

∴ तनुता अनुपात $= \frac{l}{d} = \frac{400}{15} = 26{\cdot}67$



चित्र 11.4

civilguru.net

यह मान 11 से अधिक है, अत: स्तम्भ लघु नही है। अत: स्थिरांक 'k' की गणना करें।

$$k = 0{\cdot}702\sqrt{\frac{E}{f_c}} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

$$= 0{\cdot}702\sqrt{\frac{127\times1000}{94}} = 25{\cdot}8$$

ऊपर ज्ञात तनुता अनुपात, $\frac{l}{d} = 26{\cdot}67$ है, जो $k = 25{\cdot}8$ से अधिक है। अत: यह स्तम्भ दीर्घ (Long) प्रकार का है।

∴ दीर्घ स्तम्भ के लिये अक्षीय सम्पीडन मे अनुमत प्रतिबल,

$$f = \frac{0{\cdot}329\,E}{(l/d)^2} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

$$= \frac{0{\cdot}329\times127\times1000}{(26{\cdot}67)^2} = 58{\cdot}74 \text{ kg/cm}^2$$

∴ स्तम्भ पर सुरक्षित भार = क्षेत्रफल × अनुमत प्रतिबल

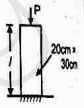
$$P = (15\times15)\times58{\cdot}74 = \mathbf{13216\ kg}$$ उत्तर

**उदाहरण 11.4 : साल की लकड़ी से बने एक आयताकार स्तम्भ का अनुप्रस्थ काट 20 सेमी० × 30 सेमी० है। ज्ञात करो कि यह स्तम्भ कितना सुरक्षित अक्षीय भार वहन कर सकता है, यदि इसकी प्रभावी लम्बाई-(a) 2 मी०, (b) 3 मी०, (c) 5 मी० हो। साल के प्रकाष्ठ के लिये, इसकी आन्तरिक स्थिति मानते हुये, अनुमत सम्पीडन प्रतिबल 106 kg/cm² तथा $E = 127\times10^3$ kg/cm² मान लें।**

**हल :** (a) आयताकार स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई = 200 cm

न्यूनतम पार्श्व माप = 20 cm

$$\text{तनुता अनुपात} = \frac{l}{d} = \frac{200}{20} = 10$$



चित्र 11.5

चूँकि तनुता अनुपात 11 से कम है, अत: यह एक लघु (short) स्तम्भ है। अत: अनुज्ञेय प्रतिबल, $f_c = 106$ kg/cm² लिया जायेगा।

∴ स्तम्भ पर सुरक्षित अक्षीय भार = काट क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$$= (20\times30)\times106$$

$$= 63600 \text{ kg} \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{63{\cdot}6\ टन}$$ उत्तर

(b) स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई = 300 cm

न्यूनतम पार्श्व माप = 20 cm

∴ $$\text{तनुता अनुपात} = \frac{l}{d} = \frac{300}{20} = 15$$

यह तनुता अनुपात 11 से अधिक है। अत: स्तम्भ की प्रकार जानने के लिये स्थिरांक $k = 0{\cdot}702\sqrt{\frac{E}{f_c}}$ लगाना होगा।

अत:

$$k = 0{\cdot}702\sqrt{\frac{127\times1000}{106}} = 24{\cdot}3$$



चूँकि तनुता अनुपात 11 व 24·3 के बीच है, अत: यह एक मध्यवर्ती (Intermediate) स्तम्भ है। मध्यवर्ती स्तम्भ के लिये अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल निम्न समीकरण से ज्ञात किया जायेगा—

$$f = f_c\left[1-\frac{1}{3}\left(\frac{l}{d}\times\frac{1}{k}\right)^4\right] \qquad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर— $$f = 106\left[1-\frac{1}{3}\left(\frac{15}{24{\cdot}3}\right)^4\right]$$

$$= 106\left[1-\frac{1}{3}(0{\cdot}1452)\right]$$

$$= 106\times0{\cdot}9516 = 100{\cdot}86 \text{ kg/cm}^2$$

∴ स्तम्भ पर सुरक्षित अक्षीय भार = काट क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$$= (20\times30)\times100{\cdot}86$$

$$= 60516 \text{ kg} \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{60{\cdot}5\ टन}$$ उत्तर

(c) स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई = 5·0 m = 500 cm

स्तम्भ का न्यूनतम पार्श्व माप = 20 cm

∴ $$\text{तनुता अनुपात} = \frac{l}{d} = \frac{500}{20} = 25$$

यह तनुता अनुपात 11 से अधिक है, अत: यह स्तम्भ लघु नहीं हो सकता है। यह ज्ञात करने के लिये कि यह स्तम्भ मध्यवर्ती है, अथवा दीर्घ है, निम्न प्रकार जाँच करें--

$$k = 0{\cdot}702\sqrt{\frac{E}{f_c}} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

$$= 0{\cdot}702\sqrt{\frac{127\times1000}{106}} = 24{\cdot}30$$

चूँकि तनुता अनुपात का मान $k$ से भी अधिक है, अत: यह दीर्घ स्तम्भ (Long column) की श्रेणी में रखा जायेगा।

∴ अनुज्ञेय प्रतिबल, $f = \frac{0{\cdot}329\,E}{\left(\frac{l}{d}\right)^2}$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर— $$f = \frac{0{\cdot}329\times127\times1000}{(25)^2}$$

$$= 66{\cdot}85 \text{ kg/cm}^2$$

∴ स्तम्भ पर सुरक्षित अक्षीय भार = काट क्षेत्रफल × अनुज्ञेय प्रतिबल

$$P = (20\times30)\times66{\cdot}85$$

$$= 40110 \text{ kg} \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{40{\cdot}11\ टन}$$ उत्तर

अत: उपरोक्त उदाहरण से स्पष्ट हो जाता है कि स्तम्भ की ऊँचाई बढ़ने पर (तनुता अनुपात अधिक होने पर), इसकी भार-वहन क्षमता **घटती** चली जाती है।

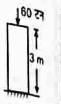
civilguru.net

**उदाहरण 11.5 : बाह्य स्थिति (Outside Location) में स्थित साल का एक आयताकार स्तम्भ 3·0 मी० ऊँचा (प्रभावी लम्बाई) है तथा इस पर 60 टन का अक्षीय भार आ रहा है। स्तम्भ का अभिकल्पन कीजिए। अनुमत प्रतिबलों के मान तालिका 11·5 (अथवा I.S. 883) से लें।**

**हल :** तालिका 11.1 से मानक वर्ग के प्रकाष्ठ के लिये सुरक्षित अनुमत प्रतिबल—

(i) प्रकाष्ठ—साल (ii) स्थिति—बाह्य (Outside)

(iii) सम्पीडन प्रतिबल = 94 kg/cm² (iv) $E = 127$ टन/cm²



चित्र 11.6

स्तम्भ को लघु (Short) मानते हुये और तनुता अनुपात, $\frac{l}{d} = 11$ अपनाते हुये—यहाँ $d$ स्तम्भ की न्यूनतम फलक है,

$$\frac{300}{d} = 11 \quad \text{अथवा} \quad d = \frac{300}{11} = 27{\cdot}3 \text{ cm say } 28 \text{ cm.}$$

$$\text{स्तम्भ का काट-क्षेत्रफल, } A = \frac{W}{f_c} = \frac{60 \times 1000}{94} = 638{\cdot}3 \text{ cm}^2$$

$$\therefore \quad \text{स्तम्भ की दूसरी फलक} = \frac{638{\cdot}3}{28} = 22{\cdot}8 \text{ cm} \quad \text{say } 23 \text{ cm}$$

**स्पष्टीकरण—** यदि हम स्तम्भ का माप 23 cm × 28 cm रखते है, यह लघु स्तम्भ की शर्त पूरी नहीं करता है। लघु स्तम्भ के लिये, स्तम्भ की कोई भी फलक 27·3 cm से कम नही हो सकती है। अत: स्तम्भ का माप 22 cm × 30 cm रखते हुये, इसका मध्यवर्ती वर्ग के लिये ट्रायल (Trial) करते है।

अत: स्तम्भ का परिच्छेद 22 cm × 30 cm रखने पर, छोटी फलक पर विचार करते हुये, वास्तविक तनुता अनुपात, $\frac{l}{d} = \frac{300}{22} = 13{\cdot}64$ आता है। क्योंकि यह अनुपात 11 से अधिक है, अत: यह स्तम्भ मध्यवर्ती होगा और इसके लिये स्थिरांक $k$ का मान ज्ञात करना होगा।

$$\therefore \quad k = 0{\cdot}702\sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0{\cdot}702\sqrt{\frac{127 \times 1000}{94}} = 25.8$$

क्योंकि वास्तविक तनुता अनुपात $k$ से कम है परन्तु 11 से अधिक है, अत: यह एक मध्यवर्ती स्तम्भ होगा। मध्यवर्ती स्तम्भ के लिये सम्पीडन प्रतिबलो का अनुज्ञेय मान,

$$f = f_c\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{l}{dk}\right)^4\right] \quad \text{...(सूत्र)}$$

$$= 94\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{13{\cdot}64}{25{\cdot}8}\right)^4\right]$$

$$= 94\left[1 - \frac{1}{3}(0{\cdot}0772)\right]$$

$$= 94 \times 0{\cdot}974 = 91{\cdot}55 \text{ kg/cm}^2$$

स्तम्भ के लिये वास्तविक आवश्यक क्षेत्रफल = $\frac{60 \times 1000}{91{\cdot}55} = 656 \text{ cm}^2$



स्तम्भ के लिये ऊपर अपनाये गये परिच्छेद (22 cm × 30 cm) की भार वहन क्षमता

$$= 22 \times 30 \times 91{\cdot}55 = 60{\cdot}42 \text{ टन}$$

यह 60 टन से कुछ अधिक है। अत: स्तम्भ खण्ड सुरक्षित है।

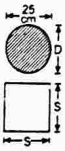
$\therefore$ स्तम्भ का परिच्छेद = **22 cm × 30 cm** **उत्तर**

**उदाहरण 11.6 : बबूल की लकड़ी के एक गोलाकार स्तम्भ का व्यास 25 सेमी० है और इसकी प्रभावी लम्बाई 2·40 मी० है। रेशों के समान्तर अनुमत सम्पीडन प्रतिबल 84 kg/cm² लेते हुये, स्तम्भ द्वारा वहन किया जाने वाला सुरक्षित भार ज्ञात करें।**

**हल:** I.S. विशिष्टियो के अनुसार गोलाकार परिच्छेद के स्तम्भ पर अनुमत भार, उसी क्षेत्रफल के वर्गाकार स्तम्भ के लिये अनुमत भार से अधिक नही लिया जा सकता है।

अत: गोलाकार स्तम्भ का काट क्षेत्रफल = वर्गाकार स्तम्भ का काट क्षेत्रफल

चित्र 11.7 के अनुसार, $\frac{\pi D^2}{4} = (S)^2$



चित्र 11.7

अथवा $\frac{\pi \times (25)^2}{4} = (S)^2$

$$\therefore \quad S = \sqrt{\frac{22}{7} \times \frac{25 \times 25}{4}} = 22{\cdot}16 \text{ cm}$$

अत: वर्ग की एक फलक = 22·16 cm

$$\text{तनुता अनुपात} = \frac{l}{d} = \frac{240}{22{\cdot}16} = 10{\cdot}83$$

यह 11 से कम है। अत: यह एक लघु स्तम्भ है।

$\therefore$ अक्षीय सम्पीडन के लिये अनुमत प्रतिबल = 84 kg/cm²

$\therefore$ स्तम्भ पर सुरक्षित अक्षीय भार = क्षेत्रफल × अनुमत प्रतिबल

$$P = (22{\cdot}16)^2 \times 84$$

$$= 41250 \text{ kg} \quad \text{अथवा} \quad \mathbf{41{\cdot}25 \text{ टन}} \qquad \text{उत्तर}$$

## (II) काष्ठ धरन का अभिकल्पन (Design of Timber Beams)

### § 11.4. काष्ठ धरनें (Timber Beams) :

काष्ठ के धरन अधिकतर आयताकार खण्ड के प्रयोग किये जाते है। छोटे पाटो व कम भारो पर काष्ठ का एक ही टुकड़ा प्रयोग किया जाता है। लम्बे पाट के लिये लकड़ी की कड़ियो को लम्बाई की दिशा मे जोड़कर, उपयुक्त धरन तैयार की जाती है। जोड़ के लिये नट-बोल्ट लगाये जाते है। बोल्टो की आपसी दूरी, धरन की गहरायी के 4 गुना से अधिक नहीं होनी चाहिये। धरनो के अधिकल्पन सम्बन्धी निम्न बाते महत्व रखती है।

**(1) प्रभावी पाट** (Effective Span)—अवलम्ब धरन का प्रभावी काट, आलम्बो के मध्य शुद्ध दूरी तथा प्रत्येक सिरे पर आवश्यक चढ़ाव-चौडाई के आधे का योगफल लिया जाता है; लम्बवत् धरन के लिये पाट को उन आलम्बो पर, जिन पर धरन बलत् है, धारण केन्द्र से मापा जाता है।

**(2) भार तथा बंकन आघूर्ण** (Loads and B.M.)—धरन पर प्रति मीटर लम्बाई पर पड़ने वाले अध्यारोपित भार (Superimposed Loads) तथा अचल भार (Dead Loads) की गणना करके, प्रभावी पाट के लिये बंकन आघूर्ण ज्ञात कर लेते

है। समवितरित भार (U.D.L.) के लिये B.M. = $\frac{wl^2}{8}$ kg m में, जब भार kg में और पाट मी० में है अथवा B.M. = $\frac{wl^2}{8} \times 100$ kg cm में ले।

अचल व अध्यारोपित भार के कारण उत्पन्न बंकन प्रतिबल के मान, अनुज्ञेय प्रतिबलो से अधिक नही होने चाहिये।

**(3)** जब $M = f Z$ से $Z$ (परिच्छेद मापांक) ज्ञात करे।

$$Z = \frac{I}{y} = \frac{bd^2}{6}$$ आयताकार खण्ड के लिये

$$\left(\text{सूत्र } \frac{M}{I} = \frac{f}{j} = \frac{E}{R}\right) \quad ...(11.4)$$

**(4)** खण्ड की उपयुक्त चौड़ाई मानते हुये, गहरायी की गणना करे।

(i) धरन की न्यूनतम चौड़ाई 5 cm अथवा पाट/50 मे, जो भी अधिक हो, उससे कम नही होनी चाहिये।

(ii) धरन की गहरायी, उसकी चौड़ाई के 3 गुने से अधिक नही होगी।

(iii) धरन मे पार्श्व व्याकुचन (Buckling) रोकने के लिये, धरन की न्यूनतम चौड़ाई = $\frac{l}{25}$ के बराबर अथवा इससे अधिक रखे।

(iv) धरन की गहराई विक्षेप (Deflection) के आधार पर भी निर्धारित की जाती है। यह निम्न मानो (Values) से कम नही होनी चाहिये—

(a) जब अधिकतम विक्षेप, $\delta$ = पाट/360 है, तब गहरायी, $D$ = 75 cm से कम नही होगी। विक्षेप पाट/360 ऐसे धरनो के लिये ली जाती है, जिन पर भंगुर पदार्थ (टाइले आदि) डाले गये हो।

(b) जब अधिकतम विक्षेप, $\delta$ = पाट/240 है, तब $D = 50\left[\frac{f_b}{E} - I\right]$ होगी ...(11.5)

यहाँ $D$ = धरन की गहरायी, $f_b$ = वास्तविक बंकन प्रतिबल

$l$ = प्रभावी पाट $E$ = यंग मापांक (Young's Modulus)

विक्षेप $\delta$ = पाट/240 ऐसे धरनो के लिये है, जिन पर अन्य पदार्थ डाले गये है।

**(5)** जब धरन पर संकेन्द्रित भार (Point Load) कार्यरत है, क्रान्तिक अपरूपण बल (Critical Shear) के लिये किसी भार का योगदान, आलम्ब के किनारे से उस भार की दूरी पर निर्भर करता है। आलम्ब के किनारे से '$x$' दूरी पर कार्यरत संकेन्द्रित भार के लिये, भार मे कटौती तालिका 11.2 के अनुसार होगी।

**तालिका 11.2—प्रभावी भार**

| निकट वाले आलम्ब से संकेन्द्रित भार की दूरी | 1·5 D या कम | 2 D | 2·5 D | 3 D या अधिक |
|---|---|---|---|---|
| प्रभावी भार | 0·6 P | 0·4 P | 0·2 P | P (कोई कटौती नही) |

यहाँ $D$ = धरन की गहरायी

$P$ = संकेन्द्रित भार (Point Load)

**(6) आकृति गुणक** (Form Factor)—काष्ट की ठोस धरन एक निश्चित गहरायी/चौड़ाई के अनुपात तक सुरक्षित अवयव के रूप मे काम करती है। इस अनुपात के काफी अधिक होने पर, सम्पीडन के भाग के रेशो मे व्याकुचन (Buckling) होने लगता है। इससे धरन की प्रभावी सामर्थ्य घट जाती है। ऐसे खण्डो के अनुमत नमन प्रतिबल का मान आकृति गुणक से गुना करके निर्धारित किया जाता है।

धरनो के लिये आकृति गुणांक, $K$ आगे दिये जा रहे है—



(i) आयताकार धरन खण्ड के लिये—

$$\text{आकृति गुणांक, } K_1 = 0{\cdot}81\left[\frac{D^2 + 894}{D^2 + 550}\right] \quad ...(11.6)$$

यहाँ $D$ = धरन की गहरायी, सेमी० मे।

जब धरन की गहरायी, $D$ = 30 cm या इससे कम हो, उपरोक्त आकृति गुणांक नही लगेगा।

(ii) वर्गाकार धरन खण्ड के लिये—

$$\text{आकृति गुणांक, } K_2 = 1{\cdot}414$$

(iii) ठोस गोलाकार धरन खण्ड के लिये—

$$\text{आकृति गुणांक, } K_3 = 1{\cdot}18$$

**(7) जाँच** (Checks)—

**(a) विक्षेप** (Deflection) **के लिये—**

(i) धरन के लिये, UDL के लिये—

$$\text{अधिकतम विक्षेप, } \delta = \frac{5}{384} \times \frac{W \times l^3}{EI} \times 10^3 \text{ सेमी० मे} \quad ...(11.7)$$

यहाँ $W$ = कुल भार, kg मे

$l$ = पाट, मी० मे

(ii) प्रास धरन के लिये, UDL के लिये—

$$\text{अधिकतम विक्षेप, } \delta = \frac{Wl^3}{8EI} \times 10^3 \text{ सेमी०} \quad ...(11.8)$$

(क) यदि धरन के ऊपर भंगुर पदार्थ (टाइले, स्लेट, ऐस्बेस्टस चादरें आदि) टिकाये गये है,

$$\text{विक्षेप, } \delta = \text{पाट}/360 \text{ से अधिक नही होगी} \quad ...(11.9)$$

(ख) जब धरन पर अन्य पदार्थ टिकाये गये है,

$$\text{विक्षेप, } \delta = \text{पाट}/240 \text{ से अधिक नही होगी} \quad ...(11.10)$$

(ग) प्रास धरन के लिये—

$$\text{विक्षेप, } \delta = \text{लटकता पाट}/180 \text{ से अधिक नही} \quad ...(11.11)$$

धरन की विक्षेप की जांच के लिये अचल भार का दो गुना तथा चल भार का 3/4 गुना, दोनो का योगफल लिया जाता है।

**(b) कर्तन (Shear) के लिये—**

(i) अधिकतम क्षैतिज कर्तन प्रतिबल, $f_s = \frac{1{\cdot}5V}{b \times D}$ kg/cm$^2$ ...(11.12)

यह मान अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल से कम होना चाहिये। अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल 6 से 16 kg/cm$^2$ के मध्य होता है।

यहाँ $f_s$ = क्षैतिज कर्तन प्रतिबल, kg/cm$^2$

$V$ = क्रान्तिक अपरूपण बल, kg मे

$b$ = धरन की चौड़ाई, cm मे

$D$ = धरन की गहरायी, cm मे

(ii) यदि धरन पर UDL लग रहा है, तब अधिकतम क्रान्तिक अपरूपण बल, आलम्ब के किनारे से '$D$' की दूरी पर स्थित खण्ड पर होगा। यहाँ $D$ = धरन की गहरायी है।

$$\text{क्रान्तिक अपरूपण बल, } V = w\left[\frac{l}{2} - D\right] = \frac{w}{2}[l - 2D] \qquad \text{...(11.13)}$$

यहाँ— $w$ = प्रति मी० लम्बाई मे धरन पर भार,

$l$ = वास्तविक पाट, मी० में

$D$ = धरन की कुल गहरायी, मी० मे

**(c) धारण प्रतिबल** (Bearing Stresses)—रेशो के अभिलम्ब दिशा मे सुरक्षित धारण प्रतिबल कार्यकर प्रतिबल मे गुणांक का गुना करके प्राप्त किया जाता है, परन्तु धारण लम्बाई 15 cm से कम होनी चाहिये और यह अवयवो के सिरे से 7·5 cm या इससे अधिक दूरी पर स्थित हो।

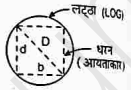
धरनो के लिये न्यूनतम धारण लम्बाई 7·5 cm होनी चाहिये।

**उदाहरण 11.7 : 40 सेमी० व्यास वाले काष्ठ के एक लट्ठे (Log) से एक आयताकार परिच्छेद वाली धरन, जिसकी चौड़ाई 20 सेमी० है, प्राप्त करनी है। धरन की अधिकतम गहरायी, जो लट्ठे से प्राप्त की जा सके, ज्ञात कीजिये।**

**हल :** लट्ठे का व्यास, $D = 40$ cm

धरन की वांछित चौड़ाई, $b = 20$ cm

माना धरन की गहरायी = $d$ cm



चित्र 11.8

अत: चित्र 11.8 के अनुसार—

$$(b)^2 + (d)^2 = D^2$$

अथवा $$(20)^2 + d^2 = (40)^2$$

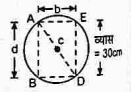
$$\therefore \quad d^2 = (40)^2 - (20)^2 = 1200$$

$$\therefore \quad d = \sqrt{1200} = 34{\cdot}64 \text{ say } 34{\cdot}5 \text{ cm}$$

अत: धरन का माप **20 cm × 34·5 cm** उत्तर

**उदाहरण 11.8 : 30 सेमी० व्यास के प्रकाष्ठ में एक लट्ठे को इस प्रकार काटना है कि अधिकतम आनमन सामर्थ्य (Flexural Strength) वाली धरन प्राप्त हो सके। इस धरन की माप ज्ञात कीजिए।**

**हल :** माना ऐसी धरन की चौड़ाई $b$ व गहरायी $d$ है।



चित्र 11.9

तब चित्र 11.9 के अनुसार—

$$(AB)^2 + (BD)^2 = (AD)^2$$

$$b^2 + d^2 = (30)^2$$

अथवा $$d^2 = 900 - b^2 \qquad \text{...(i)}$$

$$\text{परिच्छेद मापांक, } Z = \frac{I}{y_{max}} = \frac{bd^3}{12} \times \frac{2}{d}$$

$$\therefore \quad Z = \frac{bd^2}{6}$$

उपरोक्त मे $d^2$ का मान रखने पर, $$Z = \frac{b}{6}(900 - b^2)$$

$$= \frac{1}{6}(900b - b^3) \qquad \text{...(ii)}$$



$Z$ का मान अधिकतम होगा, यदि $\frac{dZ}{db} = 0$

अर्थात् समीकरण (ii) का अवकलन (Differential) करने पर—

$$\therefore \quad \frac{dZ}{db} = \frac{1}{6}[900 - 3b^2] = 0$$

अत: $$900 - 3b^2 = 0$$

$$b^2 = 300$$

$$\therefore \quad b = \sqrt{\frac{900}{3}} = 17{\cdot}32 \text{ cm}$$

समीकरण (i) मे $b$ का मान रखने पर—

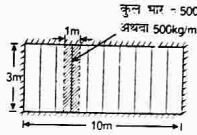
$$d^2 = 900 - 300$$

$$\therefore \quad d = 24{\cdot}50 \text{ cm}$$

अत: धरन की माप **17·3 cm × 24·5 cm.** उत्तर

**उदाहरण 11.9 : 10·0 मी० लम्बे व 3·0 मी० चौड़े (भीतरी माप) कमरे की छत के लिये काष्ठ की कड़ियों (Joists) का अभिकल्पन करें, यदि कड़ियाँ 1·0 मी० के अन्तराल (Centre to Centre) पर रखी जायें और इन पर कुल भार 500 kg/m² (5 kN/m²) आ रहा हो। प्रकाष्ठ के लिये सुरक्षित प्रतिबल 80 kg/cm² मान लें और कड़ी की चौड़ाई : गहरायी का अनुपात 2 : 3 लें।**

**हल :** प्रश्न के अनुसार कमरे पर 9 कड़ियाँ रखी जायेंगी, जिनके मध्य 1 m की दूरी रहेगी (प्रथम कड़ी दीवार से 50 cm की दूरी पर रखी जाती है) (चित्र 11.10)। अत: कड़ी पर 500 kg/m लम्बाई का भार पड़ेगा।



चित्र 11.10

कड़ी का प्रभावी पाट, प्रत्येक सिरे पर 15 cm का धारण (चढ़ाव) मानते हुये = 3·0 + 0·15 = 3·15 m

$$\therefore \quad \text{अधिकतम बंकन आघूर्ण, } M = \frac{wl^2}{8} \qquad \text{... (सूत्र)}$$

$$= \frac{500 \times (3{\cdot}15)^2}{8} \times 100 \text{ kg cm}$$

$$= 62015 \text{ kg cm}$$

$\frac{M}{I} = \frac{f}{y}$ के समीकरण अनुसार—

$$M = f \times \frac{I}{y} = fZ \quad \text{अथवा} \quad Z = \frac{M}{y} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

$$\therefore \quad Z = \frac{62015}{80} = 775{\cdot}2 \text{ cm}^3$$

पुन: $$Z = \frac{I}{y} = \frac{BD^3/12}{D/2} = \frac{BD^2}{6} \qquad \text{...(सूत्र)}$$

यहाँ $B$ = कड़ी की चौड़ाई तथा $D$ = कड़ी की गहरायी है।

अत: $$Z = \frac{B \times (1{\cdot}5B)^2}{6} \qquad \left[\because \frac{B}{D} = \frac{3}{2}\right]$$

civilguru.net

$$775{\cdot}2 = \frac{B \times (1{\cdot}5B)^2}{6}$$

अथवा $$B^3 = \frac{775{\cdot}2 \times 6}{(1{\cdot}5)^2} = 2067{\cdot}2$$

$\therefore$ $$B = 12{\cdot}71 \text{ cm} \quad \text{और} \quad D = 12{\cdot}71 \times \frac{3}{2} = 19{\cdot}1 \text{ cm}$$

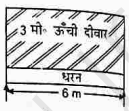
अत: कड़ी का माप **13 cm × 20 cm** (say) **उत्तर**

**नोट**—क्योंकि प्रश्न मे सुरक्षित कर्तन प्रतिबल व $E$ के मान नही दिये गये है, अत: धरन की कर्तन (Shear) व विक्षेप (Deflection) की जाच नहीं की जा रही है।

**उदाहरण 11.10 : एक काष्ठ की धरन का प्रभावी पाट 6·0 मी० है, जिस पर 20 सेमी० मोटी, 3 मी० ऊँची ईंट-चिनाई की दीवार खड़ी की जानी है। चिनाई का घनत्व 2t/m³ तथा प्रकाष्ठ में अधिकतम प्रतिबल 80 kg/cm² मान लें। धरन की चौड़ाई दीवार की मोटाई के बराबर मानते हुये, धरन के माप निर्धारित कीजिये।**

**हल :** धरन पर प्रति मी० लम्बाई पर आ रहा चिनाई का भार

$$= 1 \times 0{\cdot}20 \times 3{\cdot}0 \times 2000$$
$$= 1200 \text{ kg/m Run}$$



चित्र 11.11

धरन का स्वयं का भार = 60 kg/m (मान ले)

$\therefore$ कुल भार = 1260 kg प्रति मी० लम्बाई

अधिकतम बंकन आघूर्ण, B. M. $= \frac{wl^2}{8}$ ...(सूत्र)

$$= \frac{1260 \times (6)^2}{8} \times 100 \text{ kg cm}$$
$$= 567000 \text{ kg cm}$$

परिच्छेद मापांक, $Z = \frac{bd^2}{6}$ ...(सूत्र)

$\therefore$ $$Z = \frac{20 \times d^2}{6}$$

अत: $M = fZ$ ज्ञात मान रखने पर—

$$567000 = 80 \times \left(\frac{20 \times d^2}{6}\right)$$

अथवा $$d^2 = \frac{567000 \times 6}{80 \times 20} = 2126{\cdot}3$$

$\therefore$ $d = 46{\cdot}1$ say 50 cm

अत: धरन का माप = 20 cm × 50 cm

चूँकि $D$ का मान (धरन की गहरायी) 30 cm से अधिक है, अत: S.I. के अनुसार इस खण्ड पर आकृति गुणांक (Form Factor) लगेगा।



आयताकार धरन के लिये आकृति गुणाक, $K_1 = 0{\cdot}81\left[\frac{D^2 + 894}{D^2 + 550}\right]$ ...(सूत्र)

यहाँ $D$ = धरन की गहरायी है।

ध्यान रहे आकृति गुणाक लगाने पर, अनुमत बंकन प्रतिबल का मान कम प्राप्त होता है, जिस कारण धरन की सुरक्षा बढ़ाने के लिये, इसकी गहरायी (Depth) बढ़ानी पड़ सकती है।

अत: $$K_1 = 0{\cdot}81\left[\frac{(50)^2 + 894}{(50)^2 + 550}\right]$$

$$= 0{\cdot}81 \times \frac{3394}{3050} = 0{\cdot}90$$

$\therefore$ अनुमत बंकन प्रतिबल = $0{\cdot}90 \times 80 = 72 \text{ kg/cm}^2$

समीकरण $M = fZ$ से

$$Z = \frac{M}{f} = \frac{567000}{72} = 7875 \text{ cm}^3$$

और $Z = \frac{BD^2}{6}$, यहाँ $B = 20$ cm, प्रश्न में दिया है।

अत: $$7875 = \frac{20 \times D^2}{6}$$

$\therefore$ $$D^2 = \frac{7875 \times 6}{20} \quad \text{अथवा} \quad D = 48{\cdot}6 \text{ cm}$$

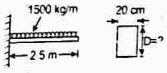
हमने ऊपर धरन का परिच्छेद 20 cm × 50 cm अपनाया है, जो इससे कुछ अधिक है। अत: खण्ड आकृति गुणाक की दृष्टि से भी सुरक्षित है।

क्योंकि प्रश्न मे अनुमत कर्तन प्रतिबल व $E$ के मान नहीं दिये है, अत: इस चरण पर धरन की कर्तन व विक्षेप मे जाच छोड़ी जा रही है।

$\therefore$ धरन की माप **20 cm × 50 cm** **उत्तर**

**उदाहरण 11.11 : काष्ठ की एक प्रास-धरन 20 सेमी० चौड़ी है और दीवार (आलम्ब) से 2·50 मी० आगे तक बढ़ी हुयी है। इस पर 1500 kg/m का समवितरित भार (UDL) आ रहा है। बंकन में अनुमत प्रतिबल 100 kg/cm² मानते हुये, प्रास-धरन की गहरायी ज्ञात करें।**

**हल :** यह एक प्रास धरन है। अत: अधिकतम बंकन आघूर्ण (Max : B.M.) इसके आबद्ध सिरे पर होगा। धरन का स्वयं का भार छोड़ते हुये—



चित्र 11.12—प्रास धरन

अधिकतम बंकन आघूर्ण $= \frac{wL^2}{2} = \frac{1500 \times 2{\cdot}5 \times 2{\cdot}5}{2}$ kg.m

$$= \frac{1500 \times 2.5 \times 2.5}{2} \times 100 \text{ kg cm}$$

$\therefore$ $$M = 468750 \text{ kg cm}$$

जड़त्व आघूर्ण, $I_{xx} = \frac{b \times D^3}{12} \text{ cm}^4$

civilguru.net

$$= \frac{20 \times D^3}{12} \text{ cm}^4 \quad \text{...(i)}$$

हम जानते हैं, $\frac{M}{I} = \frac{f}{y}$ अथवा $I = \frac{My}{f}$

$\therefore$ $I = \frac{468750 \times D}{100 \times 2}$ (ज्ञात मान रखने पर)

$= 2343{\cdot}75\, D$

(i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$\frac{20 \times D^3}{12} = \frac{468750 \times D}{200}$$

अथवा $D^2 = \frac{468750 \times 2}{200 \times 20}$

$\therefore$ $D = 37{\cdot}5$ say 40 cm अत: प्रास धरन की माप 20 cm × 40 cm रहेगी।

क्योंकि धरन की गहरायी 30 cm से अधिक है, इस पर आकृति गुणांक प्रभावी होगा। आयताकार धरनखण्ड के लिये आकृति गुणांक,

$$K_1 = 0{\cdot}81\left[\frac{D^2 + 894}{D^2 + 550}\right] \quad \text{... (सूत्र)}$$

यहाँ $D$ = धरन की गहरायी है।

$\therefore$ $K_1 = 0{\cdot}81\left[\frac{(40)^2 + 894}{(40)^2 + 550}\right] = 0{\cdot}94$

$\therefore$ अनुमत बंकन प्रतिबल = 0·94 × 100 = 94 kg/cm$^2$

अत: संशोधित बंकन प्रतिबल के कारण बंकन आघूर्ण, $M = f Z$

$$= f \times \frac{BD^2}{6}$$

ज्ञात मान रखने पर, $M = \frac{94 \times 20 \times (40)^2}{6}$

$= 501334$ kg.cm

यह आघूर्ण ऊपर ज्ञात बंकन आघूर्ण से अधिक है, अत: चयनित खण्ड सुरक्षित है

अत: प्रास धरन का परिमाप **20 cm × 40 cm** उत्तर

**उदाहरण 11.12 : एक आयताकार शुद्धा लम्बित धरन का परिच्छेद 25 सेमी० × 40 सेमी० है और प्रभावी पाट 6·0 मी० है। ज्ञात करे यह धरन कितना सुरक्षित अध्यारोपित भार वहन कर सकती है? काष्ठ का घनत्व 850 kg/m$^3$, अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल 51 kg/cm$^2$, बंकन प्रतिबल 151 kg/cm$^2$, कर्तन प्रतिबल 12 kg/cm$^2$ तथा यंग मापांक ($E$) = 112 t/cm$^2$ मान लें।**

**हल :** धरन का प्रभावी पाट = 6 m

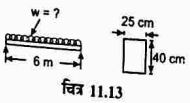
माना धरन पर $w$ kg/m (स्वयं के भार सहित) भार पर पड़ रहा है।



अधिकतम बंकन आघूर्ण, B. M. $= \frac{wl^2}{8}$

$\therefore$ $= \frac{w \times (6)^2}{8} \times 100$ kg.cm

$= 450\, w$ kg.cm



चित्र 11.13

आयताकार खण्ड के लिये, $Z = \frac{bd^2}{6}$ ...(सूत्र)

$= \frac{25 \times (40)^2}{6}$ cm$^3$ ...(i)

परन्तु $Z = \frac{M}{f} = \frac{\text{बंकन आघूर्ण}}{\text{बंकन प्रतिबल}}$

$\therefore$ $Z = \frac{450\, w}{151}$ ...(ii)

समीकरण (i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$\frac{25 \times (40)^2}{6} = \frac{450\, w}{151}$$

$\therefore$ $w = \frac{25 \times 40 \times 40 \times 51}{6 \times 450}$

$= 2237$ kg

धरन पर स्वयं का भार (प्रति मी० लम्बाई) = 1 × 0·25 × 0·40 × 850 = 85 kg/m

अत: धरन की प्रति मी० लम्बाई पर अध्यारोपित भार

= 2237 – 85 = 2152 kg say **2150 kg/m** उत्तर

**जाँच (Checks) :**

**(i) विक्षेपन (Deflection) के लिये—**

अनुज्ञेय विक्षेप, $\delta$ = पाट/240 $= \frac{600}{240} = 2{\cdot}50$ cm

वास्तविक विक्षेप $= \frac{5}{384} \times \frac{wl^4}{EI}$

$= \frac{5}{384} \times \frac{2237 \times (6)^4 \times (100)^3 \times 12}{112 \times 1000 \times 25 \times (40)^3}$

$= 2{\cdot}53$ cm

यह लगभग अनुज्ञेय विक्षेप 2·50 cm के बराबर है, अत: धरन को विक्षेप में सुरक्षित माना जा सकता है।

**(ii) कर्तन (Shear) के लिये—**

क्रान्तिक कर्तन बल, $V = w\left[\frac{l'}{2} - D\right]$

20 cm का चढ़ाव (Bearing) लेने पर, $l' = 6{\cdot}00 - 0{\cdot}20 = 5{\cdot}8$ m, $D = 0$

civilguru.net

$$\therefore \quad V = 2237\left[\frac{5{\cdot}80}{2} - 0{\cdot}40\right] = 5593 \text{ kg}$$

$$\therefore \quad \text{कर्तन प्रतिबल, } \tau_V = \frac{1{\cdot}5V}{b \times d} = \frac{1{\cdot}5 \times 5593}{25 \times 40}$$
$$= 8{\cdot}93 \text{ kg/cm}^2$$

यह मान अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल 12 kg/cm² से कम है, अत: **धरन कर्तन (अपरूपण)** मे **सुरक्षित** है।

**उदाहरण 11.13 : एक 6·0 मी० प्रभावी पाट के काष्ठ-धरन पर 2 टन प्रति मी० लम्बाई समवितरित भार (UDL) आ रहा है। धरन का अभिकल्पन कीजिये। अनुमत प्रतिबल निम्न मान लें—बंकन प्रतिबल = 80 kg/cm², अपरूपण प्रतिबल = 9 kg/cm², अनुमत विक्षेप = 4 cm, प्रत्यास्थता मापांक, $E = 100$ t/cm² ।**

**हल :** माना धरन की चौड़ाई = $B$ और धरन की गहरायी = $2{\cdot}5 \times B$ है।

धरन पर UDL (धरन का स्वय का भार भी इसमे सम्मिलित मानते हुये)

चित्र 11.14

$$= 2 \text{ t/m}$$

$$\therefore \quad \text{अधिकतम बकन आघूर्ण, B. M.} = \frac{wl^2}{8} = \frac{2000 \times 6^2}{8} \times 100 \text{ kg.cm}$$
$$= 900000 \text{ kg.cm}$$

समीकरण $M = fZ$ ...(सूत्र)

$$\therefore \quad Z = \frac{M}{f} = \frac{900000}{80} = 11250 \text{ cm}^3$$

परन्तु $Z = \frac{BD^3}{6}$ ...(सूत्र)

ज्ञात मान रखने पर $11250 = \frac{B \times (2{\cdot}5B)^2}{6}$

अथवा $B^3 = \frac{11250 \times 6}{2{\cdot}5 \times 2{\cdot}5} = 10800$

$$\therefore \quad B = 22{\cdot}12 \text{ cm} \quad \text{say} \quad 23 \text{ cm}$$

और $D = 2{\cdot}5 \times B = 2{\cdot}5 \times 23$
$= 57{\cdot}5$ cm say 58 cm

चूँकि यहाँ $D$ का मान 30 cm से अधिक है, अत: I.S. के अनुसार आकृति गुणांक (Form Factor) लगेगा।

आयताकार धरन-खण्ड के लिये आकृति गुणांक, $K = 0{\cdot}81\left[\frac{D^2 + 894}{D^2 + 550}\right]$

यहाँ $D$ = धरन की गहरायी।

ध्यान रहे आकृति गुणाक लगाने से अनुमत प्रतिबलो का **कम** मान प्राप्त होता है, जिस कारण धरन की सुरक्षा बढ़ाने के लिये, इसकी गहरायी बढ़ानी पड़ सकती है।

अत: $K_1 = 0{\cdot}81\left[\frac{(58)^2 + 894}{(58)^2 + 550}\right]$

$$= 0{\cdot}81\left[\frac{4258}{3914}\right] = 0{\cdot}88$$



$\therefore$ अनुमत बंकन प्रतिबल = $0{\cdot}88 \times 80 = 70{\cdot}4$ kg/cm²

समीकरण $M = fZ$ से, $Z = \frac{M}{f} = \frac{900000}{70{\cdot}4} = 12784 \text{ cm}^3$

और $Z = \frac{BD^3}{6}$

ज्ञात मान रखने पर, $12784 = \frac{B \times (2{\cdot}5B)^2}{6}$

$$B^3 = \frac{12784 \times 6}{(2{\cdot}5 \times 2{\cdot}5)} = 12273$$

$$\therefore \quad B = 23{\cdot}06 \text{ cm} \quad \text{say} \quad 23 \text{ cm}$$

तब धरन की गहायी, $D = 2{\cdot}5 \times 23{\cdot}06 = 57{\cdot}75$ cm say 58 cm

यह गहरायी वही है, जो हमने ऊपर अपनायी थी।

अत: **धरन खण्ड की $B = 23$ cm, $D = 58$ cm**

**जाँच (Checks) :**

**(a) कर्तन में परीक्षण—**

अधिकतम अपरूपण बल, $V = \frac{1}{2}[l - (2D)] \times w$

$$= \frac{1}{2}[6 - (2 \times 0{\cdot}58)] \times 2000$$

$$= \frac{4{\cdot}84 \times 2000}{2} = 4840 \text{ kg}$$

आयताकार खण्ड के लिये कर्तन प्रतिबल = $\frac{1{\cdot}5V}{B \times D}$

$$\tau_V = \frac{1{\cdot}5 \times 4840}{23 \times 58} = 5{\cdot}45 \text{ kg/cm}^2$$

यह सुरक्षित अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल (9 kg/cm²) से कम है, अत: धरन-खण्ड कर्तन मे सुरक्षित है।

**(b) विक्षेप (Deflection) में परीक्षण—**

अधिकतम अनुमत विक्षेप, $\delta = \frac{5}{384} \times \frac{Wl^3}{EI}$ ...(सूत्र)

उपरोक्त मे— $W = 2000 \times 6 = 12000$ kg

$E = 100 \times 1000$ kg/cm²

$l = 600$ cm

$$I = \frac{BD^3}{12} = \frac{23 \times (58)^3}{12} = 373965 \text{ cm}^4$$

अत: ज्ञात मान रखने पर—

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{12000 \times (600)^3}{100 \times 1000} \times \frac{1}{373965}$$

civilguru.net

$$= \frac{5}{384} \times \frac{1{\cdot}2 \times 216 \times 1000000}{373965}$$

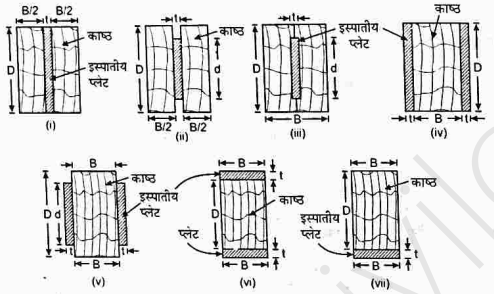
$$= \frac{5}{384} \times \frac{1{\cdot}2 \times 216}{0{\cdot}373965} = 0{\cdot}903 \text{ cm}$$

यह मान अनुमत विक्षेप (4 cm) से कम है, अत: **विक्षेप (Deflection) में भी धरन सुरक्षित है।**

## (III) लौह-काष्ठ धरनें (Flitched Beams)

### § 11.5. जड़ी या संग्रथित धरनें (Flitched or Composite Beam):

काष्ठ की धरनो को अधिक सामर्थ्यवान व दृढ़ बनाने के लिये, इसके ऊपर-नीचे (शीर्ष व तली पर), पार्श्व मे (खड़ी फलको पर) अथवा मध्य मे (दो धरन-खण्डो के बीच में), इससे अधिक सामर्थ्यवान मैटीरियल की मोटी परते (प्लेटे), कीलो अथवा बोल्टो द्वारा जड़ दी जाती हैं। तब इसे जड़ी हुयी धरन (Flitched Beam) या संग्रथित धरन (Composite Beam) कहते है। सामान्यत: दृढ़कारी मैटीरियल या प्रबलन पदार्थ **इस्पात** होता है, क्योकि इसकी सामर्थ्य (सम्पीडन, तनन, बंकन, कर्तन आदि) तथा यंग मापांक ($E$) काष्ठ से काफी अधिक होता है। विभिन्न प्रकार की जड़ी धरनें चित्र 11.15 मे दर्शायी गयी है।




**चित्र 11.15—विभिन्न प्रकार की लौह-काष्ठ जड़ी धरनें (Flitched Beams)**

जड़ी धरनो का निर्माण उस समय आवश्यक हो जाता है, जब धरन पर अत्यधिक भार कार्यरत है, परन्तु काष्ठ धरन का परिच्छेद (चौड़ाई व गहरायी) किसी कारण सीमित रखना पड़ता है। ऐसी स्थिति मे कम बकन सामर्थ्य वाले पदार्थ (जैसे प्रकाष्ठ) के साथ एक अन्य उच्च बंकन सामर्थ्य वाले पदार्थ (जैसे इस्पात) का प्रबलन दिया जाता है।

जड़ी हुयी धरन व्यवस्था मे, काष्ठ व इस्पात एकजुट होकर कार्य करते हैं। क्योकि दोनों पदार्थों की विकृति समान रहती है, अत: खण्ड के विभिन्न पदार्थों मे उत्पन्न प्रतिबल यंग मापांकों के अनुपाती होते हैं। अत: उदासीन अक्ष (Neutral Axis) से किसी दूरी पर, इस्पात में प्रतिबल, काष्ठ के प्रतिबलो से '$m$' गुना होगे। यहाँ $m$ = मापांक अनुपात = $\frac{E_S}{E_W}$ है।

**11.5-1. प्रतीक चिन्ह (Symbols) :**

$D$ = काष्ठ-धरन की गहरायी

$d$ = इस्पातीय-प्लेट की गहरायी

$B$ = काष्ठ-धरन की चौड़ाई

$t$ = इस्पातीय-प्लेट की चौड़ाई (मोटाई)



$I_W$ = काष्ठ-धरन का जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia)

$I_S$ = इस्पातीय-प्लेट का जड़त्व आघूर्ण

$f_W$ = काष्ठ-धरन मे अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल

$f_S$ = इस्पातीय-प्लेट में अधिकतम अनुज्ञेय प्रतिबल

$E_W$ = काष्ठ का यंग मापांक (Modulus of Elasticity)

$E_S$ = इस्पात का यंग मापांक

$m$ = मापांक अनुपात $\frac{E_S}{E_W}$ अथवा $E_S = m\, E_W$

$M_W$ = काष्ठ-खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण

$M_S$ = इस्पातीय-खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण

### § 11.6. अभिकल्प सम्बन्धी मुख्य बातें :

(i) यह माना जाता है कि दो पदार्थों (काष्ठ व इस्पात) के खण्डो को दृढ़ता से जड़कर बनाया गया संयुक्त खण्ड एक इकाई की भाँति कार्य करता है और दोनों पदार्थों मे विकृति (Strain) समान होगी, अर्थात्—

इस्पात में विकृति = काष्ठ में विकृति

$$\frac{f_S}{E_S} = \frac{f_W}{E_W} \qquad \text{...(11.14)}$$

$$\left(\because E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} \text{ अथवा Strain} = \frac{f}{E}\right)$$

(ii) खण्ड के किसी बिन्दु पर, काष्ठ व इस्पात के रेशो में उत्पन्न प्रतिबलों मे निम्न सम्बन्ध रहेगा—

$$\because \quad m = \frac{E_S}{E_W}, \qquad f_S = m f_W \qquad \text{...(11.15)}$$

अर्थात् इस्पात में प्रतिबल, काष्ठ के प्रतिबल का '$m$' गुना होगा।

(iii) जब खण्ड में इस्पात प्लेटों व काष्ठ अवयव की गहरायी समान नहीं होती है—

क्योकि विकृति (Strain), बल शून्य रेखा ($NA$) की दूरी के समानुपाती होती है, इसलिये—

$$\text{इस्पात में विकृति} \propto \frac{d}{2}, \qquad \text{काष्ठ में विकृति} \propto \frac{D}{2}$$

अत: **इस्पात में विकृति**

$$\text{काष्ठ में विकृति} = \frac{d/2}{D/2} = \frac{d}{D}$$

अथवा $$\frac{f_S/E_S}{f_W/E_W} = \frac{d}{D}, \qquad \frac{f_S}{f_W} \times \frac{E_W}{E_S} = \frac{d}{D} \qquad \therefore \frac{E_S}{E_W} = m$$

अथवा $$\frac{f_S}{f_W} \times \frac{1}{m} = \frac{d}{D}$$

या $$f_S = m\, f_W \left(\frac{d}{D}\right) \text{ kg/cm}^2 \qquad \text{...(11.16)}$$

(iv) धरन की सामर्थ्य,

$$M = M_W + M_s$$

$\because$ $$M = fZ \quad \text{व} \quad Z = \frac{bd^2}{6}$$

$\therefore$ $$M = f_W Z_W + f_S Z_S$$

$$= \left(f_W \times \frac{BD^2}{6}\right) + \left(m f_W + \frac{td^2}{6}\right) \qquad ...(11.17)$$

(v) तुल्य खण्ड (Equivalent Section)—जड़ी हुयी धरन की सामर्थ्य ज्ञात करते समय, जब एक पदार्थ का क्षेत्रफल, दूसरे पदार्थ के तुल्य क्षेत्रफल मे बदलना पड़े, यह ध्यान रखना चाहिये कि उदासीन अक्ष (*NA*) की स्थिति बदले नहीं। धरन-खण्ड के इस्पात के क्षेत्रफल को काष्ठ के तुल्य क्षेत्रफल, मे बदलने के लिये मापांक अनुपात (Modular Ratio) $m$ से **गुना** किया जाता है और काष्ठ के क्षेत्रफल को इस्पात के तुल्य क्षेत्रफल में बदलने के लिये $m$ से **भाग** दिया जाता है, अर्थात् $A_W = mA_S$।

यहाँ $A_W$ = काष्ठ क्षेत्रफल और $A_S$ = इस्पात क्षेत्रफल है। इस प्रकार परिवर्तित पदार्थ को साथ मिलाकर, पूरा खण्ड एक ही पदार्थ का बना हुआ मान लिया जाता है।

**उदाहरण 11.14 : एक संग्रथित धरन (Flitched Beam) काष्ठ की दो आयताकार कड़ियों के मध्य 10 mm मोटी व 200 mm गहरी इस्पातीय प्लेट डाल कर बनायी गयी है। प्रत्येक कड़ी की माप 100 mm × 200 mm है। काष्ठ में नमन में सुरक्षित अनुमत प्रतिबल 100 kg/cm² है। इस्पात का काष्ठ के साथ मापांक अनुपात, $m = 20$ है। संग्रथित धरन की सामर्थ्य ज्ञात करें।**

**हल :** संग्रथित धरन की सामर्थ्य = काष्ठ कड़ियो की सामर्थ्य + इस्पातीय प्लेट की सामर्थ्य

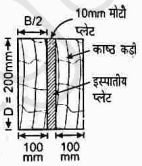
अनुप्रयुक्त यांत्रिकी के अनुसार, $M = fZ$

जबकि, $$Z = \frac{I}{y} = \frac{bd^3}{12} \times \frac{2}{d} = \frac{bd^2}{6} \qquad ...(\text{सूत्र})$$

अत: संग्रथित धरन के लिये—

$$M = 2[f_W Z_W] + [f_s Z_S] \qquad ...(i)$$

(यहाँ 2 से गुना इसलिये किया गया है, क्योंकि काष्ठ की दो कड़ियाँ हैं)।



चित्र 11.16

$f_W = 100$ kg/cm²

$\therefore$ $f_S = mf_W$, $m = 20$ रखने पर

$= 20 \times 100 = 2000$ kg/cm²

काष्ठ-कड़ी के लिये, $$Z_W = \frac{BD^2}{6} = \frac{10 \times 20 \times 20}{6} = \frac{2000}{3} \text{ cm}^3$$

इस्पात-प्लेट के लिये, $$Z_S = \frac{bD^2}{6} = \frac{1 \times 20 \times 20}{6} = \frac{200}{3} \text{ cm}^3$$

समीकरण (i) मे यह मान रखने पर—

$$M = \left(2 \times 100 \times \frac{2000}{3}\right) + \left(2000 \times \frac{200}{3}\right)$$

$$= \frac{40000}{3} + \frac{40000}{3}$$

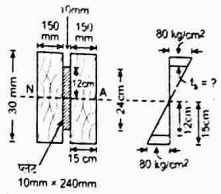
$$= 266666 \quad \text{say} \quad \mathbf{26660 \text{ kg.cm}}$$

उत्तर



**उदाहरण 11.15 : एक संग्रथित धरन काष्ठ की दो आयताकार कड़ियों के मध्य इस्पात की एक प्लेट सममित रूप में जड़कर बनायी गयी है। प्रत्येक कड़ी का माप 15 cm × 30 cm और प्लेट का माप 10 mm × 24 cm है। यदि काष्ठ में अनुमत प्रतिबल 80 kg × cm² हो, इस्पात की प्लेट में त्वक् प्रतिबल (Skin Stress) ज्ञात करें। संयुक्त खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ($M_r$) की भी गणना करें। $m = 20$ मान लें।**

**हल :** चूँकि धरन खण्ड सममित है, अत: उदासीन अक्ष (*NA*) खण्ड के ठीक मध्य क्षेत्र पर स्थित माना जायेगा।



चित्र 11.17

काष्ठ में अधिकतम प्रतिबल *NA* से 15 cm की दूरी पर 80 kg/cm² है।

$\therefore$ *NA* से 12 cm की दूरी पर (अर्थात् प्लेट के शीर्ष पर) काष्ठ मे उत्पन्न प्रतिबल,

$$f_{W_1} = \frac{80 \times 12}{15} = 64 \text{ kg/cm}^2$$

*NA* से 12 cm की दूरी पर इस्पात में त्वक् प्रतिबल (Skin Stress),

$$f_S = m f_{W_1} \qquad ...(\text{सूत्र})$$

$$= 20 \times 64 = 1280 \text{ kg/cm}^2$$

इसे निम्न सूत्र से भी ज्ञात कर सकते है—

$$f_S = mf \times \frac{d}{D}$$

$$f_S = 20 \times 80 \times \frac{24}{30} = 1280 \text{ kg/cm}^2$$

संयुक्त खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण = काष्ठ खण्ड के कारण प्रतिरोध आघूर्ण

+ इस्पात प्लेट के कारण प्रतिरोध आघूर्ण

$$M = 2(f_W Z_W) + (f_S Z_S) \qquad ...(\text{सूत्र})$$

(यहाँ 2 से गुना इसलिये किया गया है, क्योंकि काष्ठ को दो कड़ियाँ हैं)

$$Z_W = \frac{BD^2}{6} = \frac{15 \times 30^2}{6} = 2250 \text{ cm}^3$$

$$Z_S = \frac{t \times d^2}{6} = \frac{1 \times 24^2}{6} = 96 \text{ cm}^3$$

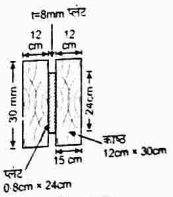
अत: $$M = (2 \times 80 \times 2250) + (1280 \times 96)$$

$$= 360000 + 122880$$

$$= 482880 \text{ kg.cm}$$

यह खण्ड का कुल प्रतिरोध आघूर्ण है। उत्तर

**उदाहरण 11.16 : सम्मुख चित्र 11.18 में दर्शाये गये एक संग्रथित सममित धरन का प्रभावी पाट 5·0 मी० है। धरन द्वारा वहन किया जा सकने वाला सुरक्षित भार ज्ञात कीजिये। धरन के लिये अधिकतम अनुमत प्रतिबल निम्न मान लें। काष्ठ के लिये = 90 kg/cm² (9 N/mm²), इस्पात के लिये = 1575 kg/cm² (157·5 N/mm²), प्रत्यास्थता मापांक ($E$)—काष्ठ के लिये = 0·9 × 10⁵ kg/cm², इस्पात के लिये = 2·1 × 10⁶ kg/cm²।**



चित्र 11.18

**हल :** चूँकि धरन सममित है, अत: उदासीन अक्ष (*NA*) खण्ड के मध्य मे स्थित होगा। कौन प्रतिबल खण्ड को नियन्त्रित करेगे, इसकी जांच करने के लिये निम्न प्रकार बढ़े—

काष्ठ के लिये अनुमत प्रतिबलो पर विचार करने पर—

काष्ठ कड़ी के दूरस्थ सिरे (15 cm) पर अनुमत प्रतिबल = 90 kg/cm² कार्यरत मानते हुये, *NA* से 12 cm की दूरी पर, काष्ठ मे प्रतिबल—

$$f_{W_1} = \frac{12}{15} \times 90 = 72 \text{ kg/cm}^2$$

अत: *NA* से 12 cm की दूरी पर, इस्पात मे प्रतिबल, $f_S = m f_{W_1}$

यहाँ $$m = \frac{E_S}{E_W} = \frac{2{\cdot}1 \times 10^6}{0{\cdot}9 \times 10^5} = 23{\cdot}33$$

$\therefore$ $$f_S = 23{\cdot}33 \times 72 = 1680 \text{ kg/cm}^2$$

परन्तु यह मान इस्पात मे अनुमत प्रतिबल, 1575 kg/cm² से अधिक है। अत: इसे स्वीकृत नही किया जा सकता है।

अब इस्पात मे अनुमत प्रतिबलों के आधार पर, धरन की सामर्थ्य की जाँच की जायेगी। इस्पात के लिये 1575 kg/cm² के प्रतिबल अपनाने पर—

*NA* से 15 cm की दूरी पर, इस्पात मे प्रतिबल—

$$f_{S_1} = \frac{15}{12} \times 1575 = 1968 \text{ kg/cm}^2$$

इसके अनुरूप, *NA* से 15 cm की दूरी पर काष्ठ मे उत्पन्न प्रतिबल—

$$f_{W_1} = \frac{1}{m} \times f_{S_1}$$

$$= \frac{1}{23{\cdot}33} \times 1968 = 84 \text{ kg/cm}^2$$

यह मान 90 kg/cm² (काष्ठ के लिये अनुमत) से कम है, अत: स्वीकार्य है। अत: धरन की सामर्थ्य ज्ञात करने के लिये, इस्पात के लिये 1575 kg/cm² और काष्ठ के लिये तदानुरूप 84 kg/cm² प्रतिबल लिये जायेगे।

(a) इस्पात प्लेट के लिये परिच्छेद मापांक, $Z_S = \frac{td^2}{6}$ ...(सूत्र)

$$= \frac{1}{6} \times 0{\cdot}8 \times (24)^2 = 76{\cdot}8 \text{ cm}^3$$

(b) काष्ठ कड़ी के लिये परिच्छेद मापांक, $Z_W = \frac{BD^2}{6}$

$$= 2[12 \times 30^2] \times \frac{1}{6}$$

$$= 3600 \text{ cm}^3 \quad \text{(क्योंकि 2 कड़ियाँ है, अत: 2 से गुना किया जायेगा)}$$

$\therefore$ संयुक्त धरन का प्रतिरोध आघूर्ण = इस्पात खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण + काष्ठ खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण

$$M_r = (f_S + Z_S) + (f_W + Z_W)$$
$$= (1575 \times 76{\cdot}8) + (84 \times 3600)$$
$$= 120960 + 302400$$
$$= 423360 \text{ kg.cm} \quad ...(i)$$



संयुक्त खण्ड की अधिकतम वंकन आघूर्ण = $\frac{wl^2}{8}$

$$M = \frac{w \times (5)^2}{8} \text{ kg.m} = \frac{w \times 25}{8} \times 100 \text{ kg.cm} \quad ...(ii)$$

समीकरण (i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$M = M_r$$

$$\frac{2500}{8} w = 423360$$

$\therefore$ $$w = \frac{423360 \times 8}{2500} = 1354{\cdot}8 \text{ say } 1354 \text{ kg/m}$$

इसमे धरन का स्वयं का भार भी सम्मिलित है।

धरन पर शुद्ध (Net) अध्यारोपित भार के लिये—

काष्ठ का घनत्व 560 kg/cm और इस्पात का घनत्व 7850 kg/cm लेते हुए, धरन की प्रति मीटर लम्बाई मे स्वयं का भार—

$W$ = काष्ठ कड़ी का भार + इस्पातीय प्लेट का भार

$= 2[0{\cdot}12 \times 0{\cdot}30 \times 1 \times 560] + [1 \times 0{\cdot}008 \times 0{\cdot}24 \times 7850]$

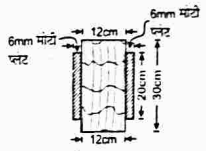
$= 40{\cdot}32 + 15{\cdot}08$

$= 55{\cdot}4$ kg/m लम्बाई say 56 kg/m

$\therefore$ धरन पर प्रति मीटर लम्बाई अध्यारोपित भार—

$= 1354 - 56 = 1298$ kg/m लम्बाई **उत्तर**

**उदाहरण 11.17 : एक काष्ठ-कड़ी की दोनों खड़ी फलकों (Sides) पर, प्रत्येक ओर एक-एक इस्पातीय प्लेट जड़ कर, संग्रथित धरन (Flitched Beam) बनायी गयी है। धरन का प्रभावी पाट 5·0 मी० है। इसके अन्य आवश्यक माप चित्र 11.19 में दर्शाये गये हैं। धरन के लिये अनुमत प्रतिबल निम्न मान लें—काष्ठ में अनुमत प्रतिबल = 75 kg/cm², इस्पात में अनुमत प्रतिबल = 1580 kg/cm² प्रत्यास्थता मापांक**



चित्र 11.19

**$E_S = 2 \times 10^6$ kg/cm² (इस्पात)**

**$E_W = 1{\cdot}1 \times 10^5$ kg/cm² (प्रकाष्ठ)**

**धरन द्वारा वहन किया जाने वाला सुरक्षित समवितरित भार (UDL) ज्ञात कीजिए।**

**हल :** चूँकि संग्रथित धरन सममित (Symmetrical) है, अत: उदासीन अक्ष (*NA*) धरन खण्ड के मध्यतल से पारित होगा। धरन-खण्ड किस अनुमत प्रतिबल (इस्पात अथवा काष्ठ) से नियन्त्रित होगा, इसको निम्न प्रकार ज्ञात किया जाता है—

प्रथम चरण मे काष्ठ के लिये दिये गये अनुमत प्रतिबल 75 kg/cm² पर विचार करते हुये—

*NA* से 10 cm की दूरी पर काष्ठ-रेशों में प्रतिबल, $f_{W_1} = \frac{10}{15} \times 75 = 50 \text{ kg/cm}^2$

इस दूरी पर इस्पात में उत्पन्न अधिकतम प्रतिबल, $f_S = m \times f_{W_1}$

civilguru.net

यहाँ $$m = \frac{E_S}{E_W} = \frac{2\times10^6}{11\times10^5} = 18{\cdot}18$$

$\therefore$ $$f_S = 18{\cdot}18 \times 50 = 909 \text{ kg/cm}^2$$

यह मान 1580 kg/cm² से कम है, अत: आगे की गणनाओ मे इस्पात के लिये यही प्रतिबल प्रभावी रहेगा।

(i) काष्ठ के लिये परिच्छेद मापांक, $$Z_W = \frac{BD^2}{6} \ldots \left[Z = \frac{I}{y} = \frac{BD^3}{12}\times\frac{2}{D}\right]$$

$$Z_W = \frac{1}{6}[12\times30\times30]$$
$$= 1800 \text{ cm}^3$$

(ii) इस्पात के लिये परिच्छेद मापांक, $$Z_S = 2\left[\frac{td^2}{6}\right]$$

(यहाँ 2 से गुणा इसलिये किया गया है, क्योंकि कड़ी के पार्श्व मे 2 इस्पातीय प्लेटें प्रत्येक फलक पर एक-लगी है)

$\therefore$ $$Z_S = 2\left[\frac{0{\cdot}6\times20\times20}{6}\right]$$
$$= 80 \text{ cm}^3$$

संग्रथित धरन का प्रतिरोध आघूर्ण = काष्ठ खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण + इस्पातीय खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण

$$M_r = (f_W Z_W) + (f_S Z_S)$$
$$= (75\times1800) + (909\times80)$$
$$= 135000 + 72720$$
$$= 207720 \text{ kg cm} \quad \ldots(i)$$

धरन पर UDL के कारण अधिकतम बंकन आघूर्ण = $\frac{wl^2}{8}$

यहाँ $w$ = UDL kg/m लम्बाई

$$= \frac{w\times5\times5}{8}\times100 = \frac{2500w}{8} \text{ kg cm} \quad \ldots(iii)$$

(i) व (ii) को तुल्य रखने पर—

$$\frac{2500w}{8} = 207720$$

$\therefore$ $$w = \frac{207720\times8}{2500} = 664 \text{ kg/m लम्बाई}$$

इसमे धरन का स्वयं का भार भी सम्मिलित है।

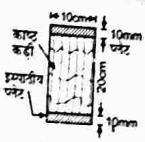
काष्ठ का भार 560 kg/cu m और इस्पात का 7850 kg/cu m लेते हुये, धरन का स्वयं का एक मीटर लम्बाई का भार—

$$= [1\times0{\cdot}12\times0{\cdot}30\times560] + [2\times0{\cdot}006\times0{\cdot}2\times1\times7850]$$
$$= 20{\cdot}16 + 18{\cdot}84 = 39 \text{ kg प्रति मी० लम्बाई}$$

अत: धरन पर शुद्ध (Net) समवितरित भार (UDL) = 664 – 39 = **625 kg/m** उत्तर



**उदाहरण 11.18 : सम्मुख चित्र 11.20 में दर्शायी गयी एक संग्रथित (काष्ठ-इस्पात) धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिये, जबकि काष्ठ व इस्पात में अनुज्ञेय प्रतिबल क्रमश: 100 kg/cm² व 1575 kg/cm² हैं और इस्पात व काष्ठ का मापांक अनुपात, $m = 18$ है।**



चित्र 11.20

**हल :** चूँकि धरन खण्ड सममित है, अत: उदासीन अक्ष (*NA*) खण्ड के मध्य क्षेत्र में स्थित होगा। यह खण्ड दो विभिन्न पदार्थों का बना है, अत: समतुल्य खण्ड का जड़त्व आघूर्ण (Moment of inertia) ज्ञात करना होगा। समतुल्य (काष्ठ) खण्ड के जड़त्व आघूर्ण के लिये—

समतुल्य $I_e = I_W + mI_S$

यहाँ $m$ = मापांक अनुपात है।

$$I_e = \left(\frac{BD^3}{12}\right) + m\left[\frac{bt^3}{12} + (b\times t)(\bar{y})^2\right]\times2$$

(क्योंकि इस्पातीय प्लेटें 2 हैं, अत: $I_S$ को 2 से गुणा किया जायेगा)

ज्ञात मान रखने पर—

$$I_e = \left(\frac{10\times20^3}{12}\right) + 18\times2\left[\frac{10\times1^3}{12} + (10\times1)\times(10{\cdot}5)^2\right]$$
$$= 6667 + 36[0{\cdot}83 + 1102{\cdot}5]$$
$$= 6667 + 39720$$
$$= 46387 \text{ cm}^4$$

**अनुमत प्रतिबलों की जाँच**—यदि *NA* से 10 cm की दूरी पर काष्ठ में प्रतिबल, $f_W$ का मान अधिकतम अनुमत प्रतिबल 100 kg/cm² मान लेते हैं, तब इस्पात में उस तल पर प्रतिबल $f_S = m f_W$ होगा, अर्थात् $f_S = 18\times100 = 1800$ kg/cm²

*NA* से 11 cm की दूरी पर चरम रेशों में प्रतिबल इससे भी अधिक होगा। चूँकि यह मान इस्पात मे अधिकतम अनुमत सीमा (अर्थात् 1575 kg/cm²) से अधिक है, अत: स्वीकार्य नहीं है। स्पष्ट है कि धरन काष्ठ के अधिकतम अनुमत प्रतिबलों से नियन्त्रित नहीं होगा। अत: इस्पात के अधिकतम अनुमत प्रतिबल के आधार पर खण्ड की सामर्थ्य ज्ञात की जायेगी।

*NA* से 11 cm की दूरी पर, इस्पात में अनुमत प्रतिबल, $f_S = 1575$ kg/cm²

$\therefore$ *NA* से 10 cm की दूरी पर इस्पात में उत्पन्न प्रतिबल, $f_{S_1} = \frac{10}{11}\times1575$.
$= 1431{\cdot}82$ kg/cm²

इस आधार पर *NA* से 10 cm की दूरी पर काष्ठ में उपजे प्रतिबल,

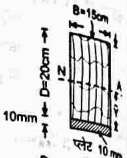
$$f_W = \frac{1431{\cdot}82\times1}{m} = \frac{1431{\cdot}82}{18} \qquad (\text{सूत्र } f_S = mf_W)$$
$$= 79{\cdot}55 \text{ kg/cm}^2$$

चूँकि यह मान काष्ठ में अनुमत प्रतिबल सीमा 100 kg/cm² के भीतर है, अत: स्वीकार्य है।

धरन खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण, $M = f_W = \frac{I_e}{y_W}$ $\qquad (\text{सूत्र } M = f_Z = f\times\frac{I}{y})$

$$= \frac{79{\cdot}55\times46387}{10} = 369008 \text{ kg cm}$$ उत्तर

**उदाहरण 11.19 : चित्र 11.21 में काष्ठ व इस्पात की एक संग्रथित धरन (Flitched Beam) दर्शायी गयी है। काष्ठ और इस्पात के लिये अनुमत प्रतिबल 80 kg/cm² व 157·5 kg/cm² और मापांक अनुपात ($m$) = 20 मानते हुये, खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करें।**



चित्र 11.21

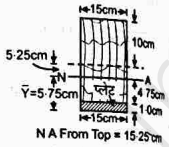
**हल :** (a) जड़त्व आघूर्ण—चूँकि यह खण्ड $XX$ अक्ष के सापेक्ष सममित नहीं है (Not symmetrical) है, अत: $NA$ की स्थिति ज्ञात करनी होगी, तभी खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात किया जा सकेगा।

$NA$ की स्थिति व जड़त्व आघूर्ण ज्ञात करने के लिये, इस प्रकार के दो भिन्न-भिन्न पदार्थों से रचित धरन को समतुल्य खण्ड मे बदल लिया जाता है।

माना तली से $NA$ की दूरी $\bar{Y}$ है। तब तली-सतह के सापेक्ष काष्ठ खण्ड, इस्पात खण्ड और संयुक्त खण्ड के क्षेत्रफलों का आघूर्ण लेने पर—

$$[(15 \times 20) \times 11] + [m(15 \times 1) \times 0{\cdot}5] = [(15 \times 20) + m(15 \times 1)] \times \bar{Y}$$

(समीकरण मे '$m$' इस्पात क्षेत्रफल को समतुल्य काष्ठ क्षेत्रफल मे बदलने के लिये लिया गया है, $m = 20$)



चित्र 11.22

$$3300 + 150 = (300 + 300)\bar{Y}$$

$$\therefore \quad \bar{Y} = \frac{3450}{600}$$

$$= 5{\cdot}75 \text{ cm}$$

समतुल्य खण्ड का जड़त्व आघूर्ण—

$$I_e = \left[\frac{B \times D^3}{12} \times (BD \times Y_1)\right] + \left[\frac{mbd^3}{12} + (mbd) \times Y_2\right]$$

ज्ञात मान रखने पर—

$$I_e = \frac{15 \times 20^3}{12} + [15 \times 20 \times (5{\cdot}25)^2] + \frac{20 \times 15 \times 1^3}{12} + [20 \times 15 \times 1\,(5{\cdot}75 - 0{\cdot}5)^2]$$

$$= [10000 + 300 \times (5{\cdot}25)^2] + [25 + 300\,(5{\cdot}25)^2]$$

$$= 18269 + 8294$$

$$= 26563 \text{ cm}^4$$

(b) प्रतिबल—काष्ठ मे प्रतिबल सबसे ऊपरी सतह पर अधिकतम होगा, क्योंकि यह $NA$ से सबसे अधिक दूरी (21 – 5·75 = 15·25 cm) पर स्थित है।

काष्ठ में अनुमत प्रतिबल = 80 kg/cm²

तली पर इस्पात में उत्पन्न प्रतिबल $= m \times \left[\frac{5{\cdot}75}{15{\cdot}25}\right] f_W$

$$= 20 \times \left[\frac{5{\cdot}75}{15{\cdot}25}\right] \times 80$$

$$= 645{\cdot}6 \text{ kg/cm}^2$$

यह मान इस्पात में अनुमत प्रतिबल से कम है, अत: सुरक्षित है।



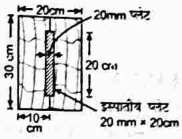
(c) धरन-खण्ड की सामर्थ्य, $M_r = \frac{f_W \times I_e}{Y}$

$$= \frac{80 \times 26563}{15{\cdot}25}$$

$$= 139346 \text{ kg.cm}$$

उत्तर

**उदाहरण 11.20 : एक संग्रथित धरन (Flitched Beam) दो कड़ियों के मध्य में इस्पातीय प्लेट जड़कर बनायी गयी है। प्रत्येक काष्ठ कड़ी 10 cm × 30 cm और इस्पातीय प्लेट 2 cm × 20 cm है तथा खण्ड सममित (Symmetrical) है (चित्र 11.23)। काष्ठ में अधिकतम अनुमत प्रतिबल 100 kg/cm² है। $m = 20$ मान लें। संग्रथित खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करें और इस्पात में उत्पन्न अधिकतम प्रतिबल की भी गणना करें।**



चित्र 11.23

**हल :** यह एक सममित खण्ड है जैसा चित्र से विदित है। अत: $NA$ खण्ड के मध्य क्षेत्र में स्थित होगा।

इस्पात खण्ड को काष्ठ के तुल्य खण्ड में बदलकर तुल्य (काष्ठ) जड़त्व आघूर्ण—

$$I_e = I_W + m\,I_S \quad \text{यहाँ} \quad m = \text{मापांक अनुपात है।}$$

$$I_W = \frac{BD^3}{12} - \frac{td^3}{12}$$

यहाँ $B$ = धरन की कुल चौड़ाई

$D$ = धरन की कुल गहरायी

$t$ = काष्ठ में खाँचे की चौड़ाई या प्लेट की मोटाई

$d$ = काष्ठ में खाँचे की गहरायी या प्लेट की गहरायी

$$\therefore \quad I_W = \left[\left(\frac{20 \times 30^3}{12}\right) - \left(\frac{2 \times 20^3}{12}\right)\right]$$

$$= 43666 \text{ cm}^4$$

तथा $$m\,I_S = 20\left[\frac{2 \times 20^3}{12}\right]$$

$$= 26666 \text{ cm}^4$$

$$I_e = 43666 + 26666 = 70332 \text{ cm}^4$$

$$M_r = \frac{I_e \times f_W}{Y_W} = \frac{70332 \times 80}{15}$$

$$= 375104 \text{ kg cm}$$

उत्तर

माना इस्पात की ऊपरी सतह पर, काष्ठ में प्रतिबल = $f_{W_1}$

परन्तु $$\frac{f_W}{15} = \frac{f_{W_1}}{10} \qquad \ldots(\text{सूत्र } f_{W_1} = \frac{d}{D} \times f_W)$$

$$\therefore \quad f_{W_1} = \frac{10}{15} f_W$$

$$= \frac{10}{15} \times 80 = 53{\cdot}3 \text{ kg/cm}^2$$

अत: इस्पात मे प्रतिबल $= m \times f_{w_t}$

$$= 20 \times \frac{10}{15} \times 80 = \mathbf{1066 \text{ kg/cm}^2}$$ उत्तर

## (IV) काष्ठ की छत कैंचियाँ (Timber Roof Trusses)

### § 11.7. अभिकल्प सम्बन्धी मुख्य बातें :

**(1) बलों की गणना**—काष्ठ की छत कैंचियो मे मुख्यत: सभी सम्पीडांग व तनन अवयव (Ties) काष्ठ की होती है। विभिन्न अवयवो मे कार्यरत बलो को वैश्लेषिक विधि (Analytically) अथवा ग्राफीय विधि (Graphically) द्वारा ज्ञात किया जाता है।

**(2) प्रकार**—छत-आवरण के भार के आधार पर छत-कैंची निम्न प्रकार की होती है—

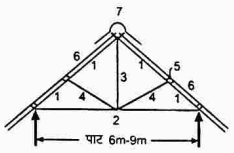
(i) हल्की भार वाली—जब इस पर G.I. Sheets डाली गयी हों।

(ii) मध्यम भार वाली—जब इस पर Asbestos Sheets डाली गयी हों।

(iii) भारी भार वाली—जब इस पर मृत्तिका टाइले/स्लैट डाली गयी हों।

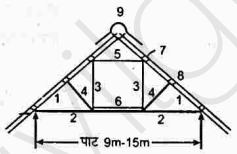
6·0 मी० पाट तक छोटे पाट वाली कैंची (Small Truss), 6·0 मी० से 12·0 मी० तक, मध्यम पाट वाली कैंची (Medium Truss) और 12·0 मी० से अधिक, बड़े पाट वाली कैंची (Large Truss) कहलाती है।

**(3) आकृति**—6·0 मी० पाट तक मध्य-थूनी कैंची (King Post Truss) और 9·0 मी० से 13·5 मी० तक पार्श्व-थूनी कैंची (Queen Posts Truss) अपनायी जाती है (चित्र 11.24 व 11.25)।




(1) Principal Rafter (5) Purlin
(2) Tie Beam (6) Common Rafter + Sheeting
(3) King Post (7) Ridge
(4) Strut

**चित्र 11.24—मध्य-थूनी कैंची (King Post Truss)**




(1) Principal Rafter (6) Staining Sill
(2) Tie Beam (7) Purlin
(3) Queen Post (8) Common Rafter
(4) Strut (9) Ridge
(5) Straining Beam

**चित्र 11.25—पार्श्व-थूनी कैंची (Queen Posts Truss)**

**(4) कैंचियों का अन्तराल**—यह सामान्यत: 2·5 मी० से 3 मी० रखा जाता है। मुख्य राफ्टर की अन-आलम्बित लम्बाई 2 से 2·5 मी० से अधिक नही होनी चाहिये।

**(5) उठान** (Rise)—सामान्यत: छत की ढ़ाल 25° से 60° तक रखी जा सकती है (अधिक जानकारी के लिये अध्याय 9 देखें)।

**(6) अभिकल्प चरण**—

(i) कैंची पर चल भार ज्ञात करें।

(ii) छत चादरो, राफ्टर, पर्लिन, कैंची का भार इत्यादि की गणना करे और अचल भार निर्धारित करें।

(iii) कैंची के विभिन्न अवयवो मे उत्पन्न बल/भार ज्ञात करें।

(iv) उपयुक्त काष्ठ का चयन करें।

(v) प्रत्येक खण्ड के परिमापों की गणना करें।



### (A) सम्पीडांग (Compression Members)

**उदाहरण 11.21 : काष्ठ की एक मध्य थूनी कैंची (King Post Wooden Truss) के सम्पीडांग पर 2100 kg का अक्षीय बल लग रहा है। अवयव की अन-आलम्बित (un-supported) लम्बाई 2 मी० है। सम्पीडांग का अभिकल्पन करें। अनुमत प्रतिबल निम्न है—**

(i) रेशों के समान्तर सम्पीडन प्रतिबल = 100 kg/cm²

(ii) रेशों के लम्ब (Cross) सम्पीडन प्रतिबल = 40 kg/cm²

(iii) रेशों के समान्तर तनन प्रतिबल = 160 kg/cm²

(iv) कर्तन प्रतिबल = 10 kg/cm²

(v) प्रत्यास्थता मापांक $(E) = 100 \times 10^3$ kg/cm²

**हल :** चूँकि सम्पीडांग पर अक्षीय बल (भार) लग रहा है, यह एक प्रस्तम्भ की भाँति अभिकल्पित होगा।

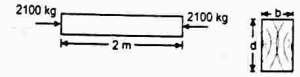
सम्पीडांग की अन-आलम्बित लम्बाई = 2 m = 200 cm

माना अवयव की चौड़ाई = 6 cm

$$\text{तनुता अनुपात} = \frac{\text{लम्बाई}}{\text{पार्श्व चौड़ाई}} = \frac{l}{b} = \frac{200}{6} = 33{\cdot}3$$

यह 11 से अधिक है। अत: खण्ड लघु **नहीं** है।

खण्ड की श्रेणी निर्धारित करने के लिये '$k$' का मान ज्ञात करना होगा।




**चित्र 11.26**

$$k = 0{\cdot}702\sqrt{\frac{E}{f_C}} \quad \text{...(सूत्र)}$$

ज्ञात मान रखने पर, $k = 0{\cdot}702\sqrt{\frac{100 \times 100}{100}} = 22{\cdot}2$

चूँकि ऊपर ज्ञात तनुता अनुपात इससे भी अधिक है, अत: यह खण्ड मध्यम न होकर, **दीर्घ** स्तम्भ की श्रेणी मे आ जाता है।

अत: दीर्घ स्तम्भ के लिये अनुमत सुरक्षित प्रतिबल, $f_C = \frac{0{\cdot}329}{\left(\frac{l}{b}\right)^2}$ ...(सूत्र)

$$= \frac{0{\cdot}329 \times 100 \times 1000}{(33{\cdot}3)^2} = 29{\cdot}67 \text{ kg/cm}^2$$

स्तम्भ का क्षेत्रफल $= \frac{2100}{29{\cdot}67} = 70{\cdot}78 \text{ cm}^2$

खण्ड की गहरायी = 11·8 say 12 cm

अत: सम्पीडांग का माप **6 cm × 12 cm** उत्तर

### (B) तनन अवयव (Tension Members)

**उदाहरण 11.22 : एक काष्ठ की कैंची के तनन अवयव पर 1100 kg का तनन बल लग रहा है। उदाहरण 11.21 में दिये गये प्रतिबलों के आधार पर खण्ड का अभिकल्पन करें।**

**हल :** प्रश्न के अनुसार, रेशो के समान्तर अनुमत तनन प्रतिबल = 160 kg/cm²

खण्ड का काट क्षेत्रफल, $A = \frac{T}{f_c} = \frac{1100}{160} = 6{\cdot}88\ \text{cm}^2$

खण्ड का माप 2 cm × 4 cm रखने पर, क्षेत्रफल = $2 \times 4 = 8\ \text{cm}^2$

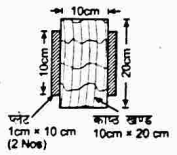
यह $6{\cdot}88\ \text{cm}^2$ से अधिक है, अत: **सुरक्षित है।** उत्तर

## अभ्यास प्रश्न-11

1. प्रकाष्ठ के मुख्य दोष कौन-कौन है, लिखिये।
2. प्रकाष्ठ स्तम्भ को लघु, मध्यवर्ती अथवा दीर्घ वर्ग मे रखने के आधार लिखे।
3. पार्श्व व्याकुंचन (पार्श्व बंकन) के आधार पर काष्ठ के धरन की चौड़ाई व गहरायी निर्धारित करने के मानदण्ड लिखे।
4. अनुज्ञेय विक्षेप (Deflection) पर धरन की गहरायी कैसे निर्धारित की जाती है, लिखिये।
5. काष्ठ के धरन के अभिकल्पन मे किन-किन बातो की जाँच की जाती है, उनके नाम दे।
6. प्रकाष्ठ के ..नो का अभिकल्पन कैसे किया जाता है, लिखिये।
7. प्रकाष्ठ धरन के अभिकल्पन मे निम्न के लिये आकृति गुणांक (Form Factor) दे—
   (i) आयताकार परिच्छेद (ii) वर्गाकार परिच्छेद
   (iii) ठोस गोलाकार परिच्छेद
8. काष्ठ की छत कैची के मुख्य राफ्टर मे किस प्रकार के प्रतिबल उपजते है? इसका अभिकल्प किस रूप मे किया जाता है, लिखिये।
9. देवदार के एक वर्गाकार स्तम्भ का परिच्छेद 20 सेमी० × 20 सेमी० है। इसके लिये अनुमत सम्पीडन प्रतिबल 70 $\text{kg/cm}^2$ और $E = 95000\ \text{kg/cm}^2$ है। स्तम्भ की निम्न प्रभावी लम्बाईयो के लिये अनुज्ञेय अक्षीय भार ज्ञात करें— (i) 2·5 मी०, (ii) 3·5 मी०, (iii) 4·5 मी०
10. काष्ठ का एक ठोस स्तम्भ 20 cm × 25 cm परिच्छेद का है। स्तम्भ के लिये अनुज्ञेय अक्षीय भार की गणना कीजिये, यदि इसकी प्रभावी लम्बाई—(i) 1·5 m, (ii) 3 m व (iii) 5 m हो। काष्ठ के अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल 100 $\text{kg/cm}^2$ तथा यंग मापांक, $E = 1 \times 10^5\ \text{kg/cm}^2$ मान ले। [उत्तर : 50 टन, 46·55 टन, 26·32 टन]
11. निम्न आँकड़ो के आधार पर देवदार के एक स्तम्भ का, जो बाह्य स्थिति मे स्थित है, अभिकल्पन करें—
   (i) स्तम्भ पर कार्यरत भार = 30 टन (ii) प्रभावी ऊँचाई = 3 मी०
   स्तम्भ के लिये अनुमत सम्पीडन प्रतिबल व $E$ के मान I.S. 883 की तालिका से ले।
12. देवदार का एक सतम्भ जिसका परिच्छेद 24 cm × 24 cm और प्रभावी ऊँचाई 6·0 m है, आंतरिक स्थिति मे लगाया जाता है। स्तम्भ की सुरक्षित भार वहन क्षमता ज्ञात करें। $E = 95\ \text{t/cm}^2$ मान ले। [उत्तर : 28·8 टन]
13. 20 cm व्यास वाले टीक के स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 1·40 मी० है। इस काष्ठ के लिये अनुमत सम्पीडन प्रतिबल 78 $\text{kg/cm}^2$ है। स्तम्भ की सुरक्षित भार वहन क्षमता ज्ञात करें। [उत्तर : 24·5 टन]
14. निम्न आँकड़ो के आधार पर साल लकड़ी के स्तम्भ का अभिकल्पन करें—
   स्तम्भ पर अक्षीय भार = 50 टन, प्रभावी लम्बाई = 3·0 मी०
   अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल = 100 $\text{kg/cm}^2$ $E = 1{\cdot}27 \times 10^5\ \text{kg/cm}^2$ (B.T.E.)
   [उत्तर : 18 cm × 31 cm]
15. काष्ठ की एक धरन का प्रभावी पाट 4·0 मी० है। इस पर अपने भार सहित 1500 kg/m का UDL पड़ रहा है। धरन चीर लकड़ी की बनी है। धरन का अभिकल्पन कीजिये। चीर प्रकाष्ठ के लिये बंकन प्रतिबल 84 $\text{kg/cm}^2$, $E = 98\ \text{टन/cm}^2$ मान ले।

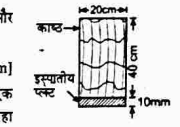


16. 6·0 मी० पाट पर शुद्ध आलम्बित एक प्रकाष्ठ धरन 20 cm चौड़ी व 30 cm गहरी है। इस पर एक टन प्रति मी० लम्बाई का समवितरित भार (UDL) कार्यरत है। $E = 100\ \text{t/cm}^2$ अपनाते हुये, धरन के लिये अधिकतम सम्पीडन, तनन और कर्तन प्रतिबलों का परिमाण व स्थिति ज्ञात कीजिए। (B.T.E.)
   [उत्तर : बंकन प्रतिबल = 150 $\text{kg/cm}^2$ तली/शीर्ष पर
   कर्तन प्रतिबल = 6·75 $\text{kg/cm}^2$
   काट के मध्य क्षेत्र पर विक्षेप = 3·75 cm]
17. प्रकाष्ठ की एक शुद्ध आलम्बित धरन अपने 5 मी० के वास्तविक पाट पर 2 टन प्रति मी० लम्बाई का समान वितरित भार (UDL) वहन कर रही है। धरन का परिच्छेद ज्ञात करें। काष्ठ के लिये अनुज्ञेय प्रतिबल निम्न मान ले—बंकन प्रतिबल = 102 $\text{kg/cm}^2$, कर्तन प्रतिबल = 10·2 $\text{kg/cm}^2$, $E = 95\ \text{टन/cm}^2$ (B.T.E.)
18. एक 25 सेमी० व्यास के प्रकाष्ठ लट्ठे को आयताकार परिच्छेद वाली धरन मे इस प्रकार काटना है कि अधिकतम बंकन सामर्थ्य (Flexural Strength) प्राप्त हो सके। धरन की माप ज्ञात करे। [उत्तर : 14·4 cm × 20·4 cm]
19. चित्र 11.27 में दर्शायी गयी संग्रथित धरन (Flitched Beam) का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात करे। $m = 15$, $f_w = 60\ \text{kg/cm}^2$ मान ले। [उत्तर : $55 \times 10^3$ kg cm]
20. काष्ठ तथा इस्पात की एक संग्रथित धरन का माप 20 cm × 50 cm है। धरन की शिखर व तली पर 20 mm × 20 cm माप की एक-एक इस्पातीय प्लेट दृढ़ता से जड़ी गयी है। धरन का प्रभावी पाट 8·0 मी० है। ज्ञात करें यह धरन कितना सुरक्षित UDL वहन कर सकती है? सुरक्षित अनुज्ञेय प्रतिबल $f_w = 100\ \text{kg/cm}^2$, $f_S = 1400\ \text{kg/cm}^2$ व $m = 20$ मान ले।



चित्र 11.27

21. चित्र 11.28 में दर्शायी गयी काष्ठ की एक धरन का प्रतिरोध आघूर्ण ज्ञात कीजिये। काष्ठ और इस्पात में अनुमत प्रतिबल क्रमश: 150 $\text{kg/cm}^2$ व 1650 $\text{kg/cm}^2$ तथा $m = 20$ मान ले। [उत्तर : $M_r = 1224 \times 10^3$ kg cm]



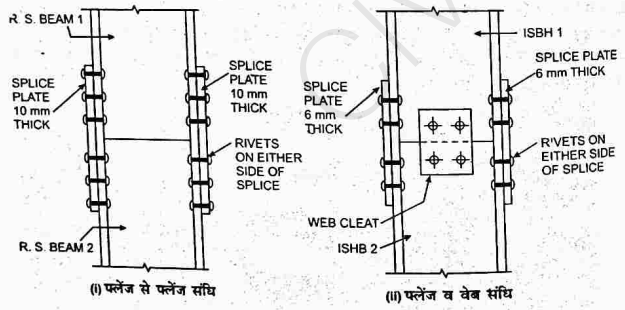
चित्र 11.28

22. एक संग्रथित धरन के 20 cm × 20 cm काष्ठ के खण्ड की तली पर 20 cm × 1 cm की एक इस्पातीय प्लेट लगी है। धरन का प्रभावी पाट 8 मी० है और इस पर 1 टन/मी० का UDL आ रहा है। इस्पात व काष्ठ का प्रत्यास्थता मापांक (Modulus of Elasticity) क्रमश: $E_S = 2 \times 10^6\ \text{kg/cm}^2$ व $E_w = 0{\cdot}1 \times 10^6\ \text{k/cm}^2$ मानते हुये, धरन मे उत्पन्न प्रतिबल ज्ञात करे। [उत्तर : $f_S = 1080\ \text{kg/cm}^2$, $f_w = 50{\cdot}5\ \text{kg/cm}^2$]
23. एक मध्य थूनी कैची (King Post Truss) मे एक मुख्य रॉफ्टर (सम्पीडांग) की अन-आलम्बित लम्बाई 1·80 मी० है और इस पर 4500 kg का अक्षीय भार पड़ रहा है। टाई-धरन (Tie Beam) पर 5000 kg का तनन बल लग रहा है। अवयवो का अभिकल्पन करें। सुरक्षित अधिकतम प्रतिबल इस प्रकार है—
   $f_C = 100\ \text{kg/cm}^2$, $f_t = 160\ \text{kg/cm}^2$, $E = 100 \times 10^3\ \text{kg/cm}^2$.

# 12 संरचना आरेखन एवं विस्तरण (STRUCTURES DRAWINGS AND DETAILING)

किसी इन्जीनियरी संरचना का अभिकल्पन तभी पूर्ण, स्पष्ठ व कार्यकर माना जाता है, जब गणनाओं के आधार पर उसकी ड्राइंग तैयार करली जाये। विद्यार्थियो की सुविधा के लिये कुछ महत्वपूर्ण इस्पातीय व प्रकाष्ठ की संरचनाओं की ड्राईंग (Detailed Drawings) इस अध्याय में दी जा रही है। इनके अध्ययन से विद्यार्थियों को इन संरचनाओं का वास्तविक स्वरूप समझने में आसानी रहेगी।

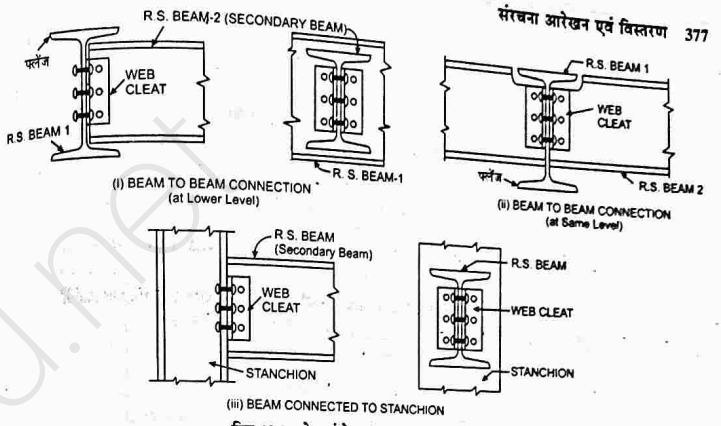
1. इस्पातीय धरनों तथा स्तम्भों की सिरा-संधि (Splicing)
2. फ्रेस संयोजन (Framed Connections)
3. सीट संयोजन (Seated Connections)
4. स्तम्भ आधार (Column Base)
5. इस्पातीय स्थाणुक (Steel Stanchion)
6. प्लेट गर्डर (Plate Girder)
7. प्रकाष्ठ की मध्य-थूनी कैची छत (Wooden King Post Truss Proof)
8. प्रकाष्ठ की पार्श्व-थूनी कैची छत (Wooden Queen Post Truss Roof)
9. 6 मी० पाट की इस्पातीय कैची छत (6 m Span Steel Truss Roof)
10. 10 मी० पाट की इस्पातीय कैची छत (10 m Span Steel Truss Roof)



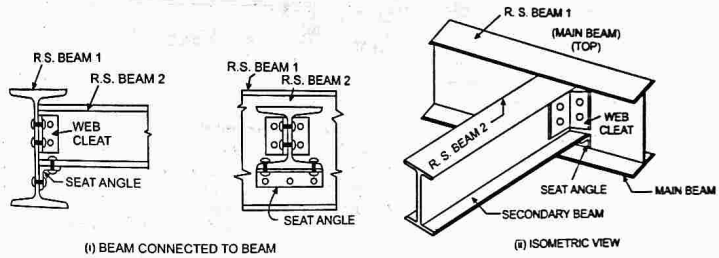

(i) फ्लेंज से फ्लेंज संधि (ii) फ्लेंज व वेब संधि

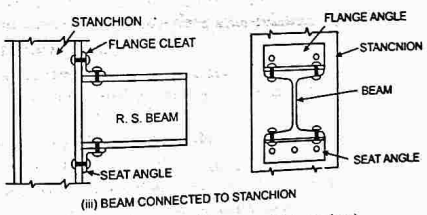
चित्र 12.1—इस्पातीय धरनों तथा स्तम्भों की सिरा-संधि (Splicing Steel Beams and Columns)





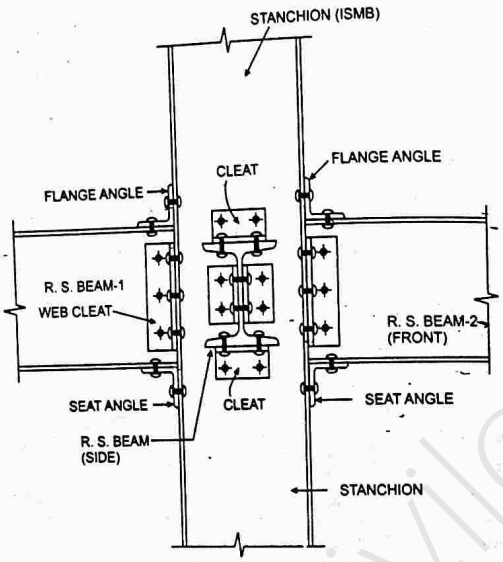

चित्र 12.2—फ्रेम संयोजन (Framed Connections)



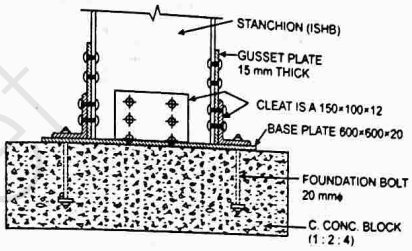

चित्र 12.3(A)—सीट संयोजन (Seated Connections)

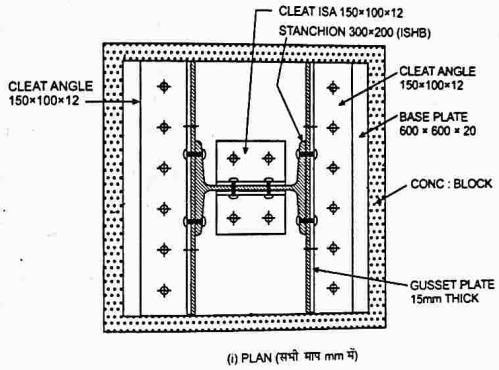
civilguru.net




चित्र 12.3—सीट संयोजन (Seated Connections)

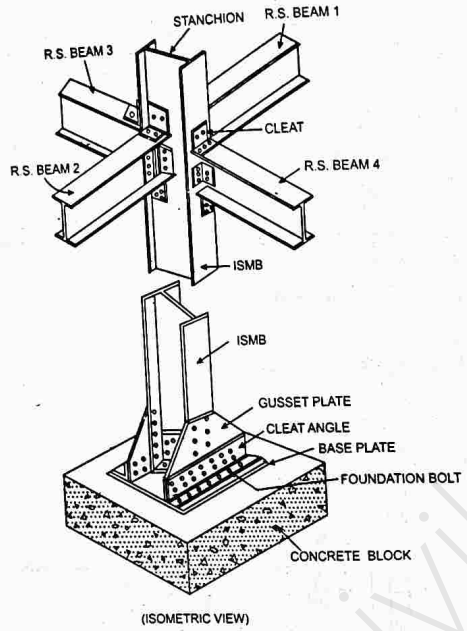




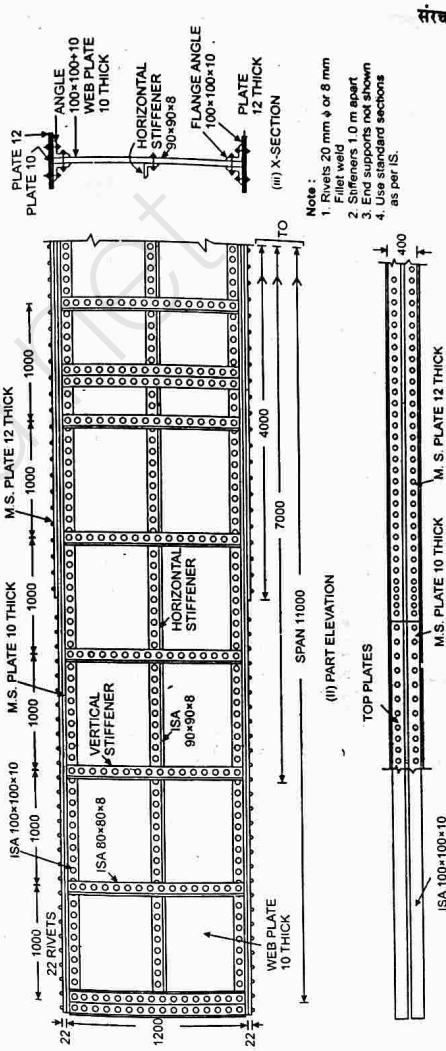

चित्र 12.4—स्तम्भ आधार (Column Base)

civilguru.net



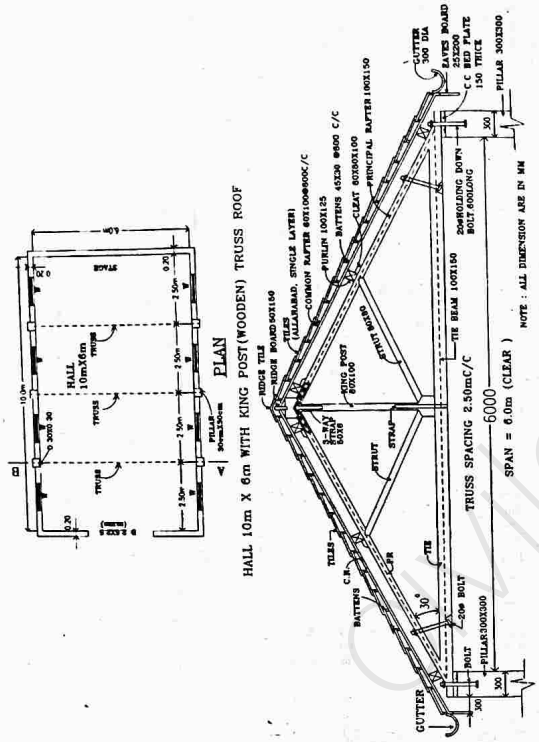

चित्र 12.5—इस्पातीय स्थाणुक (Steel Stanchion)





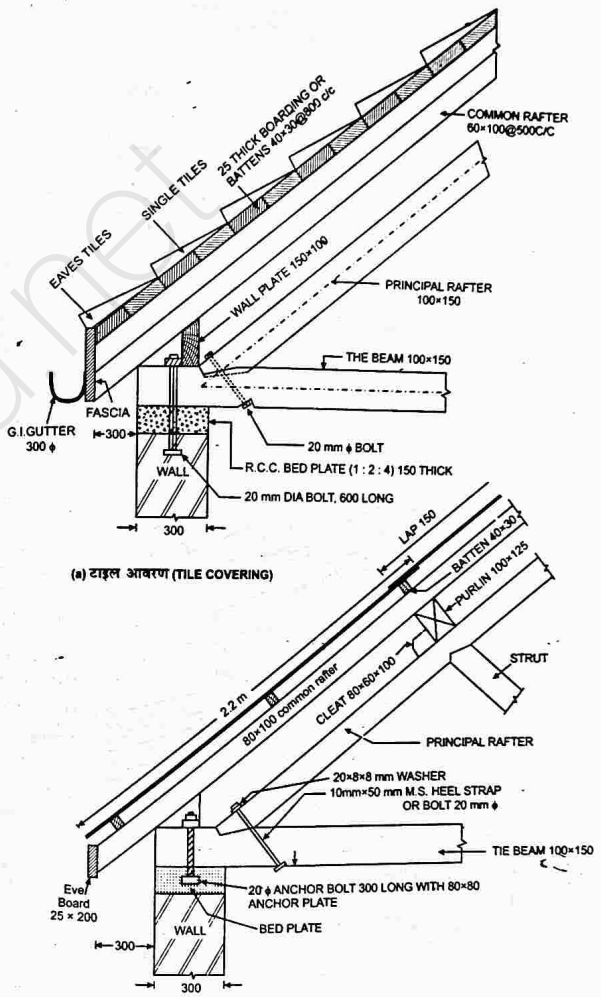

चित्र 12.6—प्लेट गर्डर (Plate Girder)

civilguruji.net



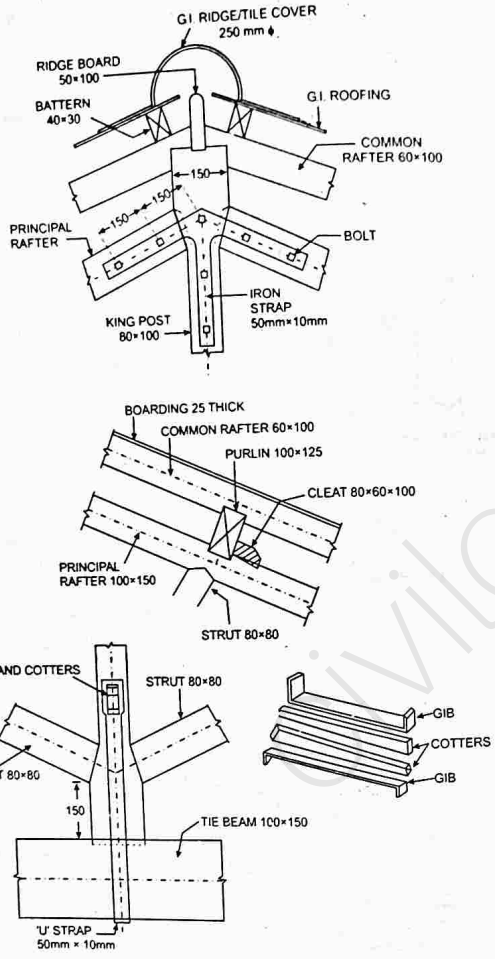

चित्र 12.7—मध्य-पूती कैंची छत (King Post Truss Roof)






चित्र 12.8—मुख्य राफ्टर-तान धरन संगम (Junction of Principal Rafter and Tie Beam)

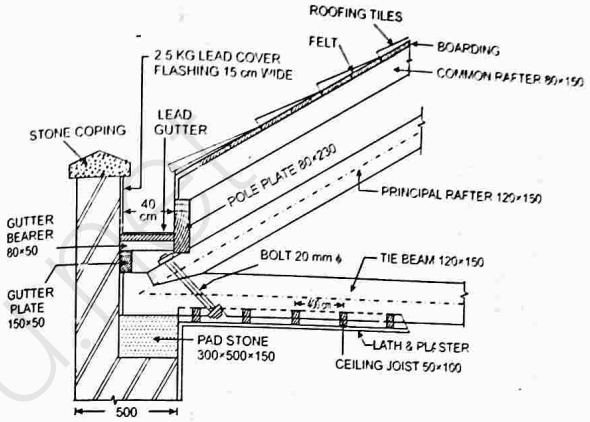
civilguru.net



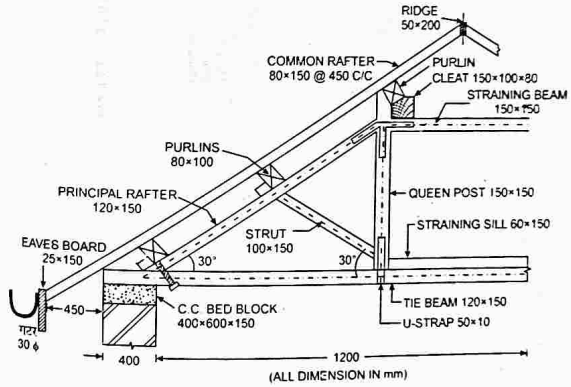

(सभी माप mm में)

चित्र 12.9—मध्य-थूनी कैंची-विभिन्न संयोजन (Details of Various Junctions)





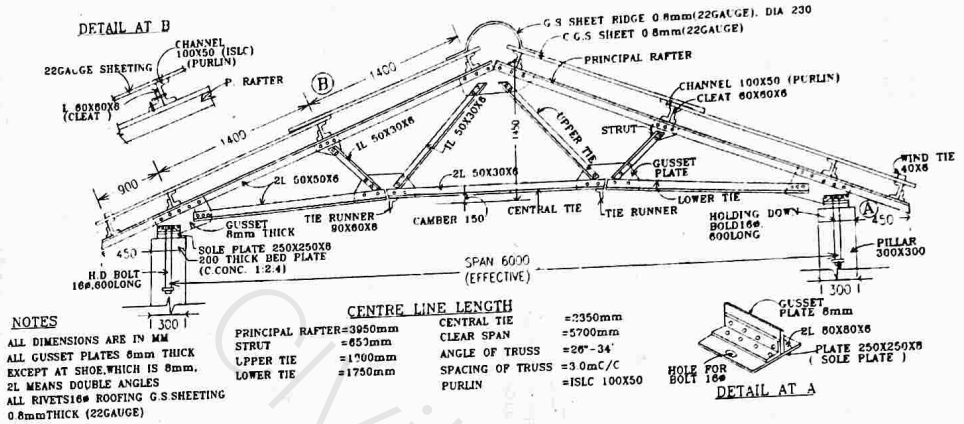

मुख्य रफ्टर-तान धरन संगम (क्वीन-पोस्ट कैंची छत)
(ALTERNATE GUTTER SYSTEM AND CEILING)



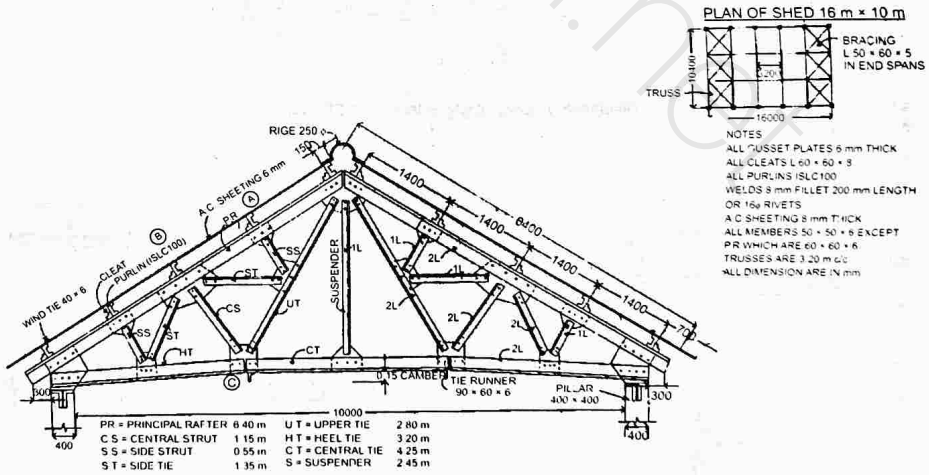

(ALL DIMENSION IN mm)

चित्र 12.10—पार्श्व-थूनी (क्वीन-पोष्ट) कैंची छत (Queen Post Truss Roof)

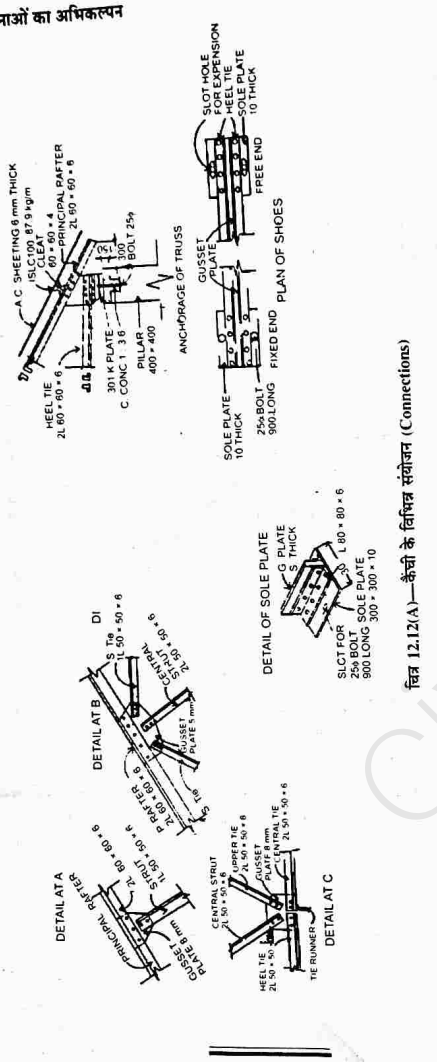
civilguruji




चित्र 12.11—इस्पातीय कैंची छत (Steel Truss Roof)
(पाठ = 6 m)




चित्र 12.12—10 मी० पाट की इस्पातीय कैंची छत (10 Span Steel Truss Roof)




चित्र 12.12(A)—कैंची के विभिन्न संयोजन (Connections)

# — परिशिष्ट (APPENDICES) —

A—बेल्लित इस्पातीय खण्डों के गुणधर्म (Properties of Rolled Steel Sections)
(I) समभुज एंग्ल (Equal Angles)
(II) असमभुज एंग्ल (Unequal Angles)
(III) T-खण्ड (T-Sections)
(IV) चैनल-खण्ड (Channels)
(V) I-खण्ड (I-Beams)
(VI) प्लेटें (Plates)
(VII) गोल छड़े (Round Bars)
(VIII) चकोर छड़े (Square Bars)
(IX) नलिकाएँ (Tubes)
(X) रिवेट गेज दूरियाँ (Rivet Gauge Distances)
B—जड़त्व आघूर्ण (Moments of Inertia of Plane Figures)
C—भारित-धरनों के गुणधर्म (Properties of Loaded Beams)
D—उपयोगी परिवर्तन भाज्य (Conversion Factors)
E—इकाई उपसर्ग व वर्णमाला (Prefixes and Alphabet)
F—महत्वपूर्ण त्रिकोणमिति मान (Trigonometry Values)
G—भवनी पदार्थों के इकाई भार (Unit Weights of Building Material)
H—मृदाओं की सुरक्षित धारण क्षमता (Safe Bearing Capacity of Soils)
I—अभिकल्प आँकड़े व मुख्य सूत्र-संग्रह (Design Data and Formulae)

civilguru.net

## A (I)— समभुज एंग्ल (ROLLED STEEL EQUAL ANGLES)

| Designation | Thick-ness | Sectional Area meter | Weight per Gravity | Centre of Inertia | Moment of (mm) | Radii of Gyration Section | | Moduli of meter |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $t$ mm | $a$ mm$^2$ | $w$ kg. | $C_{xx} = C_{yy}$ mm | $I_{xx} = I_{yy}$ cm$^4$ | $r_{xx} = r_{yy}$ | $r_{yy}$ | $Z_{xx}$ or $Z_{yy}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ISA 5050 | 5·0 | 479 | 3·8 | 14·1 | 11·0 | 15·2 | 9·7 | 3·1 |
| | 6·0 | 568 | 4·5 | 14·5 | 12·9 | 15·4 | 9·6 | 3·6 |
| ISA 5555 | 5·0 | 527 | 4·1 | 15·3 | 14·7 | 16·7 | 10·6 | 3·7 |
| | 6·0 | 626 | 4·9 | 15·7 | 17·3 | 16·6 | 10·6 | 4·4 |
| | 8·0 | 818 | 6·4 | 16·5 | 22·0 | 16·4 | 10·6 | 5·7 |
| | 10·0 | 1002 | 7·9 | 17·2 | 26·3 | 16·2 | 10·6 | 7·0 |
| ISA 6060 | 5·0 | 575 | 4·5 | 16·5 | 19·2 | 18·2 | 11·6 | 4·4 |
| | 6·0 | 684 | 5·4 | 16·9 | 22·6 | 18·2 | 11·5 | 5·2 |
| | 8·0 | 896 | 7·0 | 17·7 | 29·0 | 18·0 | 11·5 | 6·8 |
| | 10·0 | 1100 | 8·6 | 18·5 | 34·8 | 17·8 | 11·5 | 8·4 |
| ISA 6565 | 5·0 | 825 | 4·9 | 17·7 | 24·7 | 19·9 | 12·6 | 5·2 |
| | 6·0 | 744 | 5·8 | 18·0 | 29·1 | 19·8 | 12·6 | 6·2 |
| | 8·0 | 976 | 7·7 | 18·9 | 37·4 | 19·6 | 12·5 | 8·1 |
| | 10·0 | 1200 | 9·9 | 19·7 | 45·0 | 19·4 | 12·5 | 9·9 |
| ISA 7070 | 5·0 | 677 | 5·3 | 18·9 | 31·1 | 21·5 | 13·6 | 6·1 |
| | 6·0 | 806 | 6·3 | 19·4 | 36·8 | 21·4 | 13·5 | 7·3 |
| | 8·0 | 1058 | 8·3 | 20·2 | 47·4 | 21·2 | 13·5 | 9·5 |
| | 10·0 | 1302 | 10·2 | 21·0 | 57·2 | 21·0 | 13·5 | 11·7 |
| ISA 7575 | 5·0 | 727 | 5·7 | 22·2 | 38·7 | 23·1 | 14·6 | 7·1 |
| | 6·0 | 866 | 6·8 | 20·6 | 45·7 | 23·0 | 14·6 | 8·4 |
| | 8·0 | 1138 | 8·9 | 21·4 | 59·0 | 22·8 | 14·5 | 11·0 |
| | 10·0 | 1402 | 11·0 | 22·2 | 71·4 | 22·6 | 14·5 | 13·5 |
| ISA 8080 | 6·0 | 929 | 7·3 | 21·8 | 56·0 | 24·6 | 15·6 | 9·6 |
| | 8·0 | 1221 | 9·6 | 22·7 | 72·5 | 24·4 | 15·6 | 12·6 |
| | 10·0 | 1505 | 11·8 | 23·4 | 87·7 | 24·1 | 15·5 | 15·5 |
| | 12·0 | 1781 | 14·0 | 24·2 | 101·9 | 23·9 | 15·4 | 18·3 |
| ISA 9090 | 6·0 | 1047 | 8·2 | 24·2 | 80·1 | 27·7 | 17·5 | 12·2 |
| | 8·0 | 1379 | 10·8 | 25·1 | 104·2 | 27·5 | 17·5 | 16·0 |
| | 10·0 | 1703 | 13·4 | 25·9 | 126·7 | 27·3 | 17·4 | 19·8 |
| | 12·0 | 2019 | 15·8 | 26·6 | 147·9 | 27·1 | 17·4 | 23·3 |
| ISA 100 100 | 6·0 | 1167 | 9·2 | 26·7 | 111·3 | 30·9 | 19·5 | 15·2 |
| | 8·0 | 1539 | 12·1 | 27·6 | 145·1 | 30·7 | 19·5 | 20·2 |
| | 10·0 | 1903 | 14·9 | 29·4 | 177·0 | 30·5 | 19·4 | 24·7 |
| | 12·0 | 2259 | 17·7 | 29·2 | 207·0 | 30·3 | 19·4 | 29·2 |



| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISA 110 110 | 8·0 | 1702 | 13·4 | 30·0 | 195·0 | 33·8 | 21·4 | 24·6 |
| | 10·0 | 2106 | 16·5 | 30·8 | 238·4 | 33·6 | 21·4 | 30·4 |
| | 12·0 | 2502 | 19·6 | 31·6 | 279·6 | 33·4 | 21·3 | 35·7 |
| | 15·0 | 3081 | 24·2 | 32·7 | 337·4 | 33·1 | 21·3 | 43·7 |
| ISA 130 130 | 8·0 | 2022 | 15·9 | 35·0 | 328·3 | 40·3 | 25·5 | 34·5 |
| | 10·0 | 2506 | 19·7 | 35·8 | 402·7 | 40·1 | 25·4 | 42·7 |
| | 12·0 | 2982 | 23·4 | 36·6 | 473·8 | 39·9 | 25·4 | 50·7 |
| | 15·0 | 3681 | 28·9 | 37·6 | 574·6 | 39·5 | 25·3 | 62·3 |
| ISA 150 150 | 10·0 | 2903 | 22·8 | 40·6 | 622·4 | 46·3 | 29·3 | 56·9 |
| | 12·0 | 3459 | 27·2 | 41·4 | 735·4 | 46·1 | 29·3 | 67·7 |
| | 15·0 | 4278 | 33·6 | 42·6 | 896·8 | 45·8 | 29·2 | 33·5 |
| | 18·0 | 5079 | 39·9 | 43·8 | 1048·9 | 45·4 | 29·1 | 98·7 |
| ISA 200 200 | 12·0 | 4661 | 36·6 | 53·6 | 1788·9 | 62·0 | 39·2 | 122·2 |
| | 15·0 | 5780 | 45·4 | 54·9 | 2197·7 | 61·7 | 39·1 | 151·4 |
| | 18·0 | 6881 | 54·0 | 56·1 | 2588·7 | 61·3 | 39·0 | 179·9 |
| | 25·0 | 9380 | 73·6 | 58·8 | 3436·3 | 60·5 | 38·8 | 243·3 |

## A (II)—असम-भुज एंग्ल (ROLLED STEEL UNEQUAL ANGLES)

| Designation | Thick-ness | Sectio-nal Area | Weight per meter | Centre of Gravity | | Moments of Inertia | | Radii of Gyration | | | Meduli of Section | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $t$ mm | $a$ mm$^2$ | $w$ kg. | $C_{xx}$ mm | $C_{yy}$ mm | $I_{xx}$ cm$^4$ | $I_{yy}$ cm$^4$ | $r_{xx}$ mm | $r_{yy}$ mm | $r_{vv}$ mm | $Z_{xx}$ cm$^3$ | $Z_{yy}$ cm$^3$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | ·9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ISA 5030 | 5 | 378 | 3·0 | 1·72 | 0·74 | 9·3 | 2·5 | 15·7 | 8·1 | 6·3 | 2·8 | 1·1 |
| ISA 6040 | 6 | 565 | 4·4 | 1·99 | 1·0 | 19·9 | 7·0 | 18·8 | 11·1 | 8·5 | 5·0 | 2·3 |
| | 8 | 737 | 5·8 | 2·07 | 1·08 | 25·4 | 8·0 | 18·6 | 11·0 | 8·4 | 6·5 | 3·0 |
| ISA 7045 | 8 | 858 | 6·7 | 2·40 | 1·16 | 41·0 | 13·1 | 21·9 | 12·4 | 9·5 | 8·9 | 3·9 |
| | 10 | 1052 | 8·3 | 2·48 | 1·24 | 49·3 | 15·6 | 21·6 | 12·2 | 9·5 | 10·9 | 4·8 |
| ISA 7550 | 5·0 | 602 | 4·7 | 23·9 | 11·6 | 34·1 | 12·2 | 23·8 | 14·2 | 10·7 | 6·7 | 3·2 |
| | 6·0 | 716 | 5·6 | 24·4 | 12·0 | 40·3 | 14·3 | 23·7 | 14·1 | 10·7 | 8·0 | 3·8 |
| | 8·0 | 938 | 7·4 | 25·2 | 12·8 | 51·8 | 18·3 | 23·5 | 14·0 | 10·6 | 10·4 | 4·9 |
| | 10·0 | 1152 | 9·0 | 26·0 | 13·6 | 62·3 | 21·8 | 23·3 | 13·8 | 10·6 | 12·7 | 6·0 |
| ISA 8050 | 5·0 | 627 | 4·9 | 26·0 | 11·2 | 40·6 | 12·3 | 25·5 | 14·0 | 10·7 | 7·5 | 3·2 |
| | 6·0 | 746 | 5·9 | 26·4 | 11·6 | 48·0 | 14·4 | 25·4 | 13·9 | 10·7 | 9·0 | 3·8 |
| | 8·0 | 978 | 7·7 | 27·3 | 12·4 | 61·9 | 18·5 | 25·2 | 13·7 | 10·6 | 11·7 | 4·9 |
| | 10·0 | 1202 | 9·4 | 28·1 | 13·2 | 74·7 | 22·1 | 24·9 | 13·6 | 10·6 | 14·4 | 6·0 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISA 9060 | 6·0 | 865 | 6·8 | 28·7 | 13·9 | 70·6 | 25·2 | 28·6 | 17·1 | 12·8 | 11·5 | 55 |
| | 8·0 | 1137 | 8·9 | 29·6 | 14·8 | 91·5 | 32·4 | 28·4 | 16·9 | 12·8 | 15·1 | 72 |
| | 10·0 | 1401 | 11·0 | 30·4 | 15·5 | 110·9 | 39·1 | 28·1 | 16·7 | 12·7 | 18·6 | 88 |
| | 12·0 | 1657 | 13·0 | 31·2 | 16·3 | 129·9 | 45·2 | 27·9 | 16·5 | 12·7 | 22·0 | 103 |
| ISA 10065 | 6·0 | 955 | 7·5 | 31·9 | 14·7 | 96·7 | 32·4 | 31·8 | 18·4 | 13·9 | 14·2 | 64 |
| | 8·0 | 1257 | 9·9 | 32·8 | 15·5 | 125·9 | 41·9 | 31·6 | 18·3 | 13·9 | 18·7 | 85 |
| | 10·0 | 1551 | 12·2 | 33·7 | 16·3 | 153·2 | 50·4 | 31·4 | 18·1 | 13·8 | 23·1 | 104 |
| ISA 10075 | 6·0 | 1014 | 8·0 | 30·1 | 17·8 | 100·9 | 48·7 | 31·5 | 21·9 | 15·9 | 14·4 | 85 |
| | 8·0 | 1336 | 10·5 | 31·0 | 18·7 | 131·6 | 63·3 | 31·4 | 21·8 | 15·9 | 19·1 | 112 |
| | 10·0 | 1650 | 13·0 | 31·9 | 19·5 | 160·4 | 76·9 | 31·2 | 21·6 | 15·8 | 23·6 | 138 |
| | 12·0 | 1956 | 15·4 | 32·7 | 20·3 | 187·5 | 89·5 | 31·0 | 21·4 | 15·8 | 27·9 | 163 |
| ISA 12575 | 6·0 | 1166 | 9·2 | 40·5 | 15·9 | 187·8 | 51·6 | 40·1 | 21·0 | 16·2 | 22·2 | 87 |
| | 8·0 | 1538 | 12·1 | 41·5 | 16·8 | 245·5 | 67·2 | 40·0 | 20·9 | 16·1 | 29·4 | 115 |
| | 10·0 | 1902 | 14·9 | 42·5 | 17·6 | 300·3 | 81·6 | 39·7 | 20·7 | 16·1 | 36·3 | 142 |
| ISA 12595 | 6·0 | 1286 | 10·1 | 37·0 | 22·2 | 203·2 | 102·1 | 39·7 | 28·2 | 20·3 | 23·1 | 140 |
| | 8·0 | 1698 | 13·3 | 38·0 | 23·1 | 266·0 | 133·3 | 39·6 | 28·0 | 20·2 | 30·6 | 185 |
| | 10·0 | 2102 | 16·5 | 38·8 | 23·9 | 325·8 | 162·7 | 39·4 | 27·8 | 20·2 | 37·8 | 229 |
| | 12·0 | 2498 | 19·6 | 39·6 | 24·7 | 382·6 | 190·4 | 39·1 | 27·6 | 20·1 | 44·8 | 271 |
| ISA 15075 | 8·0 | 1742 | 13·7 | 52·3 | 15·3 | 407·2 | 70·2 | 48·3 | 20·1 | 16·0 | 41·7 | 118 |
| | 10·0 | 2156 | 16·9 | 53·3 | 16·1 | 499·1 | 85·3 | 48·1 | 19·9 | 15·9 | 51·6 | 145 |
| | 12·0 | 2562 | 20·1 | 54·1 | 16·9 | 587·0 | 99·5 | 47·9 | 19·7 | 15·8 | 61·2 | 171 |
| ISA 150115 | 8·0 | 2058 | 16·2 | 44·6 | 27·3 | 465·7 | 238·9 | 47·6 | 34·1 | 24·5 | 44·2 | 272 |
| | 10·2 | 2552 | 20·0 | 45·5 | 28·2 | 573·3 | 293·4 | 47·4 | 33·9 | 24·4 | 54·9 | 338 |
| | 12·0 | 3038 | 23·8 | 46·4 | 29·0 | 676·5 | 365·3 | 47·2 | 33·7 | 24·4 | 65·3 | 402 |
| | 15·0 | 3752 | 29·5 | 47·6 | 30·2 | 823·5 | 418·6 | 46·9 | 33·4 | 24·3 | 80·4 | 494 |
| ISA 200100 | 10·0 | 2903 | 22·8 | 69·6 | 20·1 | 1210·0 | 209·2 | 64·6 | 26·8 | 21·4 | 92·9 | 262 |
| | 15·0 | 4278 | 33·6 | 71·8 | 22·2 | 1750·0 | 298·1 | 64·0 | 26·4 | 21·2 | 136·5 | 383 |
| ISA 200150 | 10·0 | 3400 | 26·7 | 59·9 | 35·1 | 1377·9 | 669·6 | 63·7 | 44·9 | 32·1 | 98·3 | 583 |
| | 15·0 | 5025 | 39·4 | 62·0 | 37·2 | 2005·6 | 969·9 | 63·2 | 43·9 | 32·0 | 145·4 | 860 |



## A (III)—*T*-खण्ड (ROLLED STEEL THE SECTIONS)

| Design-ation | Weight per meter $w$ kg | Sect-ional area mm$^2$ mm$^2$ | Depth of Section $D$ mm | Width of Flange $B$ mm | Thick-ness of Flange $t_f$ mm | Thick-ness of Web $t_w$ mm | Centre of Gravity $c_{xx}$ mm | Moment of Inertia | | Radii of Gyration | | Moduli of Section | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | $I_{xx}$ cm$^4$ | $I_{yy}$ cm$^4$ | $r_{xx}$ mm | $r_{yy}$ mm | $Z_{xx}$ cm$^3$ | $Z_{yy}$ cm$^3$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| ISNT 20 | 0·9 | 113 | 20 | 20 | 3·0 | 3·0 | 6·0 | 0·4 | 0·2 | 5·9 | 3·9 | 0·3 | 0·2 |
| ISNT30 | 1·4 | 175 | 30 | 30 | 3·0 | 3·0 | 8·3 | 1·4 | 0·6 | 8·9 | 5·7 | 0·6 | 0·4 |
| ISNT 40 | 3·5 | 448 | 40 | 40 | 6·0 | 6·0 | 12·0 | 6·3 | 0·3 | 11·8 | 8·2 | 2·2 | 1·5 |
| ISNT 50 | 4·5 | 570 | 50 | 50 | 6·0 | 6·0 | 14·4 | 2·7 | 5·9 | 15·0 | 10·2 | 3·6 | 2·4 |
| ISNT 60 | 5·4 | 690 | 60 | 60 | 6·0 | 6·0 | 16·7 | 22·5 | 10·1 | 18·1 | 12·1 | 5·2 | 3·4 |
| ISNT 80 | 9·6 | 1225 | 80 | 80 | 8·0 | 8·0 | 22·3 | 71·2 | 32·3 | 24·1 | 16·2 | 12·3 | 8·1 |
| ISNT 100 | 15·0 | 1910 | 100 | 100 | 10·0 | 10·0 | 27·9 | 175·8 | 79·9 | 30·2 | 20·5 | 24·1 | 16·0 |
| ISUT 150 | 22·8 | 2908 | 150 | 150 | 10·0 | 10·0 | 39·5 | 603·8 | 267·5 | 45·6 | 30·3 | 54·6 | 35·7 |
| ISHT 75 | 15·3 | 1949 | 75 | 150 | 9·0 | 8·4 | 16·2 | 96·2 | 230·5 | 22·2 | 34·4 | 16·4 | 30·1 |
| ISHT 100 | 20·0 | 2547 | 100 | 200 | 9·0 | 7·8 | 19·1 | 193·8 | 497·3 | 27·6 | 44·2 | 24·0 | 49·3 |
| ISHT 125 | 27·4 | 3485 | 125 | 250 | 9·7 | 8·8 | 23·7 | 415·4 | 1005·8 | 34·5 | 53·7 | 41·0 | 79·9 |
| ISHT 150 | 29·4 | 3742 | 150 | 250 | 10·6 | 7·6 | 26·6 | 573·7 | 1096·8 | 39·2 | 54·1 | 46·5 | 87·7 |
| ISST 100 | 8·1 | 1037 | 100 | 50 | 10·0 | 5·8 | 30·3 | 99·0 | 9·6 | 30·9 | 9·6 | 14·2 | 3·8 |
| ISST 150 | 15·7 | 1996 | 150 | 75 | 11·6 | 8·0 | 47·5 | 450·2 | 37·2 | 47·5 | 13·6 | 43·9 | 9·9 |
| ISST 200 | 28·4 | 3622 | 200 | 165 | 12·5 | 8·0 | 47·8 | 1267·8 | 358·2 | 59·2 | 31·5 | 83·4 | 43·4 |
| ISST 250 | 37·5 | 4775 | 250 | 180 | 14·1 | 9·2 | 64·0 | 2774·4 | 532·0 | 76·2 | 33·4 | 149·2 | 59·1 |
| ISLT 50 | 4·0 | 511 | 50 | 50 | 6·4 | 4·0 | 11·9 | 9·9 | 6·4 | 13·9 | 11·2 | 2·6 | 2·5 |
| ISLT 75 | 7·1 | 904 | 75 | 80 | 6·8 | 4·8 | 17·2 | 41·9 | 27·6 | 21·5 | 17·5 | 7·2 | 6·9 |
| ISLT 100 | 12·7 | 1616 | 100 | 100 | 10·8 | 5·4 | 21·3 | 116·6 | 75·0 | 26·9 | 21·5 | 14·8 | 15·0 |
| ISJT75 | 3·5 | 450 | 75 | 50 | 4·6 | 3·0 | 20·0 | 24·8 | 4·6 | 23·5 | 10·1 | 4·5 | 1·8 |
| ISJT 87·5 | 4·0 | 514 | 87·5 | 50 | 4·8 | 3·2 | 25·0 | 39·0 | 4·8 | 27·5 | 9·7 | 6·2 | 1·9 |
| ISJT 100 | 5·0 | 632 | 100 | 60 | 5·0 | 3·4 | 28·1 | 63·5 | 8·6 | 31·7 | 11·7 | 8·8 | 2·9 |
| ISJT 112·5 | 6·4 | 814 | 112·5 | 80 | 5·0 | 3·7 | 30·1 | 101·6 | 20·2 | 35·3 | 15·8 | 12·3 | 5·1 |

## A (IV)—चैनल खण्ड (ROLLED STEEL CHANNELS)

| Designation | Weight per meter | Sectional area | Depth of Section | Width of Flange | Thickness of Flange | Thickness of Web | Centre of Gravity | Moment of Inertia | | Radii of Gyration | | Moduli of Section | | Gauge Distance |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $w$ kg | $a$ mm$^2$ | $D$ mm | $B$ mm | $t_f$ mm | $t_w$ mm | $c_{yy}$ mm | $I_{xx}$ cm$^4$ | $r_{xx}$ cm$^4$ | $I_{xx}$ cm$^4$ | $r_{yy}$ mm | $z_{xx}$ cm$^3$ | $Z_{yy}$ cm$^3$ | $g$ mm |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ISJC 100 | 5·8 | 741 | 100 | 45 | 5·1 | 3·0 | 14·0 | 123·8 | 14·9 | 40·9 | 14·2 | 24·8 | 4·8 | 25 |
| ISJC 125 | 7·9 | 1007 | 125 | 50 | 6·6 | 3·0 | 16·4 | 270·0 | 25·7 | 51·8 | 16·0 | 43·2 | 7·6 | 28 |
| ISJC 150 | 9·9 | 1265 | 150 | 55 | 6·9 | 3·6 | 16·6 | 471·1 | 37·9 | 61·0 | 17·3 | 62·8 | 9·9 | 30 |
| ISJC 175 | 11·2 | 1424 | 175 | 60 | 6·9 | 3·6 | 17·5 | 719·1 | 50·5 | 71·1 | 18·8 | 82·3 | 11·9 | 35 |
| ISJC 200 | 13·9 | 1777 | 200 | 70 | 7·1 | 4·1 | 19·7 | 1161·2 | 84·2 | 80·9 | 21·8 | 116·1 | 16·7 | 40 |
| ISLC 75 | 5·7 | 726 | 75 | 40 | 6·0 | 3·7 | 13·5 | 66·1 | 11·5 | 30·2 | 12·6 | 17·6 | 4·3 | 21 |
| ISLC 100 | 7·9 | 1002 | 100 | 50 | 6·4 | 4·0 | 16·2 | 164·7 | 24·8 | 40·6 | 15·7 | 32·9 | 7·3 | 28 |
| ISLC 125 | 10·7 | 1367 | 125 | 65 | 6·6 | 4·4 | 20·4 | 356·8 | 57·2 | 51·1 | 20·5 | 57·1 | 12·8 | 35 |
| ISLC 150 | 14·4 | 1836 | 150 | 75 | 7·8 | 4·8 | 23·8 | 697·2 | 103·2 | 61·6 | 23·7 | 93·0 | 20·2 | 40 |
| ISLC 175 | 17·6 | 2240 | 175 | 75 | 9·5 | 5·1 | 24·0 | 1148·4 | 126·5 | 71·6 | 23·8 | 131·3 | 24·8 | 40 |
| ISLC 200 | 20·6 | 2662 | 200 | 75 | 10·8 | 5·5 | 23·5 | 1725·5 | 146·9 | 81·1 | 23·7 | 172·6 | 28·5 | 40 |
| ISLC 225 | 24·0 | 3053 | 255 | 90 | 10·2 | 5·8 | 24·6 | 2547·9 | 209·5 | 91·4 | 26·2 | 226·5 | 32·0 | 50 |
| ISLC 250 | 28·0 | 3565 | 250 | 100 | 10·7 | 6·1 | 27·0 | 3687·9 | 298·4 | 101·7 | 28·9 | 295·0 | 40·9 | 60 |
| ISJC 300 | 31·1 | 4211 | 300 | 100 | 11·6 | 6·7 | 25·5 | 6047·9 | 346·0 | 119·8 | 28·7 | 403·2 | 46·4 | 60 |
| ISJC350 | 38·8 | 4947 | 350 | 100 | 12·5 | 7·4 | 24·1 | 9312·6 | 394·6 | 137·2 | 28·2 | 532·1 | 52·0 | 60 |
| IS JC 400 | 45·7 | 5825 | 400 | 100 | 14·0 | 8·0 | 23·6 | 13989·5 | 460·4 | 155·0 | 28·1 | 699·5 | 60·2 | 60 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISMC 75 | 6·8 | 867 | 75 | 40 | 7·3 | 4·4 | 13·1 | 76·0 | 12·6 | 29·6 | 12·1 | 20·3 | 4·7 | 21 |
| ISMC 100 | 9·2 | 1170 | 100 | 50 | 7·5 | 4·7 | 15·3 | 186·7 | 25·9 | 40·0 | 14·9 | 37·3 | 7·5 | 28 |
| ISMC 125 | 12·7 | 1619 | 125 | 65 | 8·1 | 5·0 | 19·4 | 416·4 | 59·9 | 50·7 | 19·2 | 66·6 | 13·1 | 35 |
| ISMC 150 | 16·4 | 2088 | 150 | 75 | 9·0 | 5·4 | 22·0 | 779·4 | 102·3 | 61·1 | 22·1 | 103·9 | 19·4 | 40 |
| ISMC 175 | 19·1 | 2438 | 175 | 75 | 10·2 | 5·7 | 22·2 | 1223·3 | 121·3 | 70·3 | 22·3 | 139·8 | 22·4 | 40 |
| ISMC 200 | 22·1 | 2821 | 200 | 75 | 11·4 | 6·1 | 21·7 | 1819·3 | 140·4 | 80·3 | 22·3 | 181·9 | 26·3 | 40 |
| ISMC 225 | 25·9 | 3301 | 225 | 80 | 12·4 | 6·4 | 23·0 | 2694·6 | 187·2 | 90·8 | 23·8 | 239·5 | 32·8 | 45 |
| ISMC 250 | 30·4 | 3867 | 250 | 80 | 13·1 | 7·1 | 23·0 | 3816·8 | 219·1 | 99·4 | 23·8 | 305·3 | 38·4 | 45 |
| ISMC 300 | 35·8 | 4564 | 300 | 90 | 13·6 | 7·6 | 23·6 | 6362·6 | 310·8 | 118·1 | 26·1 | 424·2 | 46·8 | 50 |
| ISMC 350 | 42·1 | 5366 | 350 | 100 | 13·5 | 8·1 | 24·4 | 10008·0 | 430·6 | 136·6 | 28·3 | 571·9 | 57·0 | 60 |
| ISMC 400 | 49·4 | 6293 | 400 | 100 | 15·3 | 8·6 | 24·2 | 15082·8 | 504·8 | 154·8 | 28·3 | 754·1 | 66·6 | 60 |

## A (V)—I-खण्ड (ROLLED STEEL I-BEAMS)

| Design-ation | Weight per meter | Sect-ional area | Depth of Section | Width of Flange | Thick-ness of Flange | Thick-ness of Web | Remotest Fibre of Root Fillter | Moment of Inertia | | Radii of Gyration | | Moduli of Section | | Gauge Dis-tance |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $w$ kg | $a$ mm$^2$ | $D$ mm | $B$ mm | $t_f$ mm | $t_w$ mm | $h_2$ mm | $I_{xx}$ cm$^4$ | $I_{yy}$ cm$^4$ | $r_{xx}$ cm$^4$ | $r_{yy}$ mm | $z_{xx}$ cm$^3$ | $z_{yy}$ cm$^3$ | $g$ mm |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ISJB 150 | 7·1 | 901 | 150 | 50 | 4·6 | 3·0 | 9·80 | 322·1 | 9·2 | 59·8 | 10·10 | 42·9 | 3·7 | 30 |
| ISJB 175 | 8·1 | 1028 | 175 | 50 | 4·8 | 3·2 | 10·00 | 479·2 | 9·7 | 68·3 | 9·70 | 54·8 | 3·9 | 30 |
| ISJB 200 | 9·0 | 1264 | 200 | 60 | 5·0 | 3·4 | 10·25 | 780·7 | 17·3 | 78·6 | 11·70 | 78·1 | 5·8 | 30 |
| ISJB 225 | 12·8 | 1628 | 225 | 80 | 5·0 | 3·7 | 11·95 | 1308·5 | 40·5 | 89·7 | 15·8 | 116·3 | 10·1 | 40 |
| ISLB 75 | 6·1 | 771 | 75 | 50 | 5·0 | 3·7 | 11·95 | 72·7 | 10·0 | 30·7 | 11·4 | 19·4 | 4·0 | 30 |
| ISLB 100 | 8·0 | 1020 | 100 | 50 | 6·4 | 4·0 | 13·50 | 168·0 | 12·7 | 40·6 | 11·2 | 33·6 | 5·1 | 30 |
| ISLB 125 | 11·9 | 1512 | 125 | 75 | 6·5 | 4·4 | 14·80 | 406·8 | 43·4 | 51·9 | 16·9 | 65·1 | 11·6 | 35 |
| ISLB 150 | 14·2 | 1808 | 150 | 80 | 6·8 | 4·8 | 16·55 | 688·2 | 55·2 | 61·7 | 17·5 | 91·8 | 13·8 | 40 |
| ISLB 175 | 16·7 | 2130 | 175 | 90 | 6·9 | 5·1 | 16·70 | 1096·2 | 79·6 | 71·7 | 19·3 | 125·3 | 17·7 | 50 |
| ISLB 200 | 19·8 | 2527 | 200 | 100 | 7·3 | 5·4 | 17·15 | 1696·6 | 115·4 | 81·9 | 21·3 | 169·7 | 23·1 | 55 |
| ISLB 225 | 235 | 2992 | 225 | 100 | 86 | 58 | 2235 | 52019 | 1127 | 915 | 194 | 2224 | 225 | 55 |
| ISLB 250 | 279 | 3553 | 250 | 125 | 82 | 61 | 2370 | 37178 | 1934 | 1023 | 233 | 2974 | 309 | 65 |
| ISLB 275 | 330 | 4202 | 275 | 140 | 88 | 64 | 2565 | 53753 | 2870 | 1131 | 261 | 3921 | 410 | 80 |
| ISLB 300 | 37·7 | 4808 | 300 | 150 | 9·4 | 6·7 | 27·45 | 7332·9 | 376·2 | 123·5 | 28·0 | 488·9 | 50·2 | 90 |
| ISLB 325 | 43·1 | 5490 | 325 | 165 | 9·8 | 7·0 | 29·25 | 9874·6 | 510·8 | 134·1 | 30·5 | 607·7 | 61·9 | 100 |
| ISLB 350 | 49·5 | 6301 | 350 | 165 | 11·4 | 7·4 | 30·85 | 13158·3 | 631·9 | 144·5 | 31·7 | 751·9 | 76·6 | 100 |
| ISLB 400 | 56·9 | 7243 | 400 | 165 | 12·5 | 8·0 | 31·90 | 19306·3 | 716·4 | 163·3 | 31·5 | 965·3 | 86·8 | 100 |
| ISLB 450 | 65·3 | 8314 | 450 | 170 | 13·4 | 8·6 | 33·00 | 27536·1 | 853·0 | 182·0 | 32·0 | 1223·8 | 100·4 | 100 |
| ISLB 500 | 75·0 | 9550 | 500 | 180 | 14·1 | 9·2 | 34·90 | 38579·0 | 1063·9 | 201·0 | 33·4 | 1543·2 | 118·2 | 100 |
| ISLB 550 | 86·3 | 10997 | 550 | 190 | 15·0 | 9·9 | 36·95 | 53161·6 | 1335·1 | 219·9 | 34·8 | 1933·2 | 140·5 | 100 |
| ISLB 600 | 99·5 | 12669 | 600 | 210 | 15·5 | 10·5 | 39·90 | 72867·6 | 1821·9 | 239·8 | 37·9 | 2428·6 | 173·5 | 100 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *ISMB 100* | 11·5 | 1460 | 100 | 75 | 7·2 | 4·0 | 17·50 | 257·5 | 40·8 | 42·0 | 16·7 | 51·5 | 10·9 | 35 |
| *ISMB 125* | 13·0 | 1660 | 125 | 75 | 7·6 | 4·4 | 17·90 | 449·0 | 43·7 | 52·0 | 16·2 | 71·8 | 11·7 | 35 |
| *ISMB 150* | 14·9 | 1900 | 150 | 80 | 7·6 | 4·8 | 18·05 | 726·4 | 52·6 | 61·8 | 16·6 | 96·9 | 13·1 | 40 |
| ISMB 175 | 19·3 | 2462 | 175 | 90 | 8·6 | 5·5 | 20·25 | 1272·0 | 85·0 | 71·9 | 18·6 | 145·4 | 18·9 | 40 |
| ISMB 200 | 25·4 | 3233 | 200 | 100 | 10·8 | 5·7 | 23·65 | 2335·4 | 150·0 | 83·2 | 21·5 | 223·5 | 30·0 | 55 |
| ISMB 225 | 31·2 | 3972 | 225 | 110 | 11·8 | 6·5 | 25·85 | 3441·8 | 218·3 | 93·1 | 23·4 | 305·9 | 39·7 | 60 |
| ISMB250 | 37·3 | 4755 | 250 | 125 | 12·5 | 6·9 | 27·95 | 5131·6 | 334·5 | 103·9 | 26·5 | 410·5 | 53·5 | 65 |
| ISMB 300 | 44·2 | 5626 | 300 | 140 | 12·4 | 7·5 | 29·25 | 8603·6 | 453·9 | 123·7 | 28·4 | 573·6 | 64·8 | 80 |
| ISMB 350 | 52·4 | 6671 | 350 | 140 | 14·2 | 8·1 | 31·00 | 13630·3 | 537·7 | 142·9 | 28·4 | 778·9 | 86·0 | 80 |
| ISMB 400 | 61·6 | 7847 | 400 | 140 | 16·0 | 8·9 | 32·80 | 20458·4 | 622·1 | 161·5 | 28·2 | 1022·9 | 88·9 | 80 |
| ISMB 450 | 72·4 | 9277 | 450 | 150 | 17·4 | 9·4 | 35·40 | 30390·8 | 834·0 | 181·5 | 30·1 | 1350·7 | 111·2 | 90 |
| ISMB 500 | 86·9 | 11074 | 500 | 180 | 17·2 | 10·2 | 37·95 | 45218·3 | 1369·8 | 202·1 | 35·2 | 1808·7 | 152·2 | 100 |
| ISMB 550 | 103·7 | 13211 | 550 | 190 | 19·3 | 11·2 | 41·25 | 64893·6 | 1833·8 | 221·6 | 37·3 | 2359·8 | 193·0 | 100 |
| ISMB 600 | 122·6 | 15621 | 600 | 210 | 20·8 | 12·0 | 45·5 | 91813·0 | 2651·0 | 242·4 | 41·2 | 3060·4 | 252·5 | 140, 100 |
| ISWB 150 | 17·0 | 2167 | 150 | 100 | 7·0 | 5·4 | 16·70 | 839·1 | 94·8 | 62·2 | 20·9 | 111·9 | 19·0 | 55 |
| ISWB 175 | 22·1 | 2811 | 175 | 125 | 7·4 | 5·8 | 17·75 | 1509·4 | 188·6 | 73·3 | 25·9 | 172·5 | 30·2 | 65 |
| ISWB 200 | 28·8 | 3671 | 200 | 140 | 9·0 | 6·1 | 20·60 | 2624·5 | 328·8 | 84·6 | 29·9 | 262·5 | 47·0 | 80 |
| ISWB 225 | 33·9 | 4324 | 225 | 150 | 9·9 | 6·4 | 21·80 | 3920·5 | 448·6 | 92·2 | 32·2 | 348·5 | 59·8 | 90 |
| ISWB 250 | 40·9 | 5205 | 250 | 200 | 9·0 | 6·7 | 23·10 | 5943·1 | 857·5 | 106·9 | 40·6 | 475·4 | 85·7 | 140, 100 |
| ISWB 300 | 48·1 | 6133 | 300 | 200 | 10·0 | 7·4 | 24·95 | 9821·6 | 990·1 | 126·6 | 40·2 | 654·8 | 99·0 | 140, 100 |
| ISWB 350 | 59·9 | 7250 | 350 | 200 | 11·4 | 8·0 | 27·25 | 15521·7 | 1175·9 | 146·3 | 40·3 | 887·0 | 117·6 | 140, 100 |
| ISWB 400 | 66·7 | 8501 | 400 | 200 | 13·0 | 8·6 | 29·75 | 23426·7 | 1388·0 | 166·0 | 40·4 | 1171·3 | 138·8 | 140, 100 |
| ISWB 450 | 79·4 | 10115 | 450 | 200 | 15·4 | 9·2 | 33·00 | 35057·6 | 1706·7 | 186·3 | 41·1 | 1558·1 | 170·7 | 140, 100 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISWB 500 | 95·2 | 12122 | 500 | 250 | 14·7 | 9·9 | 34·50 | 52290·9 | 2987·8 | 207·7 | 49·6 | 2091·6 | 239·0 | 140 |
| ISWB 550 | 112·5 | 14334 | 550 | 250 | 17·6 | 10·5 | 83·30 | 74906·1 | 3740·6 | 228·6 | 51·1 | 2723·9 | 299·2 | 140 |
| ISWB 600 | 133·7 | 17038 | 600 | 250 | 21·3 | 11·2 | 42·90 | 106198·5 | 4702·2 | 249·7 | 52·5 | 3540·0 | 276·2 | 140 |
| ISWB 600 | 145·1 | 18486 | 600 | 250 | 23·6 | 11·8 | 46·05 | 115626·6 | 5298·3 | 250·1 | 53·5 | 3854·2 | 423·9 | 90 |
| ISWB 600 | 150 | 3448 | 150 | 150 | 9·0 | 5·4 | 19·0 | 145·6 | 431·7 | 65·0 | 35·4 | 194·1 | 57·6 | |
| ISHB 150 | 27·1 | | | | | | | | | | | | | 90 |
| | | | | | | | | | | | | | 60·2 | 90 |
| ISHB 150 | 30·6 | 3898 | 150 | 150 | 9·0 | 8·4 | 19·0 | 1540·0 | 460·3 | 62·9 | 34·4 | 205·3 | 63·2 | 140, 100 |
| ISHB 150 | 34·6 | 4408 | 150 | 150 | 9·0 | 11·8 | 19·0 | 1635·6 | 494·9 | 60·9 | 33·5 | 218·1 | 96·7 | 140, 100 |
| ISHB 200 | 37·3 | 4754 | 200 | 200 | 9·0 | 6·1 | 20·8 | 3608·4 | 967·1 | 87·1 | 45·1 | 360·8 | 98·6 | |
| ISHB 200 | 40·0 | 5094 | 200 | 200 | 9·0 | 7·8 | 20·8 | 3721·8 | 994·6 | 85·5 | 44·2 | 372·2 | | |
| ISHB 200 | | | | | | | | | | | | | | 140 |
| | | | | | | | | | | | | | 120·3 | 140 |
| ISHB 225 | 43·1 | 5494 | 225 | 225 | 9·1 | 6·5 | 22·2 | 5279·5 | 1353·8 | 98·0 | 49·6 | 496·4 | 123·0 | 140 |
| ISHB 225 | 56·8 | 5966 | 225 | 225 | 9·1 | 8·6 | 22·2 | 5478·8 | 1396·6 | 95·8 | 48·4 | 487·0 | 156·9 | 140 |
| ISHB 250 | 51·0 | 6496 | 250 | 250 | 9·7 | 6·9 | 23·2 | 7736·5 | 1961·3 | 109·1 | 54·9 | 618·9 | 159·7 | 140 |
| ISHB 250 | 54·7 | 6951 | 250 | 250 | 9·7 | 8·8 | 23·2 | 7983·9 | 2011·7 | 107·0 | 53·7 | 638·7 | 175·5 | 140 |
| ISHB 250 | 58·8 | 7485 | 300 | 250 | 10·6 | 7·6 | 25·1 | 12545·2 | 2193·6 | 129·5 | 54·1 | 836·3 | 178·4 | 140 |
| ISHB 300 | 63·3 | 8025 | 300 | 250 | 10·6 | 9·4 | 25·1 | 12950·2 | 2246·7 | 127·0 | 52·9 | 863·3 | | 140 |
| ISHB 300 | 67·4 | 8591 | 350 | 250 | 11·6 | 8·3 | 27·0 | 19159·7 | 2451·4 | 149·3 | 53·4 | 1094·8 | 196·1 | |
| ISHB 350 | | | | | | | | | | | | | | |

नोट : प्रति मीटर लम्बाई के लिये, समान भार व समान गहरायी पर, धरनों के लिये विभिन्न खण्डों की मितव्यता निम्न है—

| I-खण्ड | चैनल | असमभुज एंगल | समभुज एंगल | टी (रम) | टी (असम) |
|---|---|---|---|---|---|
| 10% | 90% | 50% | 40% | 40% | 20% |



## A (VI)—प्लेटें (MILD STEEL FLATS)

| चौड़ाई (mm) | प्रति मी० लम्बाई का भार, Kg में | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | प्लेट की मोटाई $t$ = mm में | | | | | |
| | 5 | 6 | 8 | 10 | 20 | 32 |
| 10 | 0·5 | – | – | – | – | – |
| 15 | 0·6 | 0·7 | 0·9 | – | – | – |
| 20 | 0·8 | 0·9 | 1·3 | 1·6 | – | – |
| 30 | 1·2 | 1·4 | 1·9 | 2·4 | – | – |
| 40 | 1·6 | 1·9 | 2·5 | 3·1 | 6·3 | – |
| 50 | 2·0 | 2·4 | 3·1 | 3·9 | 7·8 | |
| 80 | – | 3·8 | 5·0 | 6·3 | 12·6 | 20·1 |
| 100 | – | 5·2 | 6·9 | 8·6 | 17·3 | 27·6 |

नोट : चादरों की मोटाई गेज में व्यक्त की जाती है—

| Gauge No. | S.W.G. (Standard Wire Gauge) | B.W.G. (Birmingham Gauge) |
|---|---|---|
| 5 | 5·385 mm | 5·652 mm |
| 10 | 3·251 mm | 3·175 mm |
| 12 | 2·642 mm | 2·517 mm |
| 16 | 1·626 mm | 1·588 mm |
| 18 | 1·219 mm | 1·257 mm |
| 20 | 0·914 mm | 0·996 mm |
| 22 | 0·711 mm | 0·794 mm |
| 24 | 0·559 mm | 0·629 mm |
| 30 | 0·315 mm | 0·312 mm |

## A (VII)—गोल छड़ें (I.S. ROUND BARS)

| Dia (mm) | $X$-sectional Area ($cm^2$) | Perimeter (cm) | Wt : per meter (kg) |
|---|---|---|---|
| 6 | 0·28 | 1·6 | 0·2 |
| 8 | 0·50 | 2·5 | 0·4 |
| 10 | 0·79 | 3·1 | 0·6 |
| 12 | 1·13 | 3·8 | 0·9 |
| 16 | 2·01 | 5·0 | 1·6 |
| 20 | 3·14 | 6·3 | 2·5 |
| 25 | 4·91 | 7·8 | 3·8 |
| 28 | 6·16 | 8·8 | 4·8 |
| 32 | 8·04 | 10·1 | 6·3 |
| 40 | 12·57 | 12·6 | 9·9 |

civilguruji.net

## A (VIII)—चकौर छड़ें (I.S. SQUARE BARS)

| Sides (mm) | X-sectional Area ($cm^2$) | Perimeter (cm) | Wt : per meter (kg) |
|---|---|---|---|
| 5 | 0·25 | 2·0 | 0·2 |
| 8 | 0·64 | 3·2 | 0·5 |
| 10 | 1·0 | 4·0 | 0·8 |
| 12 | 1·44 | 4·8 | 1·1 |
| 16 | 2·56 | 6·4 | 2·0 |
| 20 | 4·0 | 8·0 | 3·1 |
| 25 | 6·25 | 10·0 | 4·9 |
| 32 | 10·24 | 12·8 | 8·0 |
| 40 | 16·0 | 16·0 | 12·6 |

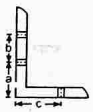
## A (IX)—नलिकाएं (STEEL TUBES) (I.S. 1161-1970)—

| Nominal Bore (mm) | Class | Weight Kg/m | Area of X-section $cm^2$ | Outer Dia. (mm) | M.I. $cm^4$ | Z $cm^3$ | r cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | L | 0·962 | 1·21 | 21·3 | 0·57 | 0·54 | 0·69 |
| | M | 1·21 | 1·53 | 21·3 | 0·68 | 0·64 | 0·67 |
| | H | 1·44 | 1·82 | 21·3 | 0·77 | 0·72 | 0·65 |
| 20 | L | 1·41 | 1·78 | 26·9 | 1·36 | 1·01 | 0·87 |
| | M | 1·57 | 1·98 | 26·9 | 1·48 | 1·10 | 0·86 |
| | H | 1·89 | 2·38 | 26·9 | 1·70 | 1·27 | 0·85 |
| 25 | L | 2·01 | 2·54 | 33·7 | 3·09 | 1·84 | 1·10 |
| | M | 2·42 | 3·07 | 33·7 | 3·60 | 2·14 | 1·08 |
| | H | 2·95 | 3·73 | 33·7 | 4·19 | 2·49 | 1·06 |
| 32 | L | 2·57 | 3·25 | 42·4 | 6·46 | 3·05 | 1·41 |
| | M | 3·11 | 3·94 | 42·4 | 7·62 | 3·59 | 1·39 |
| | H | 3·81 | 4·83 | 42·4 | 8·99 | 4·24 | 1·36 |
| 40 | L | 3·27 | 4·14 | 48·3 | 10·70 | 4·43 | 1·61 |
| | M | 3·59 | 4·53 | 48·3 | 11·59 | 4·80 | 1·60 |
| | H | 4·41 | 5·57 | 48·3 | 13·77 | 5·70 | 1·57 |
| 50 | L | 4·14 | 5·23 | 60·3 | 21·59 | 7·16 | 2·03 |
| | M | 5·07 | 6·41 | 60·3 | 25·87 | 8·58 | 2·01 |
| | H | 6·17 | 7·89 | 60·3 | 30·90 | 10·20 | 1·98 |
| 65 | L | 5·80 | 7·33 | 76·1 | 48·78 | 12·8 | 2·58 |
| | M | 6·49 | 8·20 | 76·1 | 54·01 | 14·2 | 2·57 |
| | H | 7·92 | 10·10 | 76·1 | 65·12 | 17·1 | 2·54 |
| 80 | L | 6·81 | 8·62 | 88·9 | 79·21 | 17·8 | 3·03 |
| | M | 8·43 | 10·70 | 88·9 | 96·34 | 21·7 | 3·0 |
| | H | 10·30 | 13·20 | 88·9 | 116·04 | 26·2 | 2·97 |
| 90 | L | 8·76 | 11·1 | 101·6 | 133·2 | 26·2 | 3·47 |
| | M | 8·70 | 12·3 | 101·6 | 146·3 | 28·8 | 3·45 |
| | H | 11·90 | 15·2 | 101·6 | 177·5 | 34·09 | 3·42 |
| 100 | L | 9·90 | 12·5 | 114·3 | 192·0 | 33·6 | 3·92 |
| | M | 12·10 | 15·5 | 114·3 | 234·3 | 41·0 | 3·98 |
| | H | 14·5 | 18·5 | 114·3 | 274·5 | 48·0 | 3·85 |

L = List, M = Medium, H - Heavy, MI = Mement of Inertia, Z = Modulus of section, r = radius of gyration.



## A (X)—रिवेट गेज दूरियाँ (RIVET GAUGE DISTANCES IN LEGS OF ANGLES)




| Leg Size | Double row of Rivets | | Single Row of Rivets | Maximum rivet size for Double Row of Rivets |
|---|---|---|---|---|
| mm | a (mm) | b (mm) | c (mm) | (mm) |
| 200 | 75 | 85 | 115 | 27 |
| 150 | 55 | 65 | 90 | 22 |
| 130 | 50 | 55 | 80 | 20 |
| 125 | 45 | 55 | 75 | 20 |
| 115 | 45 | 50 | 70 | 12 |
| 110 | 45 | 45 | 65 | 12 |
| 100 | 40 | 40 | 60 | 12 |
| 95 | — | — | 55 | — |
| 90 | — | — | 50 | — |
| 84 | — | — | 45 | — |
| 75 | — | — | 40 | — |
| 70 | — | — | 40 | — |
| 65 | — | — | 35 | — |
| 60 | — | — | 35 | — |
| 55 | — | — | 30 | — |
| 50 | — | — | 28 | — |
| 45 | — | — | 25 | — |
| 40 | — | — | 21 | — |
| 35 | — | — | 19 | — |
| 30 | — | — | 17 | — |
| 25 | — | — | 15 | — |
| 20 | — | — | 12 | — |

# परिशिष्ट – (B)

## समतल आकृतियों के जड़त्व आघूर्ण (Moment of Inertia of Plane Figures)

(1) आयत (Rectangle):

$$I_G = \frac{bd^3}{12}, \qquad I_X = \frac{bd^3}{3}$$

(2) वृत (Circle):

$$I_G = \frac{\pi d^4}{64}, \qquad I_{XX} = \frac{5\pi d^4}{64}$$

(3) त्रिभुज (Triangle):

$$I_G = \frac{bd^3}{36}, \qquad I_X = \frac{bd^3}{12}$$

(4) समान्तर चतुर्भुज (Parallelogram):

$$I_G = \frac{bd^3}{48}$$

(5) समलम्ब चतुर्भुज (Trapezium):

$$I_G = \left(\frac{a^2+b^2+4ab}{a+b}\right) \times \frac{d^3}{36}$$

$$y = \left(\frac{2a+b}{a+b}\right) \times \frac{d}{3}$$

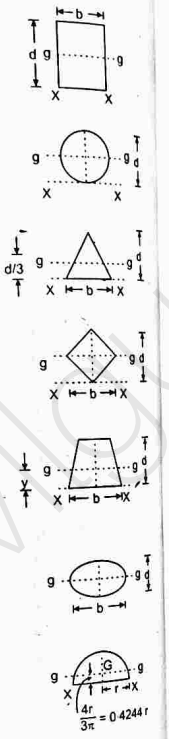
(6) दीर्घ वृत्त (Ellipse):

$$I_G = \frac{\pi d b^3}{64}$$

(7) अर्ध वृत्त (Semi-circle):

$$I_G = 0{\cdot}1098\, r^4$$

$$I_X = \frac{\pi r^4}{8}$$






**परिशिष्ट (C) : भारित-धरनों के गुणधर्म (Proportion of Loaded Beams)**

| संज्ञा | प्रतिक्रिया अपरूपण (S. F.) | अधिकतम (B.M.) | अधिकतम बंकन आघूर्ण | विक्षेप = δ (Max. Deflection) | भारित आकृति |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 प्रास-धरन बिन्दु भार | $R_A = W$ | $W$ | $WL$ (at $A$) | $\frac{WL^3}{3EI}$ | W, A, L |
| 2 प्रास-धरन UDL | $R_A = WL$ | $wL$ | $\frac{wL^2}{2}$ (at $A$) | $\frac{WL^3}{8EI}$ | W, A, L |
| 3 शुद्धालम्ब धरन-बिन्दु भार | $R_A = R_B = \frac{W}{2}$ | $\frac{W}{2}$ | $\frac{WL}{4}$ (at centre) | $\frac{WL^3}{48EI}$ | W, $R_A$, L, $R_B$ |
| 4 शुद्धालम्ब धरन-UDL | $R_A = R_B = \frac{W}{2}$ | $\frac{wL}{2}$ | $\frac{WL^2}{8}$ | $\frac{5WL^3}{384EI}$ | W, $R_A$, L, $R_B$ |
| 5 शुद्धालम्ब धरन-त्रिभुज भार | $R_A = R_B = \frac{W}{2}$ | $\frac{W}{2}$ | $\frac{WL}{6}$ | $\frac{WL^3}{60EI}$ | W, $R_A$, L, $R_B$ |
| 6 आबद्ध धरन-बिन्दु भार | $R_A = R_B = \frac{W}{2}$ | $\frac{W}{2}$ | $(\pm)\frac{WL}{8}$ | $\frac{WL^3}{192EI}$ | W, $R_A$, L, $R_B$ |
| 7 आबद्ध धरन-UDL | $R_A = R_B = \frac{wL}{2}$ | $\frac{wL}{2}$ | $\frac{(-)wL^2}{12}$ at $A$ or $B$, $\frac{(+)wL^2}{24}$ at mid-span | $\frac{WL^3}{384EI}$ | W, $R_A$, L, $R_B$ |
| 8 आबद्ध धरन-त्रिभुज भार | $R_A = R_B = \frac{W}{2}$ | $\frac{W}{2}$ | $\frac{(-)wL}{48}$ at $A$ or $B$, $\frac{(+)WL}{16}$ at $C$ | $1{\cdot}4\frac{WL^3}{384EI}$ | W, $R_A$, L, C, $R_B$ |
| 9 दो समान फाट धरन-UDL | $R_A = R_B = \frac{3}{8}wL$<br>$R_C = \frac{5}{4}wL + \frac{5}{8}wL$ | $\frac{5}{4}wL$ at $C$<br>$\frac{3}{8}wL$ at $A$ or $B$ | $(-)\frac{wL^2}{8}$ at $C$ (mid-support)<br>$(+)\frac{9}{128}wL^2$ at mid-spans | Calculate | W, $R_A$, L, L, $R_B$, $R_C$ |

civilguru.net

# परिशिष्ट – (D)

## उपयोगी परिवर्तन भाज्य (Conversion Factors)

### (1) लम्बाई (Length)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 इंच | = | 2·54 सेमी० | 1 सेमी० | = | 0·3937 इंच |
| 1 फुट | = | 0·3048 मी० | 1 मीटर | = | 3·281 फुट |
| 1 गज | = | 0·9144 मी० | | = | 1·0936 गज |
| 1 मील | = | 1·6093 किमी० | 1 किमी० | = | 0·6215 मील |
| 1 नाट (Knot) | = | 1·853 किमी० | 1 मिमी० | = | 1000 माइक्रोन |
| | | प्रति घण्टा (भूमि पर) | | | |

### (2) क्षेत्रफल (Areas)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 वर्ग इंच | = | 6·4516 वर्ग सेमी० | 1 वर्ग सेमी० | = | 0·1550 वर्ग इंच |
| 1 वर्ग फुट | = | 0·0929 वर्ग मी० | 1 वर्ग मी० | = | 10·764 वर्ग फुट |
| 1 वर्ग मील | = | 2·599 वर्ग किमी० | 1 हेक्टेयर | = | 100 × 100 वर्ग मी० |
| | | 258·90 हेक्टेयर | | = | 2·471 ऐकड |
| | = | 640 ऐकड | 1 वर्ग किमी० | = | 0·3861 वर्ग मील |
| 1 ऐकड | = | 0·4047 हेक्टेयर | | = | 247·1 ऐकड |

### (3) आयतन व निस्सरण (Volume and Discharge)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 घन इंच | = | 16·3871 घन सेमी० | 1 घन मी० | = | 35·315 घन फुट |
| 1 घन फुट | = | 0·02832 घन मी० | | = | 1·308 घन गज |
| 1 घन गज | = | 0·7646 घन मी० | 1 घन मी० | = | 1000 लीटर |
| 1 ऐकड फुट | = | 1233·6 घन मी० | 1 लीटर | = | 0·22 गैलन (इम्पीरियल) |
| | = | 0·123 हेक्टेयर मी० | | = | 0·03532 घन फुट |
| 1 गैलन (अंग्रेजी) | = | 4·546 लीटर | | = | 2·202 Pounds (जल) |
| 1 गैलन (अमेरिका) | = | 3·7853 लीटर | | = | 0·264178 गैलन (U.S.) |

### (4) भार (Weight)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 lb | = | 0·45359 केजी० | 1 केजी० | = | 2·2046 lb |
| 1 टन | = | 1·01605 टनी | 1 टनी | = | 0·98421 टन = 26·79 टन |



### (5) दाब (Pressure)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 Lb/Sq inch | = | 0·0703 kg/cm$^2$ | 1 kg/cm$^2$ | = | 14·22 Lb/sq. inch |
| 1 Lb/Sq Foot | = | 4·882 kg/m$^2$ | 1 kg(f) | = | 9·81 Newton = 2·205 Lb(f) |
| 1 Tonne | = | 1000 kg = 0·984 Ton | 1 kg/m$^2$ | = | 0·205 Lb/ft$^2$ |
| 1 Pa (Pascal) | = | 1 N/m$^2$ | 1 kg/Sq cm | = | 10 मी० जल-हैड |
| | | | 1 Newton | = | 0·2248 Lb(f) |

### (6) सामान्य

| | MKS से | SI में | गुणांक |
|---|---|---|---|
| (i) लम्बाई (L) | cm | mm | 100 |
| | meter | mm | 1000 |
| (ii) क्षेत्रफल (L × L) | cm$^2$ | mm$^2$ | 100 |
| (iii) परिच्छेद मापांक (Z) | cm$^3$ | mm$^3$ | 1000 |
| (iv) जड़त्व आघूर्ण (I) | cm$^4$ | mm$^4$ | $10^4$ |
| (v) बल/भार | kg | N | 10 |
| | kg | kN | $10^2$ |
| (vi) आघूर्ण (BM) | kg m | Nm | 10 |
| | kg m | N mm | $10^4$ |
| | kg m | kNm | $10^{-2}$ |
| (vii) प्रतिबल/दाब | kg/cm$^2$ | N/mm$^2$ | 0·10 |
| | kg/cm$^2$ | kN/m$^2$ | $10^2$ |
| | kg/m$^2$ | mN/m$^2$ | $10^{-2}$ |
| | 1 N/m$^2$ | = 1 Pascal | |
| | 1 N/mm$^2$ | = 1 M Pa | |
| | 1 kg(f) | = 10 N | |

(Blaise Pascal – a French Mathematician — 1623–1662)

civilguru.net

# परिशिष्ट – (E)

**(I) इकाईयों के लेटिन/ग्रीक उपसर्ग (Prefixes Used with Units)—**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Tera | T | $10^{12}$ | Deci | d | $10^{-1}$ |
| Giga | G | $10^{9}$ | Centi | c | $10^{-2}$ |
| Mega | M | $10^{6}$ | Milli | m | $10^{-3}$ |
| Kilo | k | $10^{3}$ | Micro | μ | $10^{-6}$ |
| Hecto | h | $10^{26}$ | Nano | n | $10^{-9}$ |
| Deka | da | $10^{1}$ | Pico | P | $10^{-12}$ |

**(II) मुख्य यूनानी वर्णमाला (Greek Alphabet)—**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| α | Alpha | β | Beta | δ,Δ | Delta |
| ε | Espilon | η | Eta | γ | Gamma |
| κ | Kappa | λ | Lambda | μ | mu |
| ω | Omega | π | Pi | φ | Phi |
| σ,Σ | Sigma | τ | Tau | θ | Theta |
| *i* | Iota | ρ | Rho | | |

**(III) बहुभुजा (Polygons)—**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | भुजाएँ | Triangle | 8 | भुजाएँ | Octagon |
| 4 | भुजाएँ | Tetragon | 10 | भुजाएँ | Decogon |
| 5 | भुजाएँ | Pentagon | 12 | भुजाएँ | Dodecagon |
| 6 | भुजाएँ | Mexagon | | | |



# परिशिष्ट – F

## महत्वपूर्ण त्रिकोणमिति मान (Trigonometry Values)

**(1) कोण माप—**

1 डिग्री (Radian) = 57° 17′ 44·8″

1 डिग्री (Degree) = 0·017453 रेडियन

$90° = \frac{\pi}{2}$ रेडियन $\quad 270° = \frac{3}{2}\pi$ रेडियन

$180° = \pi$ रेडियन $\quad 360° = 2\pi$ रेडियन

**(2)**

$\sin\theta = \frac{a}{c}$ $\quad \operatorname{cosec}\theta = \frac{c}{a}$

$\cos\theta = \frac{b}{c}$ $\quad \sec\theta = \frac{c}{b}$

$\tan\theta = \frac{a}{b}$ $\quad \cot\theta = \frac{b}{a}$

**(3)**

| | 0° | 30° | 45° | 60° | 90° |
|---|---|---|---|---|---|
| sin | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | 1 |
| cos | 1 | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 |
| tan | 0 | $\frac{1}{\sqrt{3}}$ | 1 | $\sqrt{3}$ | $\pm\infty$ |

**(4)** $\sqrt{2} = 1{\cdot}4142$ $\quad \sqrt{3} = 1{\cdot}7321$

$\pi = 3{\cdot}14286$ $\quad \pi^2 = 9{\cdot}8776$ $\quad \sqrt{\pi} = 1{\cdot}7728$ $\quad \frac{1}{\pi} = 0{\cdot}3182$

**(5) द्विघातीय समीकरण (Quadratic Equation)—**

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$\therefore \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

civilguru.net

# परिशिष्ट – G

## भवनी पदार्थों के इकाई भार (Unit Weights of Building Materials)

| | | |
|---|---|---|
| **1. पत्थर** (Stones)— | | |
| ग्रेनाइट (Granite) | 2640–2800 | kg/cu. m. |
| कंकर (Kankar) | 1360–1470 | " " |
| चूना पत्थर (Lime Stome) | 2400–2640 | " " |
| संगमरमर (Marble) | 2560–2720 | " " |
| बलुआ पत्थर (Sand Stone) | 2240–2400 | " " |
| स्लेट (Slate) | 2800 | " " |
| बैसाल्ट (Basalt) | 2850–2960 | " " |
| नाईस (Gneiss) | 2400–2600 | " " |
| जिप्सम (Gypsum) | 2240–2400 | " " |
| पत्थर की गिट्टी (Stone Ballast) | 1600–1920 | " " |
| पत्थर की चिनाई (Stone Masonry) | 2400–2640 | " " |
| **2. ईंट** (Bricks)— | | |
| पकी ईंट (Brunt Bricks) | 1600–1920 | kg/cu. m. |
| ईंट की गिट्टी (Brick Ballast) | 1200 | " " |
| सुर्खी (Surkhi) | 1010 | " " |
| ईंट चिनाई (Brick Masonry) | 1920 | " " |
| **3. बालू** (Sand)— | | |
| बालू गड्ढा (Pit Sand) | 1600 | kg/cu.m. |
| बालू नदी (River Sand) | 1840 | " " |
| बालू गीली (Wet Sand) | 1760–2000 | " " |
| शिंगल (Sningle) (3 mm to 38 mm) | 1460 | " " |
| **4. चूना** (Lime)— | | |
| पत्थर चूना (Stone Lime) | 1280–1440 | kg/cu. m. |
| कंकर चूना (Kankar Lime) | 1100 | " " |
| बुझा हुआ चूना (Slaked Lime) | 580–640 | " " |
| **5. कंक्रीट** (Concretes)— | | |
| सीमेंट (Cement) | 1440 | kg/cu. m |
| सादा सीमेंट कंक्रीट (Plain Cement Concrete) | 2400 | " " |



| | | |
|---|---|---|
| प्रबलित सीमेंट कंक्रीट (R.C. Concrete) | | |
| 1% प्रबलन इस्पात सहित | 2500 | kg/cu. m. |
| 2% प्रबलन इस्पात सहित | 2580 | " " |
| चूना कंक्रीट | 1920 | " " |
| **6. मसाले** (Mortars)— | | |
| चूना मसाला (Lime Mortar) | 1600–1840 | kg/cm. |
| सीमेंट मसाला (Cement (Mortar) | 2080 | " " |
| **7. प्रकाष्ठ या टिम्बर** (Timber)— | | |
| चीर या चीड़ (Chir) | 575 | kg/cu. m. |
| देवदार (Deodar) | 545 | " " |
| आम (Mango) | 690 | " " |
| साल (Sal) | 865 | " " |
| टीक या सागौन (Teak) | 640 | " " |
| कैल (Kail) | 515 | " " |
| शीशम (Shisham) | 800 | " " |
| बाँस (Bamboo) | 370 | " " |
| (उपरोक्त भार 12% जलांश पर है) | | |
| प्लाई वुड (Ply Wood), 1 mm मोटी | 0·68 | kg/$m^2$ |
| **8. धातु** (Metals)— | | |
| ताँबा (Copper) | 8840–8940 | kg/cu. m. |
| लोहा (Iron) | 7580–7720 | " " |
| इस्पात (Steel) | 7850 | " " |
| सीसा (Lead) | 11340 | " " |
| जस्ता (Zinc) | 7190 | " " |
| एल्युमीनियम (Aluminium) | 2640–2800 | " " |
| पारा (Mercury) | 13600 | " " |
| निकल (Nickel) | 8280–8890 | " " |
| टिन (Tin) | 7330 | " " |
| पीतल (Brass) | 8550 | " " |
| गन मेटल (Gum metal) | 8780 | " " |

civilguru.net

| | | |
|---|---|---|
| **9. पेन्ट** (Paints)— | | |
| तैलीय पेन्ट (Oil Paint) | 960 | kg/cu. m. |
| वार्निश (Varnish) | 960 | " " |
| अलसी का तेल (Linseed Oil) | 865 | " " |
| तारपीन का तेल (Turpentin Oil) | 930 | " " |
| **10. ईंधन** (Fuels)— | | |
| लकड़ी का कोयला (Char Coal) | 320–480 | kg/cu. m. |
| पत्थरी कोयला (Coke) | 880–1120 | " " |
| डीजल (Diesel Oil) | 960 | " " |
| पैट्रोल (Petrol) | 690 | " " |
| मिट्टी का तेल (Kerosene) | 820 | " " |
| **11. मृदा** (Soils)— | | |
| साधारण मृदा (Earth) | 1600 | kg/cu. m. |
| मृत्तिका (Clay) | 1040 | " " |
| ग्रेवल (Gravel)–ढीली | 1600 | " " |
| ग्रेवल-कटी हुयी | 1920–2160 | " " |
| सिल्ट (Silt) | 1760-1920 | " " |
| सिन्डर (Cinder) | 700–880 | " " |
| **12. सामान्य** (General)— | | |
| एस्बेस्टस (Asbestos) | 960 | kg/cu. m. |
| एस्बेस्टस (Asbestos) | | |
| सीमेंट चादरें 6 mm मोटी | 12·0–13·30 | kg/m$^2$ |
| बिटूमन (Bitumen) | 1040 | kg/cu. m. |
| एस्फाल्ट (Asphalt) | 1110 | " " |
| काँच (Glass) – 2 mm मोटा | 5 | kg/m$^2$ |
| काँच (Glass) – 2·5 mm मोटा | 6·3 | " " |
| काँच (Glass) – 3·0 mm मोटा | 7·5 | " " |
| काँच (Glass) – 4 mm मोटा | 10 | " " |
| काँच (Glass) – 5 mm मोटा | 12·5 | " " |
| कोलतार (Coal Tar) | 1010 | kg/cu. m. |
| पानी (Water) | 1000 | " " |
| फिटकरी (Alum) | 530 | " " |



| | | |
|---|---|---|
| कार्क (Cork) | 240 | kg/cu. m. |
| प्लास्टिक (Plastic) | 1250–1380 | " " |
| रबड़ (Rubber) | 960 | " " |
| लहरिया जस्ती चादरें (G.I. Sheets) | 15 | kg/m$^2$ |
| **13. छतें** (Roofing)— | | |
| देसी टाइल छत, बतों, सहित | 70 | kg/m$^2$ |
| इलाहाबादी टाइल छब बतों सहित | 85 | " " |
| मंगलोर टाइल छत बतों सहित | 65 | " " |
| स्लेट (25 mm मोटाई) "" | 72 | " " |
| एस्बेस्टस सीमेन्ट चादर (6 mm) | 12–13·5 | " " |
| जी० आई० चादर (22 गेज) (0·8 mm) | 6·88 | kg/m$^2$ |

civilguru.net

# परिशिष्ट – H

## मृदाओं की सुरक्षित धारण क्षमता (Safe Bearing Capacity of Soils)

| Type of Soil | Safe Bearing Capacity ($kN/m^2$) | Remarks |
|---|---|---|
| **(a) Rocks** | | |
| (1) Rocks (hard) without lamination and defects *e.g.* grarite, trap and diorite | 3240 | — |
| (2) Laminated rocks. *e.g.* stone and lime stone in sound condition. | 1620 | — |
| (3) Residual deposits of shattered and broken bed rock and hard shale, cemented material. | 880 | — |
| (4) Soft Rock | 440 | — |
| **(b) Non cohesive soils** | | |
| (5) Gravel, sand and gravel, compact and offering high resistance to penetration when excavated by tools | 440 | See Note 2 |
| (6) Coarse sand compact and dry | 440 | A |
| (7) Medium sand compact and dry | 245 | — |
| (8) Fine sand, silt (dry lumps easily pulvarised by fingers) | 150 | — |
| (9) Loose gravel, or sand gravel mixture, loose course to medium sand, dry | 245 | See Note 2 |
| (10) Fine sand, Loose and dry | 100 | — |
| **(c) Cohesive Soils** | | |
| (11) Soft shale, hard or stiff clay in deep beddry | 440 | B |
| (12) Medium clay, readily indented with a thumb nail | 245 | — |
| (13) Moist clay and sand clay mixture which can be indented with strong thumb pressure. | 150 | — |
| (14) Soft clay indented with moderate tuumb pressure | 100 | — |
| (15) Very soft clay which can be penetrated several centimeters with the thumbs. | 50 | — |

**Note.** 1. Value listed in the table are from shear consideration only.

2. Values are very much rough for the following reasons.

(a) Effect of characteristics of foundation (*i.e.* effect of depth, width, shape, roughness etc.) has not been considered.

(b) Effect of range of soil properties (*i.e.* Angle of frictional resistance, cohesion, water table, density etc.) has not been considered.

(c) Effect of eccentricity and indication of loads has not considered.

(A) Dry means the ground water level is at a depth not less than the width of the foundation below the base of the foundation.

(B) This group is susceptible to long term consolidation settlement.



# परिशिष्ट – I

## अभिकल्प आँकड़े व मुख्य सूत्र (Design Data and Formulae)

### (I) संरचनात्मक इस्पात (Structural Steel)

(1) **अनुमत प्रतिबल**

(i) घनत्व (Density) = 7850 $kg/m^3$ (78·5 $kN/m^3$)

(ii) यंग मापांक (Young Modulus) = $2 \times 10^5$ $N/mm^2$
$= 2 \times 10^5$ MPa

(iii) पराभव प्रतिबल (Yield shess), $f_y = 250$ $N/mm^2$ (Tension) ($\sigma_{st}$) = 0·6
$f_y = 150$ $N/mm^2$

(iv) अक्षीय तनन (Tension) ($\sigma_{st}$) = $0{\cdot}6 f_y = 150$ $N/mm^2$

बंकन (Bending) ($\sigma_{bc}$) = $0{\cdot}66 f_y = 165$ $N/mm^2$

अपरूपण (Shear)—

अधिकतम ($\tau_{vm}$) = $0{\cdot}45 f_y = 112{\cdot}5$ $N/mm^2$

औसत ($\tau_{vm}$) = $0{\cdot}40 f_y = 100$ $N/mm^2$

धारण (Bearing) ($\tau_p$) = $0{\cdot}75 f_y = 187{\cdot}5$ $N/mm^2$

अक्षीय सम्पीडन (Compression) ($\sigma_{sc}$) Table 2.6 देखें।

(नोट : 1 $N/mm^2$ = 1 MPa)

(2) (a) **जड़त्व आघूर्ण** (Moment of Inertia) :

$$I_{aa} = I_{xx} + Ad^2$$

यहाँ $I_{xx}$ = खण्ड का गुरुत्व केन्द्रीय अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण,

$A$ = खण्ड का क्षेत्रफल,

$d$ = अक्षों के बीच लम्बवत दूरी

**(b) परिभ्रमण त्रिज्या** (Radius of Gyration) :

$$r_{xx} = \sqrt{\frac{I_{xx}}{A}}$$

(3) (a) **बंकन प्रतिबल समीकरण** :

$$\frac{M}{I} = \frac{f}{y} = \frac{E}{R}$$

यहाँ $M$ = धरन खण्ड का प्रतिरोध आघूर्ण,

$I$ = उदासीन अक्ष पर जड़त्व आघूर्ण,

$f$ = उदासीन अक्ष से $Y$ दूरी पर देशो मे उत्पन्न प्रतिबल,

$y$ = उदासीन अक्ष से उक्त रेशे की दूरी,

$E$ = यंग मापांक (प्रत्यास्थता मापांक),

$R$ = वक्रता त्रिज्या (Radius of Curvature)।

civilguru.net

(ii) रिवेट का सकल व्यास (Gross Dia)—

(a) 25 mm सामान्य व्यास तक = सामान्य व्यास + 1·5 mm

(b) 25 mm सामान्य व्यास से अधिक = सामान्य व्यास + 2 mm

(c) रिवेटों की संख्या $= \frac{F}{R} = \frac{\text{जोड़ पर आने वाला भार}}{\text{रिवेट सामर्थ्य}}$

(d) रिवेट मान (Rivet value)—एक रिवेट की अपरूपण या धारण सामर्थ्य, जो भी अधिक हो।

(7) **रिवेट पिच** (Pitch) :

(i) न्यूनतम पिच = 2·5 $d$, जहाँ $d$ रिवेट का सामान्य व्यास है।

(ii) अधिकतम पिच = 32 $t$ या 300 mm, जो भी कम है, से अधिक नहीं, यहाँ $t$ बाहरी पतली प्लेट की मोटाई है।

(iii) प्रतिबल की दिशा में—

(a) तनन उपांगो के लिये रिवेट पिच = 16$t$ या 200 mm, जो भी कम है।

(b) सम्पीडन उपांगों के लिये पिच = 12$t$ या 200 mm, जो भी कम है।

(iv) रिवेट छिद्रों की किनारा दूरियाँ (Edge Distances)—तालिका 3.6 देखें।

(8) **कवर प्लेट की मोटाई**—

(i) इकहरी कवर प्लेट की मोटाई = 1·25 × $t$

(ii) दोहरी कवर प्लेटों में, प्रत्येक की मोटाई $= \frac{5}{8t}$ यहाँ $t$ = मुख्य प्लेट की मोटाई, mm में है।

(9) **जोड़ सामर्थ्य**—

(i) तनन सामर्थ्य, $P_t = (p - d)\, t\, \sigma_{at}$

(ii) अपरूपण सामर्थ्य, $P_s = \frac{\pi d^2}{4} \times \tau_v$ —एक तल कर्तन (Single shear)

$$P_s = \left(\frac{\pi d^2}{4} \times \tau_V\right) \times 2 \text{ —दो-तल कर्तन (Double shear)}$$

(iii) धारण सामर्थ्य, $P_s = (d \times t)\, \sigma_p$ अथवा $(d \times 2\, t_1)\, \sigma_p$, जो भी कम है।

यहाँ $d$ = रिवेट का सकल (Gross) व्यास

$p$ = पिच

$t$ = मुख्य प्लेट की मोटाई

$t_1$ = कवर (cover) प्लेट की मोटाई

$\sigma_{at}$, $\sigma_{\tau v}$, $\sigma_p$ क्रमश: तनन, अपरूपण व धारण अनुज्ञेय प्रतिबल हैं। जोड़ की सामर्थ्य (i), (ii) व (iii) में, जो सब से कम है, ली जायेगी।

(10) **जोड़ की दक्षता**, $\eta = \frac{\text{जोड़ की वास्तविक सामर्थ्य}}{\text{ठोस प्लेट की सामर्थ्य}} \times 100\%$

ठोस प्लेट की सामर्थ्य, $P = b \times t \times \sigma_{at}$। यहाँ $b$ प्लेट की चौड़ाई व $t$ मोटाई है।

civilguru.net

**(b) परिच्छेद मापांक** (Modulus of section) :

$$Z = \frac{I}{y}, \quad M = fZ \quad \text{अथवा} \quad Z = \frac{M}{f}$$

**(4) बेल्लित इस्पातीय खण्ड** (Rolled Steel Sections) :

| | | |
|---|---|---|
| (a) कोणी खण्ड (Angles)— | ISBA (Equal Angle) | समभुज कोणी |
| | ISBA (Unequal Angle) | असमभुज कोणी |
| | ISBA (Bulb Angle) | घुण्डीदार कोणी |
| (b) T-खण्ड (T-sections)— | ISNT (Normal T-Bar) | सामान्य टी |
| | ISLT (Light T-Bar) | हल्की टी |
| | ISJT (Junior T-Bar) | लघु टी |
| | ISSTC (Long Legged T-Bar) | लम्बी टाँग टी |
| | ISHT (Wide Flange T-Bar) | चौड़ी फ्लेज टी |
| (c) चैनल (Channels)— | ISJC (Junior channel) | लघु चैनल |
| | ISLC (Light Channel) | हल्की चैनल |
| | ISMC (Mediunm channel) | मध्यम चैनल |
| | ISSC (Special channel) | विशेष चैनल |
| (d) धरन (Beams)— | ISJB (Junior Beam) | लघु धरन |
| | ISLB (Light Beans) | हल्की धरन |
| | ISMB (Medium Beam) | मध्यम धरन |
| | ISWB (Wide Beam) | चौड़ी फ्लैंज धरन |
| | ISHB (Heavy Beam) | भारी धरन |
| (e) छड़ (Bars) | ISRO (Round Bar) | गोल छड़ |
| | ISSQ (Square Bar) | चाकौर छड़ |
| (f) नलिका (Tubes)— | IS Tubes | नलिकाएं |

## (2) रिवेट व वेल्ड (Rivet and Weld)

| **(5) रिवटों में अनुज्ञेय प्रतिबल** | **(शॉप रिवेट)** | **(स्थल रिवेट)** |
|---|---|---|
| (i) अक्षीय तनन $\sigma_{at}$ (ft) | 100 MPa | 90 MPa |
| (ii) अपरूपण $\tau_v$ (fs) | 100 MPa | 90 MPa |
| (iii) धारण $\sigma_p$ (fb) | 300 MPa | 270 MPa |

(प्रतिबल 1 N/mm$^2$ = 1 MPa)

**(6) (i) रिवेट का व्यास,**

$\phi = 6{\cdot}05\sqrt{t}$ . यहाँ $t$ = प्लेट मोटाई, mm में,

$\phi$ = रिवेट व्यास, mm में.



(ii) रिवेट का सकल व्यास (Gross Dia)—

(a) 25 mm सामान्य व्यास तक = सामान्य व्यास + 1·5 mm

(b) 25 mm सामान्य व्यास से अधिक = सामान्य व्यास + 2 mm

(c) रिवेटों की संख्या = $\frac{F}{R} = \frac{\text{जोड़ पर आने वाला भार}}{\text{रिवेट-सामर्थ्य}}$

(d) रिवेट मान (Rivet value)—एक रिवेट की अपरूपण या धारण सामर्थ्य, जो भी अधिक हो।

**(7) रिवेट पिच** (Pitch) :

(i) न्यूनतम पिच = 2·5 $d$, जहाँ $d$ रिवेट का सामान्य व्यास है।

(ii) अधिकतम पिच = 32 $t$ या 300 mm, जो भी कम है, से अधिक नहीं, यहाँ $t$ बाहरी पतली प्लेट की मोटाई है।

(iii) प्रतिबल की दिशा में—

(a) तनन उपांगो के लिये रिवेट पिच = 16$t$ या 200 mm, जो भी कम है।

(b) सम्पीडन उपांगो के लिये पिच = 12$t$ या 200 mm, जो भी कम है।

(iv) रिवेट छिद्रो की किनारा दूरियाँ (Edge Distances)—तालिका 3.6 देखें।

**(8) कवर प्लेट की मोटाई—**

(i) इकहरी कवर प्लेट की मोटाई = 1·25 × $t$

(ii) दोहरी कवर प्लेटों में, प्रत्येक की मोटाई = $\frac{5}{8t}$ यहाँ $t$ = मुख्य प्लेट की मोटाई, mm में है।

**(9) जोड़ सामर्थ्य—**

(i) तनन सामर्थ्य, $P_t = (p - d)\, t\, \sigma_{at}$

(ii) अपरूपण सामर्थ्य, $P_s = \frac{\pi d^2}{4} \times \tau_v$ —एक तल कर्तन (Single shear)

$$P_s = \left(\frac{\pi d^2}{4} \times \tau_V\right) \times 2 \text{ —दो-तल कर्तन (Double shear)}$$

(iii) धारण सामर्थ्य, $P_s = (d \times t)\, \sigma_p$ अथवा $(d \times 2\, t_1)\, \sigma_p$, जो भी कम है।

यहाँ $d$ = रिवेट का सकल (Gross) व्यास

$p$ = पिच

$t$ = मुख्य प्लेट की मोटाई

$t_1$ = कवर (cover) प्लेट की मोटाई

$\sigma_{at}, \sigma_{\tau_v}, \sigma_p$ क्रमशः तनन, अपरूपण व धारण अनुज्ञेय प्रतिबल हैं। जोड़ की सामर्थ्य (i), (ii) व (iii) में, जो सब से कम है, ली जायेगी।

**(10) जोड़ की दक्षता,** $\eta = \frac{\text{जोड़ की वास्तविक सामर्थ्य}}{\text{ठोस प्लेट की सामर्थ्य}} \times 100\%$

ठोस प्लेट की सामर्थ्य, $P = b \times t \times \sigma_{at}$ । यहाँ $b$ प्लेट की चौड़ाई व $t$ मोटाई है।

civilguru.net

**(11) फिलेट वेल्ड (Fillet weld)—**

(i) न्यूनतम माप = 10 mm – 20 mm = 5 mm

(ii) अधिकतम माप, $S$ = प्लेट की मोटाई – 1·5 mm, वर्गाकार किनारे के लिये।

$S$ = 3/4 प्लेट की मोटाई, गोलाकार किनारे के लिये।

(iii) प्रभावी कंठ मोटाई, $t = kS$

यहाँ $S$ = वेल्ड को माप (वेल्ड की न्यूनतम टाँग लम्बाई)

$k$ = स्थिरांक (तालिका 4.2 देखे) (सामान्यत: 0·70)।

(iv) प्रभावी लम्बाई = वास्तविक लम्बाई – 2 × वेल्ड का माप

अर्थात $l = L - 2s$

(v) फिलेट वेल्ड की सामर्थ्य, $P = t \times l \times \tau_v$ (N में)

जहाँ $t$ = प्रभावी कंठ मोटाई = $kS$ (mm में)

$l$ = प्रभावी लम्बाई (mm में)

$\tau_v$ = अनुमत अपरूपण प्रतिबल (यह 110 N/ mm$^2$ (110 MPa) लिया जाता है) (क्षेत्र वेल्ड–Field weld के लिये यह प्रतिबल 20% कम पर दिये जाते हैं)।

(vi) चढ़ाव (lap) लम्बाई, $L \leq 5$ अर्थात पतली प्लेट ($t$) के पाँच गुना से कम नहीं होगी।

(vii) पार्श्व फिलेट वेल्ड—

(a) $L \leq d$

(b) $d > 16t$

(c) $L_1 < 2S$

यहाँ $L$ = पार्श्व फिलेट लम्बाई

$L_1$ = सिरा वापसी लम्बाई

$d$ = दो फिलेट के मध्य लम्बवत दूरी

$t$ = पतली प्लेट की मोटाई

**(12) बट बोल्ड (Butt weld)—**

(i) प्रभावी लम्बाई = वास्तविक लम्बाई

(ii) प्रभावी कंठ मोटाई—

(a) पूरी गहरायी तक घुसी पूरक धातु = प्लेट की मोटाई

(b) जब पूरी गहरायी तक पूरक धातु न गयी हो = 5/8 प्लेट की मोटाई

(iii) बट वेल्ड की सामर्थ्य, $P = t \times l \times \sigma t$ (N में)

यहाँ $t$ = प्रभावी कंठ मोटाई (mm में)

$l$ = प्रभावी वेल्ड लम्बाई (mm में)

$\sigma t$ = अनुज्ञेय तनन प्रतिबल (N/mm$^2$) (142 N/mm$^2$ लें)

### (3) तनन न सम्पीडन उपांग (Tension and Compression Members)

**(13) तनन उपांग—**

(i) तनन उपांग की सामर्थ्य = खण्ड का शुद्ध क्षेत्रफल × अनुज्ञेय तनन प्रतिबल

अथवा, $P = A_{net} \times \sigma_{at}$

(a) शुद्ध (Net) क्षेत्रफल = कुल क्षेत्र – रिवेट छिद्रों का क्षेत्रफल

अथवा शुद्ध (Net) क्षेत्रफल = $(B - nd) \times t$



यहाँ $B$ = पत्ती की चौड़ाई

$nd$ = रिवेट संख्या × रिवेट का सकल व्यास

$t$ = पत्ती की मोटाई

(ii) विषम रिवेट पद्धति (Zigzag Riveting)—

प्रभावी चौड़ाई, $B_e = \left[(B - nd) + n_1\left[\frac{P_1^2}{4g}\right]\right]$

यहाँ $B_e$ = प्रभावी चौड़ाई

$B$ = पत्ती की चौड़ाई

$n$ = काट-रेखा पर स्थित रिवेटों की संख्या

$d$ = रिवेट का सकल व्यास

$n_1$ = टेढ़ी-मेढ़ी काट-रेखा पर गेज दूरी

$g$ = गेज दूरी

$P_1$ = विषम पिच

(iii) एंगल की गसेट प्लेट से एक टाँग सम्बद्ध—

शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल = $A_1 + A_2 k$

जहाँ $A_1$ = जुड़ी टाँग का प्रभावी काट-क्षेत्रफल = $\left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right) \times t$

$A_2$ = अजुड़ी टाँग का कुल काट-क्षेत्रफल = $\left(L_2 - \frac{t}{2}\right) \times t$

$K = \frac{3A_1}{3A_1 + A_2}$

(iv) पीठ-से पीठ जुड़े दो कोणी-खण्ड अथवा टी-खण्ड गसेट प्लेट से सम्बद्ध—

शुद्ध प्रभावी क्षेत्रफल = $A_1 + A_2 K$

यहाँ $K = \frac{5A_1}{5A_1 + A_2}$

जहाँ $A_1$ = दोनो एंगल की जुड़ी टाँगो का क्षेत्रफल = $2\left(L_1 - d - \frac{t}{2}\right) \times t$

$A_2$ = दोनो एंगल की लटकती टागो का क्षेत्रफल = $2\left(L_2 - \frac{t}{2}\right) \times t$

**(14) सम्पीडन उपांग**

(i) सम्पीडन उपांग की प्रभावी लम्बाई—

(a) दोनों सिरे स्थिति व घूर्णन प्रतिरोधित, $l$ = 0·65 L

(b) दोनो सिरे स्थिति मे आबद्ध परन्तु घूर्णन-मुक्त $l$ = L

(c) एक सिरा स्थिति व घूर्णन मे आबद्ध, परन्तु दूसरा स्थिति व घूर्णन मे मुक्त, $l$ = 2 L

civilguru.net

(ii) तनुता अनुपात (Slenderness Ratio) = $\frac{l}{r}$

यहाँ $l$ = प्रभावी लम्बाई

$r$ = न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या (Least Radius of gyration) = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

(iii) अनुज्ञेय अक्षीय सम्पीडन प्रतिबल,

$$\sigma_{ac} = 0{\cdot}6 \times \frac{(f_{cc} \times f_y)}{\left[(f_{cc})^n + (f_y)^n\right]^{1/n}}$$

यहाँ $f_{cc}$ = सम्पीडन मे प्रत्यास्थ क्रान्तिक प्रतिबल = $\frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$

$E$ = इस्पात का यंग मापांक ($2 \times 10^5$ N/mm$^2$) (अथवा MPa)

$\lambda$ = तनुता अनुपात ($l / r$)

$f_y$ = इस्पात के लिये पराभव प्रतिबल (N/mm$^2$)

$n$ = 1·4 (सामान्य मान)

अथवा $\sigma \propto c = 0{\cdot}6 f_y$, जो भी न्यूनतम हो।

अनुज्ञेय अक्षीय सम्पीडन प्रतिबल तालिका 6.3 से ले।

### (4) इस्पातीय धरनें (Steel Beams)

**(15) धरनें**

(i) बंकन प्रतिबल, $f_{max} = \frac{M}{Z}$

यहाँ $M$ = अधिकतम बंकन आघूर्ण

$Z$ = परिच्छेद मापांक (Section Modulus)

अनुज्ञेय प्रतिबल, $\sigma_{bc}$ or $\sigma_{bt} = 0{\cdot}66 f_y$ अथवा 165 N/mm$^2$

यहाँ $f_y$ = पराभव प्रतिबल (yield stress) (250 N/mm$^2$)

(ii) अनुज्ञेय अधिकतम अपरूपण प्रतिबल,

$\tau_{vm} = 0{\cdot}45 f_y$ अथवा 112·5 N/mm$^2$

(iii) I-खण्ड का औसत अपरूपण प्रतिबल, $t_v = \frac{V}{D \times t_w}$

यहाँ $D$ = धरन की कुल गहरायी (mm में)

$t_w$ = वेब की मोटाई (mm)

$V$ = अधिकतम अपरूपण बल (N)

(a) अनुज्ञेय औसत अपरूपण प्रतिबल, $\tau_{va} = 0{\cdot}4 f_y$ अथवा 100 N/mm$^2$

(b) अनुज्ञेय धारण प्रतिबल = $0{\cdot}75 f_y$ अथवा 187·5 N/mm$^2$



(iv) अधिकतम विक्षेप, $\delta = \frac{\text{प्रभावी पाट}}{325}$

UDL के लिये अधिकतम विक्षेप, $\delta = \frac{5wl^3}{384EI}$

### (5) स्तम्भ आधार (Column Bases)

**(16)** आधार प्लेट की मोटाई, $t = \sqrt{\frac{3w}{\sigma_{bs}}\left(A^2 - \frac{B^2}{4}\right)}$ (mm में)

यहाँ $w$ = प्लेट की तली पर कार्यरत भार की तीव्रता (N/mm$^2$)

$\sigma_{bs}$ = इस्पतीय प्लेट मे अनुज्ञेय बकंन प्रतिबल (185 N/mm$^2$)

$A$ = स्तम्भ की फलक से प्लेट के बड़े प्रक्षेप की लम्बाई (mm मे)

$B$ = स्तम्भ की फलक से प्लेट के लघु प्रक्षेप की लम्बाई (mm में)

**(17)** जब ठोस गोलाकार स्तम्भ के लिये वर्गाकार आधार प्लेट लगानी हो,

प्लेट की मोटाई, $t = \sqrt{\frac{9W}{16\sigma_{bs}} \times \frac{D}{(D-d)}}$

यहाँ $W$ = स्तम्भ पर कार्यरत कुल अक्षीय भार (kN में)

$D$ = आधार प्लेट की भुजा का माप (mm में)

$d$ = स्तम्भ के न्यूनीकृत सिरे का व्यास (mm मे)

$\sigma_{bs}$ = 185 N/mm$^2$ (अनुज्ञेय बंकन प्रतिबल)

**(18)** जब गसेट-आधार लगाना है—

$$t = \frac{\sqrt{3wl^2}}{\sigma_{bs}} \text{ (mm मे)}$$

यहाँ $t$ = आधार प्लेट $t$ + फ्लैंज एंग्ल की सम्मिलित मोटाई

$w$ = आधार प्लनेट पर दाब-तीव्रता (N/mm$^2$)

### (6) इस्पातीय छत कैंचियाँ (Steel Roof Trusses)

**(19) इस्पातीय कैंची—**

(i) कैंची का ढठान, $\tan\theta = \frac{\text{उठान}}{\text{आधा पाट}}$

(ii) कैंची का स्वयम का भार = 10 kg/m$^2$ से 20 kg/m$^2$ प्रतिवर्ग मी० आवरित क्षेत्रफल (Covered Plan Area)

(iii) छतों पर चल भार —10° तक ढालू छते = 75 kg/m$^2$ प्लान क्षेत्रफल पर

15° की ढाल पर = 70 kg/m$^2$ प्लान क्षेत्रफल पर

20° की ढाल पर = 65 kg/m$^2$ प्लान क्षेत्रफल पर

26°–34° की ढाल पर = 52 kg/m$^2$ प्लान क्षेत्रफल पर

(iv) पर्लिन के लिये अधिकतम बंकन प्रतिबल, $f_{max} = \left[\frac{M_{xx} \cdot y}{I_{xx}} + \frac{M_{yy} \cdot x}{I_{yy}}\right]$

civilguroo.net

## (7) चिनाई संरचनायें (Masonry Structures)

**(A) मृदा दाब (Earth Pressure) —**

**(20)** क्षैतिज दाब तीव्रता, $P_H = wH\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)$, कुल दाब $P = \frac{wH^2}{2}\left[\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right]$

जहाँ $w$ = मृदा का घनत्व (kN/m$^3$)

$H$ = दीवार की ऊँचाई

$\phi$ = मृदा का विकास कोण (Angle of Repose)

**(21)** समलम्बाकार दीवार का भार $W = \left(\frac{a+b}{2}\right) \times H \times 1 \times \rho$

जहाँ $\rho$ = दीवार चिनाई का घनत्व

**(22)** समलम्बाकार खण्ड का स्वयम भार की क्रिया रेखा की मृदा फलक से दूरी,

$$\bar{x} = \frac{a^2+ab+b^2}{3(a+b)}$$

**(23)** परिणामी $R$ की मृदा फलक से दूरी,

$$z = \bar{x} + \frac{P}{W} \times \frac{H}{3}$$

यहाँ $x$ = स्वयम भार (W) की क्रिया रेखा की दूरी,

$P$ = मृदा दाब (दीवार पर),

$W$ = दीवार की स्वयम् का भार (kN),

$H$ = दीवार की ऊँचाई।

**(24)** उत्केन्द्रता, $e = \left(Z - \frac{b}{2}\right)$

यहाँ $b$ = दीवार की तली पर चौड़ाई

**(25)** आधार पर परिणामी प्रतिबल (Resultant Stress)—

$$f = f_d \pm f_b$$
$$= \frac{W}{A} \pm \frac{M}{Z}$$
$$= \frac{W}{l \times b} \pm \frac{6We}{b^2}$$
$$= \frac{W}{b}\left[1 \pm \frac{6e}{b}\right]$$

चिनाई मे तनन प्रतिबल उत्पन्न न हो, $\left(1 \pm \frac{6e}{b}\right)$ का मान +ve होना चाहिये,

अर्थात $e \le \frac{b}{6}$ यह Middle Third Rule कहलाता है



**(26)** दीवार की सुरक्षा—

(i) पलटने मे स्थिरता के लिये, $e \le \frac{b}{2}$

(ii) तनन बल उत्पन्न न हो, $e \le \frac{b}{6}$

(iii) चिनाई का सदलन न हो, $\frac{W}{b}\left[1+\frac{6e}{b}\right]$ का मान सदलन प्रतिबल से कम होना चाहिये।

(iv) सरकने के प्रति सुरक्षा, $P < \mu W$

यहाँ $e$ = उत्केन्द्रता,

$b$ = आधार चौड़ाई,

$W$ = दीवार का भार,

$P$ = मृदा दाब,

$\mu$ = घर्षण गुणांक (मान 0·6 से 0·7 तक)

**(B) जल दाब (Water Pressure) —**

**(27)** मृदा भराव मे इसका विश्राम कोण कार्यरत होता है, जबकि जल के लिये विश्राम कोण शून्य होता है। जल भराव मे बाँध की शिखर तक जल भण्डारण नहीं किया जाता है, मुक्तान्तर (Free Board) बनाये रखा जाता है।

$\therefore$ जल द्वारा क्षैतिज दाब, $P = \frac{wh^2}{2}\left[\frac{1-\sin\theta}{1+\sin\theta}\right]$

$\phi = 0$ होने पर $P = \frac{wh^2}{2}$, जहाँ $h$ = पानी की गहराई है।

यह दाब आधार से $\frac{h}{3}$ पर कार्यरत होता है।

**(28)** बांध पर अधिकतम दाब, $f_{max} = \frac{W}{b}\left[1+\frac{6e}{b}\right]$, न्यूनतम दाब, $f_{min} = \frac{W}{b}\left[1-\frac{6e}{b}\right]$

**(29) स्थापित की जांच**

(i) तनाव मे— $e < \frac{b}{6}$

(ii) उलटने मे— $e < \frac{b}{2}$

(iii) सदलन मे— $f_{max} < f_c$

(iv) सरकने मे— $\rho < \mu W$

सामान्य मान— चिनाई का घनत्व = 20 kN/m$^3$

जल का घनत्व = 10 kN/m$^3$

सदलन प्रतिबल = 600 kN/m$^2$

घर्षण गुणांक, $\mu = 0{\cdot}6$

civilguru.net

**(c) पवन दाब (Wind Pressure)—**

**(30)** पवन दाब दीवार के सामने वाले सम्पूर्ण क्षेत्रफल पर **एक समान** पड़ता है। शिखर व तली पर इसकी तीव्रता समान होती है, अतः कुल पवन दाबों का गुरुत्व केन्द्र, दीवार के केन्द्र अर्थात तली से $\frac{H}{2}$ पर होता है (यहाँ $H$ = दीवार की ऊँचाई)।

(i) दीवार के भार के कारण उत्पन्न अक्षीय प्रतिबल, $p_a = H\rho$ kN/m²

(ii) पवन के कारण उत्पन्न बंकन प्रतिबल, $p_b = \frac{3p_1 H^2}{T^2}$ kN/m²

(iii) आधार पर परिणामी प्रतिबल, $p = (H\rho) \pm \left(\frac{3p_1 H^2}{T^2}\right)$ kN/m²

यहाँ $p_a$ = अक्षीय प्रतिबल,
$p_b$ = बंकन प्रतिबल,
$H$ = दीवार ऊँचाई (m में),
$p_1$ = पवन दाब की एकसमान तीव्रता,
$T$ = दीवार की मोटाई (m में),
$\sigma$ = चिनाई का घनत्व (kN/m³)

(iv) दीवार की स्थायित्व की जांच—

(a) पलटने में जांच, $\frac{PH}{2} < \frac{WT}{2}$

(b) सरकने में जांच, $P < \mu W$

(c) तनन में जांच, $p_a \geq p_b$

(d) संदलन में जांच $p_{max} < p_c$

यहाँ $P$ = दीवार पर कुल पवन दाब, $H\rho$
$W$ = दीवार का भार, $T\mu\rho$
$\mu$ = घर्षण गुणांक
$H, T$ के मान उपरोक्त की भान्ति रहेंगे।

(v) गोलाकार चिमनी के लिये आकृति गुणांक (Shape factor) = 0·7

**(31)** टेपर चिमनी का आयतन, $V = \frac{H}{3}[A + a + \sqrt{Aa}]$

यहाँ $H$ = चिमनी की ऊँचाई
$A$ = आधार पर क्षेत्रफल
$a$ = शिखर पर क्षेत्रफल

चिमनी पर कुल पवन दाब, $P = (KpA')$

यहाँ $K$ = आकृति गुणांक
$p$ = पवन दाब तीव्रता (N/m²)
$A'$ = चिमनी का प्रक्षेपित (Projected) क्षेत्रफल (m²)। यह $\frac{H}{2}$ की ऊँचाई पर कार्यरत माना जाता है।



**(8) नींव (Foundations)**

**(32)** नींव का क्षेत्रफल, $A = \frac{1{\cdot}1W}{p}$, (m²), नींव के स्वयम के भार सहित

**(33)** नींव की गहरायी, $h = \frac{p}{w}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)^2$, (m में) (रैंकिन सूत्र)

यहाँ $w$ = मृदा का घनत्व (kN/m³),
$h$ = नींव की आवश्यक (न्यूनतम) गहरायी (m में),
$\phi$ = विश्राम कोण (angle of repose),
$p$ = मृदा की भार-धारण क्षमता (kN/m²)।

I.S. के अनुसार मुख्य दीवार की न्यूनतम गहरायी 80 cm, पर्दा दीवार की 40–60 cm और चौहद्दी (Boundary) दीवार की 15 cm से कम नहीं होगी।

**(34)** नींव की चौड़ाई, $B = \frac{W}{\rho}$, m² में

यहाँ $W$ = मृदा पर आ रहा कुल भार,
$\rho$ = मृदा की धारण क्षमता

**(35)** कंक्रीट ब्लाक—

(i) बंकन-आघूर्ण के आधार पर मोटाई—

$$d = \sqrt{\frac{3 \cdot pj^2}{m}} \quad \text{(mm में)}$$

(ii) अपरूपण के आधार पर मोटाई—

$$d = \frac{3}{2} \times \frac{pj}{q} \quad \text{(mm में)}$$

यहाँ $p$ = मृदा का ऊपरी मुख (upward) दाब (N/mm²)
$i$ = कंक्रीट ब्लॉक की प्रोजेक्टेड लम्बाई (mm)
$m$ = कंक्रीट के लियें भंजन मापांक (मान 0·25 N/mm²)
$q$ = अनुज्ञेय अपरूपण (Shear) प्रतिबल (N/mm²)

कंक्रीट ब्लॉक की न्यूनतम गहरायी = 200 mm अथवा $2 \times j$, जो भी अधिक हो।

**(9) प्रकाष्ठ संरचनायें (Timber Structures)**

**(36) स्तम्भ** (Columns)—

अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल—

(i) लघु स्तम्भ, $f$ इसका मान तालिका 11.1 से लें।

(ii) मध्यवर्ती स्तम्भ, $f = f_c\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{l}{dk}\right)^4\right]$ kg/cm²

civilguruji.net

(iii) दीर्घ स्तम्भ, $f = \dfrac{0{\cdot}329E}{\left(\dfrac{l}{d}\right)^2}$ kg/cm²

**(37) शर्तें**—

(i) लघु स्तम्भ—

जब $\dfrac{l}{d}$ का मान 11 से कम है।

(ii) मध्यवर्ती स्तम्भ—

जब $\dfrac{l}{d}$ का मान 11 से $k$ के बीच है।

(iii) दीर्घ स्तम्भ—

जब $\dfrac{l}{d}$ का मान $k$ से अधिक है।

यहाँ $l$ = स्तम्भ की अन-आलम्बित लम्बाई, cm में,

$d$ = स्तम्भ की न्यूनतम पार्श्व माप, cm में,

$k = 0{\cdot}702\sqrt{\dfrac{E}{f_c}}$

$E$ = काष्ठ का यंग मापांक, kg/cm² में,

$f_c$ = काष्ठ के रेशों के समान्तर अनुज्ञेय सम्पीडन प्रतिबल, kg/cm²।

**(38) धरनें** (Beams)

(i) गहरायी (Depth) = चौड़ाई × 3 से अधिक नहीं।

(ii) न्यूनतम चौड़ाई = $\dfrac{\text{प्रभावी पाट}}{25}$ अथवा अधिक (व्याकुंचन रोकने के लिये)।

(iii) गहरायी 75 cm से कम की नहीं विक्षेप की दृष्टि से $\left(\dfrac{\text{पाट}}{360}\right)$

(iv) जब विक्षेप $\dfrac{\text{पाट}}{240}$ हो, तब गहरायी,

$$D = 50\left[\frac{fb}{E} - l\right] \text{ होगी}$$

यहां $fb$ = वास्तविक वंकन प्रतिबल

$l$ = प्रभावी पाट

$E$ = यंग मापांक

(v) प्रास धरन के लिये विक्षेप = $\dfrac{\text{पाट}}{180}$ से अधिक नहीं।

(vi) आकृति गुणांक (ठोस आयताकार धरन के लिये),

$$K_1 = 0{\cdot}81\left[\frac{D^2+894}{D^2+550}\right]$$

यहाँ $D$ = धरन की गहरायी, सेमी० में।

जब धरन की गहरायी 30 cm या कम है, आकृति गुणांक (Form factor) नहीं लगेगा।

(vii) अधिकतम क्रान्तिक अपरूपण बल (UDL के लिये)—

$$v = \frac{w}{2}\left[l - \frac{2D}{l}\right]$$

यहाँ $w$ = प्रति मी० लम्बाई में धरन पर भार,

$l$ = वास्तविक पाट, मी० में,

$D$ = धरन की कुल गहरायी।

(viii) अधिकतम क्षैतिज कर्तन प्रतिबल,

$$f_s = \frac{1{\cdot}5V}{b \times D} \text{ kg/cm}^2$$

यहाँ $v$ = क्रान्तिक अपरूपण बल, kg में,

$b$ = धरन की चौड़ाई, cm में,

$D$ = धरन की गहरायी, cm में।

धरन के लिये अनुज्ञेय कर्तन प्रतिबल 6 से 16 kg/cm² के मध्य लिया जाता है।

**(39) लौह-काष्ठ धरनें** (Flitched Beams)—

(i) $f_s = m f_w$

(ii) $f_s = m f_w \left(\dfrac{d}{D}\right)$ kg/cm², जब इस्पात प्लेटों व काष्ठ अवयव की गहरायी समान नहीं है।

**(40)** धरन की सामर्थ्य $M = \left[f_w \times \dfrac{BD^2}{6}\right] + \left[mf_w \times \dfrac{td^2}{6}\right]$

यहाँ $f_s$ = इस्पात प्लेट में अनुज्ञेय प्रतिबल,

$f_w$ = काट धरन में अनुज्ञेय प्रतिबल,

$m$ = मापांक अनुपात = $\dfrac{E_s}{E_w}$,

$B$ व $D$ = काट धरन के माप,

$t$ व $d$ = इस्पात प्लेट की मोटाई व गहरायी,

$E_s$ = इस्पात का यंग मापांक,

$E_w$ = काट का यंग मापांक।

civilguruji

## EVEN SEMESTER EXAMINATION, SEPTEMBER-2020

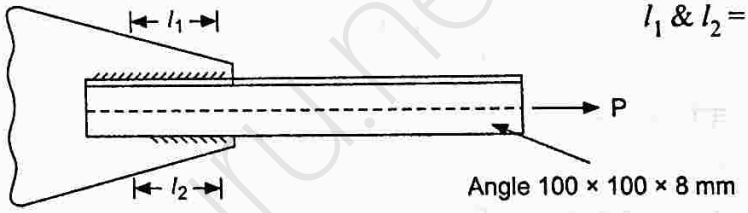
# इस्पातीय संरचनाओं का अभिकल्पन
# (Design of Steel Structures)

**[Time : 2:30 Hours]** **[Maximum Marks : 50]**

**नोट:** सभी प्रश्नों के उत्तर दीजिए।

**1.** निम्नलिखित में से किन्हीं दो उत्तर दें : **[2 × 5 = 10]**

(अ) एक 100 × 100 × 8 mm का एंगल (angle) 10 mm मोटी गसट प्लेट (Gusset plate) से 6 mm के फिलेट वैल्ड (fillet weld) द्वारा जुड़ा है। यदि प्रभावी वैल्ड लम्बाई क्रमशः $l_1$ एवं $l_2$ की माप 191.5 mm एवं 73 mm हों तो यह एंगल कितना बल वहन कर सकने में सक्षम है। $\tau_{vf}$ = 108 N/mm$^2$ चित्र 1 देखें।




$l_1$ & $l_2$ = effective weld lengths

**चित्र 1**

(ब) रिवेट जोड़ के विफल होने (failure) के कितने प्रकार हैं, समझाइये।

(स) चित्र 1 में एंगल 100 × 100 × 8 mm को 6 mm मोटी गसट प्लेट (Gusset plate) से जोड़ने हेतु वैल्डड जोड़ के स्थान पर रिवेट जोड़ का अभिकल्पन करें। $P$ = 100 kN, $\tau_{vf}$ = 90 MPa, $\sigma_{pf}$ = 270 MPa.

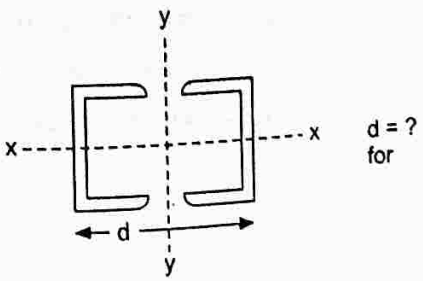
**2.** निम्नलिखित में से किसी एक भाग का उत्तर दें : **[1 × 10 = 10]**

(अ) IS : 800-1984 के अनुसार एक तनन अंग (Tension member) के अभिकल्पन हेतु प्रक्रिया विस्तार से समझाइये।

(ब) एक टी-अंग (T-section), जिसे 260 kN का तनन भार वहन करना है, का अभिकल्पन करें। $\sigma_{at}$ = 150 N/mm$^2$, $\tau_{vf}$ = 100 N/mm$^2$, $\sigma_{pf}$ = 300 N/mm$^2$ गसट प्लेट = 10 mm (मोटाई) 20 mm व्यास की रिवेट का प्रयोग करें।

**3.** निम्नलिखित में से किसी एक भाग का उत्तर दीजिए : **[1 × 10 = 10]**

(अ) दो ISLC 400 चैनल (Channel) खण्ड इस प्रकार से रखे हैं कि उनकी फ्लैंजे अन्दर की ओर हैं। इनके बीच चित्र के अनुसार $d$ दूरी ज्ञात करें ताकि अधिकतम व्याकुंचन प्रतिरोध (bulking resistance) प्राप्त किया जा सके। यदि स्तम्भ की प्रभावी लम्बाई 5.5 mm हो तो इसकी सामर्थ्य ज्ञात करें।



दिया है—

| $\lambda = \frac{l}{r}$ | $\sigma_{ac}$ N/mm$^2$ for ($f_y$ = 250 MPa) |
|---|---|
| 30 | 145 |
| 40 | 139 |
| 50 | 132 |

(ब) निम्न को समझाइये—

(i) आबंधन रिवेट (Tracking rivets)

(ii) अनुज्ञेय संपीडन प्रतिबल (Permissible compressive stress)

(iii) न्यूनतम परिभ्रमण त्रिज्या (Least radius of Gyration)

(iv) जालक पद्धति का मूल सिद्धान्त (lacing)

(v) विभिन्न स्थितियों में संपीडन उपांग (Compression members) के अधिकतम तनुता अनुपात (Slenderness ratio) के मान IS 800-1984 के अनुसार।

**4.** निम्नलिखित में से किसी एक भाग का उत्तर दें : **[1 × 10 = 10]**

(अ) एक ISMB-350 @ 52.4 kg/m के ऊपर अधिकतम नमन आघूर्ण 126.413 kN-m तथा कर्तन बल 80.262 kN आ रहा है। इस धरन को, जो शुद्धालम्बित है, व्याकुंचन (buckling) एवं विकलांगता (crippling) में जांचें। सिरों पर बियरिंग प्लेट की माप 150 mm × 150 mm × 10 mm मान लें। दिया है—

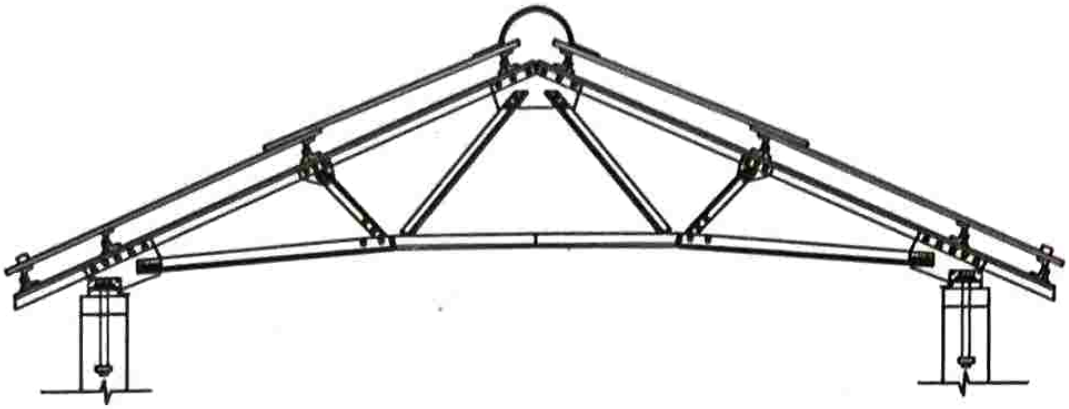
| $\lambda = \frac{l}{r}$ | $\sigma_{ac}$ N/mm$^2$ for ($f_y$ = 250 MPa) |
|---|---|
| 60 | 122 |
| 70 | 112 |
| 80 | 101 |

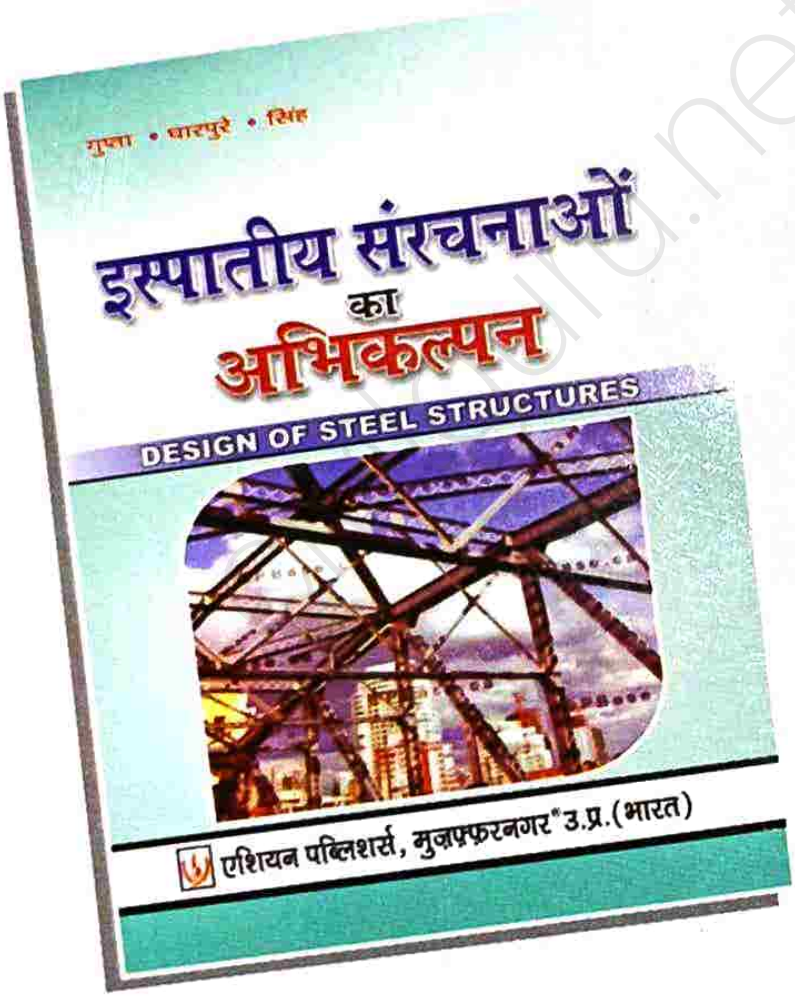
(ब) गसेट स्तम्भ आधार (Gusseted column base) के अभिकल्पन हेतु प्रक्रिया क्रमवार समझाइये।

**5.** निम्नलिखित में से किसी एक भाग का उत्तर दें : **[1 × 10 = 10]**

(अ) पर्लिन (purlin) के अभिकल्पन हेतु विधि का वर्णन करें।

(ब) एक 25 मीटर की ऊँचाई की वर्गाकार चिमनी का आन्तरिक माप 1200 × 1200 mm है। चिमनी में चिनाई (masonry) की मोटाई ज्ञात करें, यदि आधार पर अधिकतम अनुमेय प्रतिबल का मान 750 kN/m$^2$ नियत हो। वायुदाब का मान 1.5 kN/m$^2$ तथा चिनाई का घनत्व 24 kN/m$^3$ मान लें। $K$ = 1.15.




गुप्ता • धारपुरे • सिंह
इस्पातीय संरचनाओं
का
अभिकल्पन
DESIGN OF STEEL STRUCTURES
एशियन पब्लिशर्स, मुजफ्फरनगर (उ.प्र.) भारत