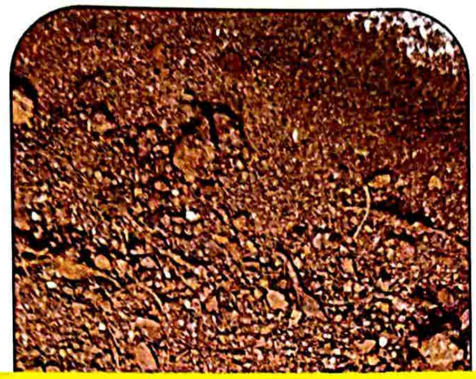
सार्थक

प्राविधिक शिक्षा परिषद् उ० प्र० द्वारा स्वीकृत
नवीनतम् "N.S.Q.F." पाठ्यक्रमानुसार



मृदा यांत्रिकी एवं नींव इंजीनियरिंग

Soil Mechanics & Foundation Engineering

K.K. Dixit

Jai Prakash Nath Publications
Meerut

SYLLABUS

SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING

RATIONALE

Civil Engineering diploma engineers are required to supervise the construction of roads, pavements, dams, embankments, and other Civil Engineering structures. As such the knowledge of basic soil engineering is the pre-requisite for these engineers for effective discharge of their duties. This necessitates the introduction of Soil and Foundation Engineering subject in the curriculum for Diploma Course in Civil Engineering.

The subject covers only such topics which will enable the diploma engineers to identify and classify the different types of soils, their selection and proper use in the field for various types of engineering structures.

The emphasis will be more on teaching practical aspect rather than theory.

DETAILED CONTENTS

1. Introduction *(03 Periods)*

1.1 Importance of Soil Studies in Civil Engineering

1.2 Geological origin of soils with special reference to soil profiles in India : residual and transported soil, alluvial deposits, lake deposits, local soil found in UP, dunes and loess, glacial deposits, black cotton soils, conditions in which above deposits are formed and their engineering characteristics.

1.3 Names of organizations dealing with soil engineering work in India, soil map of India

2. Physical Properties of Soils *(06 Periods)*

2.1 Constituents of soil and representation by a phase diagram

2.2 Definitions of void ratio, porosity, degree of saturation, water content, specific gravity, unit weight, bulk density/bulk unit weight, dry unit weight, saturated unit weight and submerged unit weight of soil grains and correlation between them

2.3 Simple numerical problems with the help of phase diagrams

3. Classification and Identification of Soils *(06 Periods)*

3.1. Particle size, shape and their effect on engineering properties of soil, particle size classification of soils

3.2 Gradation and its influence on engineering properties

3.3 Relative density and its use in describing cohesionless soils

3.4 Behaviour of cohesive soils with change in water content, Atterberg's limit - definitions, use and practical significance including numerical problems

3.5 Field identification tests for soils

3.6 Soil classification system as per IS 1498; basis, symbols, major divisions and sub divisions, groups, plasticity chart; procedure for classification of a given soil

4. Flow of Water Through Soils *(05 Periods)*

4.1 Concept of permeability and its importance

4.2 Darcy's law, coefficient of permeability, seepage velocity and factors affecting permeability

4.3 Comparison of permeability of different soils as per Indian Standards

4.4 Measurement of permeability in the laboratory

4.5 Simple numerical problems

5. Effective Stress (Concept only) *(05 Periods)*

5.1 Stresses in subsoil

5.2 Definition and meaning of total stress, effective stress and neutral stress

5.3 Principle of effective stress

5.4 Importance of effective stress in engineering problems

6. Deformation of Soils *(06 Periods)*

6.1 Meaning, conditions/situations of occurrence with emphasis on practical significance of :

(a) Consolidation and settlement (b) Creep
(c) Plastic flow (d) Heaving
(e) Lateral movement (f) Freeze and thaw of soil

6.2 Definition and practical significance of compression index, coefficient of consolidation, degree of consolidation.

6.3 Meaning of total settlement, uniform settlement and differential settlement; rate of settlement and their effects

6.4 Settlement due to construction operations and lowering of water table

6.5 Tolerable settlement for different structures as per IS

6.6 Simple numerical problems

7. Shear Strength of Soil *(10 Periods)*

7.1 Concept and Significance of shear strength

7.2 Factors contributing to shear strength of cohesive and cohesion less soils, Coulomb's law

7.3 Determination of shearing strength by direct shear test, unconfined compression test and vane shear test. Drainage conditions of test and their significance

7.4 Stress and strain curve, peak strength and ultimate strength, their significance

7.5 Examples of shear failure in soils

7.6 Numerical problems

8. Compaction *(06 Periods)*

8.1 Definition and necessity of compaction

8.2 Laboratory compaction test (standard and modified proctor test as per IS) definition and importance of optimum water content, maximum dry density; moisture dry density relationship for typical soils with different compactive efforts

8.3. Compaction control; Density control, measurement of field density by core cutter method and sand replacement method, moisture control, Proctor's needle and its use, thickness control, jobs of an embankment supervisor in relation to compaction

9. Soil Exploration *(08 Periods)*

9.1 Purpose and necessity of soil exploration

9.2 Reconnaissance, methods of soil exploration, Trial pits, borings (auger, wash, rotary, percussion to be briefly dealt)

9.3 Sampling; undisturbed, disturbed and representative samples; selection of type of sample; thin wall and piston samples; area ratio, recovery ratio of samples and their significance, number and quantity of samples, resetting, sealing and preservation of samples.

9.4 Presentation of soil investigation results

10. Bearing Capacity of soil *(14 Periods)*

10.1 Concept of bearing capacity

10.2 Definition and significance of ultimate bearing capacity, net safe bearing capacity and allowable bearing pressure

10.3 Guidelines of BIS (IS 6403) for estimation of bearing capacity

10.4 Factors affecting bearing capacity

10.5 Concept of vertical stress distribution in soils due to foundation loads, pressure bulb

10.6 Applications of SPT, unconfined compression test and direct shear test in estimation of bearing capacity

10.7 Plate load test (no procedure details) and its limitations

10.8 Simple numerical problems on bearing capacity.

11. Foundation Engineering *(10 Periods)*

Concept of shallow and deep foundation; types of shallow foundations : combined, isolated, strip, mat, and their suitability. Factors affecting the depth of shallow foundations, deep foundations, type of piles and their suitability; pile classification on the basis of material, pile group and pile cap.

12. Ground improvement techniques *(05 Periods)*

Pre-loading, vibro compaction, stone columns, soil nailing, grouting, sand drain.

PRACTICAL EXERCISES

1. To determine the moisture content of a given sample of soil
2. Auger Boring and Standard Penetration Test
   - (a) Identifying the equipment and accessories
   - (b) Conducting boring and SPT at a given location
   - (c) Collecting soil samples and their identification
   - (d) Preparation of boring log and SPT graphs
   - (e) Interpretation of test results
3. Extraction of Disturbed and Undistrubed Samples
   - (a) Extracting a block sample
   - (b) Extracting a tube sample

   - (c) Extracting a disturbed samples for mechanical analysis.
   - (d) Field identification of samples
4. Field Density Measurement (Sand Replacement and Core Cutter Method)
   - (a) Calibration of sand
   - (b) Conducting field density test at a given location
   - (c) Determination of water content
   - (d) Computation and interpretation of results
5. Liquid Limit and Plastic Limit Determination :
   - (a) Identifying various grooving tools
   - (b) Preparation of sample
   - (c) Conducting the test
   - (d) Observing soil behavior during tests
   - (e) Computation, plotting and interpretation of results
6. Mechanical Analysis
   - (a) Preparation of sample
   - (b) Conducting sieve analysis
   - (c) Computation of results
   - (d) Plotting the grain size distribution curve
   - (e) Interpretation of the curve
7. Laboratory Compaction Tests (Standard Proctor test)
   - (a) Preparation of sample
   - (b) Conducting the test
   - (c) Observing soil behaviour during test
   - (d) Computation of results and plotting
   - (e) Determination of optimum moisture and maximum dry density.
8. Direct Shear Test
9. Permeability Test
10. Demonstration of Unconfined Compression Test
    - (a) Specimen preparation
    - (b) Conducting the test
    - (c) Plotting the graph
    - (d) Interpretation of results and finding/bearing capacity
11. Demonstration of Vane shear Test

❑

विषय-सूची

क्रमांक	अध्याय का नाम	पृष्ठ
1.	परिचय (Introduction)	1
2.	मृदाओं के भौतिक गुण (Physical Properties of Soils)	14
3.	मृदाओं का वर्गीकरण एवं पहचान (Classification and Identification of Soils)	33
4.	मृदा के माध्यम से जल का प्रवाह (Flow of Water through Soil : Permeability)	65
5.	प्रभावी प्रतिबल (Effective Stress)	79
6.	मृदा का विरूपण अथवा विकृति (Deformation of Soils)	85
7.	मृदा की अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength of Soil)	110
8.	संहनन (Compaction)	127
9.	मृदा अन्वेषण (Soil Exploration)	145
10.	मृदा की धारण क्षमता (Bearing Capacity of Soil)	161
11.	नींव इंजीनियरिंग (Foundation Engineering)	185
12.	जमीन सुधार तकनीक (Ground Improvement Techniques)	207
13.	प्रयोगात्मक अध्ययन (मृदा यान्त्रिकी प्रयोगशाला) [Practical Study (Soil Mechanics Lab)]	217

1 अध्याय

परिचय (Introduction)

1.1. सिविल अभियन्त्रण में मृदा अध्ययन का महत्त्व (Importance of Soil Studies in Civil Engineering)

1.1.1. मृदा (Soil)

मृदा (Soil) शब्द, लैटिन शब्द Solium से ही है। मृदा का तात्पर्य पृथ्वी की ऊपरी परत से है। हम सभी प्राणी आदिकाल से मृदा के सम्पर्क में हैं। मृदा अथवा मिट्टी का अर्थ विभिन्न क्षेत्रों में अलग-अलग है; जैसे—

1. कृषि इन्जीनियर व कृषि वैज्ञानिक के लिये पृथ्वी की उस परत से है, जहाँ से पेड़-पौधे अपने लिये भोजन प्राप्त करते हैं या फसलों के लिये उपयोगी है।
2. भूवैज्ञानिक (Geologist) के लिये पृथ्वी की ऊपरी परत जिसमें पेड़-पौधों की जड़ें जाती हैं, शेष भाग कठोर चट्टान के रूप में है।
3. सिविल इन्जीनियर के लिये पृथ्वी की सतह की उस गहराई तक है जहाँ तक संरचना की नींव जाती है और अवमृदा (Subsoil) पर नींव संरचना का सम्पूर्ण भार स्थानान्तरित करती है।

"चट्टानों के भौतिक एवं रासायनिक विघटन से निर्मित मुलायम भाग मृदा या मिट्टी कहलाता है। कठोर भाग को चट्टान कहते हैं।"

1.1.2. मृदा यांत्रिकी (Soil Mechanics)

परिभाषा—मृदा इन्जीनियर Dr. Karl Van Terzaghi के अनुसार, मृदा यांत्रिकी इन्जीनियरी की वह शाखा है—

"जिसमें चट्टानों के भौतिक एवं रासायनिक विघटन से निर्मित कणों के अवसादों (Sediments) और दूसरे असंघनित (Unconsolidated) निक्षेपों, जिनमें कार्बनिक पदार्थ भी मिले होते हैं, से जुड़ी हुई इन्जीनियरी दिक्कतों के लिये यांत्रिकी (Mechanics) एवं द्रव विज्ञान (Hydraulics) के सिद्धान्तों का सहारा लिया जाता है।"

I.S. 2809-1972 के अनुसार, मृदा यांत्रिकी इन्जीनियरी की वह शाखा है **"जिसमें मिट्टी को निर्माण सामग्री के रूप में लेते हैं, उस पर आने वाली समस्याओं पर स्थैतिक (Static), गतिक (Dynamic) नियमों एवं द्रव विज्ञान (Hydraulics) के सिद्धान्तों का उपयोग किया जाता है।"**

मृदा यांत्रिकी के निम्न उद्देश्य हैं—

1. भूमि तल के नीचे नींव की गहराई तक मृदा के गुणों का अध्ययन करना एवं सैम्पलिंग (नमूने) एकत्र करना।

2. सिविल इन्जीनियरिंग के उद्देश्य से मृदा के गुणों का अध्ययन करना।
3. निर्माण सामग्री के रूप में मृदा की विस्तृत जानकारी करना।

1.1.3. नींव अभियंत्रण (Foundation Engineering)

"भूमि तल के नीचे बनाया गया, वह भाग जो दिखाई नहीं देता है संरचना के सम्पूर्ण भार को अवमृदा (Subsoil) पर स्थानान्तरित करता है, नींव कहलाता है।" (चित्र 1.1 देखें)

(i) अवमृदा (Subsoil)—कंक्रीट ब्लॉक जो कि नींव को आधार प्रदान करता है, के नीचे की मृदा परत, जिस पर संरचना का सम्पूर्ण भार स्थान्तरित होता है, अवमृदा (Subsoil) कहलाती है।

(ii) अधःरचना (Substructure)—अधि रचना (Super Structure) से नीचे का वह भाग जो भूमि तल से नीचे भूमि में छिपा रहता है, अधःरचना (Substructure) कहलाता है।

(iii) अधिरचना (Super structure)—संरचना, (बाँध, पुल, भवन आदि) का वह भाग जो दिखाई देता है, अधिरचना (Super structure) कहलाता है।

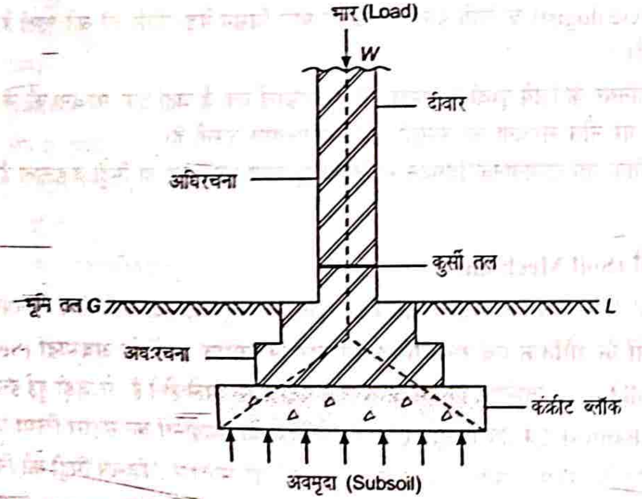
(iv) धारण क्षमता (Bearing Capacity)—वह अधिकतम भार जो मृदा विफल हुये बिना वहन कर सकती है, धारण क्षमता कहलाती है।

संरचना के भार एवं अवमृदा की धारण क्षमता को ध्यान में रखते हुये नींव दो प्रकार की होती हैं—

(1) उथली नींव
(2) गहरी नींव

अतः नींव का आकार (Shape), माप (Size), गहराई आदि से सम्बन्धित ज्ञान होना नींव अभियन्त्रण के अन्तर्गत प्राप्त होता है।

"इन्जीनियरी की वह शाखा जिसके माध्यम से हम नींव का अभिकल्पन, निर्माण व अनुरक्षण (Maintenance) से सम्बन्धित जानकारी प्राप्त कर सकें, नींव इंजीनियरी कहलाती है।"



चित्र–1.1

अतः नींव निर्माण से पूर्व मृदा का अध्ययन आवश्यक है। अतः मृदा यांत्रिकी से नींव इन्जीनियरिंग भी पूर्ण सम्बन्ध रखती है।

1.1.4. मृदा अभियांत्रिकी से लाभ (Advantages of Soil Mechanics)

सिविल इन्जीनियरिंग में मृदा अभियांत्रिकी के अध्ययन से कई लाभ प्राप्त होते हैं—

1. मृदा अभियांत्रिकी के कारण इस युग में बहुमंजिले भवनों का अभिकल्पन सम्भव हो सका है, जिससे टिकाऊ, मजबूत एवं मितव्ययी (Economical) भवनों का निर्माण हो रहा है।
2. सड़कों के निर्माण, मेन्टीनेन्स अभिकल्पन में भी मृदा यांत्रिकी से लाभ प्राप्त हो रहा है।
3. ऊँचे-ऊँचे बाँधों का अभिकल्पन व निर्माण भी मृदा अभियांत्रिकी की देन है।
4. प्रतिधारक दीवारें, खुदाई में तख्ताबन्दी के निर्माण व अभिकल्पन में भी लाभ प्राप्त होता है।

1.2. मृदा की भूवैज्ञानिक उत्पत्ति (Geological Origin of Soil)

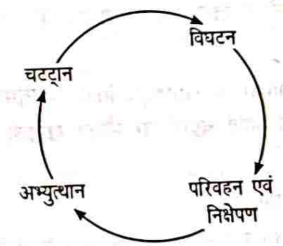
1.2.1. मृदा का बनना (Formation Cycle of Soil)

पृथ्वी की आन्तरिक परत गर्म पिघली हुई अवस्था में (Molten state) होती है, जिसे Magma (मैग्मा) कहते हैं। मैग्मा के ठण्डा होने पर चट्टान का निर्माण होता है। चट्टान का भौतिक एवं रासायनिक कारणों से लगातार विघटन होता रहता है जिससे मृदा का निर्माण होता है। धीरे-धीरे पुनः चट्टान का निर्माण होता है, **"चट्टानों से मृदा एवं मृदा से पुनः चट्टान का बनना"** यह **भूवैज्ञानिक चक्र** (Geological Cycle) लगातार चलता रहता है।

1.2.2. भूवैज्ञानिक चक्र (Geological Cycle)

भूवैज्ञानिक चक्र की निम्न तीन क्रियायें हैं—

1. चट्टानों का विघटन (Erosion)
2. विघटित कणों का परिवहन एवं निक्षेपण (Transportation of Deposition)
3. अभ्युत्थान अर्थात् उथल-पुथल (Upheaval)



चित्र–1.2 : भूवैज्ञानिक चक्र

विघटन—(Disintegration or Erosion)
परिवहन एवं निक्षेपण—(Transportation and Deposition)
अभ्युत्थान—(Upheaval)
चट्टान—(Rock)

1.2.3. चट्टानों का विघटन (Erosion or Disintegration of Rocks)

चट्टानों का विघटन या अपक्षय वायुमण्डलीय प्रभावों; जैसे—मौसम, हवा, पानी, पेड़-पौधों का चट्टान पर उगना ए भौतिक एवं रासायनिक प्रक्रियाओं द्वारा होता है जिसके कारण चट्टानों का धीरे-धीरे अपक्षय होने लगता है।

वायुमण्डलीय प्रभावों से चट्टान का विघटन बहुत धीरे-धीरे होता रहता है। यह निरन्तर क्रिया अपना हजारों वर्षों के बाद परिणाम दर्शाती है, जिसे महसूस नहीं किया जा सकता है। इस तरह मृदा का निर्माण प्रकृति में होता रहता है।

प्रकृति में चट्टानों का विघटन निम्न दो कारणों से होता है—

(i) भौतिक विघटन

(ii) रासायनिक विघटन

1. भौतिक विघटन (Physical Disintegration)—प्रकृति में चट्टानों के विघटन के भौतिक कारक निम्न हैं—

(A) पेड़-पौधों की जड़ों के कारण (Plants Roots)—चट्टानों के ऊपर जब पेड़-पौधे उग जाते हैं, तो इनकी जड़ों से चट्टान में दरारें उत्पन्न हो जाती हैं और दबाव डालती हैं, जिससे चट्टानों का अपक्षय प्रारम्भ हो जाता है।

(B) तापक्रम में बदलाव के कारण (Variation in Temperature)—तापक्रम में परिवर्तन से चट्टानों में फैलाव व संकुचन होता रहता है। सर्दी व गर्मी के कारण काफी परिवर्तन होता है, जिससे चट्टानों में दरारें पड़ने लगती हैं। चट्टानें दरारों वाले स्थानों पर कमजोर पड़ने लगती हैं। इस प्रकार चट्टानों का विघटन प्रारम्भ हो जाता है।

(C) अपघर्षण क्रिया (Abrasive Action)—तेज हवाओं एवं आँधी के प्रभाव से चट्टानों में टूट-फूट शुरू हो जाती है और चट्टानों का अपक्षय या विघटन शुरू हो जाता है।

इसी प्रकार जब वर्षा का जल झरनों एवं नदियों के रूप में चट्टानों के ऊपर से प्रवाह करता है, तो जल के लगातार घर्षण से चट्टानों का विघटन शुरू हो जाता है।

(D) चट्टानों के रन्ध्रों में जल का प्रवेश करना—चट्टानों के रन्ध्रों में जल प्रवेश करता है, वातावरण का तापक्रम चट्टानों पर तापक्रम 0°C हो जाता है तो जल बर्फ में बदल जाता है जिससे आयतन में परिवर्तन हो जाता है। इस परिवर्तन से चट्टानों में दबाव पड़ता है तथा चट्टानों में टूट-फूट शुरू हो जाती है अर्थात् चट्टानों का अपक्षय शुरू हो जाता है।

(E) भूकम्प व भूस्खलन (Earthquake and Land Slides)—भूकम्प के कारण चट्टानों में टूट-फूट प्रारम्भ हो जाती है। इसका असर लम्बे क्षेत्र में होता है। इसी प्रकार वर्षा ऋतु में चट्टानों में भूस्खलन होता रहता है और चट्टानें टूटती रहती हैं। इस प्रकार चट्टानों का विघटन होता रहता है।

(F) अन्य कारण—चट्टानों पर उस क्षेत्र के रहने वालों के चलने-फिरने के कारण एवं जानवरों के आवागमन के कारण, संरचनाओं के निर्माण के लिये चट्टानों से खनन के कारण टूट-फूट होती रहती है, जिस कारण चट्टानों का अपक्षय होता है।

2. रासायनिक विघटन (Chemical Disintegration)—वायुमण्डल में उपस्थित ऑक्सीजन व कार्बन डाइऑक्साइड अम्लों की वाष्प एवं जलवाष्प आदि चट्टानों पर मौजूद खनिजों से रासायनिक क्रिया करते हैं, जिससे चट्टानों का विघटन होता है।

रासायनिक विघटन निम्न कारणों से होता है—

(i) ऑक्सीकरण (Oxidation)—जिन चट्टानों में खनिज के रूप में लौह उपस्थित रहता है, ऑक्सीजन से क्रिया करके लौह ऑक्साइड बनाता है। यह क्रिया वायुमण्डल में पानी की उपस्थिति व उच्च ताप पर होती है जिससे चट्टानों का अपक्षय होता है।

$$4Fe + 3O_2 \rightleftharpoons 2Fe_2O_3$$

यह क्रिया ऑक्सीकरण कहलाती है।

(ii) जलायोजन (Hydration)—यह क्रिया चूना पत्थर ($CaCO_3$) वाली चट्टानों में अधिक होती है, इसमें चट्टानों के खनिजों में उपस्थित संरचनात्मक जल चट्टानों से मिलकर उसका विघटन कर देता है।

इसमें Hydrolysis क्रिया Silicate खनिजों का विघटन करती है। **जैसे**—पोटैशियम फेल्सपार क्रिया करके केओलिनाइट मृदा का निर्माण करता है।

$$2KAlSi_3O_8 + 3H_2O = Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2 + 2KOH$$

(ii) कार्बोनेशन (Carbonation)—वायुमण्डल में उपस्थित कार्बन डाइऑक्साइड (CO_2) गैस, कैल्शियम, मैग्नीशियम, सोडियम, पोटैशियम आदि के ऑक्साइडों से क्रिया करके कार्बोनेट बनाती है। यह पानी से क्रिया करके कार्बोनिक अम्ल (H_2CO_3) बनाती है। इससे चट्टानों का विघटन प्रारम्भ हो जाता है।

$$CaCO_3 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

1.2.4. परिवहन तथा निक्षेपण (Transportation and Deposition)

चट्टानों के विघटित मृदा कण परिवहन द्वारा अन्यत्र पहुँच जाते हैं। यह परिवहन प्राकृतिक तरीकों से होता है। अन्यत्र पहुँचने के बाद वहाँ जम कर मृदा का निर्माण करते हैं। यह स्थानान्तरण निम्न घटकों के कारण सम्भव होता है—

(i) जल (Water)

(ii) गुरुत्व बल (Gravity)

(iii) वायु (Air)

(iv) ग्लेशियर (Glacier)

(i) जल (Water)—विघटित मृदा कणों को पानी अपनी शक्ति से एक स्थान से दूसरे स्थान तक बहाकर ले जाता है, यह माध्यम शक्तिशाली होता है। वर्षा ऋतु में पानी का वेग बहुत तेज होता है, इस समय कणों के बहाकर ले जाने की क्षमता बहुत होती है। ज्यों-ज्यों पानी का वेग कम होता रहता है, बड़े कण क्रमश: बैठते जाते हैं और हल्के कण आगे बढ़ जाते हैं और तली में बैठते जाते हैं। इस क्रिया के दौरान निम्न मृदाओं का निर्माण होता है—

(a) जलोढ़ मृदा (Alluvial Soil)—पानी द्वारा जो मृदा प्रवाहित होती है वह अपने परिवहन के समय जमना शुरू हो जाती है, इसे जलोढ़ मृदा कहते हैं। जलोढ़ मृदा बहुत उपजाऊ होती है। उत्तरी भारत में गंगा-जमुना का दोआब इसी मृदा से निर्मित है।

(b) सरोवरीय मृदा (Lacustrine Soil)—नदियों द्वारा निर्मित डेल्टा तथा झीलों की तली में जमी मृदा सरोवरीय मृदा कहलाती है।

(c) समुद्री मृदा (Marine Soil)—पानी के परिवहन द्वारा विघटित मृदा कण जो बहुत महीन होते हैं, ये कण समुद्र की तली में धीरे-धीरे जम जाते हैं और मृदा का निर्माण करते हैं। ऐसी मृदा समुद्री मृदा कहलाती है।

(ii) गुरुत्व बल (Gravity)—चट्टानों से विघटित मृदा कण या चट्टानों के टूटे हुये टुकड़े अपने गुरुत्व बल के कारण नीचे की ओर लुढ़कते हुये आ जाते हैं और एक स्थान से दूर तक जा पहुँचते हैं। ये निर्मित मृदा (Colluvial Soils) कहलाती हैं।

(iii) वायु (Air)—विघटन के पश्चात् मृदा कणों को एक स्थान से दूसरे स्थान ले जाने का वायु या आँधी अति शक्तिशाली परिवहन माध्यम है। तेज हवा मृदा कणों को बहुत दूर तक ले जाती है; जैसे-जैसे हवा का प्रभाव कम होता जाता है, मृदा कणों का अपने साथ ले जाने का प्रभाव कम करती जाती है, वैसे ही मृदा कण बैठना शुरू कर देते हैं।

वायु द्वारा स्थानान्तरित एवं निक्षेपित मृदायें मुख्यत: दो प्रकार की होती हैं—

(i) टिब्बा या रेत का टीला (Dunes)—मृदा या बालू के बड़े-बड़े कण स्थानान्तरित होकर जब किसी दूसरे स्थान पर जम जाते हैं, तो उन्हें टिब्बा (Sand Dunes) कहते हैं। **राजस्थान** में टीले इसी तरह निर्मित होते हैं। ऐसी मृदा **ससंजनहीन** होती है।

(ii) पवनोढ़ मृत्तिका (Loess)—वायु के माध्यम से परिवहित बड़े बालू कण जमकर टिब्बा का निर्माण करते हैं। महीन कण वायु के साथ पेड़-पौधों वाले क्षेत्र में रुक जाते हैं और मृदा का निर्माण करते हैं। ऐसी मृदा पवनोढ़ मृत्तिका (सिल्ट) कहलाती है। ऐसी मृदा ससंजक मृदा कहलाती है।

(iv) ग्लेशियर (Glaciers)—"ग्लेशियर के बड़े-बड़े हिमखण्ड पिघलने पर अपने साथ मृदा कणों को बहा ले जाते हैं। यह हिमखण्ड पानी के साथ बहते हुये काफी दूरी तय करते हैं और किसी उचित जगह जमकर मृदा कणों का निर्माण करते हैं। इस प्रकार निर्मित मृदा हिमानी टिल (Glacial Till) कहलाती है।

1.2.5. अभ्युत्थान (Upheaval)

भूगर्भीय परिवर्तन के कारण चट्टानों से मृदा व मृदा से चट्टानों का पुन: निर्मित होना, यह क्रम निरन्तर चलता है। इस क्रम में कई युग व्यतीत हो जाते हैं। इन परिवर्तनों को हम लोग न देख पाते हैं न अनुभव कर पाते हैं।

इन परिवर्तनों के कारण महासागरों के स्थान पर पर्वत एवं पर्वतों के स्थान पर महासागरों का निर्माण होता रहता है।

1.2.6. मृदा का भूगर्भीय वर्गीकरण (Geological Classification of Soil)

भूगर्भीय आधार से मृदाओं को दो समूहों में वर्गीकृत कर सकते हैं—

(i) अवशिष्ट मृदा (Residual Soil)

(ii) स्थानान्तरित मृदा (Transported Soil)

(i) अवशिष्ट मृदा (Residual Soil)—यदि चट्टान का विघटित पदार्थ चट्टान पर ही जमा होता है, और उसी चट्टान पर ही मृदा का निर्माण (Formation) करता है तो इस प्रकार की मृदा अवशिष्ट मृदा कहलाती है।

इस प्रकार की मृदाओं के निर्माण में स्थानान्तरण एजेन्ट (हवा, पानी) आदि का किसी भी प्रकार का योगदान नहीं रहता है। इस प्रकार की मृदाओं का विशेष गुण यह है कि ऊपर के कण अधिक ढीले व दूर-दूर होते हैं, जबकि नीचे के कण अधिक पास-पास और नीचे चट्टान से जुड़ जाते हैं।

(ii) स्थानान्तरित मृदा (Transported Soil)—विघटित चट्टान के कण स्थानान्तरण एजेन्टों; **जैसे**—गुरुत्व, हवा, पानी या ग्लेशियरों द्वारा विघटित स्थान से बहुत दूर जाकर किसी दूसरे स्थान पर जमकर (Deposit) मृदा का निर्माण (Formation) करते हैं, तो इस प्रकार निर्मित मृदा स्थानान्तरित मृदा कहलाती है।

1.2.7. इन्जीनियरी आधार पर मृदा का वर्गीकरण

मृदा को निम्न समूहों में विभाजित कर सकते हैं—

(i) ससंजक मृदा (Cohesive Soil)

(ii) ससंजनहीन मृदा (Non-cohesive Soil)

(iii) कोलाइड्स मृदा (Colloids Soil)

(1) ससंजक मृदा (Cohesive Soil)—इस प्रकार की मृदा के कणों में आपस में आकर्षण (Atraction) होता है, ससंजक मृदा कहलाती है। इनके कणों में आपस में आकर्षण होने के कारण कण एक-दूसरे से जुड़े/गुथे रहते हैं। इन कणों को एक-दूसरे से अलग करना कठिन है। इनके कण महीन होते हैं। इस मृदा में सुघट्य (Plastic) गुण होता है, अर्थात् इसको किसी भी आकार में ढाला जा सकता है; **जैसे**—चिकनी मिट्टी (Clay) की शक्ति इसी गुण के कारण होती है।

(2) ससंजनहीन मृदा (Non-cohesive Soil)—इस प्रकार की मृदा के कणों में आपस में आकर्षण नहीं होता है, ससंजनहीन मृदा कहलाती है, इनके कण मोटे होते हैं। इन्हें सरल तरीके से अलग-अलग किया जा सकता है; जैसे—रेत, ग्रेवल आदि। नींव के लिये ऐसी मृदा बहुत अच्छी मानी जाती है। इनके कणों से जल निकास अच्छा माना जाता है।

प्रमुख ससंजनहीन मृदायें

(i) रेत व बजरी (Sand and Gravel)—कणों की आकृति गोल एवं नुकीली

आकार (Size)—0.075 mm से 4.75 mm (रेत)

4.75 mm से 80 mm (बजरी)

पारगम्यता उच्च होती है अर्थात् जल निकास उत्तम होता है।

(ii) सिल्ट (Silt)—प्रमुख ससंजक मृदायें

आकार (Size)–0.002 mm से 0.075 mm

इसमें सुघट्यता गुण नहीं होता है अर्थात् इसको किसी भी आकार में ढाल नहीं सकते हैं। जल निकास निम्न स्तर का होता है अर्थात् पारगम्यता निम्न होती है।

(iii) कार्बनिक सिल्ट (Organic Silt)—

आकार (Size)—सिल्ट के कणों के आकार के बराबर होता है इस मृदा में सुघट्यता होती है। रंग भूरा, पारगम्यता-कम, सम्पीड्यता अधिक; इस मृदा में उपरोक्त गुण प्राप्त होते हैं।

(iii) पीट (Peat)—रंग-हल्का भूरा।

पेड़ों के पत्तों एवं छिलकों के सड़ने से मिट्टी में मिलावट अधिकांशत: जंगलों में निर्माण होता है। सामर्थ्य कम, नींव के लिये अनुपयुक्त होती है।

(iv) बेन्टोनाइट (Bentonite)—इस प्रकार की मिट्टी मुलतानी मिट्टी भी कही जाती है। इसके कण अत्यधिक महीन होते हैं। इनका विशेष गुण यह है कि पानी के सम्पर्क में आने पर फूलती है और सूखने पर संकुचन करती है। नींव कार्य हेतु अनुपयुक्त है।

(v) काली कपासी मृदा (Black Cotton Soil)—भारत के दक्षिण क्षेत्र में पायी जाती है इसका विशेष गुण यह है कि पानी के सम्पर्क में आने पर आयतन में वृद्धि करती है, सूखने पर संकुचन करती है, नींव कार्य के लिये अनुपयुक्त है। ससंजकता एवं सुघट्यता का गुण होता है। इसमें कैल्शियम एवं मैग्नीशियम के कार्बोनेट काफी मात्रा में उपस्थित होते हैं।

यह मृदा मुम्बई, पश्चिम मध्य प्रदेश, गुजरात व चेन्नई के कुछ भागों में पायी जाती है।

1.2.8. मृत्तिका एवं रेत में अन्तर (Difference between Clay and Sand)

क्रम संख्या	Properties (गुण)	Clay (मृत्तिका)	Sand (रेत)
1.	मृदा का प्रकार	महीन कण	मोटे कण
2.	कणों का आकार	0.002 mm से छोटे कण	0.07 mm से 4.75 mm के मध्य
3.	आँखों से देखने पर	दिखाई नहीं देते	दिखाई देते हैं
4.	रिक्तता अनुपात	उच्च	निम्न
5.	पारगम्यता	निम्न	उच्च
6.	ससंजकता (Cohesion)	ससंजक	असंजक
7.	द्रव सीमा	उच्च	निम्न
8.	सम्पीड्यता (Compressibility)	अधिक	कम
9.	सुघट्यता	सुघट्य (Plastic)	सुघट्य नहीं

1.2.9. मृदा का प्राचीन इतिहास (Ancient History of Soil)

प्राचीन समय से ही मनुष्य मृदा के सम्पर्क में रहा है। कभी निर्माण कार्यों के समय या फसल उगाने के समय, लेकिन मृदा के गुणों की जानकारी के बिना कार्य करता रहा, अनुभव के आधार पर यह ज्ञान बढ़ता रहा।

मिस्र में ईसा से 2000 वर्ष पूर्व **पिरामिडों** का निर्माण किया गया। इसमें कैसन नींव प्रचलन में लायी गयी। बेबीलोनिया में **झूलते उद्यान** (Hanging Garden) का निर्माण किया, जिसमें पुश्ता दीवारों का निर्माण किया गया जिस पर मृदा दाब आ रहा था।

भारत में आगरा में **ताजमहल** का निर्माण किया गया जिसमें लकड़ी की पाइल नींवों का उपयोग किया गया, क्योंकि मृदा नदी के किनारे की थी। यह आज तक भी सुरक्षित है। इससे सिद्ध होता है कि मृदा का ज्ञान निर्माण करने वालों को हो गया था। इटली में पीसा की **झुकती मीनार** है जो 12वीं सदी में बनायी गयी थी। आरम्भ में यह ऊर्ध्वाधर मीनार थी। इसके निर्माताओं को कल्पना नहीं थी कि आने वाले समय में यह झुकने लगेगी और विश्व के पर्यटक इसे देखने आने लगेंगे। सन् 1970 में इसका ऊर्ध्वाधर से झुकाव 5.03 मीटर था। यह मीनार प्रत्येक वर्ष झुकती जा रही है। वर्ष 1988 में इसका झुकाव 0.80 मिमी० और बढ़ा, इस झुकाव के कारण इस मीनार के रख-रखाव पर अत्यधिक धन खर्च करना पड़ रहा है।

भारत में प्राचीन मन्दिर, महल, किले आदि भवन इस समय मृदा के इन्जीनियरिंग ज्ञान के विषय में संकेत देते हैं। प्रत्येक संरचना चाहे भवन हो, पुल, बाँध या सड़क हो उसका भार अन्तिम रूप से मृदा पर ही आता है। यद्यपि प्राचीन समय के इन्जीनियर मृदा यांत्रिकी से आजकल के समान एक विषय के रूप में परिचित नहीं थे, परन्तु इसके महत्व को अवश्य समझते थे।

मृदा के गुणों के बारे में वैज्ञानिक दृष्टिकोण देने का श्रेय 18वीं सदी के प्रसिद्ध वैज्ञानिक कूलम्ब (Coulomb) को जाता है जिन्होंने सर्वप्रथम सन् 1773 में मृदा दाब के लिये अपना वेज सिद्धान्त (Wedge Theory) प्रकाशित किया। 1856 में मृदाओं से जल प्रवाह के लिये डार्सी (Darcy) ने नियम बनाये। 1857 में रैंकिन (Rankine) ने मृदा दाब (Earth Pressure) तथा मृदाओं की धारण क्षमता की गणना करने की विधि बतायी।

20वीं सदी के प्रारम्भ में मृदा वैज्ञानिक अटरबर्ग (Atterberg) (1911) ने मृदा के भौतिक गुणों के बारे में जानकारी दी। रसल (Resel) व बैल (Bell) ने 1910 से 1915 तक मृदा दाब के सिद्धान्त में मृदा के ससंजन के गुणों को भी सम्मिलित किया। Bell ने मृदाओं की धारण क्षमता ज्ञात करने की विधि बतायी। 1923 में डॉ० टरजागी (Tarzaghi) ने अपना संघनन का सिद्धान्त बनाया।

1933 में प्रोक्टर (Proctor) ने मृदा संहनन (Soil Compaction) में महत्वपूर्ण योगदान दिया।

इसके अलावा अनेकों वैज्ञानिकों व इन्जीनियरों ने समय-समय पर इस विषय को महत्वपूर्ण बनाने में अपना सहयोग दिया। इस समय विश्व में शायद ही ऐसा कोई कॉलेज हो जहाँ इसकी प्रयोगशाला न हो, प्राचीन काल में 100 फीट ऊँचा बाँध बनाना सम्भव न था, जबकि विश्व में 1000 फीट ऊँचा बाँध (Rockfill Dam) बनाया जा चुका है।

वर्तमान में नयी खोजों से सामान्य निर्माण विधियाँ पिछली विधियों में सुधार कर रही हैं।

मृदा यांत्रिकी में सबसे ज्यादा योगदान डॉ० टरजागी का है, इसलिये इन्हें मृदा यांत्रिकी का जनक भी कहते हैं।

सिविल इन्जीनियरिंग में मृदा यांत्रिकी का विशेष महत्व है। इस महत्व के कारण मृदा यांत्रिकी पर एक अन्तर्राष्ट्रीय संगठन का निर्माण किया गया जिसका प्रथम सम्मेलन 1938 में हॉर्वर्ड विश्वविद्यालय (अमेरिका) में किया गया और डॉ० टरजागी के कार्यों की मान्यता को प्रमाणित किया गया। इस तरह कई सम्मेलन किये गये और लगातार किये जाते हैं। इस तरह लगभग 14 सम्मेलन आयोजित हो चुके हैं।

भारत में भी राष्ट्रीय शाखा 1948 में खोली गयी। इसे प्राविधिक संस्थाओं के पाठ्यक्रम में भी स्थान दिया गया है। अत: हम कह सकते हैं कि सिविल इन्जीनियर के लिये मृदा यांत्रिकी का ज्ञान अति महत्वपूर्ण है।

1.2.10. मृदा की संरचना (Soil Structure)

मृदा पिण्ड में मृदा कण, जल तथा वायु की व्यवस्था तथा इन अवयवों में कार्य कर रहे बलों से उत्पन्न आण्विक आकर्षण को मृदा की संरचना कहते हैं।

मृदा के गुण; जैसे—पारगम्यता, ससंजकता एवं अपरूपण सामर्थ्य मृदा की संरचना पर निर्भर करती है।

मृदा संरचना निम्न तीन प्रकार होती है—

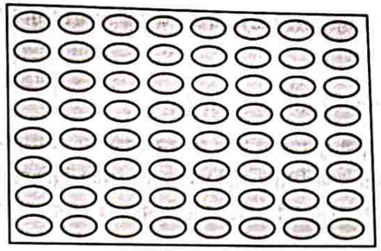
(i) एकल कणीय संरचना (Single Grained Structure)

(ii) मधुमक्खी छत्ता संरचना (Honey Combed Structure)

(iii) गुच्छेदार संरचना (Flocculent Structure)

1.2.11. एकल कणीय संरचना (Single Grained Structure)

एकल कणीय या समान कणीय संरचना सबसे सरल है। इसमें समान आकार के गोलाकार कणों की व्यवस्था होती है। (चित्र 1.3 देखें) इनके कणों में आपस में कोई आकर्षण नहीं होता है तथा यह ससंजनहीन कणों में पायी जाती हैं; जैसे—रेत (Sand), बजरी (Gravel) आदि। इनमें परस्पर आकर्षण बल न होने से कण अलग-अलग पाये जाते हैं। एकल कणीय मृदाओं का अवसादन (Sedimentation) गुरुत्वाकर्षण बल के द्वारा होता है।



एकल कणीय संरचना

चित्र–1.3

गुण–

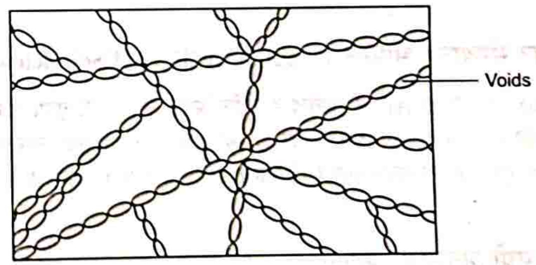
1. इस प्रकार की मृदाओं की सरन्ध्रता (Porosity) 50% से 20% के बीच तथा रिक्त अनुपात 1 से 0.3 के मध्य होता है।
2. एकल कणीय संरचनायें समांग (Homogeneous) होती हैं।
3. ऐसी संरचनाओं में यदि कणों का क्रम बिगड़ जाये तो इन संरचनाओं में कोई अन्तर नहीं आता है।
4. एकल कणीय संरचनाओं में मृदा कणों का व्यवहार दूसरे कणों को प्रभावित नहीं करता है।

1.2.12. गुच्छेदार संरचना (Flocculent Structure)

यह संरचना अत्यधिक सूक्ष्म कणों वाली मृदाओं में होती है। इनकी महीनता के ही कारण इनमें ससंजन बल होती है। जब दो कण आपस में सम्पर्क में आते हैं तो एक कण के अणु दूसरे कण के सम्पर्क बिन्दु पर एक आकर्षण बल लगाते हैं।

जिन कणों का व्यास (0.5 μ) से कम होता है उन कणों में यह पायी जाती है। इन कणों में सतही बल की अधिकता व गुरुत्व बल की कमी होती है। इस कारण इन कणों का पानी में अवसादन (Sedimentation) नहीं होता है, बल्कि सूक्ष्म कण पानी में तैरते रहते हैं। बल्कि पानी में ब्राउनियन गति से इधर-उधर (Zig-zag) होते रहते हैं। यदि इस समय HCl आदि मिला दिया जाये, तो कणों का ऋणात्मक आवेश दूर हो जाता है और कण परस्पर आकर्षित होकर एक-दूसरे से चिपक कर गुच्छा बनाने लगते हैं। इस कारण इनका आकार बड़ा होने लगता है और गुरुत्व बल कार्य करने लगता है और कण गुच्छे के रूप में बैठने लगते हैं।

ऐसी संरचना गुच्छेदार संरचना कहलाती है। (चित्र 1.4 देखें)



चित्र–1.4 : गुच्छेदार ऊर्णी संरचना

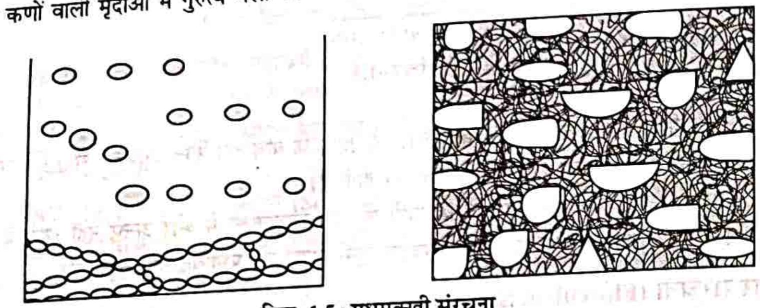
गुण–

1. गुच्छेदार संरचनायें पानी के सम्पर्क में आने पर आयतन बढ़ा लेती हैं अर्थात् फूल जाती हैं और सूखने पर सिकुड़ जाती हैं। जैसे—काली कपासी मिट्टी (Black Cotton Soil)।
2. इस प्रकार की मृदाओं में रिक्त स्थानों का आयतन ठोस कणों के आयतन से अधिक होता है।

3. ऐसी संरचनायें पुन: आपस में मिलकर नयी संरचनायें बनाती हैं। ऐसी मृत्तिकायें बहुधा समुद्री मृदाओं (Marine Soil) में पायी जाती हैं।

1.2.13. मधुमक्खी संरचना (Honey Combed Structure)

मधुमक्खी संरचना महीन कणों वाली मृदाओं में होती है। इन कणों का अवसादन (Sedimentation) गुरुत्व बल व आकर्षण बल के प्रभाव से होता है। मृदा कण जितना महीन होता है उसका विशिष्ट सतही क्षेत्रफल अधिक होता है। इस प्रकार महीन कणों वाली मृदाओं में गुरुत्व बलों की अपेक्षा सतही बलों की प्रधानता होती है। (चित्र 1.5)



चित्र–1.5 : मधुमक्खी संरचना

गुण–

1. मृदा कणों में ससंजन बल होता है।
2. मृदा कणों में रिक्त स्थान अधिक पाये जाते हैं।
3. मधुमक्खी संरचना में कणों का व्यवहार एक-दूसरे को प्रभावित करता है।

1.3. भारत में मृदा अभियंत्रण कार्य से सम्बन्धित संस्थाओं/संगठनों के नाम (Names of organizations dealing with soil engineering work in India)

मृदा अभियन्त्रण में विशिष्टता प्राप्त करने के उद्देश्य से देश में निम्न संस्थान संरचनाओं की विशेष तकनीक हेतु कार्य कर रहे हैं।

1.3.1. भारतीय मृदा विज्ञान संस्थान (भोपाल) (Indian Institute of Soil Science)

इसका संक्षिप्त नाम (IISS) है। यह ICAR से सम्बद्ध है जोकि भारत सरकार में कृषि मंत्रालय के अधीन कार्यरत है। इसका कार्यालय नवीवाग भोपाल (म० प्र०) में स्थित है। इस संस्थान के अन्तर्गत मृदा निर्माण, मृदा वर्गीकरण, मृदा के भौतिक, रासायनिक तथा जैविक गुणों का अध्ययन एवं खेती योग्य भूमि का संरक्षण किस प्रकार किया जाये, का कार्य हो रहा है।

1.3.2. केन्द्रीय मृदा एवं सामग्री अनुसंधान शाला (Central Soil and Materials Research Station, New Delhi)

इसका संक्षिप्त नाम (CSMRS) है एवं ISO 9001 : 2008 द्वारा प्रमाणित संगठन है। यह भारत सरकार के जल संसाधन मंत्रालय एवं नदी विकास से सम्बद्ध है। इसकी स्थापना 1954 में हुई। इसके पुस्तकालय की स्थापना 1981 में की गयी इसमें वर्तमान में लगभग 6974 किताबें, 2520 मानक दस्तावेज, 1276 तकनीकी रिपोर्ट, 97 वीडियो कैसेट, 480 नक्शे एवं 110 सी डी उपलब्ध हैं।

इस केन्द्र का कार्य भूयांत्रिकी, कंक्रीट तकनीकी, निर्माण सामग्री, सिंचाई एवं ऊर्जा सम्बन्धी है, केन्द्र उपरोक्त से सम्बन्धित कार्यों हेतु लगातार अनुसंधान में कार्यरत है। इसके अतिरिक्त मृदा यांत्रिकी एवं नींव इन्जीनियरिंग तथा Rockfill तकनीकी ग्राउट तकनीकी क्षेत्र में भी उत्कृष्ट अनुसंधान कर रहा है। इस संस्थान के अभियन्ता संयुक्त राष्ट्र संघ के सम्मेलनों में भी प्रति भाग करते हैं। इस संस्थान में 150 अभियन्ता एवं वैज्ञानिक कार्यरत हैं एवं 300 सहयोगी कार्मिक लगे हुये हैं।

इस संस्थान ने बाँधों के निर्माण, पुलों (bridges), बहुमंजिली भवनों, न्यूक्लियर एवं थर्मल पॉवर स्टेशनों से सम्बन्धित कार्यों का अनुसंधान चुनौतीपूर्ण तरीके से ले रखा है।

इस संस्थान का कार्य अन्तर्राष्ट्रीय मानकों के अन्तर्गत चल रहा है, एवं विश्व स्तर पर सिविल इन्जीनियरिंग कार्यों में अभिकल्पन, प्लानिंग आदि पर सहयोग कर रहा है।

1.3.3. इंडियन जियोटेक्निकल सोसाइटी (Indian Geotechnical Society, New Delhi)

इसका संक्षिप्त नाम (IGS) है। इसकी स्थापना 1970 में हुई, यह संगठन Indian National Society of Soil Mechanics & Foundation Engg. से ही बनाया गया, इसका 13^{th} अन्तर्राष्ट्रीय सम्मेलन 1994 में हुआ इसने अपनी डायमन्ड जुबली 2008 में मनायी, इसने अपना भवन/कार्यालय 1996 में स्थापित कर लिया है।

Indian National Society of Soil Mechanics & Foundation Engg. की स्थापना 1948 में हुई थी, इसका अन्तर्राष्ट्रीय सम्मेलन राटरडम (Rotterdam) में हुआ। इस संस्थान द्वारा भूस्खलन (land slide), मृदा यांत्रिकी (soil mechanics), ज्वालामुखी, मृदा बाँध, पुलों की नींवें, मिलिट्री इन्जी०, पेट्रोलियम, भवनों की नींवों से सम्बन्धित क्षेत्रों में अनुसंधान किये जा रहे हैं।

1.3.4. भारत का मृदा मानचित्र (Soil map of India)

भारतवर्ष में मृदा मानचित्र के द्वारा विभिन्न प्रकार की मृदा प्रदर्शित की गयी है। इन्हें पाँच भागों में विभक्त किया गया है—

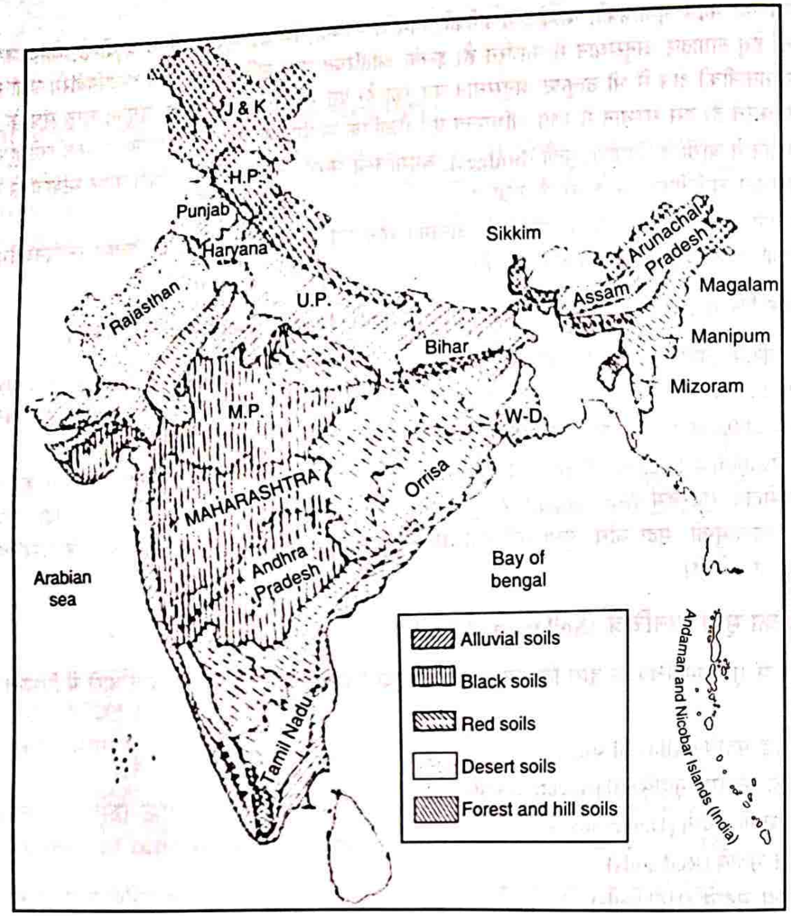
(a) जलोढ़ मृदायें (Alluvial soils)
(b) काली कपासी मृदायें (Black cotton soils)
(c) रेगिस्तानी मृदायें (Desert soils)
(d) लाल मृदायें (Red soils)
(e) पहाड़ी मृदायें (Hill soils)

(a) जलोढ़ मृदायें (Alluvial soils)—इस मृदा का निर्माण सिल्ट के जमा होने से होता है। यह गंगा, सिन्धु एवं ब्रह्मपुत्र नदियों के तटीय इलाके में पायी जाती है। इसमें अत्यधिक मात्रा में खनिज (Mineral) उपस्थित रहते हैं जोकि कृषि फसलों के पैदावार में सहायक है। यह मृदायें विन्ध्य, सतपुड़ा शृंखलाओं (Ranges) के उत्तर में पायी जाती है। इसकी परत (thickness) 100 m तक होती है। यह उ० प्र०, बिहार, आसाम, पंजाब, हरियाणा आदि राज्यों में पायी जाती है।

(b) काली कपासी मृदायें (Black cotton soils)—भारत के दक्षिणी भाग में पायी जाने वाली काली मिट्टी जिसकी उत्पत्ति लावा द्वारा निर्मित बेसाल्ट शैल से हुई है। जल में मिलने पर मृत्तिका जैसी मुलायम हो जाती है किन्तु सूखने पर कठोर होकर दरारें पैदा कर देती है। इसे रेगड़ (Regur), बाँगर भी कहते हैं। इसमें कपास पैदा होता है। यह मध्य प्रदेश, महाराष्ट्र, दक्षिणी गुजरात, कर्नाटक एवं आन्ध्र प्रदेश में पायी जाती है। यह मृदा निर्माण कार्यों के लिये जटिल एवं महँगी है।

(c) रेगिस्तानी मृदायें (Desert soils)—यह महीन रेतीली (sandy) मृदा है। रेगिस्तानी मृदा राजस्थान में पायी जाती है, रंग पीला रंग लिये होती है। बलुआ पत्थर से प्राप्त होती है। फसलों के उत्पादन में उपयुक्त नहीं है।

(d) लाल मृदायें (Red soils)—लाल मृदाओं में पोटाश की मात्रा अधिक एवं चूना (lime) की मात्रा कम होती है। इसमें उपजाऊ शक्ति कम होती है। भारत में लाल मिट्टी, पश्चिम बंगाल, छत्तीसगढ़, उड़ीसा, कर्नाटक, झारखण्ड, तमिलनाडु, महाराष्ट्र, आन्ध्र प्रदेश में पायी जाती है। लोहा, कैल्शियम और एल्यूमीनियम अधिक मात्रा में पाया जाता है। आयरन ऑक्साइड की प्रचुर मात्रा में होने के कारण इसका रंग लाल होता है।



चित्र 1.6–भारत का मृदा मानचित्र

(e) पहाड़ी मृदायें (Hill soils)—यह मृदा हिमालय की घांटियों (valleys) में पायी जाती है। यह 3 लाख वर्ग किमी० में फैली है। इन्हें वनीय मृदा भी कहते हैं। यह कश्मीर से अरुणाचल प्रदेश तक पायी जाती है। इसमें फॉस्फोरस, पोटाश चूना की कमी होती है। यह मृदा सेब, नाशपाती के लिये उपयुक्त है।

प्रश्नावली

1. चट्टानों के अपक्षय में किस तरह मृदा बन जाती है? समझाइये। *(B.T.E.U.P. 1983, 85)*
2. सिविल अभियन्त्रण में मृदा का अर्थ बताइये। *(B.T.E.U.P. 1986)*
3. निम्न को स्पष्ट करें—
   (i) जलोढ़ मृदा (Alluvial Soil)
   (ii) वातज मृदा (Aeolin Soil) *(B.T.E. U.P. 1985)*
   (iii) मृदा का अपक्षरण (Weathering of Soil) *(B.T.E. U.P. 1986)*
   (iv) मृदा यांत्रिकी में मृदा (Term Soil in Civil Engg.) *(B.T.E. U.P. 1986)* *(B.T.E. U.P. 1986)*

4. मिट्टी की बनावट (Texture) तथा संरचना में अन्तर बताइये। *(B.T.E. U.P. 1980, 86)*
5. मृदा संरचना से आप क्या समझते हैं? मृदाओं में पायी जाने वाली विभिन्न मृदा संरचना का संक्षिप्त में वर्णन कीजिये। *(B.T.E. U.P. 1978, 82)*
6. ऊर्णी संरचना (Flocculent structure) से आप क्या समझते हो? *(B.T.E. U.P. 1977, 80, 81)*
7. मृदा की परिभाषा दीजिए। मृदा की उत्पत्ति कैसे होती है? *(B.T.E. U.P. 2001)*
8. मृत्तिका एवं रेत में अन्तर स्पष्ट करें।
9. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखें—
   (i) अवशिष्ट मृदा (Residual Soil)
   (ii) ससंजक एवं ससंजनहीन मृदा (Cohesive and Non-cohesive Soil)
   (iii) सरोवरीय मृदा एवं हिमानी मृदा (Lacustrine and Glacial Soil)
10. अपक्षय के भौतिकीय और रासायनिक माध्यमों तथा मृदा निर्माण में उनकी भूमिका की विवेचना कीजिए।
11. आधार इन्जीनियरिंग (foundation engg.) की परिभाषा लिखिये तथा सिविल इन्जीनियरिंग में उसका उपयोग लिखें। *(BTE 2016)*
12. मृदा यांत्रिकी से आप क्या समझते हो? एक अभियन्ता के लिये यह किस प्रकार उपयोगी है? *(BTE 2017)*
13. अभ्युत्थान (Upheaval) से आप क्या समझते हो?
14. कोष मय या मधुमक्खी संरचना का संक्षेप में वर्णन कीजिये।
15. चट्टानों के विघटित कणों के परिवहन तथा जमाव से क्या समझते हो?
16. रेगड़ (Regur) व बाँगर मृदा का क्या अर्थ है?
17. मृदा उत्पत्ति चक्र से क्या आशय है तथा इस भूवैज्ञानिक चक्र की मुख्य क्रियायें कौन-कौन सी हैं?
18. अपशिष्ट एवं स्थानान्तरित मृदा में अन्तर स्पष्ट करें।
19. भारत में मृदा अभियांत्रिकी में मुख्यत: कौन-कौन संगठन (organisation) अपना विशेष अनुसंधान कार्य कर रहे हैं?
20. भारत के मृदा मानचित्र (soil map of India) के अनुसार निम्न मृदाओं पर प्रकाश डालें—
   (i) जलोढ़ मृदा (Alluvial soil)
   (ii) काली कपासी मृदा (Black cotton soil)
   (iii) लाल मृदा (Red soil)
   (iv) वनीय मृदा या पहाड़ी मृदा (Forest or hill soil)

अध्याय 2

मृदाओं के भौतिक गुण
(Physical Properties of Soils)

2.1. मृदा घटकों का प्रावस्था आरेख द्वारा प्रदर्शन (Constituents of soil and representation by Phase diagram)

2.1.1. परिचय (Introduction)

सिविल इन्जीनियरिंग में सभी संरचनायें या निर्माण मृदा पर ही निर्भर होती हैं। यदि हम देखें तो मृदा पिण्ड मृदा के कणों का समूह है, जिसमें मृदा के विभिन्न कण एवं रिक्त स्थान (Voids) होते हैं। इन रन्ध्र स्थानों (Voids) में वायु भरी रहती है एवं जल भी उपस्थित होता है। आंशिक संतृप्त मृदा में जल एवं वायु दोनों होते हैं, जबकि शुष्क मृदा में केवल वायु की उपस्थिति होती है।

संतृप्त मृदा—रन्ध्र स्थानों (Voids) में केवल जल की उपस्थिति।

शुष्क मृदा—रन्ध्र स्थानों (Voids) में केवल वायु की उपस्थिति।

आंशिक संतृप्त मृदा—रन्ध्र स्थानों (Voids) में वायु एवं जल दोनों की उपस्थिति।

रन्ध्र स्थान (Voids)—मृदा कणों के बीच रिक्त स्थान या खाली जगह।

2.1.2. मृदा प्रावस्था (Soil Phase)

मृदा पिण्ड में मृदा कण, पानी एवं हवा के रूप में अलग-अलग व्यवस्था की कल्पना मृदा प्रावस्था कहलाती है।

मृदा पिण्ड में निम्न तीन प्रावस्थायें स्वीकार्य हैं—

(i) ठोस प्रावस्था (Solid Phase)

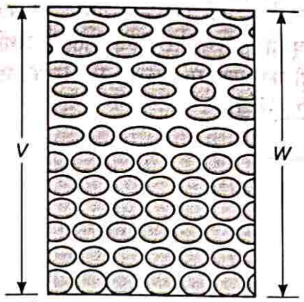
(ii) जल प्रावस्था (Water/Liquid Phase)

(iii) वायु प्रावस्था (Air Phase)

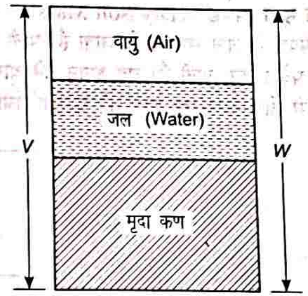
2.1.3. प्रावस्था आरेख (Phase Diagram)

वह आरेख जिसमें विभिन्न गणनाओं हेतु मृदा पिण्ड में उपस्थित घटकों ठोस कण, जल एवं वायु को अलग-अलग दर्शाते हैं प्रावस्था Phase Diagram कहलाता है। (चित्र 2.1 एवं 2.2 देखें) इन चित्रों में वास्तविक मृदा पिण्ड एवं गणनाओं हेतु काल्पनिक मृदा पिण्ड दर्शाये गये हैं जबकि प्रकृति में काल्पनिक मृदा पिण्ड नहीं होता है।

चित्र 2.1 में ठोस कणों के बीच रन्ध्र स्थान Voids दिख रहे हैं। इन्हीं रन्ध्र स्थानों में वायु एवं जल उपस्थित रहते हैं। चित्र 2.2 को काल्पनिक मानकर गणनाओं हेतु मृदा पिण्ड के तीनों घटकों (कण, जल एवं वायु) को अलग-अलग दर्शाया गया है जबकि ऐसा वास्तव में सम्भव नहीं है। गणनाओं हेतु चित्र 2.2 से निम्न सूचनायें प्राप्त होती हैं—मृदा में उपस्थित (i) कणों, जल एवं वायु का आयतन, (ii) कणों, जल एवं वायु का भार।



चित्र–2.1 : वास्तविक मृदा पिण्ड



चित्र–2.2 : काल्पनिक मृदा पिण्ड

यहाँ वायु का भार नगण्य मानते हैं अर्थात् शून्य।

जिस चित्र (आरेख) में यह आँकड़े प्राप्त होते हैं वह प्रावस्था आरेख (Phase Diagram) उचित कहा जायेगा।

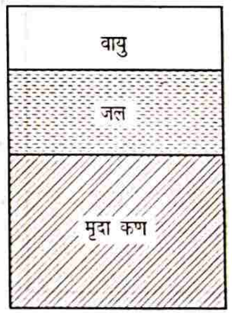
मृदा पिण्ड की तीन अवस्थायें होती हैं—

(i) आंशिक संतृप्त मृदा पिण्ड (Partially Saturated Soil Mass)

(ii) संतृप्त मृदा पिण्ड (Saturated Soil Mass)

(iii) शुष्क मृदा पिण्ड (Dry Soil Mass)

(i) आंशिक संतृप्त मृदा पिण्ड (Partially Saturated Soil Mass)—मृदा की इस स्थिति में प्रावस्था आरेख (Phase Diagram) में मृदा के तीनों घटक मृदा कण, जल एवं वायु उपस्थित होते हैं। चित्र 2.3 प्रावस्था आरेख में तीनों घटक दर्शाये गये हैं।

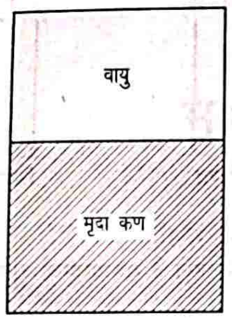


चित्र–2.3 : आंशिक संतृप्त मृदा पिण्ड

(ii) संतृप्त मृदा पिण्ड (Saturated Soil Mass)—यदि मृदा पिण्ड में जल प्रवेश करता है और मृदा पिण्ड के सभी रिक्त स्थानों (Voids) से वायु को निकाल कर उस स्थान पर जल अपना स्थान बना लेता है अर्थात् सम्पूर्ण रन्ध्र स्थानों में जल भर जाता है और वायु रन्ध्र पूर्ण रूप से समाप्त हो जाते हैं, ऐसी मृदा संतृप्त मृदा पिण्ड कहलायेगी। (चित्र 2.4)। अवस्था परिवर्तन से मृदा पिण्ड के आयतन में कोई परिवर्तन नहीं होता है। प्रावस्था आरेख में केवल ठोस कण एवं जल दर्शाया गया है।

चित्र–2.4 : संतृप्त मृदा पिण्ड

3. शुष्क मृदा पिण्ड (Dry Soil Mass)—यदि मृदा प्रतिदर्श से भट्टी (Oven) द्वारा जल वाष्पीकृत करा दिया जाये, तो मृदा पिण्ड में जल समाप्त हो जाता है। पानी का स्थान वायु द्वारा ग्रहण कर लिया जाता है अर्थात् जल वाले रन्ध्र स्थानों पर वायु प्रवेश कर जाती है। यह ध्यान देने योग्य है कि भट्टी का तापक्रम 105°C से 110°C तक ही रखा जाये। प्रावस्था आरेख में ठोस कण एवं वायु को दर्शाया गया है, आरेख 2.5 देखें।

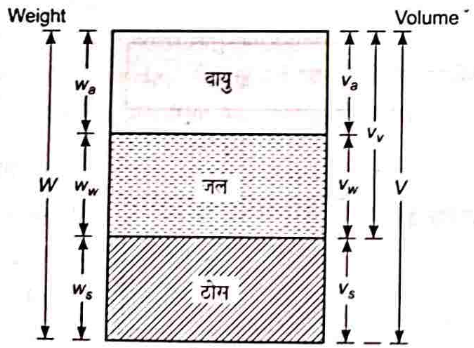


चित्र–2.5 : शुष्क मृदा पिण्ड

2.2. परिभाषाएँ (Definitions)

2.2.1. महत्त्वपूर्ण सम्बन्ध (Important Relations)

विभिन्न सम्बन्धों की चर्चा करने से पूर्व प्रावस्था आरेख में महत्त्वपूर्ण संकेतकों (Notations) की जानकारी करना अति आवश्यक है। (चित्र 2.6)



चित्र–2.6

V = मृदा का कुल आयतन
V_S = मृदा में ठोस कणों का आयतन
V_V = मृदा में कुल रिक्त स्थानों का आयतन
V_W = जल रन्ध्रों (Voids) का आयतन
V_A = वायु रन्ध्रों का आयतन
W = मृदा का कुल भार
W_S = मृदा में उपस्थित ठोस कणों का भार

W_W = मृदा में उपस्थित जल का भार
W_A = मृदा में उपस्थित वायु का भार

चित्र 2.6 के अनुसार,

कुल आयतन = मृदा कणों का आयतन + रन्ध्रों का आयतन

$$\boxed{V = V_S + V_V}$$

$$V_V = V_W + V_A$$

रन्ध्रों का आयतन = जल का आयतन + वायु का आयतन

$$V = V_S + V_W + V_A \qquad (\because V_V = V_W + V_A)$$

इसी प्रकार

$$W = W_S + W_W + W_A$$

$$W = W_S + W_W \qquad (\text{जहाँ } W_A = 0 \text{ वायु का भार})$$

2.2.2. रिक्तता अनुपात (Void Ratio)

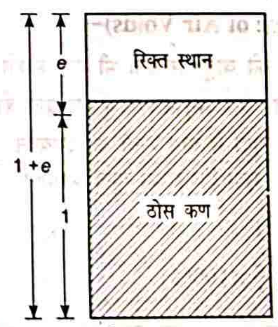
मृदा पिण्ड में रिक्त स्थानों का आयतन एवं ठोस कणों के आयतन के अनुपात को रिक्तता अनुपात कहते हैं। इसे *e* से दर्शाते हैं।

$$e = \frac{\text{मृदा पिण्ड में रन्ध्र स्थानों का आयतन}}{\text{मृदा पिण्ड में ठोस कणों का आयतन}} = \frac{V_V}{V_S}$$

रिक्तता अनुपात को % में दर्शाते हैं।

अतः $$e(\%) = \frac{V_V}{V_S} \times 100\%$$

रिक्तता अनुपात को निम्नवत् भी दर्शा सकते हैं (चित्र 2.7)।



चित्र–2.7

रिक्तता अनुपात का मान ठोस कणों के इकाई आयतन में उपस्थित रिक्त स्थानों के आयतन के बराबर होता है। रिक्तता अनुपात जितना अधिक होगा मृदा में रिक्त स्थानों का परिमाण उतना ज्यादा होगा।

2.2.3. सरन्ध्रता (Porosity)

मृदा पिण्ड में कुल रन्ध्र स्थानों के आयतन तथा मृदा के कुल आयतन का अनुपात सरन्ध्रता कहलाता है। इसे *n* से दर्शाया जाता है। सरन्ध्रता एवं रिक्तता अनुपात आपस में सम्बन्ध रखते हैं। सरन्ध्रता मृदा में उपस्थित रन्ध्र स्थानों (Voids) का अनुभव कराती है।

$$\text{सरन्ध्रता } (n) = \frac{\text{रन्ध्र स्थानों का आयतन}}{\text{मृदा पिण्ड का कुल आयतन}} = \frac{V_V}{V}$$

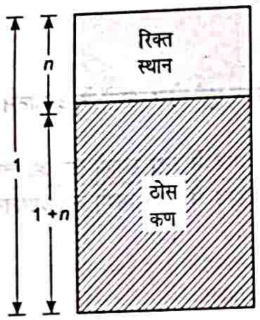
$$n = \frac{V_V}{V}$$

सरन्ध्रता को प्रतिशत में दर्शाते हैं।

$$n\,(\%) \text{ में } = \frac{V_V}{V} \times 100\%$$

Note : Porosity की Numerical Value, Void Ratio से कम होती है। Porosity सरन्ध्रता को निम्नवत् भी दर्शा सकते हैं। (चित्र 2.8)

सरन्ध्रता का मान मृदा ठोस कणों के इकाई आयतन में उपस्थित रन्ध्र स्थानों के आयतन के बराबर होता है।



चित्र–2.8

2.2.4. प्रतिशत वायु रन्ध्र (Percentage of Air Voids)–

मृदा में उपस्थित प्रतिशत वायु रन्ध्रों को वायु सरन्ध्रता भी कह सकते हैं तथा इसे n_a से दर्शाते हैं।

मृदा पिण्ड में वायु रन्ध्रों के आयतन का अनुपात वायु सरन्ध्रता होता है।

$$\text{प्रतिशत वायु रन्ध्र } (n_a) = \frac{\text{मृदा में वायु रन्ध्रों का आयतन}}{\text{मृदा पिण्ड का कुल आयतन}} = \frac{V_a}{V}$$

वायु सरन्ध्रता को प्रतिशत में दर्शाते हैं।

$$n_a = \frac{V_a}{V} \times 100\%$$

नोट—Dry Sample में वायु सरन्ध्रता का मान सरन्ध्रता (Porosity) के बराबर तथा संतृप्त प्रतिदर्श में इसका मान शून्य होता है। आंशिक रूप से संतृप्त मृदा में वायु सरन्ध्रता का मान Porosity व शून्य के मध्य होता है।

2.2.5. संतृप्ति मात्रा (Degree of Saturation)

मृदा पिण्ड में मृदा कणों के बीच खाली स्थान में वायु, जल दोनों हो सकते हैं। यदि सभी रन्ध्रों में जल भरा हो तो समझिये कि मृदा संतृप्त है। यदि मृदा आंशिक रूप से संतृप्त है तो समझिये कि खाली स्थानों में जल और हवा दोनों उपस्थित हैं।

संतृप्ति मात्रा यह प्रदर्शित करती है कि मृदा में कितने रन्ध्रों में जल की मात्रा है।

किसी मृदा पिण्ड में संतृप्ति मात्रा मृदा में जल रन्ध्रों के आयतन व मृदा में उपस्थित कुल रन्ध्रों के आयतन का अनुपात है। इसको S_R से दर्शाते हैं।

$$\text{संतृप्ति मात्रा } (S_R) = \frac{\text{जल का आयतन}}{\text{रन्ध्रों का आयतन}} = \frac{V_W}{V_V}$$

$$S_R = \frac{V_W}{V_V}$$

संतृप्ति मात्रा को भी प्रतिशत में दर्शाते हैं।

$$S_R\% = \frac{V_W}{V_V} \times 100\%$$

Note : 1. यदि मृदा पिण्ड के सम्पूर्ण खाली स्थानों में जल उपस्थित है अर्थात् मृदा पूर्णरूपेण संतृप्त है, तब

$$V_V = V_W$$

एवं $S_R = 1 \times 100 = 100\%$

अर्थात् मृदा की संतृप्ति मात्रा 100 % कहलायेगी।

2. यदि मृदा पिण्ड पूर्णतः सूखा अर्थात् Dry है समझिये कि मृदा के सम्पूर्ण खाली स्थानों (Voids) में हवा भरी है अर्थात् मृदा में जल का आयतन शून्य है।

अर्थात् $V_W = 0$ होगा।

अतः: $$S_R = \frac{V_W}{V_V} \times 100$$

$$= \frac{0}{V_V} \times 100 = 0\%$$

अर्थात् मृदा की शुष्क **अवस्था में संतृप्ति मात्रा 0 % कहलायेगी।**

3. 0 % से 100 % के बीच की Value के लिये मृदा संतृप्त अवस्था में कहलायेगी।

2.2.6. जलांश (Water Content)

मृदा पिण्ड में कई प्रकार का पानी उपस्थित रहता है। मृदा यांत्रिकी में जलांश की परिभाषा निम्नवत् है।

मृदा प्रतिदर्श में उपस्थित जल के भार व मृदा कणों के भार के अनुपात को जलांश कहते हैं। इसे ω से दर्शाते हैं।

$$\text{जलांश } (\omega) = \frac{\text{जल का भार}}{\text{मृदा कणों का भार}} \times 100$$

$$\omega = \frac{W_w}{W_S} \times 100\%$$

Note : यहाँ जल के भार का तात्पर्य यह है कि मृदा प्रतिदर्श (Soil Sample) को 110°C के तापक्रम पर 24 घण्टे तक गर्म करने पर उसके भार में होने वाली कमी।

2.2.7. मृदा पिण्ड के घनत्व अथवा एकांक भार (Density or Unit Weight of Soils)

किसी वस्तु के इकाई आयतन की मात्रा को उसका घनत्व कहते हैं। इसका मान मृदा के विशिष्ट घनत्व, रिक्त अनुपात तथा संतृप्ति मात्रा आदि से प्रभावित होता है। इसकी इकाई C.G.S. प्रणाली में **ग्राम प्रति घन सेमी० (g/cm^3)** तथा M.K.S. प्रणाली में **किग्रा० प्रति घन मीटर (kg/m^3)** होती है।

मृदा के अध्ययन की दृष्टि से मृदा के एकांक भार (Unit Weight) निम्नवत् हैं।

1. स्थूल घनत्व (Bulk Unit Weight)—मृदा की सामान्य अवस्था में इकाई आयतन का कुल भार स्थूल घनत्व कहलाता है। इस भार में मृदा कणों का भार तथा रन्ध्रों में जल यदि उपस्थित है, सम्मिलित रहता है। इसको γ_b से दर्शाया जाता है।

$$\text{स्थूल घनत्व } \gamma_b = \frac{\text{मृदा का कुल भार}}{\text{मृदा का कुल आयतन}} = \frac{W}{V}$$

2. शुष्क घनत्व (Dry Density)—मृदा की शुष्क अवस्था में मृदा कणों का भार व उसका कुल आयतन का अनुपात शुष्क एकांक भार कहलाता है। इसे γ_d से दर्शाया जाता है।

मृदा को शुष्क करने पर उसके रन्ध्रों से जल निकल जाता है और उसका स्थान वायु घेर लेती है। अत: मृदा के भार में कमी आ जाती है और उसका आयतन वही (V) रहता है।

$$\text{शुष्क घनत्व } \gamma_d = \frac{\text{मृदा कणों का भार}}{\text{मृदा का कुल आयतन}} = \frac{W_S}{V}$$

स्थूल घनत्व γ_b का मान γ_d (शुष्क घनत्व) के मान से सदैव अधिक होता है। प्रत्येक अवस्था मे W_S का मान W से कम ही रहेगा।

3. संतृप्त घनत्व (Saturated Density)—मृदा की संतृप्त अवस्था में इकाई आयतन का भार संतृप्त घनत्व कहलाता है। इसको γ_{sat} से दर्शाया जाता है।

$$\text{संतृप्त एकांक भार} = \frac{\text{संतृप्त मृदा का कुल भार}}{\text{मृदा का कुल आयतन}} = \frac{(W_S + W_W)}{V}$$

γ_{sat} का मान γ_b (स्थूल घनत्व), γ_d (शुष्क घनत्व) दोनों से ज्यादा होगा क्योंकि मृदा की संतृप्त अवस्था में मृदा के समस्त रन्ध्र जल से भरे होंगे, जिससे मृदा का कुल भार अधिक होगा।

4. निमग्न घनत्व (Submerged Density)—मृदा का पानी में डूबने पर रह गया उसके भार तथा उसके कुल आयतन का अनुपात निमग्न घनत्व कहलाता है। इसे γ_{sub} से दर्शाते हैं।

$$\gamma_{sub} = \frac{\text{मृदा का पानी में भार}}{\text{मृदा का कुल आयतन}}$$

मृदा का निमग्न घनत्व = संतृप्त घनत्व – 1

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - 1$$

निमग्न अवस्था में मृदा पूर्णत: जल में डूबी होगी जिससे मृदा संतृप्त अवस्था में होती है, निमग्न अवस्था में मृदा अपने आयतन के बराबर पानी हटायेगी। (आर्कमिडीज सिद्धान्त) जिससे पानी के अन्दर उसके भार में कमी हो जायेगी। फलस्वरूप मृदा के घनत्व में भी कमी हो जाती है।

यहाँ निमग्न अवस्था में मृदा अपने आयतन के बराबर 1 इकाई आयतन पानी हटायेगी। पानी का घनत्व 1 होगा, अत: हटाये गये पानी का भार 1 इकाई होगा। अत: मृदा के भार में कमी 1 इकाई भार के बराबर होगी।

2.2.8. विशिष्ट गुरुत्व (Specific Gravity)

किसी मृदा का विशिष्ट गुरुत्व उसके एकांक आयतन का भार तथा जल के 4°C पर इकाई आयतन के भार का अनुपात है। इसे G से दर्शाते है।

$$\text{विशिष्ट गुरुत्व } G = \frac{\text{मृदा के इकाई आयतन का भार}}{4^\circ C \text{ पर पानी के इकाई आयतन का भार}}$$

मृदा कणों के विशिष्ट गुरुत्व G का मान 2.6 से 2.7 के मध्य होता है। चूँकि मृदा भिन्न-भिन्न चट्टानों से टूटकर कणों से निर्मित है अत: कणों का विशिष्ट गुरुत्व अलग-अलग होगा। विशिष्ट गुरुत्व जितना ज्यादा होगा, मृदा उतनी अधिक शक्ति रखती है।

इसे निम्न प्रकार भी कह सकते हैं; जैसे—विशिष्ट गुरुत्व, आपेक्षिक घनत्व, विशिष्ट घनत्व आदि। इन्हें G अक्षर से दर्शाया जाता है।

2.2.9. घनत्व सूचकांक (Density Index or Relative Density)

किसी मृदा का घनत्व सूचकांक उसके बिल्कुल ढीली अवस्था के रिक्त अनुपात व किसी दिये हुये रिक्त अनुपात के अन्तर का उसके बिल्कुल ढीली अवस्था के रिक्त अनुपात व उसके अधिकतम **सघन** अवस्था के रिक्त अनुपातों के अन्तर के अनुपात को कहते हैं। इसे I_d से प्रदर्शित किया जाता है। इसे सापेक्ष घनत्व भी कहते हैं।

$$\text{घनत्व सूचकांक } (I_d) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

जहाँ e_{max} = अधिकतम रिक्तता अनुपात (बिल्कुल ढीली अवस्था) अर्थात् खुदाई के बाद पड़ी मृदा

e_{min} = न्यूनतम रिक्तता अनुपात (अधिकतम सघन अवस्था अर्थात् कुटाई करने के बाद की अवस्था)

e = प्राकृतिक अवस्था में रिक्तता अनुपात

ससंजनहीन मृदा का अधिकतम ढीली अवस्था में $I_d = 0$ एवं अधिकतम सघन अवस्था में $I_d = 1$ होता है।

2.2.10. महत्वपूर्ण सम्बन्ध (Important Relations)

(i) रिक्तता अनुपात तथा सरन्ध्रता में सम्बन्ध (Relation between Void Ratio and Porosity)

$$n = \frac{e}{e+1}$$

हम जानते हैं कि

$$n = \frac{V_V}{V} = \frac{V_V}{V_S + V_V} \qquad (\because V = V_S + V_V)$$

$$n = \frac{V_V / V_S}{(V_S + V_V)/V_S} \qquad \text{(अंश व हर को } V_S \text{ से भाग देने पर)}$$

$$\left\{\because \frac{V_S + V_V}{V_S} = \frac{V_S}{V_S} + \frac{V_V}{V_S} \text{ व } \frac{V_V}{V_S} = e\right\}$$

$$n = \frac{e}{1+e}$$

(ii)

$$e = \frac{n}{1-n}$$

हम जानते हैं कि

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

$$e = \frac{V_V}{V - V_V} \qquad (\because V = V_S + V_V \therefore V_S = V - V_V)$$

$$e = \frac{V_V / V}{(V - V_V)/V} \qquad \text{(अंश व हर में } V \text{ से भाग देने पर)}$$

$$\left(\because \frac{V - V_V}{V} = \frac{V}{V} - \frac{V_V}{V}, \text{ जहाँ } \frac{V_V}{V} = n\right)$$

$$e = \frac{n}{1-n}$$

$$\omega = \frac{S_r.e}{G}$$

(iii)

हम जानते हैं कि—

जलांश
$$\omega = \frac{W_W}{W_S} \qquad \left(\because Y_W = \frac{W_W}{V_W} \therefore W_W = V_W.Y_W\right)$$

$$\omega = \frac{V_W.Y_W}{V_S.Y_S} \qquad \left(\because Y_S = \frac{W_S}{V_S} \therefore W_S = V_S.Y_S\right)$$

$$\omega = \frac{V_W.Y_W}{V_S.GY_W} \qquad \left(\because G = \frac{Y_S}{Y_W} \therefore Y_S = G.Y_W\right)$$

$$\omega = \frac{V_W}{V_V} \times \frac{V_V}{V_S} \times \frac{1}{G}$$ (अंश व हर को V_V से भाग देने पर)

$$\omega = \frac{S_n.e}{G} \qquad \left\{\because \frac{V_W}{V_V} = S_r, \frac{V_V}{V_S} = e\right\}$$

(iv)
$$Y_b = G.Y_W \frac{1+\omega}{(1+e)}$$

हम जानते हैं कि—

स्थूल घनत्व
$$Y_b = \frac{W}{V}$$

$$Y_b = \frac{W_S + W_W}{V_S + V_V} \qquad (\because W = W_S + W_W \text{ व } V = V_S + V_V)$$

$$Y_b = \frac{W_S + \omega.W_S}{V_S + e.V_S} \qquad \left\{\because \omega = \frac{W_W}{W_S} \therefore W_W = \omega.W_S\right\}$$

$$Y_b = \frac{W_S(1+\omega)}{V_S(1+e)} \qquad \left(\because e = \frac{V_V}{V_S} \therefore V_V = e.V_S\right)$$

$$Y_b = Y_S \frac{(1+\omega)}{(1+e)} \qquad \left(\because \frac{W_S}{V_S} = Y_S\right)$$

$$Y_b = G.Y_W \frac{1+\omega)}{1+e)}$$

(v)
$$Y_d = \frac{G.Y_W}{1+e}$$

हम जानते हैं कि शुष्क मृदा का घनत्व
$$Y_d = \frac{\text{मृदा कणों का भार}}{\text{मृदा का आयतन}}$$

$$Y_d = \frac{W_S}{V} \qquad (\because V = V_S + V_V)$$

$$Y_d = \frac{W_S}{V_S(1+e)} \qquad \left(\because e = \frac{V_V}{V_S} \quad \therefore V_V = e.V_S\right)$$

$$Y_d = \frac{Y_S}{1+e} \qquad \left(\because \frac{W_S}{V_S} = Y_S\right)$$

$$Y_d = \frac{G.Y_W}{1+e}$$

(vi)
$$Y_d = \frac{Y_b}{1+\omega}$$

हमें ज्ञात है कि—
$$Y_d = \frac{W_S}{V}$$

$$Y_d = \frac{W_S / W}{V / W}$$ (अंश व हर में W से भाग देने पर)

$$Y_d = \frac{W / V}{(W_S + W_W) / W_S}$$

$$Y_d = \frac{W / V}{(1 + W_W / W_S)}$$

$$Y_d = \frac{Y_b}{1+\omega} \qquad \left(\because \frac{W_W}{W_S} = \omega, \frac{W}{V} = Y_b\right)$$

$$Y_d = \frac{Y_b}{1+\omega}$$

संतृप्त घनत्व
$$Y_{sat} = Y_W \frac{(G+e)}{1+e}$$

हमें ज्ञात है कि—
$$Y_b = G.Y_W \left(\frac{1+\omega}{1+e}\right)$$

$$= Y_W \left(\frac{G + G.\omega}{1+e}\right)$$

पूर्ण संतृप्त अवस्था के लिये
$$e.S_r = \omega.G$$

यदि $S_r = 1$ तो
$$e = \omega.G$$

$$\omega.G = e \text{ तथा } Y_b = Y_{sat}$$

संतृप्त घनत्व
$$Y_{Sat} = \frac{Y_W(G+e)}{1+e}$$

उपरोक्त समीकरण में मृदा का निमग्न (Submerged) इकाई भार भी निकाला जा सकता है।

$$Y_{sub} = Y_{sat} - 1.Y_W$$

$$= \frac{Y_W(G+e)}{1+e} - Y_W$$ (Y_W=1 सदैव रहता है)

$$= \frac{Y_W(G-1)}{1+e}$$

2.3. गणनायें (Numericals)

उदाहरण 2.1—एक मृदा प्रतिदर्श का रिक्तता अनुपात 50% है। उसकी सरन्ध्रता ज्ञात कीजिये।

हल—हमें ज्ञात है
$$e = 50\% = \frac{50}{100} = 0.5$$

हम जानते हैं कि— सरन्ध्रता $n=\frac{e}{1+e}=\frac{0.5}{1+0.5}=0.333$

$n=33.3\%$ उत्तर

उदाहरण 2.2—मिट्टी के एक नमूने का शुष्क एकांक भार 1.9 g/cm^3 तथा आपेक्षिक गुरुत्व 2.65 है। नमूने का रिक्त अनुपात व सरन्ध्रता ज्ञात करो। *(B.T.E.U.P. 1978)*

हल—ज्ञात है—

मृदा का शुष्क एकांक भार $Y_d=1.9$ g/cm^3

कणों का विशिष्ट गुरुत्व $G=2.65$

हम जानते है कि— $Y_d=\frac{G.Y_W}{1+e}$

अतः $1.9=\frac{2.65\times 1}{1+e}$

$1+e=\frac{2.65}{1.9}$

$e=\frac{2.65}{1.9}-1=0.39$ उत्तर

हम जानते है कि— $e=\frac{n}{1-n}$

$0.39=\frac{n}{1-n}$

$0.39-0.39n=n$

$1.39n=0.39$

$n=\frac{0.39}{1.39}\times 100=28.06\%$ उत्तर

उदाहरण 2.3—एक मृदा प्रतिदर्श की सरन्ध्रता 35% है तथा उसका विशिष्ट गुरुत्व 2.7 है। मृदा का रिक्तता अनुपात एवं शुष्क घनत्व ज्ञात कीजिये।

हल—ज्ञात है कि $n=35\%=\frac{35}{100}=0.35$

$G=2.7, e=?, Y_d=?$

हम जानते हैं कि $e=\frac{n}{1-n}$

$e=\frac{0.35}{1-0.35}=\frac{0.35}{0.65}=0.538=53.8\%$

शुष्क घनत्व $Y_d=\frac{G.Y_W}{1+e}$

$Y_d=\frac{2.7\times 1}{1+0.538}=\frac{2.7}{1.538}=1.755$ g/cm^3 उत्तर

उदाहरण 2.4—मिट्टी के एक नमूने का एकांक भार 1.5 g/cc, जलांश 30% तथा मृदा कणों का विशिष्ट गुरुत्व 2.7 हो तो रिक्तता अनुपात, संतृप्ति मात्रा व सरन्ध्रता ज्ञात करो। *(B.T.E.U.P. 1977, 80)*

हल—ज्ञात है कि

जलांश $\omega=30\%=\frac{30}{100}=0.3$

स्थूल एकांक भार $Y_b=1.5$ g/cc

विशिष्ट गुरुत्व $G=2.7$

हम जानते हैं कि

$Y_b=G.Y_W.\frac{1+\omega}{1+e}$

$1.5=2.7\times 1\times\frac{1+0.3}{1+e}$

$e=\frac{2.7\times 1.3}{1.5}-1=1.34$ उत्तर

तथा $n=\frac{e}{1+e}$

$=\frac{1.34}{1+1.34}=0.5726$

$=57.26\%$ उत्तर

हम जानते हैं कि

$Y_b=\frac{G+S_r.e}{1+e}.Y_W$

$1.5=\frac{2.7+1.34S_r}{1+1.34}$

$S_r=\frac{1.5\times 2.34-2.7}{1.34}=0.6045$

$=60.45\%$ उत्तर

उदाहरण 2.5—शुष्क मृदा की सरन्ध्रता 30% तथा मृदा कणों का घनत्व 2.65 है। यदि मृदा की संतृप्ति मात्रा 60% हो जाये तो इसका शुष्क घनत्व व स्थूल घनत्व ज्ञात करो।

हल—ज्ञात है

मृदा कणों का विशिष्ट गुरुत्व $G=2.65$

सरन्ध्रता $n=30\%=\frac{3}{100}=0.3$

संतृप्ति मात्रा $S_r=60\%=0.6$

हम जानते हैं कि

$e=\frac{n}{1-n}$

$$= \frac{0.3}{1-0.3} = 0.429$$

तथा

$$\omega = \frac{S_r.e}{G}$$

$$= \frac{0.6 \times 0.429}{2.65} = 0.0970 = 9.7\%$$

तथा

$$Y_b = G.Y_W \frac{1+\omega}{1+e}$$

$$Y_b = 2.65 \times 1 \frac{1+0.097}{1+0.429} = 2.03 \text{ g/cc}$$ उत्तर

$$Y_d = \frac{Y_t}{1+\omega}$$

$$= \frac{2.03}{1+0.097} = 1.85 \text{ g/cm}^3$$ उत्तर

उदाहरण 2.6—एक गीली मृदा के नमूने का बर्तन सहित भार 30 g तथा केवल बर्तन का भार 15 g है। 24 घण्टे तक इस नमूने को 105°C से 110°C के ताप पर ओवन में गर्म पर मृदा का बर्तन सहित भार 25 g रह जाता है। मृदा का जलांश (Water Content) ज्ञात कीजिए।

हल—मृदा + बर्तन का भार = 30 g

बर्तन का भार = 15 g

गीली मृदा का भार = 30 – 15 = 15 g

शुष्क मृदा का भार = 25 – 15 = 10 g

जल का भार = 15 – 10 = 5 g

∴ जलांश $\omega = \frac{\text{जल का भार}}{\text{मृदा कणों का भार}} = \frac{W_W}{W_S}$

% जलांश $\omega = \frac{5}{10} \times 100 = 50\%$ उत्तर

उदाहरण 2.7—एक पूर्ण संतृप्त मृदा प्रतिदर्श का आयतन 180 cc तथा भार 320 g है। यदि मृदा के ठोस कणों का विशिष्ट घनत्व 2.6 हो तो रिक्तता, सरन्ध्रता, जलांश एवं संतृप्त इकाई भार ज्ञात कीजिये।

हल—ज्ञात है

$$V = 180 \text{ cc}, \; W = 320 \text{ g}, \; G = 2.6$$

$$e = ?, n = ?, \omega = ?, Y_{sat} = ?$$

हम जानते हैं कि

$$\text{संतृप्त इकाई भार} = \frac{\text{संतृप्त अवस्था में मृदा प्रतिदर्श का भार}}{\text{मृदा प्रतिदर्श का कुल आयतन}}$$

$$= \frac{320}{180} = 1.78 \text{ g/cm}^3$$

$$Y_{sat} = \frac{Y_W (G+e)}{1+e}$$

विभिन्न पदों में मान रखने पर

$$1.78 = \frac{1 \times (2.6+e)}{1+e}$$

$$1.78 + 1.78e = 2.6 + e$$

$$0.78e = 0.82$$

$$e = \frac{0.82}{0.78} = 1.05 = 105\%$$ उत्तर

अन्य सम्बन्ध के अनुसार

$$n = \frac{e}{1+e}$$

$$n = \frac{1.05}{1+1.05} = 0.51 = 51\%$$ उत्तर

प्रश्नानुसार, मृदा प्रतिदर्श संतृप्त अवस्था में है।

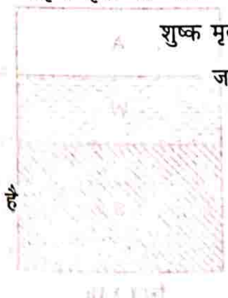
$$e = \omega.G$$

$$1.05 = 2.6\omega \quad (\because e = 1.05, \; G = 2.6)$$

$$\omega = \frac{1.05}{2.6} = 0.404 = 40.4\%$$ उत्तर

उदाहरण 2.8—संतृप्त मृत्तिका (Clay) का प्राकृतिक अवस्था में भार 1520 g तथा भट्टी में सुखाने पर 1053 g रह जाता है। नमूने का जलांश प्रतिशत में ज्ञात करो। यदि मृत्तिका का आ०घ० 2.7 हो तो नमूने का रिक्त अनुपात, सरन्ध्रता, संतृप्त एकांक भार तथा शुष्क एकांक भार ज्ञात करो।

हल—संतृप्त मृदा का भार = 1520 g



शुष्क मृदा का भार = 1053 g

जल का भार = 467 g

(i) जलांश $= \frac{467}{1053} \times 100 = 44.3\%$

ज्ञात है $G = 2.7$

(ii) $e.S_r = \omega.G \quad (\because S_r = 1, \; e = \omega.G)$

$$e = 2.7 \times 0.443$$

$$= 1.2 = 120\%$$ उत्तर

(iii) $n = \frac{e}{1+e}$

$= \frac{1.2}{1+1.2} \times 100 = 54.5\%$ **उत्तर**

(iv) शुष्क एकांक भार $\gamma_d = \frac{G.\gamma_W}{1+e}$

$= \frac{2.7\times 1}{1+1.2} = 1.227$ g/cc **उत्तर**

(v) संतृप्त एकांक भार $\gamma_{sat} = \frac{G+S_r.e}{1+e}.\gamma_W$

$= \frac{2.7+1.2}{1+1.2}$ ($\because$ मृदा संतृप्त है अत: $S_r = 1$)

$= 1.77$ g/cc **उत्तर**

उदाहरण 2.9—एक मृदा पिण्ड का प्राकृतिक अवस्था में रिक्तता अनुपात 0.45 है। मृदा पिण्ड की अधिकतम सघन व अधिकतम ढीली अवस्था में रिक्तता अनुपात के मान क्रमश: 0.35 व 0.65 हैं। मृदा का घनत्व सूचकांक (Density Index) ज्ञात करो।

हल—प्राकृतिक अवस्था में रिक्तता अनुपात $e = 0.45$

अधिकतम सघन अवस्था में रिक्तता अनुपात $e_{min} = 0.35$

अधिकतम ढीली अवस्था में रिक्तता अनुपात $e_{max} = 0.65$

मृदा का घनत्व सूचकांक $I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$

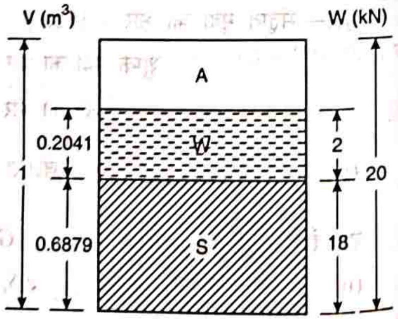
समीकरण में विभिन्न पदों के मान रखने पर

$$I_D = \frac{0.65 - 0.45}{0.65 - 0.35} = \frac{0.2}{0.30} = 0.67$$

अत: मृदा का घनत्व सूचकांक $= 0.67$ **उत्तर**

उदाहरण 2.10.—1 घन मीटर गीली मृदा का भार 20 kN है। इसका शुष्क भार 18 kN है। ठोस का आपेक्षिक गुरुत्व (sp gravity) 2.67 है। मृदा का जलांश, सरन्ध्रता (porosity), रिक्तता अनुपात और संतृप्ति अंश ज्ञात कीजिये। मृदा प्रावस्था आरेख भी खींचिये।

हल—मृदा प्रावस्था आरेख में मृदा का आयतन (V) तथा गीला भार (W) एवं शुष्क भार (W_s) दर्शाया गया है अत: विभिन्न घटकों के भार एवं आयतन की गणना निम्नवत करेंगे—



चित्र 2.10

$W_w = W - W_s = 20 - 18 = 2$ kN

$V_s = \frac{W_s}{G.\gamma_W} = \frac{18}{2.67 \times 9.8} = 0.6879\ m^3$

$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{2}{9.8} = 0.2041\ m^3$

$V_v = V - V_s = 1 - 0.6879 = 0.3121 m^3$

नोट—यहाँ W_w = जल का भार, W_s = ठोस कणों का भार, W = कुल भार

V = कुल आयतन, V_s = ठोस कणों का आयतन, V_w = जल का आयतन, V_v = रिक्त स्थानों का आयतन प्रावस्था आरेख में दर्शाया गया है एवं γ_w = आपेक्षिक गुरुत्व है।

उपरोक्त गणनायें पूर्ण हो जाने के बाद निम्न गणनायें की जायेंगी।

निम्न गणनायें प्रावस्था आरेख द्वारा प्राप्त मानों से की जायेंगी।

1. जलांश (Water content), $w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{2}{18} = 0.111$ or 11.1%
2. सरन्ध्रता (Porosity), $n = \frac{V_v}{V} = \frac{0.3121}{1} = 0.3121$ or 31.2%
3. रिक्तता अनुपात (Void ratio), $e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.3121}{0.6879} = 0.45$
4. संतृप्ति अंश (Degree of saturation), $s = \frac{V_w}{V_v} = \frac{0.2041}{0.3121} = 0.6539$ or 65.4%

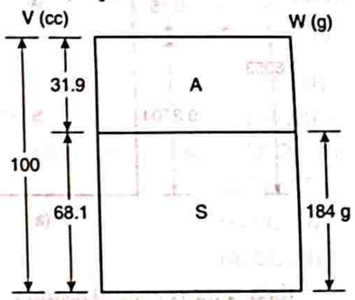
उदाहरण 2.11—एक मृदा पिण्ड (soil sample) में मृदा का आपेक्षिक गुरुत्व 2.70 है एवं mass specific gravity 1.84 है, मृदा पिण्ड को पूर्णत: शुष्क मानकर रिक्तता अनुपात (void ratio) ज्ञात करें एवं मृदा प्रावस्था आरेख की सहायता से भी ज्ञात करें।

हल—Mass specific gravity, $G_m = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} = 1.84$ ज्ञात है।

जहाँ $\gamma_d = 1.84 \times 1.0 = 1.84$ g/cc

रिक्तता अनुपात void ratio, $e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$

अत: $e = \frac{2.70 \times 1.0}{1.84} - 1 = 0.47$



चित्र 2.11

इसकी गणना मृदा प्रावस्था आरेख से भी करेंगे, यहाँ केवल अनुपात (ratio) दिया गया है। अन्य मात्रायें मानी (Assume) जायेंगी। माना कुल आयतन $V = 100$ cc चूँकि मृदा पूर्णत: शुष्क (dry) है।

अत: भार $= G_m.V.\gamma_w = 1.84 \times 100 \times 1 = 184$ gram होगा।

$W = 184$ g

$V_s = \frac{W_s}{G_s.\gamma_w} = \frac{184}{2.70 \times 1} = 68.1$ cc

$V_v = V - V_s = 100 - 68.1 = 31.9$ cc

अत: $e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{31.9}{68.1} = 0.47$

उदाहरण 2.12—खदान (borrow pit) से प्राप्त आंशिक संतृप्त मृदा पिण्ड (sample) का प्राकृतिक जलांश (Natural water content) 15% है, एवं स्थूल घनत्व (bulk density) 1.9 g/cc है, आ० गुरुत्व 2.70 है। संतृप्त अंश एवं रिक्तता अनुपात प्रावस्था आरेख से ज्ञात करें एवं संतृप्तता के समय इकाई भार भी ज्ञात करें।

हल— शुष्क घनत्व $\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} = \frac{1.90}{1+0.15} = 1.65$ g/cc

जहाँ γ_b = स्थूल घनत्व

w = जलांश

γ_d = शुष्क घनत्व

रिक्तता अनुपात (void ratio) $e = \frac{G.\gamma_w}{\gamma_d} - 1$

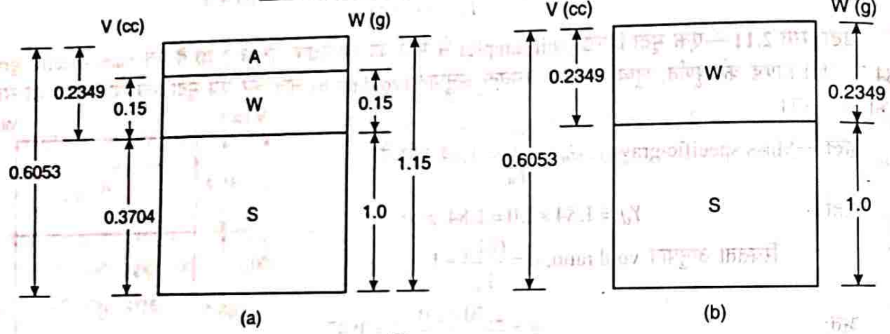
$= \frac{2.70 \times 1.0}{1.65} - 1$

$= 0.64$

संतृप्ति अंश (Degree of saturation)

$S = \frac{WG_s}{e} = \frac{0.15 \times 2.70}{0.64}$

$= 0.6328$ or 63.3%



चित्र 2.12

संतृप्त घनत्व (saturated density)

$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e}.\gamma_w$

$= \frac{2.70 + 0.64}{1 + 0.64} \times 1.0$

$= 2.04$ g/cc

इस उदाहरण (example) को मृदा प्रावस्था आरेख से भी हल करेंगे।

मृदा प्रावस्था आरेखानुसार,

$W_s = 1.0$ g

जल का भार $= W_w = \omega \times W_s = 0.15 \times 1.0 = 0.15$g

कणों का आयतन $= V_s = \frac{W_s}{G_s.\gamma_w} = \frac{1.0}{2.70 \times 1.0} = 0.3704$ cc

जल का आयतन $= V_w = \frac{0.15}{1.0} = 0.15$cc

$W = W_s + W_w = 1.0 + 0.15 = 1.15$g

(कुल भार = कणों का भार + जल का भार) = 1.15 g

कुल आयतन $V = \frac{W}{\gamma} = \frac{1.15}{1.9} = 0.6053$ cc

रिक्त स्थानों का आयतन $V_v = 0.6053 - 0.3704 = 0.2349$ cc

संतृप्ति अंश $S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{0.15}{0.2349} = 0.6328$ or 63.3%

रिक्तता अनुपात $e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.2349}{0.3704} = 0.64$

यदि मृदा पूर्णतः संतृप्त है, तो $V_w = V_v = 0.2349$ cc

अतः: $W_w = 0.2349$g (जहाँ $W_w = V_w.\gamma_w$)

$W = W_s + W_w = 1.0 + 0.2349 = 1.2349$g

$\gamma_{sat} = \frac{1.0 + 0.2349}{0.6053} = 2.04$ g/cc

प्रश्नावली

1. निम्नलिखित की परिभाषा लिखें— **(B.T.E. U.P. 2001)**
   मृदा का घनत्व, आर्द्र घनत्व, शुष्क घनत्व, संतृप्त घनत्व तथा निमग्न घनत्व। **(B.T.E. 2017)**
2. निम्नलिखित की स्पष्ट परिभाषा लिखिये— **(B.T.E. U.P. 1976, 77, 78, 79, 80)**
   (i) रिक्तता अनुपात (Void Ratio) **(B.T.E. 2014)**
   (ii) सरन्ध्रता (Porosity) **(B.T.E. 2014)**
   (iii) संतृप्ति मात्रा (Degree of Saturation) **(B.T.E. 2017)**
   (iv) शुष्क एकांक भार (Dry Unit Weight)
   (v) संतृप्त घनत्व (Saturated Density)
   (vi) आंशिक संतृप्त मृदा (Partially Saturated Soil)
   (vii) संतृप्त मृदा (Saturated Soil)
   (viii) ससंजन (Cohesion)
   (ix) स्थूल घनत्व (Bulk Density) **(B.T.E. 2017)**
   (x) जलांश **(B.T.E. 2014, 15)**
3. सिद्ध करो—
   (i) $\gamma_b = G.\gamma_W\left(\frac{1+\omega}{1+e}\right)$ **(B.T.E. U.P. 1976)**
   (ii) $\gamma_{sat} = \frac{G+e}{1+e}.\gamma_W$
4. निम्न में अन्तर स्पष्ट करो—
   (i) रिक्त अनुपात व सरन्ध्रता
   (ii) जलांश व संतृप्ति मात्रा
   (iii) संतृप्त एकांक भार व निमग्न एकांक भार
   (iv) शुष्क घनत्व व स्थूल घनत्व

5. यदि किसी मृदा का स्थूल विशिष्ट गुरुत्व G_t, मृदा कणों का विशिष्ट गुरुत्व G है तथा संतृप्ति मात्रा S है तो जलां (ω) ज्ञात कीजिये।
6. मृदा की विभिन्न प्रावस्थाओं (Phases) का वर्णन करो। एक आंशिक रूप से संतृप्त मृदा का प्रावस्था चित्र (Phas Diagram) बनाइये।
7. मृदा के पूर्ण संतृप्त नमूने का जलांश 21% है तथा इसके मृदा कणों का आ०घ० 2.68 है। उसकी रिक्तता अनुपा कितना होगा? ज्ञात करो। **(Ans. e = 56.28%)**
8. एक शुष्क रेत के नमूने की सरन्ध्रता 30% है और आ०घ० 2.65 है। रेत का शुष्क घनत्व व रेत की संहति का एकां भार ज्ञात करो यदि उसका संतृप्ति अंश 60% है।
9. एक पूरी तरह संतृप्त मृदा के नमूने में पानी की मात्रा 27% है और उसका स्थूल घनत्व 1.96 g/cc है। उसका रिक्त अनुपात तथा कणों का आ०गु० ज्ञात करो। *(B.T.E. U.P. 1982*
10. एक रेतीली मृदा का शुष्क इकाई भार ढीली तथा सघन अवस्था में क्रमशः 1.61 ग्राम/सेमी.^{3} तथा 1.98 ग्राम/सेमी. है। यदि मृदा कणों का विशिष्ट गुरुत्व 2.67 है तथा सरन्ध्रता 34% है तो मृदा का घनत्व सूचकांक (Densit Index) ज्ञात करो। **(Ans. I_d = 0.47)**
11. विद्युत ओवन (oven) से निकले मृदा पिण्ड (sample) का आयतन 250 cc और भार 430 g है, एवं मृदा का आ गु० 2.70 है। बिना आयतन बदले पूर्ण संतृप्त मृदा का जलांश ज्ञात करें। 10% आयतन बढ़ाते हुये पूर्ण संतृप्त अवस्था में मृदा का जलांश (water content) ज्ञात करें। प्रावस्था आरेख प्रयो करें।
उत्तर—ω = 21.1%, 26.9%
12. संतृप्त मृदा पिण्ड (sample) का भार 15.45 g और जलांश 38% है। कणों का आ० गु० 2.70 है, तो सरन्धत रिक्तता अनुपात, शुष्क घनत्व व स्थूल घनत्व ज्ञात कीजिये।
उत्तर—(1.026, 50.6%, 1.33 g/cc, 1.84 g/cc)
14. एक रेत के नमने का आ० गु० 2.65 एवं सरन्ध्रता 40% है। पूर्ण संतृप्त अवस्था में नमूने का इकाई भार, एवं शुष्क इकाई भार ज्ञात करें। जब नमूने का संतृप्ति अंश (degree of saturation) 50% हो तो निमग्न घनत्व (submerge density) एवं स्थूल घनत्व (bulk density) ज्ञात करें।
उत्तर—1.59 g/cc, 1.99 g/cc, 0.99 g/cc, 1.79 g/cc
15. एक रेत के नमूने का प्राकृतिक जलांश 20%, स्थूल घनत्व 1.8 g/cc है। नमूने का आ० गु० 2.65 मानते हुये आंशि संतृप्त अवस्था में नमूने का रिक्तता अनुपात और संतृप्ति अंश (degree of saturation) ज्ञात कीजिये।
उत्तर—69.1%, 0.767
16. मृदा को निरूपित करने की त्रि-प्रावस्था प्रणाली (three-phase system) क्या है? चित्र बनाइये तथा समझाइये। *(BTE 2016*
17. 16 ग्राम की एक टिन पर नम मिट्टी का भार 25 ग्राम है। मिट्टी को 24 घण्टे ओवन में सुखाने पर टिन सहित नमूने क भार 23 ग्राम है। मिट्टी में जलांश ज्ञात करें। *(BTE 2015*
18. रिक्तता अनुपात और सरन्ध्रता में सम्बन्ध स्थापित करें।
19. घनत्व सूचकांक (density index) की परिभाषा लिखें तथा इसका महत्त्व समझाइये।
20. मृदा ठोसों के विशिष्ट गुरुत्व (specific gravity) से क्या तात्पर्य है?

3 अध्याय

मृदाओं का वर्गीकरण एवं पहचान
(Classification and Identification of Soils)

3.1. सामान्य मृदा परीक्षण

निम्न परीक्षणों से मृदा के विभिन्न गुणों को ज्ञात कर सकते हैं—

(i) जलांश (Water Content)
(ii) विशिष्ट गुरुत्व (Specific Gravity)
(iii) रिक्तता अनुपात (Void Ratio) or घनत्व सूचकांक (Density Index)
(iv) मृदा में उपस्थित कणों का परिमाप एवं उनका वितरण (Soil Grain Size & their Distribution)
(v) सघनता सीमायें (Consistency Limits)
(vi) स्थलीय घनत्व (Field Density)

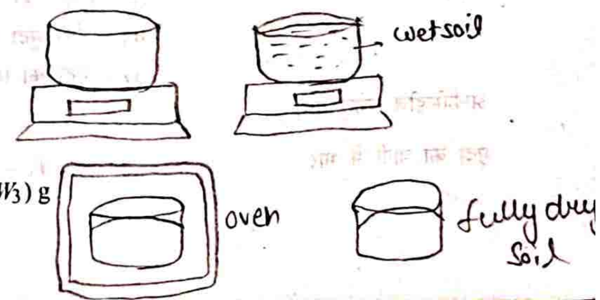
(i) जलांश ज्ञात करने की विधियाँ—भारतीय मानक I.S. 2720 (Part II) के अनुसार मृदा का जलांश निम्न 4 विधियों से ज्ञात करते हैं—

(i) मृदा को भट्टी में गर्म करके (Oven Drying Method)
(ii) पिक्नोमीटर विधि (Pycnometer Method)
(iii) द्रुत जलांशमापी विधि (Rapid Moisture Meter Method)
(iv) स्प्रिट विधि (Spirit Method)

(i) मृदा को भट्टी में गर्म करके (Oven Drying Method)—मृदा का जलांश ज्ञात करने की यह मानक विधि है तथा इसके द्वारा किसी भी प्रकार की मृदा का जलांश सही तरीके से ज्ञात किया जा सकता है। इस विधि में समय अधिक लगता है। इस विधि में मिट्टी के गीले नमूने जिसका जलांश ज्ञात करना हो, को ज्ञात भार के कन्टेनर में गीली मृदा रखकर एवं तौलकर Oven में रख देते हैं। भट्टी का तापक्रम 105°C से 110°C पर नियन्त्रित कर देते हैं तथा भट्टी में 24 घण्टे सूखने देते हैं। इसके बाद कन्टेनर का ढक्कन बन्द कर डेसीकेटर में ठण्डा होने देते हैं। ठण्डा होने पर सूखी मृदा का भार ज्ञात कर लेते हैं।

माना—

(i) खाली कन्टेनर का भार = W_1 g
(ii) गीली मृदा + कन्टेनर का भार = W_2 g
(iii) सूखी मृदा + कन्टेनर का भार = W_3 g
(iv) मृदा में उपस्थित जल का भार = $(W_2 - W_3)$ g



(v) मृदा कणों का भार $= (W_3 - W_1)\,g$

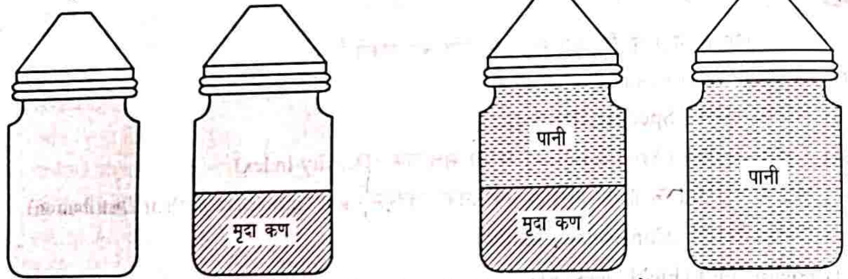
(vi) प्रतिशत जलांश, $\omega = \dfrac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$

(ii) पिक्नोमीटर विधि—इस विधि से जलांश ज्ञात करने के लिये विशिष्ट गुरुत्व (G) का मान ज्ञात होना आवश्यक है।

पिक्नोमीटर एक काँच की बोतल होती है। इसमें पीतल का शंक्वाकार ढक्कन लगा रहता है। बोतल की धारिता अथवा मानक आयतन 900 ml होती है।

जिस मृदा का जलांश निकालना हो उस मृदा का प्रतिदर्श लगभग 300 g लिया जाता है, प्रतिदर्श सूखा होना चाहिये। इसके बाद बोतल में जल भरा जाता है। जल भरते समय काँच की छड़ से हिलाते रहें ताकि मृदा से हवा निकलती रहे जो कि मृदा कणों के मध्य फँसी रहती है। इसके बाद शीर्ष तक पानी भरकर पोंछकर तौल लिया जाता है। इसके बाद बोतल को साफ करके पोंछकर उसमें शीर्ष तक जल भरकर तौल लिया जाता है। पिक्नोमीटर बोतल की विभिन्न अवस्थायें चित्र 3.1 में दर्शायी गयी हैं।

पानी आसुत जल ही होना चाहिये अन्यथा स्वच्छ जल का प्रयोग कर सकते हैं। जल का आ० घ० 1.00 होता है।



चित्र-3.1 : पिक्नोमीटर बोतल से जलांश निकालने की अवस्थायें

माना—

(i) खाली प्रघनमान (Pycnometer) का भार $= W_1$ g

(ii) पिक्नोमीटर + शुष्क मृदा का भार $= W_2$ g

(iii) पिक्नोमीटर + शुष्क मृदा + जल का भार $= W_3$ g

(iv) पिक्नोमीटर + पानी का भार $= W_4$ g

अत: मृदा का वायु में भार $= (W_2 - W_1)\,g$

मृदा का पानी में भार $= (W_3 - W_4)\,g$

ठोस मृदा कणों का आयतन $= \dfrac{W_S}{G.Y_W}$

जहाँ,

$Y_W = 1$ जल का आ०घ०

$W_S =$ ठोस मृदा कणों का भार

$G =$ मृदा का विशिष्ट गुरुत्व

आर्कमिडीज थ्योरी द्वारा—

मृदा का पानी में भार $= W_S - \dfrac{W_S}{G}$

$$W_3 - W_4 = \left(W_S - \frac{W_S}{G}\right)$$

$$W_3 - W_4 = W_S\,\frac{(G-1)}{G}$$

$$W_S = \left(\frac{W_3 - W_4}{G-1}\right)G \qquad \ldots(1)$$

मृदा में जल का भार = मृदा का भार − ठोस कणों का भार

मृदा का भार = (कणों का भार + वायु भार + जल का भार)

$$= (W_2 - W_1) - W_S$$

जलांश,

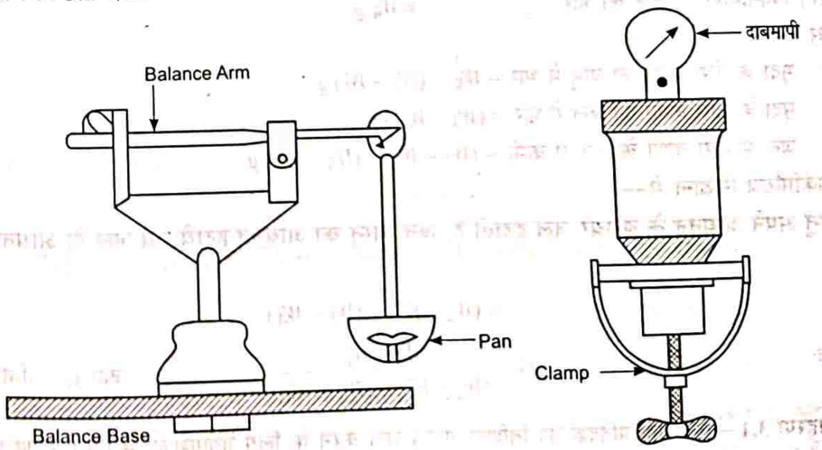
$$\omega = \frac{W_2 - W_1 - W_S}{W_S} \times 100\%$$

$$= \left(\frac{W_2 - W_1}{W_S} - 1\right) \times 100\%$$

समीकरण (1) से W_S का मान रखने पर

$$W = \left\{\left(\frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_4}\right)\left(\frac{G-1}{G}\right) - 1\right\} \times 100\%$$

(iii) द्रुत जलांशमापी विधि (Rapid Moisture Meter Method)—इस विधि से मृदा का जलांश शीघ्र ज्ञात कर सकते हैं। इस विधि में प्रतिदर्श की मात्रा लगभग 6 g लेते हैं एवं कैल्शियम कार्बाइड (CaC_2) की आवश्यक मात्रा लेकर साथ में स्टील की कुछ गोलियाँ डालकर बोतल (सिलिण्डर) बन्द कर देते हैं। उपकरण को हाथों की सहायता से दायें-बायें जल्दी-जल्दी हिलाते हैं जिससे CaC_2 एक गैस H_2CO_3 का निर्माण करता है। गैस की मात्रा मृदा में उपस्थित जलांश पर निर्भर करती है। यह गैस सिलिण्डर पर दबाव डालती है। इस दाब को डायल गेज पर पढ़ा जा सकेगा। दाबमापी को उंगली से हल्का थपथपाया जा सकता है। जब सुई स्थिर हो जाये तो जलांश का पाठ्यांक पढ़ा जा सकेगा। यह कुछ समय में ही ज्ञात कर सकते हैं। चित्र 3.2 देखें।



चित्र-3.2 : Rapid Moisture Meter

CaC_2 कार्बाइड जल के प्रति संवेदनशील होता है। अत: उपयोग के बाद डिब्बे का ढंक्कन शीघ्र बन्द करना होता है। बजरीयुक्त मृदा का जलांश इस विधि से नहीं ज्ञात किया जा सकता है। इस विधि से जलांश का परिशुद्ध मान ज्ञात नहीं किया जा सकता।

(iv) स्प्रिट विधि अथवा एल्कोहल विधि—इस विधि से स्थल पर जलांश शीघ्र ज्ञात किया जा सकता है। इसमें गीली मृदा को पात्र सहित तौल लेते हैं, फिर पात्र में स्प्रिट भरकर आग लगा दी जाती है। इससे स्प्रिट जलने लगती है और मृदा सूखने लगती है। मृदा को लोहे के तार से अच्छी प्रकार चलाते रहते हैं जिससे सम्पूर्ण प्रतिदर्श अग्नि के सम्पर्क में आ जाये। मृदा का शुष्क होने के बाद का भार व पात्र का भार ज्ञात करके जलांश ज्ञात किया जा सकता है।

(i) खाली पात्र का भार $= W_1$ g

(ii) गीली मृदा + पात्र का भार $= W_2$ g

(iii) सूखी मृदा + पात्र का भार $= W_3$ g

$$\text{जलांश } (\omega) = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

यह विधि कार्बनिक मृदाओं के लिये उपयुक्त नहीं है।

3.2. पिक्नोमीटर से विशिष्ट गुरुत्व ज्ञात करना

इस विधि से विशिष्ट गुरुत्व का मान ज्ञात करने के लिये पिक्नोमीटर बोतल जिसकी धारिता 900 ml हो प्रयोग करना चाहिये। यह विधि प्रयोगशाला में अपनायी जाती है। मृदा का जलांश ज्ञात करने की तरह ही यह विधि की जाती है। इसमें प्रतिदर्श को ओवन में सुखाकर लेते हैं जिससे मृदा प्रतिदर्श का जलांश शून्य होता है। विशिष्ट गुरुत्व को G से प्रदर्शित करते हैं।

माना कि—

(i) प्रधनमान (पिक्नोमीटर बोतल) का भार $= W_1$ g

(ii) पिक्नोमीटर + सूखी मृदा का भार $= W_2$ g

(iii) पिक्नोमीटर + मृदा + जल का भार $= W_3$ g

(iv) पिक्नोमीटर + जल का भार $= W_4$ g

इस प्रकार

मृदा के ठोस कणों का वायु में भार $= W_S = (W_2 - W_1)$ g

मृदा के ठोस कणों का जल में भार $= (W_3 - W_4)$ g

∴ जल में ठोस कणों के भार में कमी $= (W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)$ g

आर्कमिडिज सिद्धान्त से—

वस्तु अपने आयतन के बराबर जल हटाती है, अत: वस्तु का आयतन हटाये गये जल के आयतन के बराबर होता है।

$$= (W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)$$

अत:
$$G = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)}$$ जहाँ G = विशिष्ट गुरुत्व

उदाहरण 3.1—एक मृदा प्रतिदर्श का विशिष्ट गुरुत्व ज्ञात करने के लिये प्रयोगशाला में निम्न प्रेक्षण प्राप्त हुये—

(i) खाली पिक्नोमीटर बोतल का भार = 480 g (W_1 g)

(ii) पिक्नोमीटर + शुष्क मृदा का भार = 700 g (W_2 g)

(iii) पिक्नोमीटर + मृदा + पानी का भार = 1515 g (W_3 g)

(iv) पिक्नोमीटर + पानी का भार = 1377 g (W_4 g)

मृदा कणों का विशिष्ट गुरुत्व (आ०घ०) ज्ञात कीजिए।

हल—ज्ञात है—

$W_1 = 480$ gram, $W_2 = 700$ gram

$W_3 = 1515$ gram, $W_4 = 1377$ gram

$$G \text{ (विशिष्ट गुरुत्व)} = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)}$$

$$= \frac{700 - 480}{(700 - 480) - (1515 - 1377)}$$

$$= \frac{220}{220 - 138} = \frac{220}{82} = 2.67$$

3.3. मृदा का रिक्तता अनुपात ज्ञात करना (Determination of Void Ratio of Soil)

मृदा का रिक्तता अनुपात परीक्षणों/प्रयोगात्मक कार्यों से न ज्ञात करके केवल निम्नांकित सूत्रों से ही ज्ञात किया जा सकता है।

(i) हम जानते हैं कि—
$$Y_d = \frac{G.Y_W}{1+e}$$

$$e = \frac{G.Y_w}{Y_d} - 1 \quad ...(1)$$

(ii) हम जानते हैं कि—
$$Y_d = \frac{W_S}{V}$$

$$e = \frac{W_W.G}{W_S.S_r} \quad (\because G.\omega = S_r.e)$$

यदि मृदा पूर्णत: संतृप्त है
$$e = \frac{\omega.G}{S_r} \quad ...(2)$$

3.4. घनत्व सूचकांक ज्ञात करना (Determination of Relative Density)

हम जानते हैं कि—
$$I_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

मृदा के रिक्तता अनुपात के मान उपरोक्त सूत्र में रखकर घनत्व सूचकांक ज्ञात किया जा सकता है। मृदा के रिक्तता अनुपात का मान मृदा को किसी बर्तन में ढीली तरह डालकर उसका आयतन व भार ज्ञात करके अधिकतम मान प्राप्त कर सकते हैं।

मृदा का न्यूनतम रिक्तता अनुपात का मान उसी बर्तन में कुटाई करके आयतन व भार ज्ञात करके निकाल लेते हैं। इस तरह e_{max} एवं e_{min} के मान ज्ञात कर सकते हैं एवं e का मान प्राकृतिक अवस्था में ही ज्ञात कर लेते हैं। इसे सापेक्ष घनत्व भी कह सकते हैं।

3.5. मृदा कण परिमाप एवं विश्लेषण (Particle Size Distribution & Analysis)

मृदा में विद्यमान अलग-अलग परिमाप वाले कणों की अलग-अलग मात्रायें ज्ञात करने के तरीके को कण परिमाप विश्लेषण कहते हैं।

कणों का आकार (Shape) कणों को आँखों से देखकर मालूम कर सकते हैं। कणों का आकार गोलीय (Rounded), कोणीय (Angular), अर्द्धकोणीय (Sub-angular) हो सकता है।

भारतीय मानक 460 – 1962 के अनुसार चालनियों की जाली (Mesh) का आकार वर्गाकार होता है। चालनी का नम्बर जाली की चौड़ाई दर्शाता है। बड़ी चालनी मिमी० में एवं छोटी चालनी का नम्बर माइक्रोन में दर्शाते हैं, जहाँ $1\mu = 10^{-3}$ mm होता है।

विभिन्न प्रकार की मृदाओं का कण परिमाप विश्लेषण निम्न विधियों से ज्ञात किया जाता है।

1. चालनी विश्लेषण (Sieve Analysis)—मृदा में उपस्थित केवल 75 माइक्रोन परिमाप (Size) तक के कणों का विश्लेषण चालनियों द्वारा करते हैं।

2. अवसादन विश्लेषण (Sedimentation Analysis)—मृदा में उपस्थित 75 माइक्रोन से छोटे कणों का विश्लेषण चालनी विधि से सम्भव नहीं होता है। इनका विश्लेषण मृदा निलम्बन में बैठाव की दर ज्ञात करके करते हैं जोकि **स्टोक नियम** (Stoke's Law) **पर निर्भर करता है।**

3.6 चालनी विश्लेषण (Sieve Analysis)

चालनी विश्लेषण दो प्रकार का होता है—

(A) स्थूल चालनी विश्लेषण (Coarse Sieve Analysis)—इसमें 100 mm, 63 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm व 4.75 mm माप की I.S. चालनी प्रयोग में लायी जाती है।

(B) सूक्ष्म चालनी विश्लेषण (Fine Sieve Analysis)—इसमें 2.00 mm, 1.00 mm, 600 μ, 425 μ, 300 μ, 150 μ व 75 μ I.S. चालनी प्रयोग में लायी जाती हैं।

नोट—1. माइक्रोन (μ) = 10^{-3} मिमी०।

2. 600 μ चालनी का अर्थ चालनी के छिद्र की माप अर्थात् 0.60 मिमी० है।

3. I.S. चालनी 45 μ तक के साइजों में उपलब्ध है।

3.7. चालनी विश्लेषण के चरण

चालनी विश्लेषण निम्न चरणों में किया जाता है—

1. विभिन्न चालनियों को घटते क्रम में लगाते हैं। चालनियों के सबसे ऊपर Lid एवं सबसे नीचे Pan लगाया जाता है।

Lid का कार्य—Lid मृदा को छानते समय छलकने से रोकता है।

Pan का कार्य—अन्तिम चालनी से छनी मृदा को जमीन पर गिरने से रोकता है, Pan में रुकी मृदा अवसादन परीक्षण के काम आती है।

2. परीक्षण के लिये नमूने की उचित मात्रा—भारतीय मानक संस्थान I.S. 2720 (Part IV) 1985 के द्वारा मृदा में उपस्थित कणों की अधिकतम माप के आधार पर प्रतिदर्श की कम से कम मात्रा निम्न सारणी के आधार पर होती है।

तालिका 3.1

मृदा में पर्याप्त मात्रा में उपस्थित अधिकतम साइज के कण	परीक्षण के लिये प्रतिदर्श का भार
75 mm	60 kg
63 mm	50 kg
40 mm	25 kg
20 mm	6.5 kg
10 mm	1.5 kg
4.75 mm	0.40 kg

नोट—मृदा प्रतिदर्श शुष्क होना चाहिये, शुष्क करने के लिये विद्युत भट्टी (Oven) तापक्रम 105°C से 110°C होना चाहिये, जिससे चालनी में कण चिपकने न पायें।

3. मृदा प्रतिदर्श को रबड़ के हथौड़े से रगड़ना चाहिये, जिससे जुड़े कण अलग-अलग हो जायें, इस क्रिया में मृदा कण टूटने नहीं चाहियें।

4. मृदा नमूने को 4.75 mm चालनी से छानिये, कुछ अंश चालनी से निकल जायेगा (–4.75 mm), सूक्ष्म चालनी विश्लेषण करना पड़ेगा।

5. कुछ अंश 4.75 mm चालनी पर रुक जायेगा, (+4.75 mm) रुके अंश का स्थूल चालनी विश्लेषण करना होगा।

6. 4.75 mm चालनी पर रुके अंश का विश्लेषण निम्न क्रम में लगी चालनियों द्वारा; जैसे—(100 mm, 63 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm व 4.75 mm) से करना पड़ेगा। यह स्थूल चालनी विश्लेषण कहलायेगा तथा 4.75 mm से पार होने वाले मृदा नमूने को निम्न क्रम की चालनियों; जैसे—2 mm, 1 mm, 600 μ, 425 μ, 300 μ, 150 μ, 75 μ) से विश्लेषण करना होगा, और यह सूक्ष्म चालनी विश्लेषण कहलायेगा।

7. मृदा नमूने को चालनियों के सबसे ऊपर वाली चालनी में डालना पड़ता है। ऊपर Lid एवं नीचे Pan लगाकर Sieve Shaker मशीन में फिट करके कम से कम 10-15 मिनट तक मशीन को चालू रखते हैं। मशीन न होने की दशा में हाथों द्वारा चालनी सेट को हिलाया जाता है।

8. चालनी सेट को हिलाने के बाद प्रत्येक चालनी पर रुके मृदा के भार को अलग-अलग तौलकर नमूने के भार के सन्दर्भ में प्रतिशत ज्ञात कर लेते हैं। इसकी सहायता से प्रत्येक चालनी से छनने वाले नमूने के भार की प्रतिशत मात्रा की गणना कर ग्राफ (Graph) खींचते हैं। ग्राफ कण के परिमाप (Particle Size) एवं छनकर निकल जाने वाले नमूने की % संचित मात्रा (Commulative % Passing) में खींचते हैं।

9. एक लीटर आसुत जल में 2 ग्राम प्रति लीटर के हिसाब से सोडियम हेक्सा मेटा फास्फेट (Sodium hexa meta phosphate) मिलाकर मृदा को 75 μ चालनी पर तब तक धोयें, जब तक चालनी से स्वच्छ जल न निकलने लगे। इस अंश को सुखाकर सूक्ष्म चालनी विश्लेषण करें। इस विधि से मृत्तिका में चिपके रेत के कण अलग हो जाते हैं।

तालिका 3.2

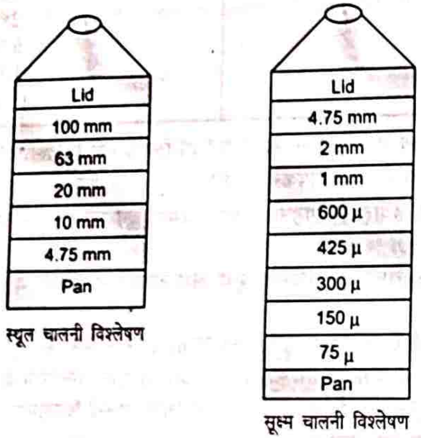
क्रम संख्या	I.S. चालनी संख्या	अवशेष का भार gram	% अवशेष	चालनी पर रुके अवशेष की % संचित मात्रा	छनकर निकल जाने वाले नमूने की % संचित मात्रा	Remark

अर्द्ध-लघुगणकीय आलेख (Semi-logarithmic graph) का प्रयोग करना पड़ता है।

नोट—अर्द्ध-लघुगणकीय आलेख (Semi-logarithmic graph) का प्रयोग करना पड़ता है।

Note—1. 75 μ से महीन कणों का विश्लेषण स्टोक के नियम (Stoke's Law) के आधार पर अवसादन विधि (Sedimentation process) से किया जाता है।

2. 75 μ से महीन कण भी मृदा में उपस्थित रहते हैं। उनका विश्लेषण ज्ञात किये बिना हमारा परीक्षण अपूर्ण रहता है। चालनियों द्वारा केवल सूक्ष्म बालू तक ही विश्लेषण सम्भव है।



चित्र-3.3

3.8. स्टोक का नियम (Stoke's Law)

स्टोक ने सन् 1856 में निम्न नियम प्रतिपादित किया। इस नियम को मृदा कणों के साइज का विश्लेषण करने के लिये प्रयोग करते हैं।

स्थूल कण महीन कणों की अपेक्षा शीघ्र बैठते हैं तथा निलम्बन में कणों की बैठाव दर कण के साइज के वर्ग के समानुपाती होती है।

निलम्बन में बैठाव की दर निम्न पर आधारित है—

(i) मृदा कण का परिमाप (Size)

(ii) मृदा कण का आकार (Shape)

(iii) मृदा कण का घनत्व (Density)

स्टोक के सिद्धान्त से—

$$V = \frac{1}{18} D^2 \frac{Y_S - Y_W}{\eta} \qquad ...(1)$$

जहाँ,

V = बैठाव दर (cm/sec)

D = मृदा कण का व्यास (cm)

Y_S = ठोस कणों का घनत्व (gram/cm^3)

Y_W = जल का घनत्व (gram/cm^3)

η = श्यानता (gram-sec/cm^2)

यदि निलम्बन जल में है तब $Y_W = 1$ gram/cm^3, इसी प्रकार $Y_S = G$ इन मानों को समीकरण (1) में रखेंगे एवं कण का size mm में दर्शाया जाता है।

$$V = \frac{1}{18}\left(\frac{D}{10}\right)^2 \frac{G-1}{\eta}$$

$$= \frac{G-1}{1800\,\eta} D^2, \quad \text{जहाँ } \eta = \mu/g \qquad ...(2)$$

μ = Absolute Viscosity

g = Acceleration due to gravity

$$D = \sqrt{\left(\frac{1800\,\eta V}{G-1}\right)} \qquad ...(3)$$

यदि मृदा कण का व्यास D है और t sec में H cm गहराई में बैठता है।

$$V = \frac{H}{60t} \text{ सेमी॰/sec}$$

V का मान समीकरण (3) में रखने से

$$D = \sqrt{\left(\frac{1800\,\eta H}{60t(G-1)}\right)}$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{30\,\eta}{G-1}\right)} \times \sqrt{\left(\frac{H}{t}\right)}$$

$\eta = \mu/g$ रख सकते हैं।

जहाँ $M = \sqrt{\left(\frac{30\,\eta}{G-1}\right)}$

$$D = M\sqrt{\frac{H}{t}}$$

$\mu = 0.01$ poise

Temp—20°C आसुत जल

$$\eta = \frac{0.01}{980} \text{ gram-sec/cm}^2$$

$$= 10^{-5}$$

$G = 2.68$ लेने पर

∴ समीकरण (2) से,

$$V = \frac{2.68-1}{1800 \times 1 \times 10^{-5}} \times D^2$$

$$= 91.5\, D^2$$

$$= 91\, D^2 \text{ (लगभग)}$$

∴ $V \propto D^2$

इस प्रकार सिद्ध होता है कि मृदा कण के बैठाव की दर कण के साइज के वर्ग के समानुपाती होती है।

$$V = 91\, D^2$$

Note—M का मान दी हुई मृदा के विशिष्ट गुरुत्व G व जल की श्यानता (Viscosity) μ के लिये स्थिर होगा। M का मान दी हुई तालिकाओं से सीधे ज्ञात कर सकते हैं जोकि एक स्थिरांक है।

$\mu = n/g$, जहाँ g = गुरुत्वीय त्वरण

μ = निरपेक्ष श्यानता (poise)

3.9. स्टोक के नियम की मान्यतायें एवं प्रतिबन्ध (Assumptions and Limitations of Stoke's Law)

स्टोक द्वारा बतायी समीकरण स्थापित करने में निम्न मान्यतायें स्वीकार्य हैं—

मान्यतायें (Assumptions)

1. स्टोक ने निलम्बन में बैठने वाले कणों को गोलाकार माना जबकि मृदा कण गोलाकार नहीं होते, इसमें कण का वास्तविक व्यास न ज्ञात करके समकक्ष व्यास (Equivalent Diameter) ज्ञात करते हैं।

समकक्ष व्यास (Equivalent Diameter) का अर्थ कण के उस व्यास से है, जिसका घनत्व मृदा कण के बराबर हो तथा उसी द्रव-विशेष में उसी गति से अवसादित हो जिससे मृदा कण तली में बैठता (Settle) है।

2. स्टोक ने यह स्वीकार किया कि बर्तन में एक बार में एक ही कण अवसादित (Settle) होता है, जबकि उस पर अन्य मृदा कणों का कोई प्रभाव नहीं पड़ता, जबकि निलम्बन में भारी संख्या में कण एक साथ बैठते हैं जिससे एक कण की गति दूसरे कणों तथा बर्तन की दीवारों से आपस में एक-दूसरे पर प्रभाव आ ही जाता है।

3. मृदा कई खनिजों से मिलकर बनी होती है जिससे हर कण का विशिष्ट गुरुत्व (G) का मान भिन्न होता है। परीक्षण में औसत मान लेना उचित होता है।

4. मृदा कण बहुत महीन होते हैं उनमें विद्युत आवेश के कारण आपस में आकर्षित होकर चिपक कर गुच्छा (Floc) का निर्माण करते हैं। इसलिये गुच्छे (Floc) का व्यास लेना चाहिये। इस प्रवृत्ति को रोकने के लिये सोडियम आक्जलेट कैलगन (सोडियम हेक्सा मेटा-फास्फेट) मिला देते हैं।

प्रतिबन्ध (Limitations)

1. स्टोक का नियम गोलाकार कणों (Spherical) के लिये ही स्वीकार्य है।

2. स्टोक का नियम 0.2 mm से 0.0002 mm तक के कणों के परिमाप (Size) के लिये ही मान्य है। 0.0002 mm से कम size के कण कोलॉइड (Colloide) कहलाते हैं। इनकी गति नापना सम्भव नहीं है। ब्राउनियन (Brownian) गति के कारण ऐसे कणों पर नियम प्रतिपादित नहीं होता जबकि 0.2 mm से बड़े size के कण निलम्बन में उथल-पुथल मचाते हैं जिससे यह कण आसानी से तली में नहीं बैठ पाते हैं।

3.10. अवसादन विश्लेषण (Sedimentation Analysis)

75 μ से छोटे कणों के लिये यह विश्लेषण करते हैं। विश्लेषण करने से पहले मृदा का Pretreatment एवं मृदा निलम्बन का व्यासारण (Dispersion) करते हैं।

3.10.1. पूर्व-शोधन एवं व्यासारण (Pretreatment and Dispersion)

यदि मृदा जिसका परीक्षण अर्थात् अवसादन विश्लेषण किया जाना है उसमें कार्वनिक पदार्थ एवं कैल्शियम के यौगिक पाये जाते हैं तो ऐसे पदार्थ बंधक का कार्य करते हैं जिसकी वजह से अनेकों कण मिलकर बड़े कण का निर्माण करते हैं। इस तरह एक कण के बजाय पूरा कणों का गुच्छा अवसादित हो जाता है। इस प्रकार होने वाली कमियों को दूर करने के लिये मिट्टी का पूर्व-शोधन करना आवश्यक हो जाता है। इसके बाद कणों का व्यासारण (Dispersion) करना पड़ता है। प्रतिदर्श को ओवन (Oven) में सुखाकर उसमें H_2O_2 (हाइड्रोजन परऑक्साइड) मिलाकर 60°C पर गर्म करके ऑक्सीकरण (Oxidation) कराया जाता है। नमूने को तब तक हिलाते हैं जब तक कि उसमें गैस निकलना बन्द न हो जाये। मिश्रण को ठण्डा कर उसमें 0.2 N सान्द्रता का HCl अम्ल मिलाते हैं जिससे वह कैल्शियम यौगिकों से क्रिया करके अवक्षेप बनाये। इसको फिल्टर करके अवक्षेप अलग प्राप्त कर लेते हैं। इस अवक्षेप को डिश में रखकर सुखा लेते हैं। इसके बाद उसका भार ज्ञात करना पड़ता है।

नोट—व्यासारण एजेन्ट कई होते हैं जिसमें सभी प्रकार की मृदाओं के सोडियम हैक्सा मैटाफास्फेट जिसका व्यापारिक नाम कैलगन Calgon भी है इसको मिलाने से त्रुटियाँ कम हो जाती हैं।

अवसादन विश्लेषण करने की दो विधियाँ हैं—

(i) पिपेट विधि (Pipette Method)

(ii) हाइड्रोमीटर विधि (Hydrometer Method)

हाइड्रोमीटर विश्लेषण (Hydrometer Analysis)

यह विधि 75 micron की चालनी से छनकर निकलने वाले मृदा कणों का विश्लेषण करने के लिये अपनायी जाती है। स्टोक के नियम से—

सूक्ष्म कणों का व्यास $$D = \frac{\sqrt{18 \times \eta}}{(y_s - y_w)} \times V \quad \text{...(i)}$$

जहाँ $V = h/t$, जहाँ h = distance, t = time

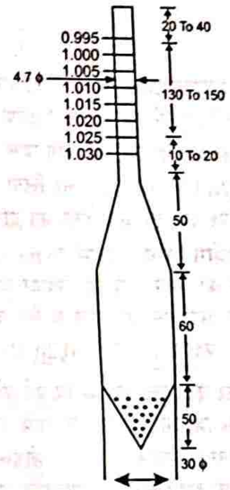
अत: $$D = \frac{\sqrt{18 \times \eta}}{(y_s - y_w)} \times \frac{h}{t} \quad \text{...(ii)}$$

यदि η, h और t की इकाई क्रमश: पॉइज, सेमी० एवं सेकेण्ड है। यदि कण का व्यास D mm हो, तो

$$D = \sqrt{\frac{30 \times \eta}{980(G_s - G_w)} \times \frac{h}{t}} \quad \text{...(iii)}$$

जहाँ, G_S = मृदा का विशिष्ट गुरुत्व

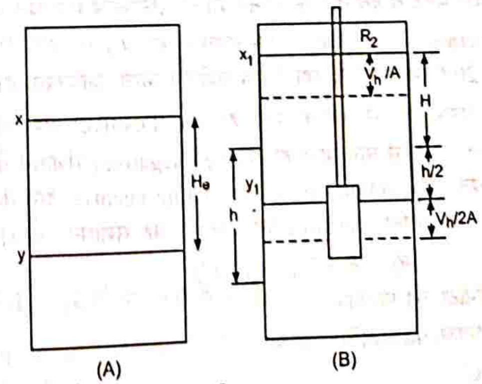
G_w = जल का विशिष्ट गुरुत्व



चित्र-3.4 : हाइड्रोमीटर

इस विधि में हाइड्रोमीटर के द्वारा 1000 ml जल एवं मृदा के घोल को कुछ समय बाद एक-एक कर हाइड्रोमीटर की मदद से घनत्व ज्ञात करते हैं, इसके लिये हाइड्रोमीटर का अंशांकन (calibration) करना जरूरी है।

अंशांकन (Calibration)—'अंशांकन' शब्द को हम इस प्रकार परिभाषित कर सकते हैं—"हाइड्रोमीटर की गर्दन पर बने निशान व उस बर्तन या पात्र जिसमें अवसादन विश्लेषण (sedimentation analysis) कर रहे होते है, में हाइड्रोमीटर डुबाने पर उसकी प्रभावी गहराई (effective depth) में सम्बन्ध स्थापित करना।" हाइड्रोमीटर को बर्तन/पात्र में जब डुबोते हैं तो पात्र में घोल का लेवल बढ़ जाता है और **प्रभावी गहराई** को इस प्रकार समझ सकते हैं—घोल की ऊपरी सतह की उस गहराई से जहाँ तक हाइड्रोमीटर को प्रवेश कराकर घनत्व ज्ञात किया जाता है। (चित्र में दर्शाया गया है)



चित्र-3.5

चित्र 3.5 (A) में $y-y$ व लेवल है जहाँ हाइड्रोमीटर को प्रवेश कराकर घनत्व ज्ञात करते हैं परन्तु डुबाने के बाद लेवल y_1-y_1 हो जायेगा। हाइड्रोमीटर डुबाने से पूर्व की प्रभावी गहराई (effective depth) $x-x$ से $y-y$ ज्ञात है। यदि घोल वाले पात्र के अन्दर का क्षे० A है, तथा घोल में डूबे हाइड्रोमीटर का आयतन (volume) V_h है तो हाइड्रोमीटर डुबोने पर घोल के लेवल अर्थात् तल $x-x$ में होने वाली बढ़ोत्तरी V_h/A तथा $y-y$ में $V_h/2A$ हो जाती है।

अत: प्रभावी गहराई (effective depth)—

$$H_e = \left(H + \frac{h}{2}\right) + \frac{V_h}{2A} - \frac{V_h}{A}$$

$$H_e = H + \frac{1}{2}\left(h - \frac{V_h}{A}\right)$$

जहाँ, H = हाइड्रोमीटर के बल्ब की गर्दन से डुबोने पर आये पाठ्यांक R_h की गहराई

h = बल्ब की गहराई

H_e = प्रभावी गहराई

आयतन ज्ञात करना—हाइड्रोमीटर का आयतन ज्ञात करने के लिये अंशांकित जार में पानी भरकर उसका लेवल नोट कर लेते हैं। डुबोने पर लेवल में आयी बढ़ोत्तरी से हाइड्रोमीटर का आयतन ज्ञात कर सकते हैं। हाइड्रोमीटर के भार के बराबर उसका आयतन होता है जो भाग घोल में नहीं डूब पाता है इस त्रुटि को नगण्य मान लेते हैं। मुख्य पाठ्यांकों के लिये प्रभावी गहराई (H_e) का मान ज्ञात कर लिया जाता है। हाइड्रोमीटर के पाठ्यांक R_h को X-अक्ष पर तथा प्रभावी गहराई (H_e) को Y-अक्ष पर दर्शाकर एक रेखा का ग्राफ बना लेते हैं तथा परीक्षण करना प्रारम्भ करते हैं।

प्रयोग विधि—इसमें 75 micron से छनी मृदा लगभग 50 ग्राम लेकर शुद्ध जल में 1000 ml घोल तैयार करते हैं। इस घोल को स्थिर ताप पर रखकर घोल को हिलाया जाता है एवं हाइड्रोमीटर से घनत्व ज्ञात करते हैं। कुछ समय पश्चात् मृदा कण अंशांकन जार/पात्र में बैठ जाते हैं जिससे घोल का घनत्व घट जाता है तथा हाइड्रोमीटर डूबने की गहराई बढ़ने लगती है। प्रेक्षण $\frac{1}{2}$, 1, 2, 5, 10, 20, 40 मिनट 1, 2, 4, 8 व 24 घण्टों बाद प्राप्त किये जाते हैं। प्रेक्षण प्राप्त करने के लिये हाइड्रोमीटर को घोल कुछ समय पूर्व प्रवेश कराना चाहिये। रीडिंग प्राप्त होते ही पुन: घोल से बाहर निकाल लेते हैं, इस क्रिया में घोल में विक्षोभ पैदा न होने पाये, ऐसा ध्यान रखना पड़ता है।

पाठ्यांक पढ़ने में 1 को छोड़कर तथा दशमलव के बाद से पाठ्यांक 0.020 को 1000 से गुणा करके 20 पढ़ा जायेगा तथा हाइड्रोमीटर के पाठ्यांक पढ़ने पर संशोधनों का विशेष ध्यान रखना पड़ता है।

संशोधन (Correction)

(1) मैनिस्कस संशोधन (Meniscus correction)—इस संशोधन को $+C_m$ से दर्शाते हैं—मृदा को जल में घोलने पर बना हुआ घोल अपारदर्शी होने कारण प्रेक्षण मैनिस्कस की ऊपरी सतह से प्राप्त करना चाहिये।

नोट—मैनिस्कस की ऊपरी सतह व द्रव तल के अन्तर को ही मैनिस्कस संशोधन कहा जाता है।

(2) ताप संशोधन (Temperature correction)—इस संशोधन को $\pm C_t$ से दर्शाते हैं। हाइड्रोमीटर की रीडिंग 20°C पर प्राप्त करें यदि घोल का ताप 20°C में अन्तर दे रहा है; तो संशोधन करना आवश्यक है।

नोट—(1) यदि घोल का ताप मानक ताप से अधिक प्राप्त हो +ve (Positive) संशोधन कहलायेगा।

(2) यदि घोल का ताप मानक ताप से कम प्राप्त हो तो –ve (Negative) संशोधन कहलायेगा।

(3) अनूर्णनकारक संशोधन (Correction for deflocculating agent)—इस संशोधन को C_d से दर्शाते हैं। अनूर्णन घोल में मिला देने से घोल का घनत्व (density) बढ़ जाता है। यह संशोधन –ve (Negative) हो जाता है।

अत:
$$R_h = R + C_m \pm C_t - C_d$$

जहाँ, R = हाइड्रोमीटर का पाठ्यांक

R_h = हाइड्रोमीटर का संशोधित पाठ्यांक

$R_h = R \pm C$

अत: मृदा कणों की माप

$$D = M\sqrt{\frac{H_e}{t}}$$

D = व्यास के महीन मृदा कणों की मात्रा प्रतिशत में

$$N = \frac{100G}{W_d(G-1)} \cdot R_h$$

जहाँ, W_d = निलम्बन में मृदा कणों की मात्रा

R_h = हाइड्रोमीटर का संशोधित पाठ्यांक

G = मृदा कणों का औसत विशिष्ट गुरुत्व

3.11. कण परिमाप वितरण वक्र (Particle Size Distribution Curve)

मृदा प्रतिदर्श का यांत्रिक विश्लेषण (Mechanical Analysis) करने के बाद प्राप्त कणों को ग्राफ पेपर पर वक्र द्वारा प्रदर्शित करते हैं जिसे कण परिमाप वितरण वक्र कहते हैं। यह वक्र दो प्रकार से दर्शाया जाता है—

(1) कण परिमाप (D) mm

(2) कण परिमाप D से सूक्ष्म कणों का प्रतिशत

X-अक्ष पर कणों का परिमाप (Particle Size) एवं Y-अक्ष पर % सूक्ष्म लेकर ग्राफ खींचते हैं। इस वक्र से मृदा के गुणों की जानकारी होती है। वक्र में निम्न जानकारी होगी—

(i) ऊर्ध्वाधर वक्र—Uniform Soil (समान परिमाण के कण) अर्थात् **समवर्गीय मृदा।**

(ii) क्षैतिजक वक्र—सभी प्रकार के कण उपस्थित अर्थात् **सुवर्गीय मृदा** (Well graded soil)।

(iii) ऊँचा-नीचा वक्र—विशेष प्रकार के कण उपस्थित नहीं अर्थात् **कुवर्गीय मृदा** (Poorly graded soil)।

इन वक्रों को अर्द्ध-लघुगणकीय ग्राफ (Semi-logarithmic graph) पर प्रदर्शित करते हैं एवं निम्न लाभ प्राप्त होते हैं—

1. समान प्रकार की मृदाओं के वक्र का आकार (Shape) समान होगा। कण परिमाप चाहे जो भी हों।
2. वितरण वक्र में असमानता अधिक होने के कारण साधारण ग्राफ पर दर्शाना कठिन है और बड़ा ग्राफ आवश्यक है। अत: अर्द्ध-लघुगणकीय ग्राफ का प्रयोग अनिवार्य है।
3. समान आकृति वाले दो वक्रों में क्षैतिज दूरी मृदाओं के साइजों (Sizes) के अनुपात के लघुगणक के समान (Equal) मानी जाती है।

मृदा का श्रेणीकरण (Gradation of Soil)

1. सुवर्गीय मृदा (Well graded soil)—इसमें छोटे से बड़े सभी प्रकार कण उपस्थित रहते हैं।

2. कुवर्गीय मृदा (Poorly graded soil)—इसमें किसी विशेष प्रकार के साइज के कण उपस्थित होते हैं और कुछ साइज (size) के कण अनुपस्थित रहते हैं।

3. समवर्गीय मृदा (Uniformly graded soil)—इसमें अधिकतर कण एक ही परिमाप (size) के उपस्थित रहते हैं।

चित्र 3.6 में दर्शाये गये हैं।

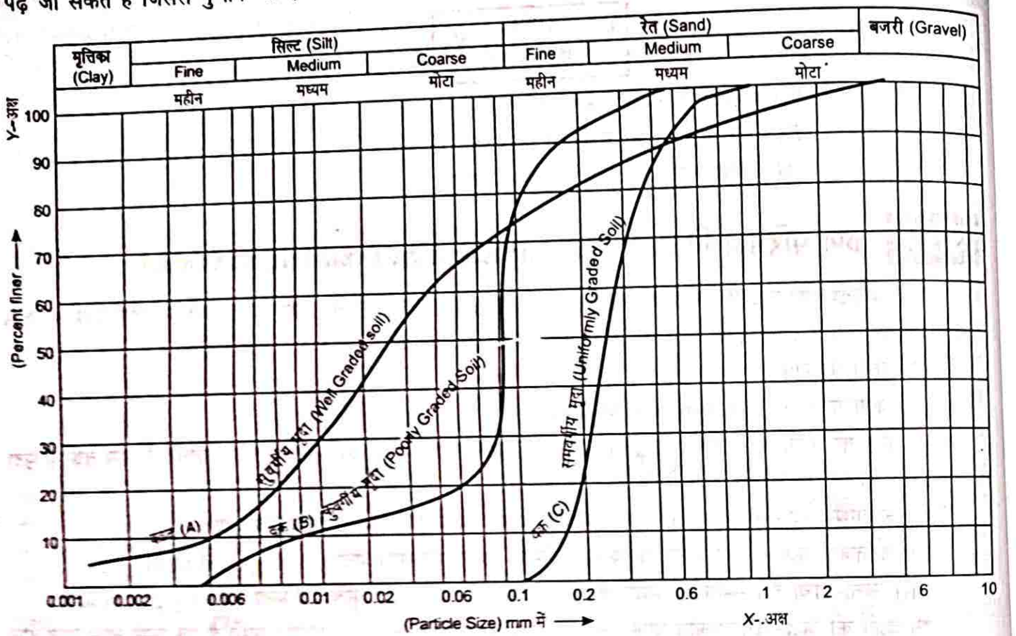
3.12. प्रभावी परिमाप (Effective Size)

अर्द्ध-लघुगणकीय ग्राफ में प्रभावी परिमाप का तात्पर्य यह है कि **मृदा का प्रभावी परिमाप का अर्थ उस चालनी के छिद्रों की माप (mm) से होता है।**

D_{10}—इसका अर्थ मृदा प्रतिदर्श में सूक्ष्म कणों का भार 10 प्रतिशत तथा स्थूल कणों का भार 90 प्रतिशत है।

D_{30}—इसका अर्थ मृदा के कुल भार में 30 प्रतिशत कण सूक्ष्म हैं।

D_{60}—इसका अर्थ सूक्ष्म कणों का मान कुल भार का 60 प्रतिशत है। वितरण वक्र में D_{60}, D_{30} एवं D_{10} के मान पढ़े जा सकते हैं जिससे गुणांक भी ज्ञात किये जा सकते हैं।



चित्र-3.6 : कण परिमाप वितरण वक्र

3.13. गुणांक (Coefficient)

से एलेन हैजन (Allen Hazen) के अनुसार वितरण वक्र से दो गुणांक भी प्राप्त किये जा सकते हैं—

(1) समानता गुणांक (Uniformity Coefficient)—यह मृदा में D_{60} व D_{10} का अनुपात है, अतः

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

समानता गुणांक को C_u से प्रदर्शित करते हैं। समान कणों वाली मृदा में C_u का मान 1 होता है तथा सुवर्गीय मृदा के लिये 1 से अधिक। गुणांकों को निम्न भाँति भी दर्शा सकते हैं—

(1) समवर्गीय मृदा—समानता गुणांक 1 से 5 तक

(2) कुवर्गीय मृदा—समानता गुणांक 5 से 15 तक

(3) सुवर्गीय मृदा—समानता गुणांक 15 से अधिक

2. वक्रता गुणांक (Coefficient of Curvature)—यह मृदा की आकृति को दर्शाता है। इसे C_c से प्रदर्शित किया जाता है।

यह D_{30} के वर्ग एवं D_{10} व D_{60} के गुणनफल का अनुपात है।

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

(i) कुवर्गीय मृदा—वक्रता गुणांक 1 से कम

(ii) सुवर्गीय मृदा—C_c का मान 1 व 3 के बीच

(iii) रेत एवं ग्रेवल—C_c का मान क्रमशः 4 व 6 से अधिक

3.14. अटरबर्ग की सीमायें (Atterberg's Limits)

मृदा में यदि पानी मिलाया जाये और उसकी मात्रा क्रमशः बदल दी जाये, तो मृदा को द्रव, सुघट्य अर्द्ध-ठोस एवं ठोस किसी भी अवस्था में बदला जा सकता है।

मृदा की सघनता (Consistency) का तात्पर्य है वह कितनी आसानी से मनचाही आकार में ढाली जा सकती है। यह मृदा की Stiffness (दृढ़ता) को भी व्यक्त करती है।

इस मृदा को हम मुलायम (Soft), कठोर (Hard) तथा दृढ़ (Stiff) जैसे शब्दों से पुकार सकते हैं।

स्वीडन के अटरबर्ग ने सन् 1911 में मृदाओं का अध्ययन किया था।

यह शब्द केवल महीन मृत्तिकाओं (Fine clay) के लिये ही उचित है।

मृदा की सघनता इसमें उपस्थित जल की मात्रा पर निर्भर करती है।

मृदा में पानी की मात्रा मृदा को चार अवस्थाओं में बदल देती है—

1. ठोस अवस्था
2. अर्द्ध-ठोस अवस्था
3. सुघट्य अवस्था
4. द्रव अवस्था

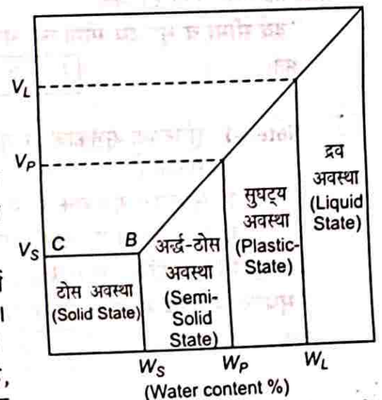
1. ठोस अवस्था (Solid State)—ठोस अवस्था में मृदा ठोस की तरह व्यवहार दर्शाती है। इसमें जलांश शून्य एवं सामर्थ्य अधिक होती है।

2. अर्द्ध-ठोस अवस्था (Semi-solid State)—इसमें ठोस अवस्था से जलांश कुछ अधिक होता है। मृदा संतृप्त होती है एवं वायु नहीं रहती है। पानी अधिक होता है।

3. सुघट्य अवस्था (Plastic State)—सुघट्य अवस्था में मृदा बिना चटकन अर्थात् दरारें पड़े बिना, किसी भी आकार में इच्छानुसार ढाल सकते हैं। इस अवस्था में मृदा से मूर्तियाँ या मिट्टी के बर्तन बनाये जा सकते हैं। इस अवस्था में पानी की मात्रा अर्द्धठोस अवस्था से अधिक होती है।

4. द्रव अवस्था (Liquid State)—इस अवस्था में अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength) नगण्य होती है। मृदा द्रव की तरह व्यवहार करती है। इसमें पानी की मात्रा अर्थात् (जलांश) सुघट्य अवस्था से अधिक होती है।

यदि मृदा प्रतिदर्श में जल मिला दें और मृदा द्रव अवस्था में होती है, यदि क्रमशः पानी की मात्रा कम करते जायें या वाष्पीकृत कराते जायें, तो मृदा अवस्थायें बदलते हुईं अन्त में ठोस अवस्था में पहुँच जाती है। चित्र 3.7 में दर्शाया गया है।



चित्र-3.7 : मृदा की अलग-अलग अवस्थाओं में सघनता सीमायें

जहाँ, V_L = द्रव सीमा में आयतन, V_P = सुघट्य सीमा में आयतन, V_S = संकुचन सीमा में आयतन

W_S = संकुचन सीमा, W_P = सुघट्यता सीमा, W_L = द्रव सीमा

सघनता सीमायें उन जलांश को कहते हैं जिन पर मृदा एक अवस्था से दूसरी अवस्था में बदलती है। सघनता सीमायें निम्नांकित दर्शायी गयी हैं—

1. **द्रव सीमा** (Liquid Limit)—यह द्रव अवस्था एवं सुघट्य अवस्था के मध्य की सीमा है। इसे W_L से दर्शाया जाता है।

यह मृदा में उपस्थित जल की वह मात्रा है जिसके कारण मृदा अब भी द्रव अवस्था में है, किन्तु उस मृदा में अब भी कुछ अपरूपण प्रतिरोध है।

अथवा

द्रव सीमा पानी की वह मात्रा है जिसमें इतनी अपरूपण सामर्थ्य है कि मानक चौड़ाई की दरार या खाँचा काटने पर 25 आघातों (Blows) पर कम से कम 10 मिमी० लम्बाई तक बह कर भर दे।

2. **सुघट्य सीमा** (Plastic Limit)—सुघट्य सीमा को W_P से दर्शाते हैं। यह सुघट्य अवस्था एवं अर्द्ध-ठोस अवस्था के बीच की सीमा है—

"मृदा में पानी की वह मात्रा जिसमें मृदा को लगभग 3 mm के धागे में ढाला जाये तो वह टूटे नहीं परन्तु और महीन करने पर वह टूट जाये, सुघट्य सीमा कहलाती है।"

3. **संकुचन सीमा** (Shrinkage Limit)—संकुचन सीमा को W_S से दर्शाते हैं। यह मृदा की अर्द्ध-ठोस अवस्था व ठोस अवस्था के बीच की सीमा है।

"मृदा के जल की वह मात्रा जिसे और कम करने पर मृदा पिण्ड के आयतन में कोई कमी नहीं होती संकुचन सीमा कहलाती है।"

3.15. प्रमुख सूचकांक (Important Indices)

सूचकांक (Indices) मृत्तिकामयी मृदाओं की जानकारी प्राप्त करने के लिये विशेष महत्त्वपूर्ण है।

सूचकांक निम्नवत् हैं—

1. **सुघट्यता सूचकांक** (Plasticity Index)—द्रव सीमा (Liquid Limit) से सुघट्य सीमा तक पहुँचने पर मृदा में सुघट्यता बनी रहती है। अतः

"द्रव सीमा व सुघट्य सीमा का अन्तर ही सुघट्यता सूचकांक कहलाता है।" इसे I_P से दर्शाते हैं।

अतः $$I_P = W_L - W_P$$ जहाँ, W_L = द्रव सीमा, W_P = सुघट्य सीमा

Note—1. सुघट्यता सूचकांक से मृदा में सम्पीड्यता एवं ससंजकता (Cohesion) की जानकारी प्राप्त की जा सकती है।

2. सुघट्यता सूचकांक से मृदा की पारगम्यता के विषय में भी ज्ञान प्राप्त कर सकते हैं।

3. $I_P = 0$ होने पर मृदा ससंजनहीन (Cohesionless) कहलायेगी।

2. **संकुचन सूचकांक** (Shrinkage Index)—संकुचन सूचकांक को I_S से दर्शाया जाता है।

"सुघट्य सीमा व संकुचन सीमा के अन्तर को संकुचन सूचकांक कहते हैं।"

अतः $$I_S = W_P - W_S$$ जहाँ, W_P = सुघट्य सीमा, W_S = संकुचन सीमा

3. **सघनता सूचकांक** (Consistency Index)—सघनता सूचकांक को I_C से दर्शाया जाता है।

"द्रव सीमा व जलांश में अन्तर तथा सुघट्यता सूचकांक के अनुपात को सघनता सूचकांक कहते हैं।"

अतः $$I_C = \frac{W_L - W}{I_P}$$ जहाँ $I_P = W_L - W$, W_L = द्रव सीमा, W = मृदा जलांश

Note—1. यदि $I_C = 0$ है तो मृदा द्रव सीमा के अन्तर्गत है।

2. यदि $I_C = 1$ है तो मृदा सुघट्य सीमा के अन्तर्गत है।

3. यदि $I_C > 1$ है तो मृदा अर्द्ध-ठोस अवस्था के अन्तर्गत होगी।

4. यदि $I_C = -ve$ है एवं मृदा का जलांश द्रव सीमा से अधिक है तो मृदा द्रव की तरह कार्य करेगी।

4. **तरलता सूचकांक** (Liqudity Index)—इसे I_L से प्रदर्शित करते हैं। तरलता सूचकांक प्राकृतिक जलांश तथा सुघट्य सीमा के अन्तर व सुघट्यता सूचकांक का अनुपात है।

$$\text{तरलता सूचकांक} = \frac{\text{जलांश - सुघट्य सीमा}}{\text{सुघट्यता सूचकांक}}$$

$$I_L = \frac{W - W_P}{I_P} \quad \text{या} \quad I_L = \frac{W - W_P}{I_P}$$

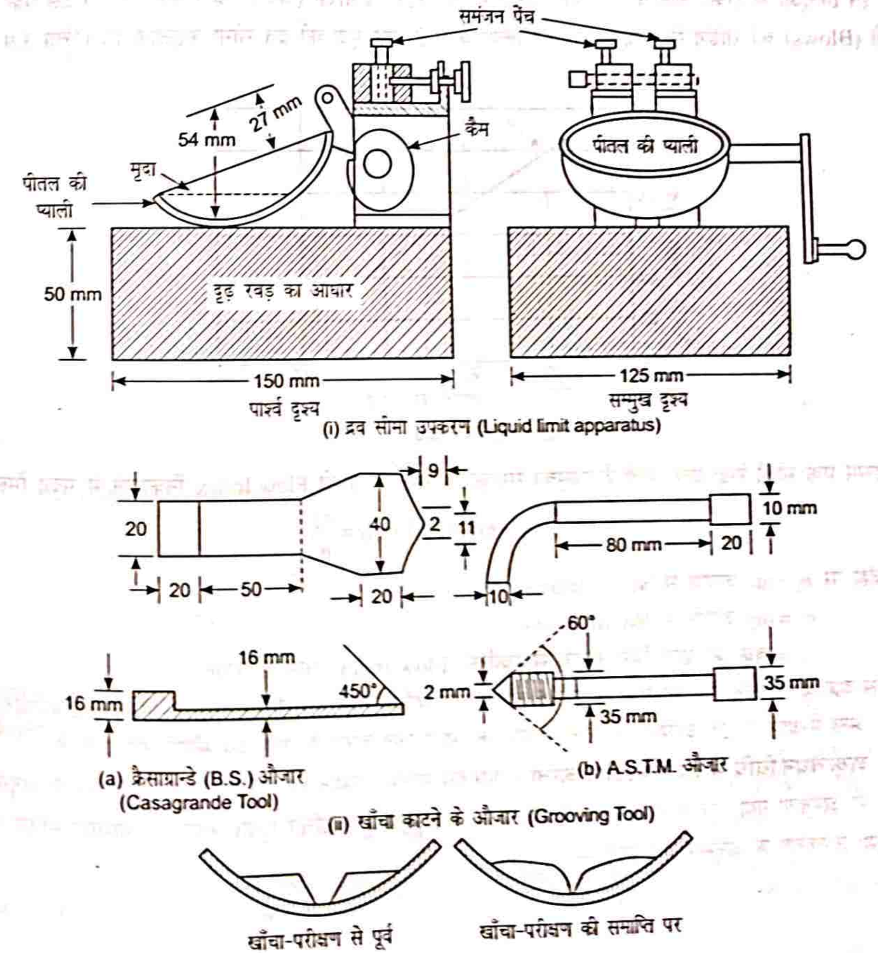
3.16. प्रयोगशाला परीक्षण

द्रव सीमा, सुघट्य सीमा, व संकुचन सीमा प्रयोगशाला परीक्षणों द्वारा ज्ञात की जा सकती है—

द्रव सीमा परीक्षण (Liquid Limit Test)—द्रव सीमा परीक्षण ज्ञात करने के लिये मुख्य विधियाँ निम्न हैं—

(i) मानक द्रव सीमा उपकरण विधि (Standard Liquid Limit Apparatus Method)

(ii) शंकु वेधन विधि (Cone Penetration Method)



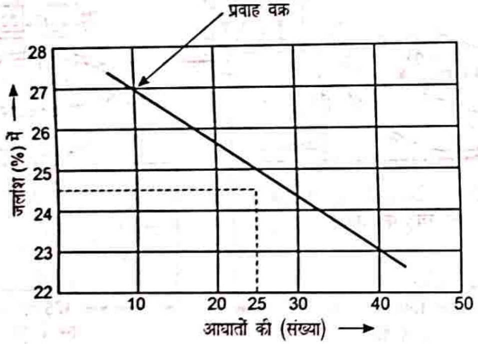
चित्र-3.8

1. मानक द्रव सीमा उपकरण विधि (Standard Liquid Limit Apparatus Method)—द्रव सीमा कैसाग्रान्डे उपकरण द्वारा ज्ञात कर सकते हैं। सर्वप्रथम I.S. 425μ की चालनी (Sieve) से मृदा को छान लिया जाता है। छनी मृदा को Oven में रखकर शुष्क किया जाता है। इसमें आसुत जल मिलाकर एक समांग पेस्ट बनाया जाता है। समायोजन पेंच की सहायता से कप गिरने की ऊँचाई 1 cm निश्चित कर लेते हैं। पानी मिली मृदा का पेस्ट कप में रखकर समतल सतह कर लेते हैं। कप में सभी जगह मृदा की मोटाई लगभग 1 cm होनी चाहिये। इसके बाद खाँचा काटने के औजार ASTM or B.S. Tool के माध्यम से कप के मध्य मृदा को दो भागों में विभक्त कर देते हैं अर्थात् खाँचा बना दिया जाता है। अब हत्थे को 2 चक्र प्रति सेकेण्ड की दर से घुमाकर Blows (आघात) दिये जाते हैं जब तक खाँचा 10 mm की दूरी तक भर न जाये। खाँचा भरने के लिये आवश्यक Blows को नोट कर लिया जाता है। इस पर मृदा का जलांश ज्ञात कर लिया जाता है। (चित्र 3.8)

यह क्रिया मृदा में जल की अलग-अलग मात्रा के लिये दोहराया जाता है एवं प्रत्येक बार जल की मात्रा एवं आघातों की संख्या नोट की जाती है।

जलांश एवं आघातों (Blows) के प्राप्त मानों को अर्ध-लघुगणकीय ग्राफ पर आलेखित किया जाता है। Blows की संख्या लॉग पैमाने पर एवं जलांश (Water Content) सामान्य पैमाने पर दर्शाया जाता है।

इन बिन्दुओं से होकर जाने वाली रेखा खींचते हैं। यह Flow Curve (प्रवाह वक्र) कहलाती है। इस वक्र पर 25 आघातों (Blows) की रीडिंग से जलांश ज्ञात कर लिया जाता है। यह मृदा की द्रव सीमा कहलाती है। (चित्र 3.9)



चित्र-3.9

इसमें एक सीधी रेखा प्राप्त होती है जिसका समीकरण निम्न है। इससे Flow Index निकालने में मदद मिलती है।

$$\omega_1 - \omega_2 = I_f \log_{10} = \frac{n_2}{n_1}$$

जहाँ पर $n_1 = \omega_1$ जलांश में No. of Blows

$n_2 = \omega_2$ जलांश में No. of Blows

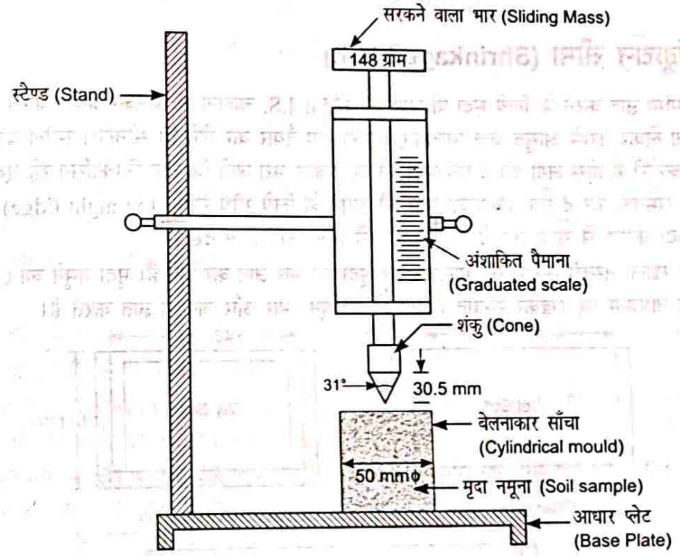
I_f = वक्र का ढाल जिसे **बहाव सूचकांक** (Flow Index) नाम से जानते हैं।

इस वक्र को खींचने के लिये कम से कम 5 प्रेक्षण लेने चाहियें और 10 से 40 आघातों (Blows) के बीच प्रेक्षण प्राप्त हो। अन्त में ग्राफ से 25 आघातों के लिये जलांश की मात्रा ज्ञात करते हैं। यही **द्रव सीमा कहलाती है।**

2. शंकु वेधन विधि से द्रव सीमा ज्ञात करना—भारतीय मानक संस्थान IS : 2720 (Part V) 1965 के अनुसार इस उपकरण को अपनाया गया, पूर्व में रूस ने इसे निर्मित किया था। इसमें कुछ उचित सुधार करते हुये भारतीय मानक संस्थान ने अपनाया। उपकरण के अनुसार द्रव सीमा—

''जलांश जिस पर शंकु मृदा पेस्ट में 30 sec में 25 mm धँस जाता है, द्रव सीमा कहलाती है।''

इसे उप्पल का द्रव सीमा उपकरण भी कहते हैं। (चित्र 3.10) इस उपकरण में एक 31° कोण वाला शंकु बना होता है जोकि खिसकने वाले भार से जुड़ा रहता है। चल भार का शंकु सहित भार 148 gram होता है। इसमें एक बेलनाकार साँचा होता है जिसका व्यास 50 mm और गहराई 50 mm होती है। इस विधि में मृदा लगभग 150 g लेकर इसमें आसुत जल मिलाते हैं और पेस्ट बनाते हैं। इस पेस्ट को शंकु वेधन उपकरण के बेलन (Cylinder) में भरते हैं। इस विधि में मृदा में वायु नहीं होनी चाहिये। बेलन में मृदा तल समान करके शंकु को बेलन में भरी मृदा पेस्ट में प्रवेश कराते हैं। 5 sec बाद शंकु का मृदा में वेधन ज्ञात करके नोट कर लेते हैं। यदि प्रवेश 14 व 28 mm के बीच है तो उसे नोट कर लेते हैं और बेलन में भरी मृदा का जलांश ज्ञात कर लेते हैं। इस प्रकार कम से कम 4 रीडिंग ज्ञात कर लेते हैं। जलांश को Y-अक्ष पर एवं शंकु वेधन को X-अक्ष पर आलेखित कर ग्राफ खींचते हैं। इस ग्राफ द्वारा 20 mm शंकु बेधन के लिये आवश्यक जलांश ज्ञात कर लेते हैं। यही मृदा की द्रव सीमा होगी।



चित्र-3.10 : उप्पल द्रव सीमा उपकरण

द्रव सीमा निम्न समीकरण से भी ज्ञात कर सकते हैं।

$$W_L = W_X + 0.01\{(25 - X)(W_X + 15)\}$$

जहाँ X = बेधन mm में (शंकु की धँसन)

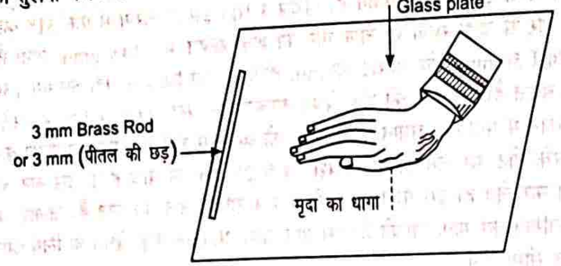
W_L = मृदा की द्रव सीमा

W_X = शंकु के x मिमी॰ धँसन पर जलांश (water content)

3.17. सुघट्यता सीमा (Plastic Limit)

मृदा की सुघट्य सीमा ज्ञात करने के लिये नमूने को I.S. 425μ की Sieve से छानते हैं और विद्युत भट्टी (Oven) में रखकर सुखाकर इस नमूने के 25 mm मृदा में आसुत जल मिलाकर गेंद (Ball) बना लेते हैं। इस गेंद को अगुँलियों की सहायता से काँच की प्लेट पर रोल करके एक धागा बनाते हैं। इस क्रिया को कई बार अभ्यास में लाते हैं जब तक कि 3 mm व्यास का धागा न बन जाये तथा धागा टूटने की अवस्था में आ जाये (Just Crumbling), इसके बाद रोल करने पर धागा बनाने पर वह टूट जाये। इस मृदा का जलांश ज्ञात कर लेते हैं। इस जलांश को सुघट्य सीमा कहते हैं।

3 mm धागा की तुलना करने के लिये प्रयोगशाला में 3 mm की पीतल की छड़ होती है। (चित्र 3.11 देखें)

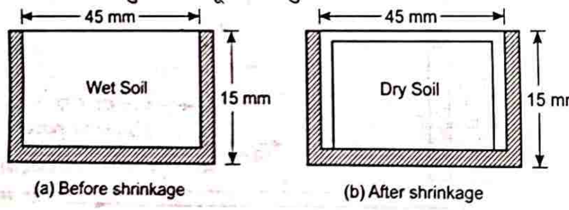


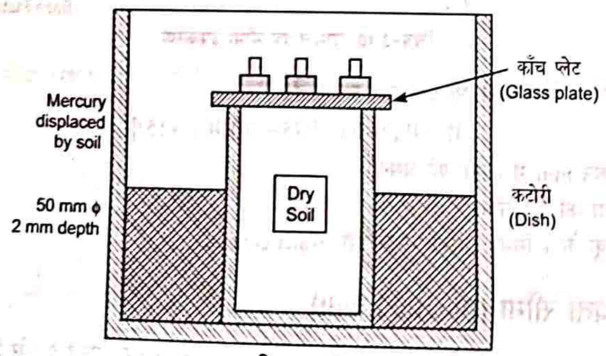
चित्र-3.11 : सुघट्य सीमा निकालना (Platsic limit)

3.18. संकुचन सीमा (Shrinkage Limit)

संकुचन सीमा ज्ञात करने के लिये मृदा प्रतिदर्श को 425 μ I.S. चालनी से छानकर प्रयोग करते हैं। छनी हुई मृदा से 100 gram नमूना लेकर उसमें आसुत जल मिलाकर उसका लेप तैयार कर लेते हैं। स्टेनलेस स्टील की कटोरी में इस लेप को भरने से पूर्व कटोरी में ग्रीस लगा देते हैं एवं मृदा को इस प्रकार भरा जाये कि वायु निष्कासित रहे एवं मृदा को कटोरी में ऊपरी किनारे को समतल कर दे एवं अतिरिक्त मृदा को हटाने के लिये सीध रेखक (Straight Edge) का प्रयोग करते हैं। साइडों में लगी मृदा कपड़े से साफ कर दें एवं तस्तरी को तौल लें। (चित्र देखें)

इस भार में खाली तस्तरी/कटोरी का भार घटाकर मृदा का भार ज्ञात कर लेते हैं। मृदा नमूने को Oven में 105°C से 110°C के बीच तापक्रम पर रखकर सुखाते हैं। सूखने पर पुन: भार और जलांश ज्ञात करते हैं।





चित्र-3.12

मृदा का प्रारम्भ में आयतन V_1 कटोरी के आयतन के बराबर होगा। इसे पारे की सहायता से ज्ञात करते हैं। कटोरी को चीनी की डिश में रखकर उसमें पारा भरकर ऊपर समतल काँच की प्लेट रखकर पारे को समतल कर पारे का भार ज्ञात कर लेते हैं एवं घनत्व (Density) से भाग करके आयतन ज्ञात कर लिया जाता है।

इसके बाद सूखी मृदा का आयतन ज्ञात करने के लिये कप को चीनी डिश में रखकर पारा (Mercury) भरकर तीन चुटकियाँ/कीलें (Prongs) लगी प्लेट रखकर प्याली की सतह को दबाते है जिससे अतिरिक्त पारा हट जायेगा। प्याली की सतह पर चिपके पारे को कपड़े से पोंछकर हटा देना चाहिये। मृदा नमूने के बराबर पारा बाहर डिश में आ जाता है। इसका भार ज्ञात कर घनत्व से भाग देकर आयतन V_2 ज्ञात कर लेंगे।

सूत्र—अत: $V_2 = \dfrac{\text{शुष्क मृदा द्वारा पात्र से हटाये पारे (Mercury) का भार}}{\text{पारे (Mercury) का घनत्व } 13.6\ g/cc}$

जहाँ V_2 = विस्थापित पारे का आयतन

V_1 एवं V_2 के मान ज्ञात होने के पश्चात संकुचन सीमा ज्ञात कर सकते हैं।

अत: संकुचन सीमा $= \left[\dfrac{(W - W_s) - (V_1 - V_2) \cdot Y_w}{W_s}\right] \times 100$

जहाँ,

W = नम मृदा का भार, W_S = शुष्क मृदा का भार

V_1 = नम मृदा का आयतन V_2 = शुष्क मृदा का आयतन

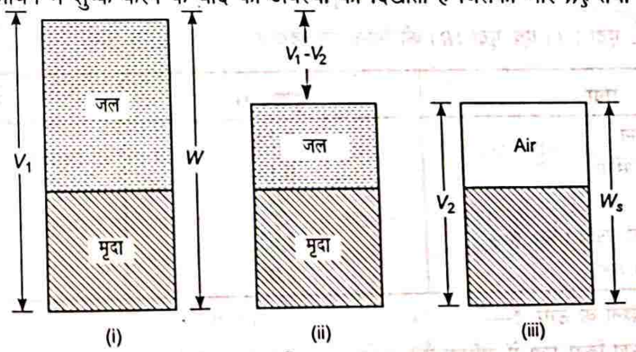
Y_w = जल का घनत्व

संकुचन सीमा (Shrinkage limit)—संतृप्त मृदा नमूने को क्रमश: सुखाते जाये, तो प्रथम में मृदा का आयतन घटेगा, इसके पश्चात् एक ऐसी अवस्था आयेगी जब मृदा में जलांश की और कमी करने पर मृदा नमूने के आयतन में और कमी नहीं आयेगी। उस समय मृदा में जल की मात्रा संकुचन सीमा कहलायेगी।

अथवा

"मृदा की उपस्थिति में जल की वह अधिकतम मात्रा, जिसके बाद उसमें और जल निकलने के पश्चात् मृदा के आयतन में कोई भी कमी नहीं आती, संकुचन सीमा कहलाती है।"

संकुचन सीमा का सिद्धान्त (Theory of Shrinkage limit)—(चित्र 3.13 देखें) एक संतृप्त मृदा नमूने का भार W एवं आयतन V_1 है, इसमें उपस्थिति जल की मात्रा कम करने पर इसका आयतन V_2 तथा भार W_s रह जाता है यदि पानी को पुन: कम करे तो इसके आयतन में कोई कमी नहीं आती। इस समय मृदा में उपस्थिति जलांश की मात्रा संकुचन सीमा कहलाती है चित्र 3.13 (ii) मृदा को ओवन में शुष्क करने के बाद की अवस्था को दिखाता है जिसका भार W_s तथा आयतन V_2 है।



चित्र-3.13

(i) मृदा में जल का भार $= W - W_s$

(ii) आयतन कम हो जाने से $(V_1 - V_2)$ होगा।

(iii) अत: संकुचन सीमा (जलांश) $= \left[\dfrac{(W - W_s) - (V_1 - V_2) \cdot \gamma w}{W_s}\right] \times 100\%$

3.19. गणनायें (Numerical Problems)

उदाहरण 1. तीन प्रकार के मृदा नमूने प्राप्त हुये। उनकी अटरबर्ग सीमायें एवं प्राकृतिक जलांश निम्नवत हैं। सभी की प्लास्टीसिटी इन्डेक्स (I_P) ज्ञात करें।

गुण	मृदा (A)	मृदा (B)	मृदा (C)
जलांश % (W)	27	14	72
द्रव सीमा (W_L)	13	33	60
सुघट्य सीमा (W_S)	8	29	28

हल—सुघट्यता सूचकांक (Plasticity index) मृदा (A) के लिये

सूत्र से— $\boxed{I_P = W_L - W_P}$

सुघट्यता सूचकांक = द्रव सीमा—सुघट्य सीमा

$$I_P = 13 - 8 = 5\%$$ **Ans.**

इसी भाँति मृदा (B) एवं मृदा (C) की सुघट्यता सीमा ज्ञात करेंगे।

उदाहरण 2. किसी मृदा की संकुचन सीमा, जल सीमा तथा प्लास्टिक सीमा क्रमश: 14%, 30% तथा 20% है। सुघट्यता सूचकांक की गणना करो।

हल— W_L द्रव सीमा = 30% = 0.30

W_P सुघट्यता सीमा = 20% = 0.20

W_S संकुचन सीमा = 14% = 0.14

अत: सुघट्यता सूचकांक $(I_P) = W_L - W_P$

$= 0.30 - 0.20$

$= \mathbf{0.10}$ **Ans.**

उदाहरण 3. मृदा (A) एवं मृदा (B) की निम्न गुण दिये हैं।

गुण	मृदा (A)	मृदा (B)
द्रव सीमा	0.34	0.62
सुघट्य सीमा	0.19	0.26
जलांश	25	38%
कणों का घनत्व (आ० घ०)	2.67	2.72
संतृप्तता अंश	1.00	1.00

अत: निम्न प्रश्नों के उत्तर दें—

(i) मृतिका कण किस मृदा में अधिक है?

(ii) घनत्व किस मृदा का अधिक है?

(iii) शुष्क घनत्व किस मृदा का अधिक है?

(iv) रिक्तता अनुपात किसका अधिक है?

Ans. B, A, A, B

उदाहरण 5. एक मृदा नमूने की द्रव सीमा और संकुचन सीमा क्रमश: 60% एवं 25% तथा द्रव सीमा पर आयतन 10 ml है, और संकुचन सीमा पर आयतन 6.4 ml हो जाता है। मृदा की आ० गुरुत्व (specific gravity) ज्ञात करो।

उत्तर—2.69

उदाहरण 6. द्रव सीमा एवं सुघट्य सीमा परीक्षण करने पर मृदा के निम्न परिणाम प्राप्त हुये—

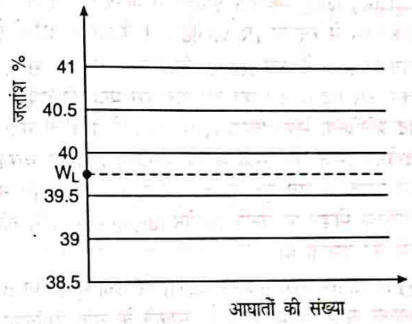
क्र० सं०	आघातों की संख्या (No of blows)	जलांश %
1.	15	42
2.	20	40.8
3.	28	39.1

जहाँ सुघट्य सीमा ($N_P = 18.7\%$)

(a) वक्र खींचकर मृदा की द्रव सीमा ज्ञात करें।

(b) मृदा की सुघट्यता सूचकांक (I_P) ज्ञात करें।

हल—आघातों की संख्या एवं जलांश के बीच वक्र खींचें।



चित्र 3.14

वक्र से द्रव सीमा 25 आघात पर 39.7% प्राप्त हुई।

3.20. सघनता सीमाओं का प्रयोगात्मक महत्त्व (Practical significance of consistency limits)

सघनता सीमाओं के प्रयोगात्मक महत्त्व निम्नवत हैं—

1. अटरबर्ग की सीमायें/सघनता सीमायें **महीन कणीय मृदाओं** का महत्त्वपूर्ण सूचकांक गुण (Index property) है।
2. मृदा के वर्गीकरण एवं पहचान के लिये बहुत लाभदायक है।
3. सीमायें महत्त्वपूर्ण इन्जीनियरिंग गुणों को दर्शाती हैं, जैसे—पारगम्यता, सम्पीड्यता और अपरूपण सामर्थ्य।
4. सुघट्यता सीमा (plastic limit) के बढ़ने से सम्पीड्यता (compressbility) बढ़ती है एवं अपरूपण सामर्थ्य (shear strength) घटती है।
5. यदि मृदा स्थूल कणीय एवं ससंजनहीन है तो द्रव सीमा एवं सुघट्य सीमा का मान समान होता है।
6. जलांश का परिवर्तन, मृदा आयतन में परिवर्तन संकुचन सीमा को प्रदर्शित करता है। मृदा का फूलना (swell), कम जलांश पर संकुचन सीमा का मान कम दर्शाता है।
7. सीमायें यह प्रदर्शित करती हैं कि मृदा में जलांश की उपस्थिति से **विशेष मृदाओं का** ठोस से सुघट्य सीमा में और सुघट्य सीमा से द्रव सीमा में पहुँचने पर व्यवहार बदल जाता है।

उपयोग (Use)—अटरबर्ग सीमाओं का ज्ञान होने पर महीन कणीय मृदाओं पर कोई भी निर्माण कार्य करना है तो निर्माण में अभिकल्पन का उचित तरीका अपना सकते हैं।

3.21. मृदाओं की स्थलीय पहचान (Field Identification of Soil)

इसमें मृदाओं की जानकारी/पहचान हेतु लैब अथवा उपकरणों की जरूरत नहीं पड़ती है। स्थलीय परीक्षण में समय कम लगता है और अनुभवी इन्जीनियर शीघ्र ही उसके गुणों, विशेषताओं के बारे में बहुत कुछ जानकारी कर लेता है। इसमें अल्प समय में ही मृदा की प्रारम्भिक जानकारी हो जाती है।

उपरोक्त जानकारी हेतु निम्न परीक्षण पर्याप्त हैं—

1. डाइलैटेन्सी टेस्ट (Dilatancy Test)
2. शुष्क सामर्थ्य परीक्षण (Dry Strength Test)
3. धागा परीक्षण (Toughness Test)
4. फैलाव परीक्षण (Dispersion Test)
5. बाईट परीक्षण (Bite Test)
6. रंग एवं गन्ध परीक्षण (Colour and Odour Test)

इनका परीक्षण अलग से लिखा जा रहा है।

1. डाइलैटेन्सी परीक्षण (Dilatancy test)—कणीय मृदाओं में अपरूपण कमी पर आयतन में बदलाव डाइलैटेन्सी कहलाता है। इसको सर्वप्रथम सन 1885/86 में रेनाल्ड (Reynolds) ने वैज्ञानिक तरीके से समझाया था।

इस परीक्षण में मृदा का आयतन 25 mm के घन (cube) के बराबर कर लें। मृदा को 425 μ के छलनी से छानकर प्राप्त करें। मृदा में पर्याप्त पानी मिलाकर उसे मृदु (soft) कर लें। अब इस मृदा को हथेली पर रखकर दूसरे हाथ की हथेली की तरफ क्षैतिज लगातार हिलायें। यदि प्रतिक्रिया सकारात्मक (positive) होती है तो मृदा की सतह पर जल स्पष्ट दिखाई देगा एवं सतह चमकीली (glossy) दिखेगी। इसके बाद मुट्ठी बाँधने (squeezing) पर चमक और नमी विलीन (disappear) हो जायेगी और मृदा कड़ी (stiff) होने लगती है एवं मृदा में दरारें उत्पन्न हो जाती हैं। नम मृदा को हिलाने पर नमी एवं चमक का सतह पर प्राप्त होना एवं उंगलियाँ मोड़ने पर उनके विलीन (disappear) होने की पहचान (identity) की तेजी से हुई घटना मृदा में उपस्थित महीन कणों को दर्शाती है।

2. शुष्क सामर्थ्य परीक्षण (Dry strength test)—इसमें 425 μ से छनी मृदा लेते हैं। कुछ जल मिलाकर पुट्टी putty तैयार करते हैं और इसकी गोलियाँ बनाकर सुखा लिया जाता है। सुखाने के बाद उँगलियों से दबाकर तोड़ते हैं।

रेतीली मृदा (sandy soil) थोड़ा बल लगाने पर टूट जायेगी, जबकि सिल्ट युक्त (silty) मृदा बल अधिक लगाने पर टूटेगी, जबकि मृतिका की गोलियाँ उँगली के बल से नहीं टूटेंगी। बल लगाने के अनुमान से मृतिका (clay) की मात्रा का ज्ञान हो जाता है।

3. धागा परीक्षण (Thread/toughness test)—मृदा में उचित जल मिलाकर गूँथ कर putty बना लें। इस मृदा को चिकनी सतह पर हथेली की सहायता से रोल करते हैं और 3 mm व्यास का धागा बनाते हैं। यदि धागा न टूटे तो धागे को पुन: गूँथकर धागा बनाते हैं। इस क्रिया को दोहराते (repeat) हुये ध्यान दें कि धागा टूटने लगे अर्थात् मृदा में जल की मात्रा कम हो चुकी है। इस अवस्था में मृदा में जलांश सुघट्यता सीमा (plastic limit) के नजदीक पहुँच जाता है।

उपरोक्त परीक्षण सूक्ष्म कणीय मृदाओं के लिये उपयुक्त है। रेतीली मृदाओं के लिये परीक्षण उपयुक्त नहीं है। मृतिकाओं में धागा बन सकता है अर्थात् मृतिकाओं में सुघट्यता सीमा उत्तम होती है।

4. फैलाव परीक्षण (Dispersion test)—जल भरे जार (jar) में कुछ मृदा डालते हैं। जार में मृदा और जल को हिलाते हैं। बाद में मृदा के कणों को बैठने (settle) होने देते हैं। बड़े कण जार की तली में सबसे पहले बैठ जाते हैं, इसके बाद महीन कण बैठते हैं। रेत के कण 30 से 60 sec में बैठ जाते हैं और सिल्ट के कण 30 से 60 min में बैठ जाते हैं, जबकि मृतिका के महीन कण कई घण्टों तक तैरते रहते हैं।

5. बाइट परीक्षण (Bite test)—चुटकी (pinch) भर मृदा दाँतों के बीच चबाते (grind) हैं। बालू कणों से किरकिरा (gritty) एवं सिल्ट कणों में खुरदरा (rough) महसूस करेंगे, जबकि मृतिका कणों को चिकना महसूस (feel) करेंगे।

6. रंग और गन्ध परीक्षण (Colour and odour test)—कार्बनिक मृदाओं का रंग गहरा होता है; जैसे—गहरा धूसर (dark grey), गहरा भूरा (dark brown) आदि इसकी गन्ध बासी (musty) होती है। यदि गीले नमूने (wet sample) को गरम किया जाय तो इसकी महसूस होना शुरू हो जाती है, जबकि अकार्बनिक मृदायें स्वच्छ (clean), चमकीले रंग हल्के, धूसर (light grey) लाल, पीले, सफेद रंग में पायी जाती है।

3.22. मृदा वर्गीकरण की आवश्यकता

मृदा के किसी भी वर्गीकरण का उद्देश्य होता है कि मृदाओं के अध्ययन में सुविधा हो सके, और मृदा को सीमित वर्गों में विभाजित कर सकें। इसमें एक वर्ग की मृदा के गुण एवं व्यवहार में समानता होती है। मृदा का वर्ग ज्ञात होने सम्बन्धित मृदा के विषय में जानकारी होनी शुरू हो जाती है जिससे मृदा का ज्ञान होना सरल हो जाता है।

निर्माण कार्यों में मृदा का ज्ञान प्राप्त हो जाने से विभिन्न प्रकार की मृदाओं के सम्पर्क में आने वाली नीवों का अभिकल्पन सरल हो जाता है।

3.23. उद्देश्य

मृदा का वर्गीकरण करके मृदा को अलग-अलग समूहों (Groups) में बाँटने के मुख्य उद्देश्य निम्नवत् हैं—

1. मृदा को उसके इन्जीनियरिंग व्यवहार के अनुसार समूहों (Groups) में रखें ताकि निर्माण से पूर्व ही इन्जीनियर ऐसी मृदाओं के बारे में पूर्व सूचना देकर उसके बारे में अनुमान लगा सकें।

2. Field Identification—अलग-अलग स्थलों पर हो रहे निर्माण कार्यों जिन्हें इन्जीनियर कराते हैं, सभी स्थानों से अनुभव प्राप्त करके संकलित करना चाहिये ताकि होने वाले अन्य निर्माण कार्यों को लाभ पहुँचाया जा सके।

3.24. वर्गीकरण की पद्धतियाँ (Systems of Soil Classification)

वर्गीकरण पद्धतियों को मुख्यत: तीन प्रकार से अलग-अलग कर सकते हैं—

1. Grain Size Classification (कण परिमाप वर्गीकरण)

2. Index Properties Classification (सूचकांक गुण)

3. Grain Size + Index Properties Classified (कण परिमाप + सूचकांक गुण वर्गीकरण)

Note—1. उपरोक्त प्रथम पद्धति मोटे कणों वाली मृदाओं के लिये उपयुक्त है; जैसे—रेत (Sand), ग्रेवल (Gravel) आदि।

2. द्वितीय पद्धति में मृदा के सूचकांक गुणों; जैसे—द्रव सीमा, सुघट्य सीमा आदि से वर्गीकरण करते हैं।

3. तृतीय पद्धति में उपरोक्त दोनों पद्धतियों का प्रभाव रहता है। दोनों पद्धतियों को उपयोग में लाया जाता है। यही पद्धति अधिक उचित रहती है।

3.25. उत्तम वर्गीकरण पद्धति के गुण

वर्गीकरण पद्धति में उचित गुण होना आवश्यक है—

1. वर्गीकरण पद्धति सरल हो, समझने में कठिनाई न हो जिससे मृदा के गुणों के बारे में सहजता से ज्ञान प्राप्त हो सके।
2. मृदा का वर्ग, उसके इन्जीनियरिंग गुण एवं मृदा का मौसम परिवर्तन पर व्यवहार के बारे में पर्याप्त ज्ञान प्राप्त किया जा सके।
3. वर्गीकरण पद्धति वैज्ञानिक ढंग से तैयार की गई हो।
4. वर्गीकरण पद्धति मृदा (Soil) के दृष्टि परीक्षण के लिये सही हो।
5. वर्गीकरण पद्धति में चिह्न (Symbols) सरल हों जिससे आसानी से पहचान हो सके, जिसकी मदद से Boring logs (वेधन अभिलेख) एवं ड्राइंग अभिलेख (Drawing Records) पर ज्ञान प्राप्त हो सके।

Note—मृदा के वर्गीकरण की कई पद्धतियाँ हैं जिनमें दो पद्धतियाँ महत्वपूर्ण हैं—

1. कण परिमाप पद्धति (Grain Size System)
2. सुघट्यता के आधार पर (Plasticity System)

3.26. कण परिमाप वर्गीकरण पद्धतियाँ (Grain Size Classification System)

इस पद्धति में वर्गीकरण, मृदा कणों के परिमाप (Grain Size) के आधार पर किया जाता है।

इस प्रकार की पद्धतियाँ मोटे कणों वाली मृदाओं के लिये उचित हैं, कणों के परिमाप (Size) चालनी से छानकर किया जाता है। परिमाप (Size) के अनुसार मृदा प्रतिदर्श में उपस्थित कणों को, मृत्तिका सिल्ट, रेत, ग्रेवल में अलग-अलग कर सकते हैं। सिल्ट एवं रेत के कणों को पुन: महीन माध्यम व स्थूल में बाँट सकते हैं। इस प्रकार वर्गीकरण की पद्धतियाँ अनेक हैं। इसके लिये मृदा को विभाजित करने की कई स्वेच्छ पद्धतियाँ (Arbitary Systems) प्रस्तावित की गयी हैं।

कणों के परिमाप पर आधारित वर्गीकरण की कुछ प्रमुख पद्धतियाँ निम्न हैं—

(i) यू०एस० ब्यूरो की गठनात्मक वर्गीकरण प्रणाली
(U.S. Bureau of Textural Soil Clasification System)

(ii) M.I.T. वर्गीकरण प्रणाली (Massachusetts Institutes of Technology Classification System)

(iii) यू०एस० ब्यूरो मृदा वर्गीकरण प्रणाली (U.S. Bureau of Soil Classification System)

(iv) A.S.T.M. मृदा वर्गीकरण प्रणाली (American Society for Testing Materials Classification System)

(v) अन्तर्राष्ट्रीय मृदा वर्गीकरण प्रणाली (International Soil Classification System)

(vi) भारतीय मानक वर्गीकरण प्रणाली (Indian Standard Classification)

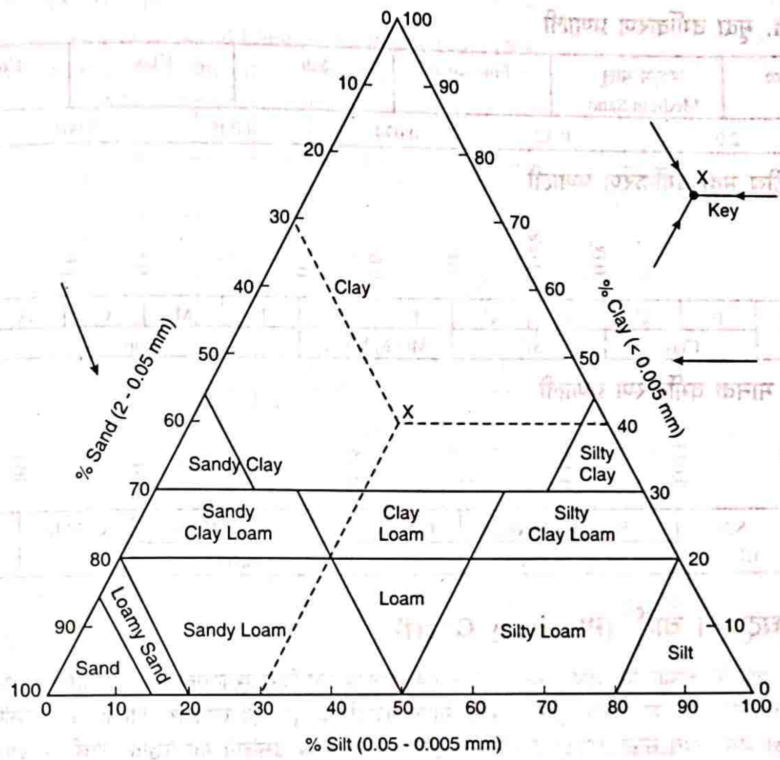
1. U.S. ब्यूरो गठनात्मक वर्गीकरण प्रणाली (Textural Classification Chart)

मृदा में सामान्यत: विभिन्न प्रकार के कण उपस्थित रहते हैं। मृदा में मृत्तिका, सिल्ट, रेत आदि के कण अलग-अलग प्रतिशत में उपस्थित रहते हैं। अत: मृदा प्रतिदर्श को किसी एक के कारण मृदा का नाम नहीं रख सकते हैं, इसलिये मृदाओं का नाम मिला-जुला रखते हैं, क्योंकि इस वर्गीकरण में विभिन्न परिमाप (size) के कण विद्यमान/उपस्थित रहते हैं। विभिन्न कण परिमापों के प्रतिशत के अनुसार गठनात्मक चार्ट तैयार किया जाता है।

इस प्रणाली में विभिन्न मृदाओं को 12 वर्गों में विभाजित करते हैं—

मृदा प्रतिदर्श का गठनात्मक नाम ज्ञात करने के लिये मृदा प्रतिदर्श को 4.75 mm चालनी (Sieve) से छानकर ग्रेवल (Gravel) अलग कर लिया जाता है अर्थात् चालनी पर रुका भाग ग्रेवल (Gravel) होता है। अब मृदा को अलग-अलग चालनियों से छानकर अलग-अलग कर लिया जाता है। जैसे—रेत, सिल्ट एवं मृत्तिका तीनों के प्रतिशत मान मालूम कर लेते हैं। इस तरह चार्ट से मृदा का गठनात्मक वर्ग ज्ञात कर लिया जाता है। चित्र-3.15 देखें।

रेत, सिल्ट, मृत्तिका के प्रतिशत के अनुसार चार्ट में नमूने का गठनात्मक (Textural) नाम मालूम करने के लिये चार्ट में दाँयी ओर से अर्थात् (Anticlockwise) दिशा में चलने पर पिछले अक्ष के समानान्तर अर्थात् उससे आगे वाली रेखा के समानान्तर क्रमश: प्रतिशत विन्दुओं से रेखा खींचकर प्रतिच्छेद विन्दु प्राप्त कर लिया जाता है। माना कि नमूने में 30% रेत, 30% सिल्ट (Silt) तथा 40% मृत्तिका (Clay) है। इस प्रतिदर्श का Textural नामकरण करने हेतु चार्ट में दायीं ओर से प्रत्येक की प्रतिशत मात्रा से उससे आगे वाली रेखा के समानान्तर अर्थात् रेत 30% से मृत्तिका (Clay) रेखा के समानान्तर तथा मृत्तिका 40% से सिल्ट रेखा के समानान्तर तथा सिल्ट 30% से बालू रेखा के समानान्तर रेखायें खींचो। तीनों रेखायें जिस बिन्दु पर मिलती हैं उस वर्ग का नाम चार्ट से पढ़ लो अर्थात् मृत्तिका वर्ग। यही उस मृदा प्रतिदर्श का गठनात्मक नाम होगा।



चित्र-3.15 : गठनात्मक वर्गीकरण चार्ट

2. M.I.T. वर्गीकरण पद्धति

	0.0002 mm	0.006	0.02	0.06	0.20	0.6	2.00 mm
Clay size	Fine	Medium	Coarse	Fine	Medium	Coarse	Gravel
	Silt Size			Sand			

3. U.S. Bureau of Soil Classfication & PRA Classification

	0.005 mm	0.05	0.10	0.25	0.50	1.0	2.0 mm
Clay size	Silt Size	V.F.	Fine	Medium	Coarse	Fine Gravel	Gravel
		Sand					

4. A.S.T.M. मृदा वर्गीकरण प्रणाली

Clay size	मध्यम बालू Medium Sand	Fine sand	Silt	Clay	Colliods
2.0	0.42	0.074	0.005	0.001	(mm)

5. अन्तर्राष्ट्रीय मृदा वर्गीकरण प्रणाली

0.002 0.006 0.02 0.05 0.1 0.2 0.5 1.0 2.0 mm

Ultra Clay Colloids	F	C	F	C	F	C	F	M	C	VC	Gravel
	Clay		Silt		MO MAJLA		Sand				

6. भारतीय मानक वर्गीकरण प्रणाली

0.002 0.075 0.425 2 4.75 20 80 300

Clay (Size)	Silt (Size)	F	Medium	Coarse	Fine	Coarse	Cobble	Boulder
		Sand			Gravel			

3.27. सुघट्यता चार्ट (Plasticity Chart)

मृदा के गुणों के आधार पर आर्थर कैसाग्रान्डे ने एक चार्ट बनाया जिसे सुघट्यता चार्ट के नाम से जाना जाता है। महीन मृदाओं के लिये चार्ट का निर्माण हुआ, क्योंकि महीन मृदाओं के गुण एवं व्यवहार मृदाओं के सूचकांक गुणों पर आधारित होते हैं। जैसे—द्रव सीमा, सुघट्यता सीमा व सुघट्यता सूचकांक, इसलिये यह पद्धति अच्छी कहलाती है।

चार्ट में दर्शाये Symbol के साथ एक तालिका दी जा रही है।

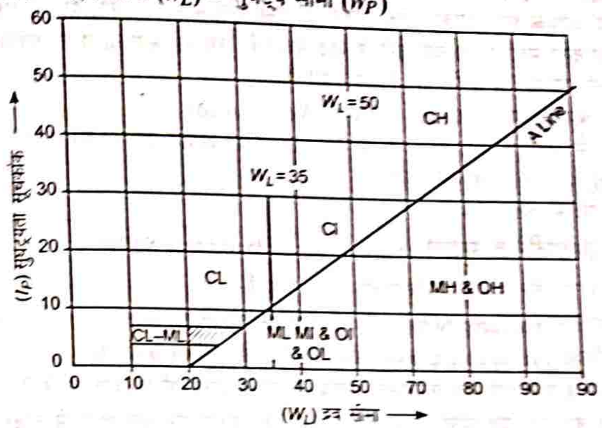
तालिका 3.3

क्रमांक	प्रतीक (Symbol)	मृदा का नामकरण	Remark
1.	CL	कम सुघट्य अकार्बनिक मृत्तिका	C for Clay L for Low Plasticity
2.	CI	मध्यम सुघट्य अकार्बनिक मृत्तिका	I for Medium Plasticity
3.	CH	अधिक सुघट्य अकार्बनिक मृत्तिका	H — High Plasticity
4.	ML	कम संपीड्यता वाली अकार्बनिक सिल्ट	M for Silt, L for Low Compressibility
5.	OL	कम संपीड्यता वाली कार्बनिक सिल्ट	O — Organic Silt L — Low Compressibility
6.	MI	मध्यम संपीड्यता वाली अकार्बनिक सिल्ट	
7.	OI	मध्यम संपीड्यता वाली कार्बनिक सिल्ट	
8.	MH	उच्च संपीड्यता वाली अकार्बनिक सिल्ट	
9.	OH	उच्च संपीड्यता वाली कार्बनिक सिल्ट	

चार्ट का चित्र देखें 3.16

Plasticity Index I_P = Liquid Limit (W_L) – Plastic Limit (W_P)

सुघट्यता सूचकांक = द्रव सीमा (W_L) – सुघट्य सीमा (W_P)



चित्र-3.16 : सुघट्यता चार्ट (Casagrande)

3.28. P.R.A. वर्गीकरण पद्धति (Public Road Administration)

यह पद्धति मृदा के कण परिमाप एवं उसके सूचकांक गुणों के आधार पर बनायी गयी है। सन् 1928 में इसे U.S. Public Road Administration (अमेरिका) में अपनाया गया। सन् 1945 में U.S. Highway Research Board ने इसमें संशोधन किया। इसी कारण यह PRA अथवा H.R.B. पद्धति कहलायी।

भारत में सड़क कार्यों के लिये I.R.C. (Indian Road Congress) ने भी H.R.B. पद्धति को स्वीकार कर लिया। भारत में यह पद्धति I.R.C. के नाम से जानी जाती है।

3.29. भारतीय मानक वर्गीकरण पद्धति (I.S. Classification System)

यह पद्धति सन् 1970 में भारतीय मानक संस्थान ने अमेरिका से प्राप्त की। यह पद्धति अमेरिका में सन् 1942 में आर्थर कैसाग्रान्डे द्वारा अमेरिका के इन्जीनियरिंग कोर के लिये तैयार की गई। सबसे पहले इस पद्धति का नाम Airfield Classification System था। संशोधन के बाद इस पद्धति का नाम Unified Soil Classified System रखा गया।

वर्तमान में यह पद्धति हवाई अड्डों के अलावा बाँधों एवं अन्य इन्जीनियरिंग कार्यों हेतु अपनायी जाती है।

वर्तमान में यह पद्धति भारत में भारतीय मानक वर्गीकरण पद्धति (I.S. Classification System) (I.S. 1498-1970) **के नाम से प्रचलित है।**

भारतीय मानक वर्गीकरण प्रणाली में मृदाओं को मुख्यत: निम्न समूहों में बाँटा गया है—

(i) स्थूल कणीय अथवा मोटे कण वाली मृदायें (Coarse Grained Soils)

(ii) सूक्ष्म कणीय अकार्बनिक मृदायें (Fine Grained Inorganic Soils)

(iii) कार्बनिक मृदायें एवं अन्य मृदायें (Organic Soils and Other Soils)

3.29.1 स्थूल कणीय मृदायें (Coarse Grained Soils)

इस प्रकार की मृदाओं को I.S. 75μ चालनी से छानने पर मृदाओं का अवशेष 50% से अधिक भाग चालनी पर रुक जाये।

स्थूल कणीय मृदायें दो उपखण्डों में विभाजित है—

(i) बजरी (Gravel)—75 μ चालनी पर बचे अवशेष को अगर 4.75 mm I.S. चालनी पर छाना जाये तो उसका 50% भाग चालनी पर रुक जाये तो ऐसी मृदा बजरी (Gravel) कहलाती है। इसे *G* से प्रदर्शित करते हैं।

(ii) बालू (Sand)—75 μ I.S. चालनी पर बचे अवशेष को अगर 4.75 mm I.S. चालनी पर छानें और यदि चालनी से 50% भाग या अधिक भाग छनकर निकल जाये तो ऐसी मृदा बालू ही होगी, इसे *S* अक्षर से दर्शाते हैं।

इस प्रकार उपरोक्त दोनों मृदाओं को चार वर्गों में बाँट सकते है। यह वर्ग मृदा कणों के श्रेणीकरण (Grading) एवं उसमें पाये जाने वाले अन्य पदार्थों (बन्धकों) पर निर्भर करते हैं।

GW – में *G* बजरी तथा *W* का अर्थ सुवर्गीय (Well Graded)

GB – में *G* से बजरी तथा *B* का अर्थ बन्धक (Binder) अर्थात् मृत्तिका मय बजरी

P – Poorly Graded (कुवर्गीय मृदा)

M – महीन पदार्थयुक्त मृदायें

3.29.2. सूक्ष्म कणीय अकार्बनिक मृदायें (Fine Grained Inorganic Soils)

सूक्ष्म कणीय मृदाओं को तीन खण्डों में विभाजित किया गया है—

(i) अकार्बनिक सिल्ट (Inorganic Silt)—इसे *M* अक्षर से दर्शाते हैं।

(ii) अकार्बनिक मृत्तिका (Inorganic Clay)—इसे *C* अक्षर से प्रदर्शित करते हैं।

(iii) कार्बनिक सिल्ट व मृत्तिकायें एवं कार्बनिक पदार्थ—इन्हें *O* अक्षर से प्रदर्शित करते हैं।

सूक्ष्म कणीय मृदाओं को पुन: द्रव सीमा (Liquid Limit) के आधार पर तीन भागों में बाँटा गया है—

(i) निम्न संपीड्यता वाली सिल्ट मृत्तिका—ऐसी मृदाओं की द्रव सीमा 35% से कम होती है। इसे *L* अक्षर से प्रदर्शित करते हैं।

(ii) मध्यम सम्पीड्यता वाली सिल्ट मृत्तिका—ऐसी मृदाओं की द्रव सीमा 35% से 50% के मध्य होती है। इसे *I* अक्षर से प्रदर्शित करते हैं।

(iii) उच्च सम्पीड्यता वाली सिल्ट एवं मृत्तिका—ऐसी मृदाओं की द्रव सीमा 50% से अधिक होती है। इसे *H* (High) अक्षर से प्रदर्शित करते हैं।

तालिका 3.4 : Components in U.S.C. System

मृदा	मृदा के घटक	चिह्न	कणों का परिमाप एवं वर्णन
	बोल्डर (Boulder)	–	गोल से कोणीय, स्थूल (Bulky), कठोर चट्टान के कण, औसत व्यास 30 cm से अधिक।
	कॉबिल (Cobble)	–	गोल से कोणीय, स्थूल, कठोर चट्टान के कण, जिनका औसत व्यास 30 cm से तो कम परन्तु जो I.S. : 80 mm चालनी पर रुक जाते हैं।
स्थूल कण वाले घटक	बजरी (Gravel)	*G*	गोल से कोणीय, स्थूल, कठोर चट्टान के कण जो I.S. : 80 mm की चालनी से तो छनकर निकल जाते हैं परन्तु I.S. : 4.75 mm चालनी पर रुक जाते हैं। स्थूल : 80 mm से 20 mm तक सूक्ष्म : 20 mm से 4.75 mm तक
	बालू (Sand)	*S*	गोल से कोणीय, स्थूल, कठोर चट्टानों के कण जो 4.75 mm चालनी से तो छनकर निकल जाते है परन्तु 75 μ की चालनी पर रुक जाते हैं। स्थूल : 4.75 mm से 2.00 mm तक मध्यम : 2.00 mm से 425 μ तक सूक्ष्म : 425 μ से 75 μ तक
स्थूल कण वाले घटक	सिल्ट (Silt)	*M*	75 μ से सूक्ष्म कण थोड़े से सुघट्य अथवा बिल्कुल सुघट्य (सुघट्यता पर जल का कोई अन्तर नहीं पड़ता) तथा वायु में सूखने पर कोई सामर्थ्य नहीं दिखाते।
	मृत्तिका (Clay)	*C*	कण 75 μ से कम परिमाण के। जल की विशेष मात्रा पर सुघट्यता का गुण दर्शाते हैं। वायु में शुष्क होने पर काफी शुष्क सामर्थ्य दर्शाते हैं।
	कार्बनिक पदार्थ	*O*	विभिन्न परिमाप एवं अपक्षरण की स्थिति के कार्बनिक पदार्थ।

जहाँ दर्शाया गया है—

W – सुवर्गी स्थूल कण वाली मृदा, जिसमें सूक्ष्म कण न हों या बहुत कम हों।

B – सुवर्गी स्थूल कण वाली मृदा जिसमें मृत्तिका बन्ध (Clay Binder) हो।

P – कुवर्गी स्थूल कण वाली मृदा जिसमें सूक्ष्म कण न हों या बहुत कम हों।

L – कुवर्गी संपीड्यता वाली सूक्ष्म कण की मृदा जिसकी द्रव सीमा 0 से 35% तक हो।

I – मध्यम संपीड्यता वाली सूक्ष्म कण जिसकी द्रव सीमा 35 से 50% तक हो।

H – उच्च संपीड्यता वाली सूक्ष्म कण मृदा जिसकी द्रव सीमा 40% से अधिक हो।

प्रश्नावली

1. कण परिमाप वितरण वक्र (Grain Size Distribution Curve) से आप क्या समझते हैं? इससे क्या-क्या जानकारी मिलती है? ***(B.T.E. U.P. 1978, 82)***
2. मृदा कण परिमाप के लिये प्रयुक्त अवसादन विश्लेषण (Sedimentaiton Analysis) का वर्णन कीजिये। मृदा जल के नमूने में अनूर्णन कारक (Deflocculating Agent) क्यों मिलाया जाता है? ***(B.T.E. U.P. 1980)***
3. मृदा सघनता (Soil Consistency) से आप क्या समझते हैं? ऐटरबर्ग की सीमायें क्या हैं? इनका क्या महत्व है? ***(B.T.E. U.P. 1976, 83)***
4. (i) एटरबर्ग की सीमायें क्या हैं? ***(B.T.E. U.P. 1972, 79, 80)***
   (ii) प्रयोगशाला में मृत्तिका (Clay) की सुघट्य सीमा (Plastic Limit) कैसे ज्ञात करेंगे? ***(B.T.E. U.P. 1967, 72)***
5. स्टोक नियम की परिसीमायें बताइये।
6. निम्न की परिभाषायें लिखिये— ***(B.T.E.U.P. 2016)***
   (i) द्रव सीमा (Liquid Limit)
   (ii) सुघट्य सीमा (Plastic Limit)
   (iii) संकुचन सीमा (Shrinkage Limit)
   (iv) सुघट्यता सूचकांक (Plasticity Index)
   (v) संकुचन सूचकांक (Shrinkage Index)
   (vi) सघनता सूचकांक (Consistency Index)
   (vii) तरलता सूचकांक (Liquidity Index)
   (viii) समानता गुणांक (Uniformity Coefficient)
7. संकुचन सीमा ज्ञात करने की विधि लिखें।
8. एक सुवर्गीय मृदा का प्रारूपी कण मान वितरण वक्र खींचिये। वितरण वक्र से कौन-सी जानकारी प्राप्त कर सकते हैं?
9. प्रयोगशाला में द्रव सीमा ज्ञात करने की विभिन्न विधियों का वर्णन करो।
10. निम्न पदों को परिभाषित कीजिए—
    (1) Uniformity Coefficient
    (2) Coefficient of Curvature
11. मृदा वर्गीकरण के विभिन्न तरीके बताइये।
12. M.I.T. वर्गीकरण पद्धति का वर्णन करो। यह किस सिद्धान्त पर आधारित है? ***(B.T.E. U.P. 1972, 73, 81)***
13. मृदा वर्गीकरण का क्या महत्व है? गठनात्मक वर्गीकरण आलेख द्वारा वर्गीकरण की विधि का वर्णन करो। उसे मृदा चार्ट पर कहाँ अंकित करोगे और वह किस प्रकार की होगी, अगर उसमें 42% मृत्तिका (Clay), 28% बालू और 30% सिल्ट का मिश्रण है? ***(B.T.E. U.P. 1972)***
14. गठनात्मक मृदा वर्गीकरण पद्धति मृदा के किस गुण पर आधरित है? ***(B.T.E. U.P. 1977)***

15. बालू एवं मृत्तिका में अन्तर बताइये। *(B.T.E. U.P. 1980)*
16. भारतीय मानक संस्थान की मृदा वर्गीकरण प्रणाली का संक्षेप में वर्णन करो। *(B.T.E. U.P. 1983)*
17. केसाग्रान्डे के सुघट्यता आलेख का संक्षेप में वर्णन करो। *(B.T.E. U.P. 19 81)*
18. भारतीय मानक वर्गीकरण में निम्न का क्या अर्थ है? *(B.T.E. U.P. 1985)*

    CL, Pt, SP, GW, GC, SM
19. एक अच्छी वर्गीकरण पद्धति में क्या-क्या विशेषतायें होनी चाहियें?
20. कण परिमाप वितरण वर्गीकरण का संक्षेप में वर्णन करो।
21. कर्वेचर और समानता गुणांक *(BTEUP 2016)*
22. अटरबर्ग की सीमाओं के प्रकार *(BTEUP 2015)*
23. कणाकार (particle size) के लिये M.I.T. वर्गीकरण समझाइये। *(BTEUP 2016)*
24. घनत्वमापी (Hydrometer) द्वारा कण परिमाप विश्लेषण किस प्रकार करेंगे? *(BTEUP 2017)*
25. एक रेतोली मिट्टी के डिस्ट्रीब्यूशन वक्र से निम्नलिखित आँकड़ा प्राप्त हुआ। *(BTEUP 2016)*

कणों का साइज (mm)	प्रतिशत फाइनर
0.4	60
0.2	30
0.05	10

यूनिफार्मिटी गुणांक और कर्वेचर गुणांक ज्ञात करे। यह भी बताइये कि मिट्टी के कणों का वितरण उच्च कोटि का या निम्न कोटि का है।

4 अध्याय

मृदा के माध्यम से जल का प्रवाह (Flow of Water Through Soil : Permeability)

4.1. परिचय (Introduction or Concept)

मृदा एक सरन्ध्र पदार्थ है अर्थात् इसके कणों के आस-पास रन्ध्र स्थान होते हैं। इस गुण के कारण मृदा में पानी का प्रवाह हो सकता है। ऐसे पदार्थ जिनसे पानी आर-पार निकल सकता है पारगम्य पदार्थ कहे जाते हैं।

अनेकों प्रकार की मृदायें होती हैं। उनकी अलग-अलग पारगम्यता होती है। बड़े कणों वाली मृदाओं की पारगम्यता अधिक एवं महीन कणों वाली मृदाओं की पारगम्यता कम होती है। उदाहरण—रेत एवं ग्रेवल की पारगम्यता अधिक, जबकि मृत्तिका (Clay) की पारगम्यता कम होती है।

4.2. परिभाषा (Definition)

पारगम्यता मृदा का वह गुण होता है जिसके कारण पानी मृदा कणों के रन्ध्रों से होकर प्रवाह करता है।

4.3. पारगम्यता का इन्जीनियरिंग कार्यों में महत्व (Importance)

1. बाँधों में रिसने वाले जल का अनुमान लगाने में।
2. बाँधों (Dams) एवं तटबन्धों में पाइपिंग एवं उत्थापन Uplift रोकने के लिये अभिकल्पन करने में।
3. संरचनाओं के निषदन की दर ज्ञात करने में, नीवों के अभिकल्पन में।
4. नलकूप लगाने में Subsoil (अवमृदा) की पारगम्यता की आवश्यकता होती है, अत: Tubewell को उच्च पारगम्यता वाले मृदा तक ले जाना चाहिये ताकि जल प्राप्त हो सके।
5. नहरों से रिसने द्वारा व्यर्थ हो रहे जल की मात्रा ज्ञात करने के अभिकल्पन में।
6. भौमजल को नीचा करके Water Logging जल लग्नता रोकने में पारगम्यता का ज्ञान होना आवश्यक है।

उच्च पारगम्यता वाली मृदायें–

निम्न कार्यों हेतु उच्च पारगम्यता वाली मृदाओं की इन्जीनियर को आवश्यकता होती है—

(i) भारी संरचनाओं के नीवों हेतु।
(ii) सड़कों (Roads) के Formation (सबग्रेड) के कार्य हेतु।
(iii) रेलमार्ग के स्लीपर के नीचे पड़ी गिट्टी के नीचे की मृदा उच्च पारगम्यता की होनी चाहिये ताकि जल निकासी शीघ्र हो।
(iv) सड़क एवं रेलमार्ग में भराव की मृदा।

निम्न पारगम्यता वाली मृदायें—

निम्न कार्यों हेतु निम्न पारगम्यता वाली मृदाओं की इंजीनियर को आवश्यकता होती है—

(i) नहरों के निर्माण में ताकि नहर का जल रिसने से व्यर्थ न चला जाये।

(ii) नहरों एवं नदियों के किनारे-किनारे बनाये तटबन्धों के निर्माण में ताकि पानी रिसकर न निकल जाये।

(iii) मिट्टी के बाँधों के निर्माण में ताकि U/S से जल D/S की ओर रिसकर न निकल जाये।

4.4. डार्सी का नियम (Darcy's Law)

सन् 1856 में फ्रांसीसी इन्जीनियर एच० डारसी ने मृदाओं में पारगम्यता के अध्ययन हेतु सिद्धान्त बनाया। डार्सी का नियम जानने से पूर्व कुछ निम्न शब्दों की जानकारी आवश्यक है—

(i) संतृप्त मृदा—ऐसी मृदा जिसके समस्त रन्ध्रों में जल की उपस्थिति हो, और वायु का निष्कासन हो चुका हो।

(ii) स्तरीय प्रवाह (Laminar Flow)—स्तरीय प्रवाह में पानी का प्रत्येक कण अपने निश्चित मार्ग/पथ से बहता है/चलता है और कभी-भी कण किसी दूसरे कण के पथ/मार्ग को नहीं काटता है।

(iii) अस्तरीय प्रवाह (Turbulent Flow)—अस्तरीय प्रवाह में जल के कणों का मार्ग निश्चित नहीं होता है। इस प्रवाह में जल के कण एक-दूसरे का मार्ग काट देते हैं।

नियम (Law)—स्तरीय प्रवाह में संतृप्त मृदा से जल के बहने की गति द्रवीय ढाल (Hydraulic Gradient) के समानुपाती होती है।

अर्थात् बहाव की गति ∝ द्रवीय ढाल

$$V \propto i$$

$$V = Ki \quad ...(1)$$

दोनों तरफ अनुप्रस्थ खण्ड A से गुणा करने पर

$$A.V = KiA$$

हम जानते हैं कि $q = A.V$

$$q = KiA$$

$$q = K.Ah/L$$

जहाँ, q = निस्सरण की दर (cm^3)

A = मृदा का अनुप्रस्थ खण्ड (cm^2)

i = द्रवीय ढाल (Hydraulic Gradient) = h/L

h = जलशीर्ष जिसके कारण प्रवाह हो रहा है, cm

L = प्रवाह पथ की लम्बाई, cm

K = पारगम्यता गुणांक, cm/sec or m/day.

4.5. पारगम्यता गुणांक (Coefficient of Permeability)

पारगम्यता गुणांक इकाई द्रवीय ढाल पर मृदा के इकाई क्षेत्रफल पर इकाई समय में बहने वाले जल की मात्रा पारगम्यता गुणांक कहलाती है।

इसे K से दर्शाया जाता है। इसकी इकाई सेमी०/सेकेण्ड अथवा मीटर/दिन हो सकती है।

इसे रिसन गुणांक भी कह सकते हैं।

$$K = \frac{q/t}{Ai} \text{ cm/sec.}$$

Note—डार्सी का नियम दो कारणों पर निर्भर है—

(i) प्रवाह स्तरीय हो।

(ii) मृदा पूर्ण संतृप्त हो।

तालिका 4.1 : प्रमुख मृदाओं की पारगम्यता

मृदा की किस्म (Type of Soil)	पारगम्यता गुणांक cm/sec	पारगम्यता	जल निकासी
स्वच्छ ग्रेवल	1 से अधिक	उच्च	उत्तम
रेत (मोटा)	1.0 से 1×10^{-2}	उच्च	उत्तम
रेत (Mixture)	1×10^{-2} से 5×10^{-3}	मध्यम	अच्छा
महीन रेत	5×10^{-3} से 1×10^{-3}	मध्यम	सामान्य
सिल्ट	1×10^{-4} से 1×10^{-5}	निम्न	खराब
मृत्तिका	1×10^{-5} से कम	अपारगम्य	खराब

4.6. पारगम्यता को प्रभावित करने वाले कारक (Factors affecting Permeability)

1. मृदा का प्रकार (Type of Soil)—मृदा की पारगम्यता मृदा की किस्म पर भी निर्भर करती है, उस क्षेत्र (Area) की जलवायु आदि पर निर्भर करती है।

2. कणों की माप (Size)—पारगम्यता कणों की माप वर्ग के समानुपाती होती है, अर्थात् कणों की माप जितनी अधिक होगी, पारगम्यता उतनी ही ज्यादा होगी, जैसे—ग्रेवल (Gravel) एवं रेत (Sand); जबकि Clay (मृत्तिका) की पारगम्यता निम्न होगी।

3. कणों की आकृति (Shape)—मृदा कणों की पारगम्यता आपेक्षिक सतही क्षेत्रफल के विलोमानुपाती होती है अर्थात् गोल कणों की अपेक्षा कोणीय कणों की पारगम्यता कम होगी।

4. रिक्तता अनुपात एवं सरन्ध्रता (Void Ratio and Porosity)—रिक्तता अनुपात बढ़ने पर पारगम्यता अधिक हो जायेगी। इसी तरह सरन्ध्रता अधिक होने पर भी पारगम्यता अधिक हो जायेगी क्योंकि सरन्ध्रता और रिक्तता अनुपात आपस में सम्बन्धित हैं।

5. अधिशोषित जल—मृदा के महीन कणों के चारों ओर अवशोषित जल रहता है। यह जल स्वतंत्र जल के बहने में अवरोध करता है।

6. जल के गुण—जल की श्यानता (Viscosity) तापक्रम के अनुसार बदल जाती है। तापक्रम बढ़ने पर श्यानता कम हो जाती है। कम श्यानता होने पर पारगम्यता अधिक हो जाती है।

Note : श्यानता कम होने का तात्पर्य यह है कि द्रव पतला हो जाता है और उसका प्रवाह बढ़ जाता है।

7. संतृप्ति मात्रा (Degree of Saturation)—मृदा की संतृप्ति मात्रा बढ़ने पर पारगम्यता बढ़ जाती है। रन्ध्रों में उपस्थित हवा रन्ध्रों से बहने वाले जल के प्रवाह में अवरोध पैदा करती है। संतृप्त अवस्था में मृदा में वायु रन्ध्र नहीं होते हैं अर्थात् पूर्ण संतृप्त मृदा की पारगम्यता उच्च होती है।

8. मृदा संरचना (Soil Structure)

9. कार्बनिक अशुद्धियाँ (Organic Impurity)—कार्बनिक अशुद्धियाँ जल के प्रवाह में अवरोध उत्पन्न करती हैं जिससे पारगम्यता कम हो जाती है।

4.7. पारगम्यता गुणांक ज्ञात करने की विधियाँ (Methods of Determination of Coefficient of Permeability)

पारगम्यता गुणांक ज्ञात करने की निम्न विधियाँ हैं—

A. प्रयोगशाला परीक्षण—(Laboratory Tests)

(1) स्थिर शीर्ष परीक्षण (Constant Head Permeability Test)

(2) परिवर्ती शीर्ष परीक्षण (Falling Head Test)

B. स्थलीय परीक्षण (Field Tests)

(i) Pumping Out Tests

(ii) Pumping In Tests

C. अप्रत्यक्ष परीक्षण (Indirect Tests)

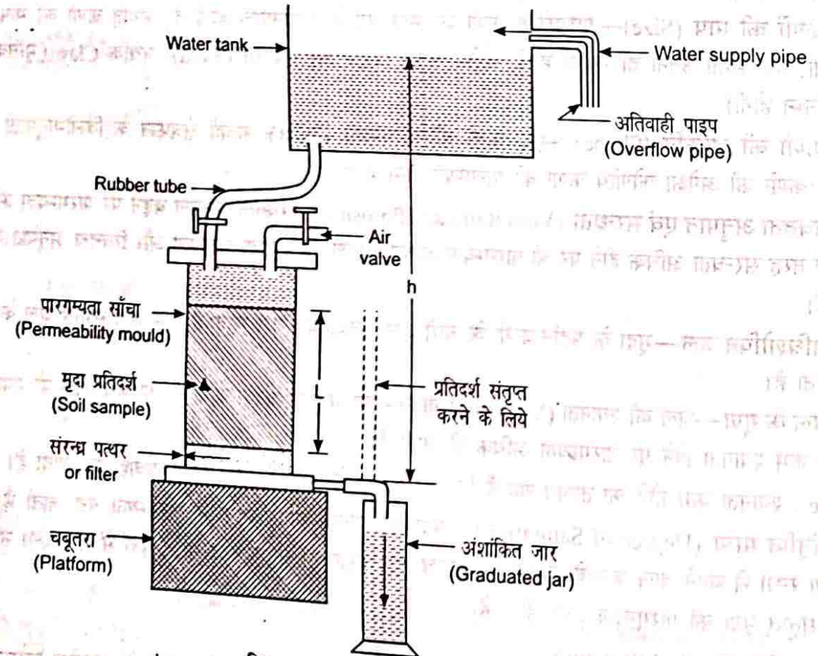
(i) कण परिमाण गणाओं से (Computation from Grain Size)

(ii) क्षैतिज कोशिका परीक्षण (Horizontal Capillary Test)

(iii) संघनन परीक्षण के आँकड़ों द्वारा (Consolidated Test Data)

4.7.1. स्थिर शीर्ष पारगम्यता परीक्षण (Constant Head Permeability Test)

चित्र 4.1 में उपरोक्त परीक्षण की प्रयोग विधि दर्शायी गयी है।



चित्र-4.1 : स्थिर शीर्ष पारगम्यता परीक्षण

स्थिर शीर्ष परीक्षण ग्रेवल व रेत के लिये उचित होता है। इसमें मृदा प्रतिदर्श को 100 mm आन्तरिक व्यास व 127.3 mm ऊँचाई वाले साँचे (Mould) में कुटाई करके भर दिया जाता है। कुटाई तीन स्तरों में 25 आघात लगाकर हर स्तर में की जाती है। साँचे का आयतन 1000 c.c. होता है। साँचे में मृदा प्रतिदर्श के नीचे एवं ऊपर फिल्टर पेपर अथवा रन्ध्रयुक्त प्लेट लगा देते हैं ताकि पानी के प्रवाह में मृदा उखड़कर बाहर न निकल जाये जिससे निकास नाली रुक न जाये। साँचे की आधार प्लेट में एक Outlet रास्ता होता है जिससे प्रतिदर्श से बहने वाला पानी निकल जाये। साँचे के ऊपर उचित ऊँचाई पर दीवार में पानी की टंकी (Tank) लगा दी जाती है। इस टंकी में एक प्रवेश मार्ग (पानी भेजने का रास्ता) सप्लाई लाइन से जोड़ते हैं। टंकी में एक Overflow पाइप भी रहता है ताकि लेवल से ऊपर पानी उठते ही अतिरिक्त पानी निकल जाये और पानी का लेवल स्थिर रहे।

प्रयोग प्रारम्भ करने से पूर्व प्रतिदर्श अर्थात् मृदा नमूने को संतृप्त करना जरूरी है। संतृप्त करने के लिये पाइप को आधार प्लेट के नीचे नोजल से जोड़ देते हैं और साँचे के ऊपर लगे नोजल खोल देते हैं, ताकि वायु निकलने के बाद जल निकलने लगे। इस प्रकार मृदा संतृप्त हो जायेगी।

मृदा संतृप्त होने के बाद पाइप (रबड़) को नीचे से हटाकर साँचे के ऊपर वाले नोजल से जोड़ देते हैं। इस प्रकार जल मृदा प्रतिदर्श से बहता हुआ आधार प्लेट की नोजल से निकलने लगेगा। इस पानी को एकत्र कर नाप लिया जाता है। यह मात्रा मृदा की पारगम्यता पर निर्भर करती है।

गणना निम्न प्रकार करते हैं। डार्सी के नियमानुसार,

हम जानते हैं $K = \frac{q/t}{Ai}$ cm/sec or $\frac{Qt}{Ai}$ जहाँ, $i = h/L$

$K = \frac{qL}{thA}$ cm/sec or $\frac{QL}{thA}$ h = जल शीर्ष cm में

Q or q = प्रवाहित जल की मात्रा, मिलीलीटर में

t = जल बहने का समय (sec में)

A = नमूने का क्षेत्रफल वर्ग सेमी० (cm^2)

K = पारगम्यता गुणांक (cm/sec)

उदाहरण 4.1—मृदा में पानी का बहाव 0.5 सेमी० प्रति सेकेण्ड तथा द्रवीय ढाल 1.67 है। मृदा की पारगम्यता ज्ञात करें। ***(B.T.E. U.P., 1979, 80)***

हल—ज्ञात है-जल का मृदा में वेग $V = 0.5$ सेमी०/से०, द्रवीय ढाल $i = 1.67$

डार्सी के अनुसार, $V \propto i$

$V = Ki$

$$K = \frac{V}{i} = \frac{0.5}{1.67}$$

$= 0.2994$ cm/sec

उदाहरण 4.2—एक 1.5 मी० मोटी जलधारी पर्त (Aquifer) का पारगम्यता गुणांक 12×10^{-3} cm/sec है। यदि इससे पानी के प्रवाह का वेग 1.32×10^{-3} cm/sec हो तो ज्ञात करो कि किस जल शीर्ष से पानी प्रवाहित हो रहा है। ***(B.T.E. U.P. 1983)***

हल—ज्ञात है—

मृदा पर्त की मोटाई $L = 1.5$ m = 150 cm

पारगम्यता गुणांक $K = 12 \times 10^{-3}$ cm/sec

जल का प्रवाह वेग $V = 1.32 \times 10^{-3}$ cm/sec

डार्सी के अनुसार, $V = Ki = K \cdot h / L$ $(\because i = h/L)$

$$h = \frac{V.L}{K} = \frac{1.32\times10^{-3}\times150}{1.2\times10^{-3}}$$

$$= 165 \text{ cm} = 1.65 \text{ m}$$

उदाहरण 4.3—एक स्थिर शीर्ष पारगम्यता परीक्षण एक 10 सेमी० व्यास तथा 12.5 सेमी० लम्बे नमूने पर 20 सेमी० शीर्ष पर किया गया, 10 मिनट में 200 सी०सी० जल संचयित हुआ, पारगम्यता गुणांक ज्ञात कीजिए।

(B.T.E. U.P., 2001)

हल—ज्ञात है—मिट्टी के नमूने का व्यास = 10 सेमी०

नमूने की लम्बाई $L = 12.5$ सेमी०

नमूने पर जलशीर्ष $h = 20$ सेमी०

संचयित पानी की मात्रा $Q = 200$ सी०सी०

समय जिसमें पानी संचयित हुआ $t = 10$ मिनट अथवा 600 सेकेण्ड

अत: नमूने की काट का अनुप्रस्थ क्षे०, $A = \frac{\pi}{4}(10)^2$

$= 78.57$ सेमी०^2

हम जानते हैं डार्सी के नियम से,

पारगम्यता गुणांक $K = \frac{QL}{hAt}$

अत: $K = \frac{200\times12.5}{20\times78.57\times600}$

$= 2.65\times10^{-3}$ सेमी० प्रति सेकेण्ड

4.7.2. परिवर्ती शीर्ष पारगम्यता परीक्षण (Variable or Falling Head Permeability Test)

परिवर्ती शीर्ष परीक्षण से सूक्ष्म कणों वाली मृदाओं की पारगम्यता ज्ञात की जाती है। चित्र 4.2 देखें।

इस परीक्षण में स्थिर शीर्ष पारगम्यतामापी की भाँति पूर्ण व्यवस्था होती है। किन्तु इसमें साँचे के ऊपर जल का टैंक नहीं व्यवस्थित होता है। टंकी के स्थान पर अलग-अलग व्यास की काँच (Glass) की लम्बी-लम्बी ट्यूब होती हैं। इन्हें Stand pipe भी कह सकते हैं। इसमें किस नलिका या ट्यूब से परीक्षण किया जाये वह मृदा की पारगम्यता के अनुसार तय कर लेते हैं।

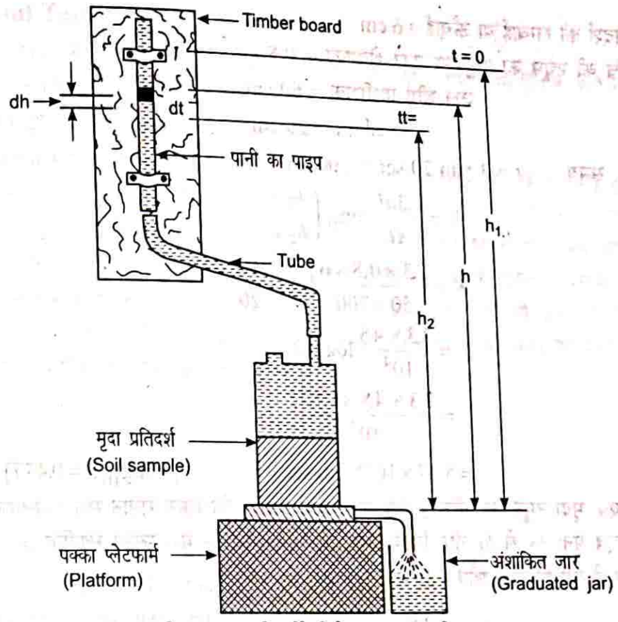
इसमें पूर्व परीक्षण की भाँति मृदा प्रतिदर्श को परीक्षण प्रारम्भ करने से पूर्व पूर्णतया संतृप्त करना पड़ता है।

ज्यादा सूक्ष्म कणों वाली मृदाओं के लिये कम व्यास की ट्यूब/नलिका का उपयोग करते हैं। इससे प्रेक्षण में त्रुटि आने की सम्भावना कम हो जाती है।

मृदा भरने की प्रक्रिया—साँचे की व्यवस्था स्थिर शीर्ष पारगम्यता परीक्षण की भाँति ही की जाती है एवं मृदा को पूर्णतया संतृप्त करने की व्यवस्था पूर्व परीक्षण की भाँति है।

इसके बाद नलिका (Stand pipe) से लगी ट्यूब के नोज़ल/टोंटी को खोलते हैं तो जल मृदा रन्ध्रों से बहने लगता है। जब मृदा में जल का प्रवाह लगातार एवं समान हो जाये तो ऊर्ध्वाधर काँच की ट्यूब (Stand pipe) में जल का स्तर h_1 नोट कर विराम घड़ी चला देंगे। किसी निश्चित समय t बाद नली (Stand pipe) में पुन: पानी का स्तर h_2 नोट करके विराम घड़ी बन्द कर देंगे।

माना कम समय dt में पानी के स्तरों में अन्तर (Head Variation) dh आता है। यदि ऊर्ध्वाधर ट्यूब (Stand pipe) का अनुप्रस्थ काट a है, तो डार्सी के नियम से



चित्र-4.2 : परिवर्ती शीर्ष पारगम्यता परीक्षण

$$Q/t = -\frac{dh}{dt}a = KiA$$

$$K\frac{h}{L}A = -\frac{dh}{dt}a$$

$$dt = -\frac{aL}{AK}\cdot\frac{dh}{h}$$ (जल स्तर गिरने के कारण dh –ve है)

दोनों ओर समाकलित करने पर

$$\int_0^t dt = -\int_{h_1}^{h_2} dt\,\frac{aL\,dh}{AKh}$$

$$t = \frac{aL}{AK}\log_e\frac{h_1}{h_2}$$

$$K = \frac{aL}{At}\log_e\frac{h_1}{h_2}$$

$$\boxed{K = \frac{2.3aL}{At}\log_{10}\frac{h_1}{h_2}}$$

उपरोक्त समीकरण से K के मान ज्ञात किये जा सकते हैं।

उदाहरण 4.4—अस्थिर शीर्ष पारगम्यता परीक्षण में मृदा प्रतिदर्श लम्बाई 6 cm एवं अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल 50 cm^2 है। स्टैन्ड पाइप जिसका अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल 0.8 cm^2 है, में जल का स्तर 60 cm से गिरकर 20 cm हो जाता है। यह 3 मिनट 20 सेकेण्ड में होता है। पारगम्यता गुणांक की गणना करो।

हल—ज्ञात है—

मृदा प्रतिदर्श के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल $A = 50 \text{ cm}^2$

प्रतिदर्श की लम्बाई या ऊँचाई = 6 cm

काँच की ट्यूब का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल = 0.8 cm^2

जल शीर्ष प्रारम्भिक = 60 cm

अन्तिम = 20 cm

समय $t = 3$ min 20 sec = 200 sec

$$K = \frac{2.3aL}{At}\log_{10}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

or

$$K = \frac{23\times0.8\times6}{50\times200}\log_{10}\frac{60}{20}$$

$$= \frac{2.3\times4.8}{10^4}\log_{10}3$$

$$= \frac{2.3\times4.8\times0.477}{10^4}$$

$$= 5.27\times10^{-4}\text{ cm/sec} \qquad [\because \log_{10}3 = 0.477]$$ **Ans.**

उदाहरण 4.5—एक मृदा नमूने का परिवर्ती शीर्ष पारगम्यता परीक्षण के समय समान समय अन्तराल पर जल शीर्ष h_1 एवं h_2 नोट किया गया एवं पुनः h_2 से h_3 नोट किया गया, तो h_1, h_2 एवं h_3 में सम्बन्ध स्थापित करो।

हल— हम जानते हैं कि परिवर्ती शीर्ष (h_1 एवं h_2) हेतु

$$K = \frac{2.3aL}{At}\log_{10}\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \qquad .....(1)$$

पुनः परिवर्ती शीर्ष h_2 से h_3 हेतु

$$K = \frac{2.3aL}{At}\log_{10}\left(\frac{h_2}{h_3}\right) \qquad .....(2)$$

a, L, A एवं t दोनों परीक्षणों हेतु समान है।

समीकरण (1) एवं समीकरण (2) को समान करने पर

$$\frac{2.3aL}{At}\log_{10}\left(\frac{h_1}{h_2}\right) = \frac{2.3aL}{At}\log_{10}\left(\frac{h_2}{h_3}\right)$$

or

$$\log_{10}\left(\frac{h_1}{h_2}\right) = \log_{10}\left(\frac{h_2}{h_3}\right)$$

or

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{h_2}{h_3}$$

or

$$h_2^2 = h_1h_3$$

$\therefore$

$$h_2 = \sqrt{h_1h_3}$$ **Ans.**

4.8. स्थल पारगम्यता परीक्षण विधियाँ

स्थल परीक्षण की निम्न दो विधियाँ हैं—

(1) मृदा से जल पम्प द्वारा निकालना (Pumping Out Test)

(2) मृदा में जल पम्प द्वारा भेजकर (Pumping In Test)

4.8.1. Pumping Out Test

Pumping Out Test में जल को बाहर जलधारी परतों से निकालकर पारगम्यता गुणांक ज्ञात किया जा सकता है। इसमें प्रेक्षण स्थल पर नलकूप (Tubewell) लगाया जाता है।

उपरोक्त परीक्षण दो स्थितियों में किया जा सकता है—

(A) परिरुद्ध जलधारी परत की स्थिति (Confined Aquifer)—इस स्थिति में एक परीक्षण कुआँ तथा उससे कुछ दूरी पर दो निरीक्षण कुओं का निर्माण करते हैं। (चित्र 4.3 देखें) पम्प के माध्यम से परीक्षण कुएँ से जल को बाहर निकालेंगे। देखेंगे कि परीक्षण कुएँ एवं दोनों निरीक्षण कुओं के जल स्तरों में गिरावट आयेगी। जब पानी निकालने की गति स्थिर (Constant) हो जाये, फिर किसी भी समय उपरोक्त वर्णित कुओं के पानी के लेवल में आयी कमी को अंकित कर लिया जाता है और निम्न समीकरण से K का मान ज्ञात कर सकते हैं। इसमें जलधारी पर्त ऊपर एवं चट्टानों की अपारगम्य पर्तों से ढकी हो तो परीक्षण विधि यह होती है केवल प्रेक्षण लेते समय पीजोमीटर में जल स्तर जो प्रारम्भ में क्षैतिज पम्प द्वारा पानी निकालने के बाद अवनमन शंकु का आकार ले लेता है।

सूत्र—

$$K = \frac{2.3q\log_{10}\frac{r_2}{r_1}}{2\pi Y(y_2 - y_1)} \qquad ....(1)$$

जहाँ $q = t$ समय में पम्प द्वारा परीक्षण कुएँ से निकाले पानी की मात्रा m^3 / sec

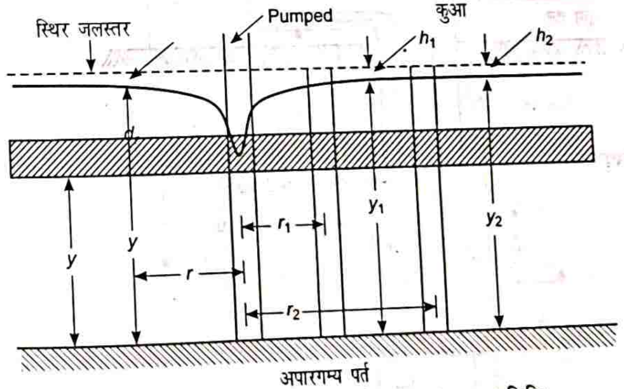
r_1 = परीक्षण कुएँ से पहिले निरीक्षण कुएँ की दूरी

r_2 = परीक्षण कुएँ से दूसरे निरीक्षण कुएँ की दूरी

y_1 = परीक्षण के समय प्रथम कुएँ का जल स्तर

y_2 = परीक्षण के समय द्वितीय कुएँ का जल स्तर

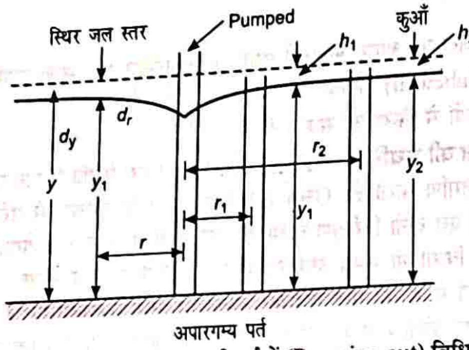
Y = जलधारी परत की मोटाई



चित्र-4.3 : परिरुद्ध जलधारी परत में Pumping out विधि

(B) अपरिरुद्ध जल धारी परत की स्थिति (Unconfined Aquifer)—Confined Aquifer की ही भाँति इसमें परीक्षण कुछ दूरी पर दो निरीक्षण कुएँ बनाये जाते हैं। परीक्षण कुएँ से पानी निकालेंगे तो तीनों कुओं में पानी का स्तर नीचे गिरता है। समय अन्तराल पर कुओं के जल स्तर में आयी कमी अंकित कर ली जाती है (चित्र 4.4 देखें)

$$K = \frac{2.3q\log\frac{r_2}{r_1}}{\pi(y_2^2 - y_1^2)} \qquad ...(2)$$

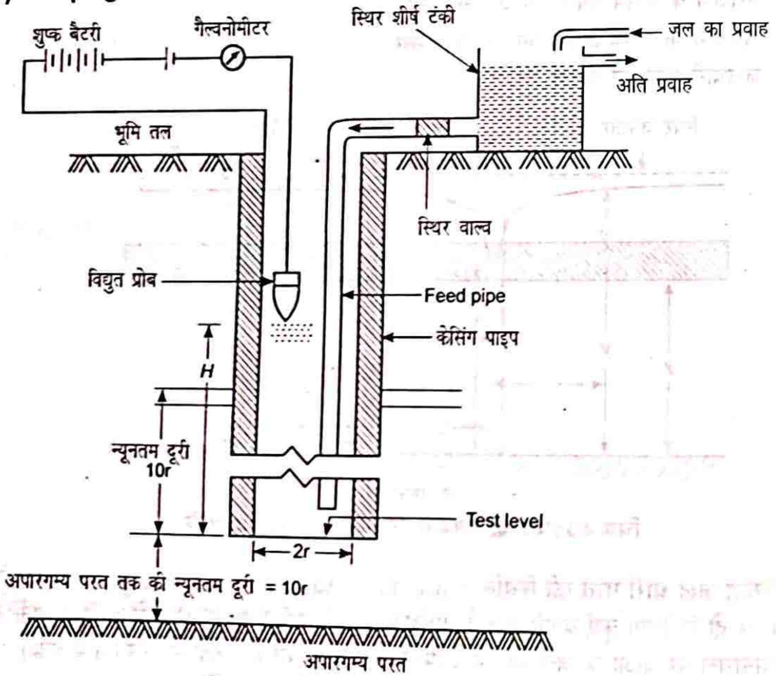


चित्र-4.4 : अपरिरुद्ध जलधारी पर्त में (Pumping out) विधि

Note—उपरोक्त स्थितियों में पारगम्यता गुणांक K ज्ञात करने के लिये ड्यूपिट (Dupit) ने समीकरण स्थापित की जिसकी मान्यतायें निम्न हैं—

1. प्रारम्भिक भौमजल तल (G.W.L.) क्षैतिज है।
2. मृदा में जल हर दिशा में स्तरीय हो।
3. मृदा में विभिन्न स्थानों पर पारगम्यता समान हो।

4.8.2. (a) Pumping in Test स्थिर शीर्ष परीक्षण (Constant Method)



चित्र-4.5 : स्थिर शीर्ष Pumping in विधि

यह परीक्षण उच्च पारगम्यता वाली मृदाओं के लिये उचित है। इस विधि में भूमि के नीचे जल स्तर तक एक पाइप को डाल देते हैं एवं पाइप के नीचे के भाग को स्वच्छ कर लेते हैं। अब स्वच्छ जल गुरुत्व अथवा दाब के प्रभाव से भेज देते हैं।

मृदा में प्रवेश करने वाले पानी की मात्रा (Quantity) नोट कर लेते हैं। यदि पानी दाब (Pressure) से भेजते हैं तो गुरुत्व मान में जोड़ देते हैं। पानी के बहने की स्थिर गति, पाइप का आकार, पाइप के ऊपर तथा नीचे जल की स्थिति ज्ञात कर निम्न सूत्र से K (पारगम्यता गुणांक) का मान ज्ञात कर लेते हैं—

$$K = \frac{q}{5.5rh}$$

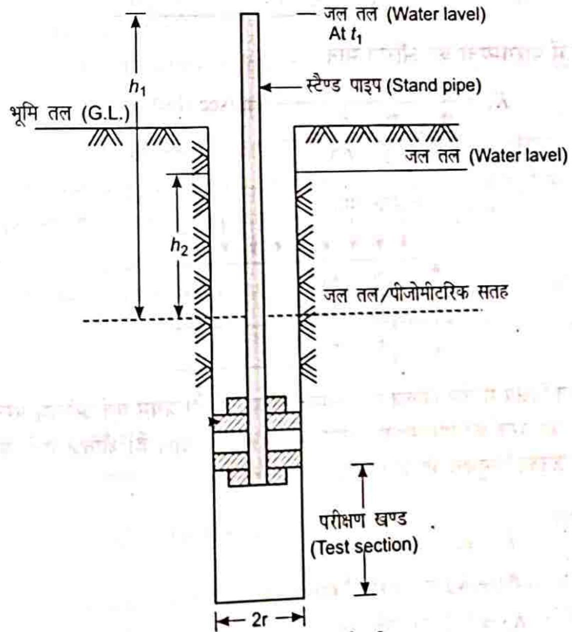
जहाँ,

q = जल की स्थिर प्रवाह गति (पाइप में) cum/sec
r = पाइप का आन्तरिक अर्द्धव्यास मीटर में
h = जल शीर्ष (दाब + गुरुत्व) मीटर में ($h = h_1 + h_2$)

4.8-2(b). Pumping in Test—उतार शीर्ष परीक्षण (Falling Head Test)

यह विधि भूमि में पानी के स्तर से नीचे एवं ऊपर दोनों दशाओं में कर सकते हैं। लेकिन भूमि के नीचे जल स्तर के परीक्षण में परिणाम (Result) अधिक शुद्ध प्राप्त होता है। उपरोक्त विधि निम्न पारगम्यता वाली मृदाओं के लिये उचित है। (चित्र 4.6 देखें)

इस विधि में जिस गहराई तक की मृदा की पारगम्यता ज्ञात करनी हो उस गहराई तक एक छिद्र बनाया जाता है। इसमें एक पैकर लगाते हैं। पैकर से जल से छिद्र के अन्तिम तल तक का क्षेत्र **Test Section** कहलाता है। यदि मृदा के धँसने की सम्भावना हो तो एक केसिंग पाइप डाल दिया जाता है। पैकर तक blind pipe तथा उसके नीचे छिद्रयुक्त पाइप लगाया जाता है। पैकर तक पानी भेजने के लिये पाइप लगाते हैं जिससे छिद्र में पानी भेजा जा सके। इसमें ऊपर तक पानी भर देते हैं और पानी के उतार को समय के साथ रीडिंग नोट कर ली जाती है।



चित्र-4.6 : उतार शीर्ष परीक्षण

निम्न सूत्र से K (पारगम्यता गुणांक) ज्ञात कर लेते हैं।

$$K = \frac{d^2}{8L}\left(\log_e \frac{L}{r}\right)\log_e\left(\frac{h_1/h_2}{t_2 t_1}\right)$$

जहाँ,

L = Test section की लम्बाई m

d = Stand pipe का व्यास m

r = छिद्र का अर्द्धव्यास m

h_1 व h_2 को t_1 व t_2 समय पर जल शीर्ष ज्ञात करेंगे।

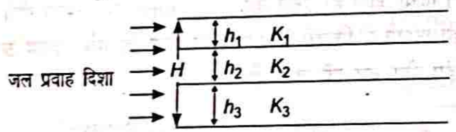
उपरोक्त सूत्र अर्द्ध-लघुगणकीय ग्राफ से भी प्राप्त करेंगे।

4.9. स्तरित मृदाओं की औसत पारगम्यता (Average Permeability of Stratified Soils)

प्रत्येक स्थान पर मृदा विभिन्न प्रकार की मृदाओं से मिलकर बनी होती है, तो हर मृदा पर्त की पारगम्यता अलग-अलग प्राप्त होगी। इसलिये इनकी औसत पारगम्यता ज्ञात करते हैं। परतों की मोटाई व उनकी पारगम्यता ज्ञात होने पर—

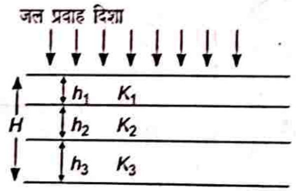
(1) क्षैतिज दिशा में पारगम्यता का औसत मान

$$K_h = \frac{1}{H}(K_1h_1 + K_2h_2 + K_3h_3 + ...)\ \text{cm/sec}$$



(2) ऊर्ध्वाधर दिशा में पारगम्यता का औसत मान

$$K_v = \frac{H}{\frac{h_1}{K_1} + \frac{h_2}{K_2} + \frac{h_3}{K_3} + ...}\ \text{cm/sec}$$



उदाहरण—बालू स्तरित निक्षेप में तीन क्षैतिज परतें समान मोटाई की हैं। प्रथम एवं अन्तिम परत का पारगम्यता गुणांक 2×10^{-4} cm/s है एवं मध्य की परत का पारगम्यता गुणांक 3.2×10^{-2} cm/s है। क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर दिशा में औसत पारगम्यता गुणांक ज्ञात करके उनका अनुपात भी ज्ञात करो।

हल—ज्ञात है—

$$h_1 = h_3$$

$$K_1 = K_3 = 2\times10^{-4}\ \text{cm/s}$$

$$K_2 = 3.2\times10^{-2}\ \text{cm/s}$$

$$K_h = \frac{K_1h_1 + K_2h_2 + K_3h_3}{H}$$

$$= \frac{2\times10^{-4}\times h_1 + 3.2\times10^{-2}\times h_2 + 2\times10^{-4}\times h_3}{3h_1} \quad [\because H_1 = H_2 = H_3]\ \text{given}$$

$$K_h = 1.08\times10^{-2}\ \text{cm/s}$$ **Ans.**

$$K_v = \frac{H}{\frac{h_1}{K_1} + \frac{h_2}{K_2} + \frac{h_3}{K_3}}$$

$$= \frac{3H_1}{\frac{H_1}{2\times10^{-4}} + \frac{H_1}{3.2\times10^{-2}} + \frac{H_1}{2\times10^{-4}}}$$

$$= 2.99\times10^{-4}\ \text{cm/s}$$ **Ans.**

$$\therefore \quad \frac{K_h}{K_v} = 36.1$$ **Ans.**

प्रश्नावली

1. पारगम्यता की परिभाषा दीजिए। पारगम्यता गुणांक से आप क्या समझते हो? *(B.T.E. U.P 1976, 78, 79)*
2. डार्सी का नियम क्या है? इसकी सीमायें क्या हैं?
3. पारगम्यता से आप क्या समझते हो? पारगम्यता को प्रभावित करने वाले कारक लिखो।
4. प्रयोगशाला में स्थिर शीर्ष पारगम्यता गुणांक ज्ञात करने की विधि का सचित्र वर्णन कीजिए।
5. परिवर्ती शीर्ष (Variable head) पारगम्यतामापी का रेखाचित्र बनाइये और उसका वर्णन कीजिए। इसके द्वारा पारगम्यता गुणांक कैसे निकालते हैं?
6. पारगम्यता गुणांक निकालने की स्थलीय विधियाँ लिखें तथा Pumping out विधि का वर्णन करो।
7. स्थलीय विधि में pumping in विधि का सचित्र वर्णन कीजिए।
8. पारगम्यता गुणांक ज्ञात करने हेतु स्थल परीक्षण करना क्यों आवश्यक है? विवेचना करो। *(B.T.E. U.P. 2001)*
9. एक स्थिर शीर्ष पारगम्यता परीक्षण एक 10 cm व्यास तथा 12.5 सेमी० लम्बे नमूने पर 20 cm शीर्ष पर किया गया। 10 मिनट में 200 सी०सी० जल संचलित हुआ। पारगम्यता गुणांक ज्ञात करो। *(B.T.E. U.P. 2001)*
   (उत्तर—2.65×10^{-3} cm/sec.)
10. डार्सी के नियम की मान्यता तथा मृदा अभियांत्रिकी में इसका क्या महत्व है? लिखिए।
11. मृदाओं की पारगम्यता (permeability of soil) को प्रभावित करने वाले कारक (factors) समझाइये। *(B.T.E. UP 2016, 13, 14)*
12. डार्सी का नियम समझाइये। *(B.T.E. UP 2015, 17)*
13. गिरते हुये शीर्ष पारगम्यतामापी (falling head permeameter) को समझाइये। *(B.T.E. UP 2017)*
14. प्रयोगशाला में पारगम्यता गुणांक निकालने की कौन-कौन सी विधियाँ हैं? किसी एक विधि का वर्णन करो। *(B.T.E. UP 2004, 17)*
15. पारगम्यता के सन्दर्भ में डार्सी का नियम स्पष्ट करें। यह किस प्रकार के प्रवाह के लिये मान्य है? *(B.T.E. UP 2006)*
16. किसी चर शीर्ष पारगम्यता परीक्षण में प्रारम्भिक शीर्ष $t = 0$ पर 50 cm था। 20 मिनट बाद शीर्ष 45 cm हो गया। प्रतिदर्श की ऊँचाई 5 cm तथा अनुप्रस्थ काट (क्षे०) 50 सेमी^{2} था। यदि स्टैण्ड पाइप का अनुप्रस्थ क्षेत्रफल 0.5 सेमी^{2} था तो पारगम्यता गुणांक ज्ञात करो।
    उत्तर—$K = 4.3\times10^{-6}$ सेमी/सेकण्ड

17. एक स्थिर शीर्ष पारगम्यतामापी में मृदा का नमूना sample 5 cm व्यास तथा लम्बाई 15 cm है। इस नमूने से 20 cm के शीर्ष पर 15 मिनट में 60 घन सेमी० जल निस्सरण होता है। पारगम्यता गुणांक निकालें।

उत्तर—$K = 2.55\times10^{-3}$ cm/sec

18. एक अस्थिर शीर्ष पारगम्यतामापी परीक्षण में मृदा नमूने का व्यास 10 cm तथा लम्बाई 15 cm प्राप्त है, मृदा की पारगम्यता 1×10^{-3} cm/sec है। यदि स्टैण्ड पाइप में जल का शीर्ष (head) 4 मिनट में 30 cm से 15 cm गिर जाये तो स्टैण्ड पाइप के व्यास को ज्ञात कीजिये।

उत्तर—$d = 1.52$cm

19. स्थिर शीर्ष पारगम्यतामापी से मृदा के नमूने का परीक्षण करने पर sample का व्यास और लम्बाई 3 cm व 15 cm क्रमश: प्राप्त हुई और जल शीर्ष 30 cm था, जल का निस्सरण 15 मिनट में 80 cc है। तो पारगम्यता गुणांक की गणना एवं कैसी मृदा प्रयोग में लाई गई, ज्ञात करें।

उत्तर—$K = 6.29\times10^{-3}$ cm/sec

(ग्रेवल महीन एवं बालू मोटी महीन, मध्यम)

अध्याय 5
प्रभावी प्रतिबल (Effective Stress)

5.1. परिचय (Introduction)

जब भवन का निर्माण होता है इसका भार भूमि पर नींव के माध्यम से स्थानान्तरित होता है। नींव के नीचे के मृदा स्तर पर प्रतिबल उत्पन्न होते हैं। यह उत्पन्न प्रतिबल मृदा में कर्तन और निष्दन (settlement) करते हैं। संरचना के विफल होने का भय हो जाता है इसलिये प्रतिबलों की जानकारी भूतकनीकी अभियंताओं के लिये महत्त्वपूर्ण है।

5.2. अधोभूमि प्रतिबल (Stresses in subsoil)

अधोभूमि (subsoil) में प्रतिबल निम्न कारणों से उत्पन्न होते हैं—

1. मृदा का स्वयं का भार
2. मृदा पर संरचना का भार

संतृप्त मृदा (saturated soil) पर उत्पन्न होने वाले प्रतिबल निम्न हैं—

(i) प्रभावी प्रतिबल (Effective stresses)

(ii) उदासीन प्रतिबल (Neutral stresses)

(iii) सम्पूर्ण प्रतिबल (Total stresses)

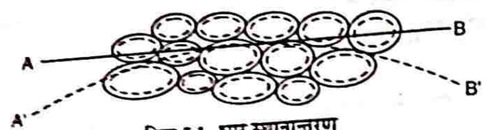
5.2.1. प्रभावी प्रतिबल (Effective stresses)

सर्वप्रथम कार्ल टरजागी (Karl Terzaghi) ने प्रभावी प्रतिबलों के महत्त्व की जानकारी प्रस्तुत की। जब मृदा कणों पर किसी संरचना (structure) का भार अथवा कोई अन्य भार स्थानान्तरित (transmitted) होता है तो मृदा कणों से कणों के सम्पर्क विन्दु पर प्रतिबल उत्पन्न होते हैं। भार का कुछ भाग मृदा कणों द्वारा शेष रन्ध्रों में उपस्थित जल के द्वारा वहन किया जाता है।

मृदा कणों के परस्पर सम्पर्क स्थानों के माध्यम से स्थानान्तरित होने वाला दाब (pressure) प्रभावी दाब व उससे उत्पन्न होने वाले प्रतिबल प्रभावी प्रतिबल कहलाते हैं। इसे σ' से प्रदर्शित करते हैं।

यदि सम्पर्क बिन्दु पर पहुँचने वाले संरचना का भार मृदा कणों के प्रतिरोध (Resistance) से अधिक है तो मृदा पिण्ड में सम्पीडन (compression) उत्पन्न होता है। सम्पर्क बिन्दुओं पर कणों के प्रत्यास्थ संपीडन से अलग-अलग (partly) होता है। प्रत्येक कणों के बीच अलग सरकन होती है।

यह भार इकाई क्षेत्रफल पर मृदा पिण्ड पर होता है। यह मृदा पिण्ड में विरूपण (deformation) उत्पन्न करता है।



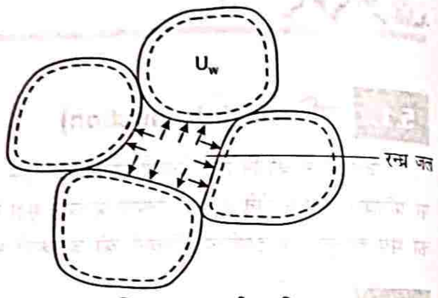
चित्र 5.1–भार स्थानान्तरण

नोट—मृदा पिण्ड पर संरचना के दाब से कणों में सम्पीडन के कारण रिक्तता अनुपात में कमी होगी अर्थात् कण पास-पास पहुँच जाते हैं जिससे मृदा की अपरूपण सामर्थ्य (shear strength) में वृद्धि हो जाती है।

5.2.2. उदासीन प्रतिबल (Neutral stress)

जल रन्ध्रों द्वारा स्थानान्तरित होने वाला दाब निष्क्रिय दाब तथा उससे उत्पन्न प्रतिबल निष्क्रिय प्रतिबल कहलाता है। इसे U से प्रदर्शित करते हैं।

यदि संतृप्त मृदा पिण्ड में रन्ध्रों में जल भरा होता है और जब मृदा पिण्ड पर भार लगाया जाता है तो कणों के द्वारा भार स्थानान्तरित नहीं होता है। बल्कि यह भार रन्ध्रों में उपस्थित जल के द्वारा स्थानान्तरित होता है क्योंकि जल असंपीड्य होता है। यह दाब जल रन्ध्रों से उत्पन्न होता है। मृदा के यांत्रिक गुण पर रन्ध्र दाब को नापने योग्य प्रभाव नहीं पड़ता है। यह उदासीन दाब ही उदासीन प्रतिबल कहलाता है।



चित्र 5.2–उदासीन प्रतिबल

नोट—जल स्थैतिक होने के कारण मृदा कणों के चारों तरफ समान रूप से दबाव डालते हैं जिससे प्रतिबलों का परिणामी दाब शून्य हो जाता है, मृदा कणों पर इसका प्रभाव नहीं पड़ता है। रिक्तता अनुपात में भी अन्तर नहीं होता है। अपरूपण सामर्थ्य में भी अन्तर नहीं आता, इसलिये उदासीन प्रतिबल कहते हैं।

5.2.3. सम्पूर्ण प्रतिबल (Total stress)

प्रभावी प्रतिबल और उदासीन प्रतिबल के जोड़ को सम्पूर्ण प्रतिबल कहते हैं। इसे σ से प्रदर्शित करते हैं।

$$\sigma = \sigma' + u$$

1. प्रभावी प्रतिबल को स्थल पर किसी भी उपकरण से नहीं नापा जा सकता है।
2. सम्पूर्ण प्रतिबल और रन्ध्र दाब को नापकर ही गणना कर सकते हैं।

5.3. अभियांत्रिकी समस्याओं में प्रभावी प्रतिबल का महत्त्व (Importance of Effective Stress in Engineering Importance)

प्रभावी प्रतिबल की भूमिका निम्न स्थितियों में महत्त्वपूर्ण है—

(i) मृदा निषदन में (settlement of soil)

(ii) मृदा की अपरूपण सामर्थ्य में (shear strength of soil)

5.3.1. मृदा का निषदन (Settlement of soil)

ऐसी घटना जब मृदा रन्ध्रों से जल के निकलने से धीरे-धीरे मृदा के आयतन में कमी होती है निषदन (settlement) कहलाती है। इसे संघनन (consolidation) भी कहते हैं। चित्र 5.3 में मृतिका (clay) का सम्पीडन वक्र (compression curve) दर्शाया गया है। यह वक्र प्रभावी प्रतिबल σ′ और रिक्तता अनुपात e के बीच खींचा गया है। इस वक्र से यह स्पष्ट है कि जब σ′ का मान बढ़ता है तो e का मान घटता है।

प्रभावी प्रतिबल के बढ़ने से मृदा में सम्पीडन भी बढ़ जाता है।

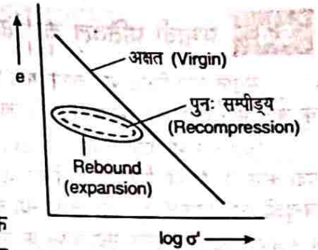
निम्न सूत्र से संघनन (consolidation) निषदन की गणना कर सकते हैं—

$$S = m_v . H . \Delta\sigma'$$

m_v = आयतन सम्पीड्यता गुणांक

H = सम्पीड्य परत की मोटाई

$\Delta\sigma'$ = प्रभावी दाब की औसत बढ़ोत्तरी



चित्र 5.3–मृतिका का सम्पीडन वक्र

उपर्युक्त समीकरण से यह स्पष्ट है कि मृदा का निषदन प्रभावी दाब के समानुपाती होता है अर्थात् मृदा निषदन प्रभावी प्रतिबल अथवा प्रभावी दाब पर निर्भर करता है। प्रभावी प्रतिबल के बढ़ने पर मृदा का निषदन भी बढ़ता है।

5.3.2. मृदा की अपरूपण सामर्थ्य (Shear strength of soil)

सभी भूतकनीकी अभियांत्रिकी समस्याओं में अपरूपण सामर्थ्य का मूल्यांकन (assessment) शामिल (include) किया गया है।

1. **संरचनात्मक नींवें** (Structural foundations)—संरचना का भार नींव के माध्यम से भूमि (ground) पर स्थानान्तरित होता है। यह अपरूपण प्रतिबल और सम्पीडन प्रतिबल उत्पन्न करता है। यदि कर्तन प्रतिबल मृदा के अपरूपण सामर्थ्य से अधिक है तो कर्तन विफलता के कारण संरचना ढह (collapse) जाती है।

2. **पृथ्वी ढलान** (Earth slopes)—ढालू जमीन पर गुरुत्व बल मृदा में कर्तन प्रतिबल उत्पन्न करता है। ये कर्तन प्रतिबल मृदा के अपरूपण सामर्थ्य से अधिक हो जाती है तो भूस्खलन (land slide) हो जाता है।

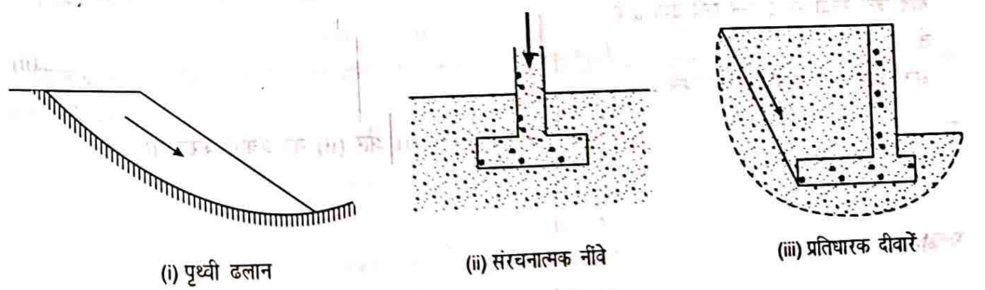
3. **राजमार्ग का फुटपाथ** (Highway pavements)—वाहनों के पहिये का भार फुटपाथ के माध्यम से भूमि पर स्थानान्तरित होता है। यह भार कर्तन प्रतिबल उत्पन्न करता है जिससे कर्तन विफलता आती है।

मृदा की अपरूपण सामर्थ्य ज्ञात करने के लिये निम्न सूत्र प्रयोग करते हैं—

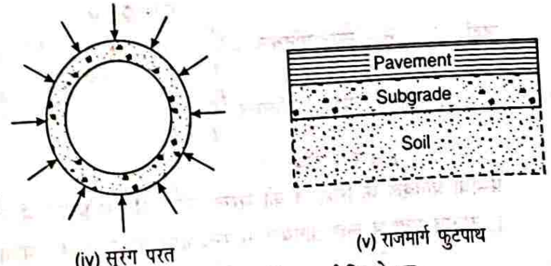
$$S = \sigma' \tan\phi'$$

जहाँ, σ′ = प्रभावी प्रतिबल

ϕ′ = प्रभावी घर्षण कोण



Note—यदि मृदा के ϕ′ का मान स्थिर (constant) है तो कर्तन सामर्थ्य प्रभावी प्रतिबल के समानुपाती होती है इसलिये प्रभावी प्रतिबल के बढ़ने से कर्तन सामर्थ्य (shear strength) बढ़ जाती है। अतः मृदा की कर्तन सामर्थ्य (shear strength) अधिक हो जाने पर कर्तन विफलता (failure) कम हो जाती है।

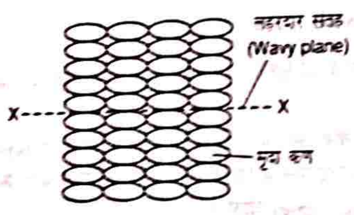


चित्र 5.4–मृदा में सामर्थ्य विश्लेषण

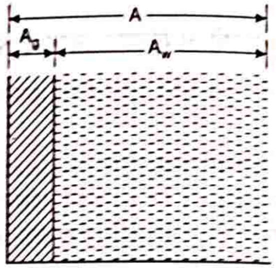
5.4. प्रभावी प्रतिबल का सिद्धान्त (Principle of Effective Stress)

संतृप्त मृदा पिण्ड पर लगाया गया भार, जल रन्ध्रों पर स्थानान्तरित होता है और यह भार रन्ध्रों से जल के निष्कासन के बाद मृदा कणों पर स्थानान्तरित हो जाता है।

चित्र 5.5 में लहरदार सतह (wavy plane) मानकर व्याख्या की गयी है। माना कि XX एक लहरदार सतह है और मृदा कणों के सम्पर्क बिन्दुओं से होकर जा रही है। माना कि XX (wavy plane) का क्षेत्रफल A है। मृदा कणों के सम्पर्क बिन्दुओं का क्षेत्रफल A_g और जल रन्ध्रों का क्षेत्रफल (A_w) का जोड़ wavy plane के क्षेत्रफल (A) के बराबर है अर्थात् $A = A_g + A_w$ चित्रानुसार मृदा कणों के सम्पर्क बिन्दुओं का क्षेत्रफल (A_g), जल रन्ध्रों के क्षेत्रफल (A_w) से बहुत कम है। अतः $A_w = A$ होगा।



चित्र 5.5–प्रभावी प्रतिबल संकल्पना



चित्र 5.6–कणों का सम्पर्क क्षेत्रफल तथा जल क्षे० XX में

माना कि क्षेत्रफल (A) पर पड़ने वाला कुल भार P है।

$$P = P_g + P_w \quad \text{...(i)}$$

जहाँ, P_g = मृदा कणों के माध्यम से कुल स्थानान्तरित भार

P_w = जल रन्ध्रों के माध्यम से कुल स्थानान्तरित भार

यदि जल रन्ध्रों से उत्पन्न रन्ध्र दाब u है,

तो
$$P_w = u.A_w \quad \text{...(ii)}$$

अतः कुल XX सतह पर प्रतिबल

$$\frac{P}{A} = \frac{P_g}{A} + \frac{uA_w}{A}$$ समी० (i) और (ii) का प्रयोग करने पर

$$\frac{P}{A} = \frac{P_g}{A} + u$$

अथवा
$$\sigma = \sigma' + u$$
$$\sigma' = \sigma - u$$

जहाँ, σ = कुल प्रतिबल $= \frac{P}{A}$

σ' = प्रभावी प्रतिबल $\frac{P_g}{A}$

u = रन्ध्र दाब

प्रभावी प्रतिबल के सिद्धान्त को सरल तरीके से इस प्रकार भी व्यक्त कर सकते हैं—

1. संतृप्त मृदा में कुल प्रतिबल से रन्ध्र दाब को घटाकर प्रभावी प्रतिबल ज्ञात कर लेते हैं।

$$\sigma' = \sigma - u$$

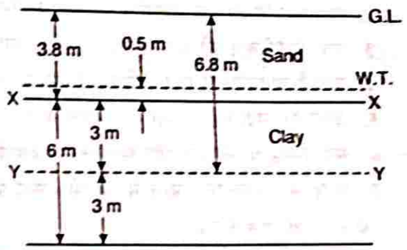
2. प्रभावी प्रतिबल मृदा के व्यवहार में नियंत्रण रखती है।

जैसे—सामर्थ्य एवं विरूपण (deformation) आदि।

उदाहरण 1. संतृप्त मृतिका (A) की 6m मोटी परत चित्रानुसार बालू की 3.8 मी० परत से ढँकी (overlain) है। भूमि तल से 3.2 m नीचे भौम जल की स्थिति है। मृतिका एवं बालू का संतृप्त इकाई भार क्रमशः 21 kN/m³ और 19 kN/m³ है। भौम जल के ऊपर बालू का घनत्व 16 kN/m³ है। मृतिका के ऊपरी और मध्य परत का ऊर्ध्वाधर दाब और कुल दाब की गणना करो, जबकि जल का इकाई भार 10 kN/m³ दिया है।

हल—ज्ञात है—

$$Y = 16\ kN/m^3$$
$$Y_w = 10 kN/m^3$$
$$Y_{sat\,(sand)} = 19\ kN/m^3$$
$$Y_{sat\,(clay)} = 21\ kN/m^3$$



चित्र 5.7

संतृप्त बालू की गहराई $= 3.8 - 3.2 = 0.6m$

भौम जल से ऊपर बालू की गहराई = 3.2 m

हम जानते हैं
$$\sigma' = \sigma - u$$
$$u = h_w.Y_w$$

(i) मृतिका (clay) परत के ऊपर लाइन XX $h_w = 0.6m$

कुल दाब σ = भौम जल के ऊपर बालू की मोटाई X_y + संतृप्त बालू की मोटाई × $(Y_{sat})_{sand}$

$$\sigma = 3.2 \times 16 + 0.6 \times 19 = 51.2 + 11.4$$
$$= \mathbf{62.6\ kN/m^2}$$ उत्तर
$$u = 0.6 \times 10 = 6\ kN/m^2$$
$$\sigma' = \sigma - u = 62.6 - 6 = \mathbf{56.6\ kN/m^2}$$ उत्तर

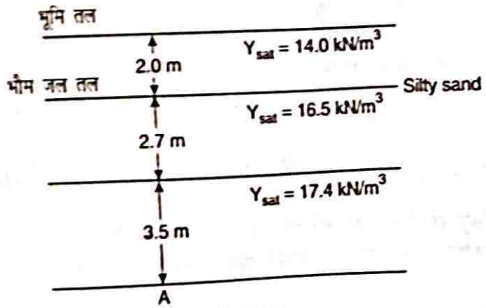
(iii) मध्य मृतिका परत पर लाइन YY

$$h_w = (0.6 + 3.0) = 3.6\ m$$

कुल दाब, σ = भौम जल के ऊपर बालू की गहराई XY + संतृप्त बालू की गहराई × $(Y_{sat})_{sand}$ + XX और YY के बीच मृतिका की गहराई × $(Y_{sat})_{clay}$

$$\sigma = 3.2 \times 16 + 0.6 \times 19 + 3 \times 21 = 125.6 kN/m^2$$ उत्तर
$$u = (0.6 + 30) \times 10 = 36\ kN/m^2$$
$$\sigma' = \sigma - u = 125.6 - 36$$
$$= \mathbf{89.6\ kN/m^2}$$ उत्तर

उदाहरण 2. मृदा के पार्श्व चित्र (profile) चित्र 5.8 का उपयोग करते हुये बिन्दु A पर प्रभावी प्रतिबल ज्ञात कीजिये।



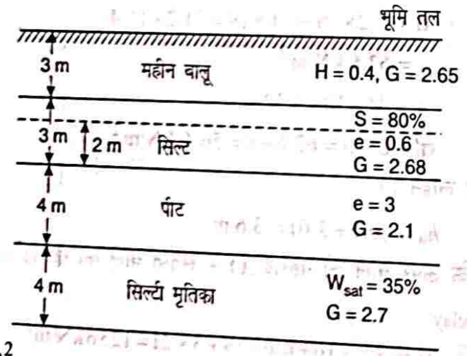
चित्र 5.8

हल—Y_w = जल का इकाई भार = 9.8 kN/m³

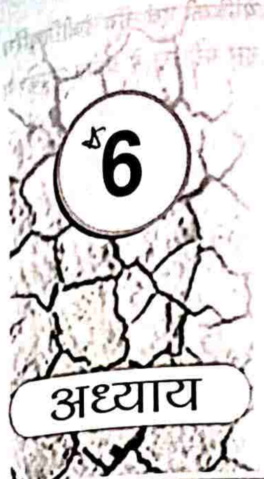
$$\sigma = 2.0 \times 14.0 + 2.7 \times 16.5 + 3.5 \times 17.4$$
$$= 133.45\ kN/m^2$$
$$u = h_w.Y_w = (2.7 + 3.5) \times 9.8 = 60.76\ kN/m^2$$
$$\sigma' = \sigma - u = 133.45 - 60.76 = 72.69\ kN/m^2$$

प्रश्नावली

1. निम्नलिखित की परिभाषा दीजिये—
   (a) सम्पूर्ण प्रतिबल
   (b) प्रभावी प्रतिबल
   (c) उदासीन प्रतिबल
2. प्रभावी प्रतिबल और उदासीन प्रतिबल में अन्तर कीजिए—
3. प्रभावी प्रतिबल की संकल्पना (concept) समझाइये।
4. प्रभावी प्रतिबल का मृदा यांत्रिकी में क्या महत्त्व है?
5. अधोभूमि मृदा (sub soil) में प्रतिबल कैसे उत्पन्न होते हैं? परिभाषित कीजिये।
6. मृदा पिण्ड के निषदन और स्थायित्व में प्रभावी प्रतिबल का क्या महत्त्व है?
7. बलुई मृदा (स्तरित) परत में 10 मी० नीचे प्रभावी प्रतिबल ज्ञात करें जबकि बलुई मृदा में निम्न गुण हैं—
   $G = 2.70$, $n = 40\%$
   प्राकृतिक सतह से 5 मी० नीचे भौम जल उपस्थित है। केशिका विधि से मृदा संतृप्त है। कैपिलरी शीर्ष 100 cm है। प्राकृतिक सतह से प्रथम 4 m नीचे संतृप्ति अंश 10% है।
   उत्तर—1375 gm/cm²
8. पार्श्व चित्र 5.9 के अनुसार 12 m गहराई पर प्रभावी प्रतिबल ज्ञात करो।



   उत्तर—118.24 kN/m²
9. प्रभावी प्रतिबलों के सिद्धान्त (principle) पर व्याख्या कीजिये।
10. प्रभावी प्रतिबल और उदासीन प्रतिबल किन सम्पर्क विन्दुओं पर स्थानान्तरित होते हैं?



अध्याय 6
मृदा का विरूपण अथवा विकृति
(Deformation of Soils)

6.1. परिचय (Introduction)—

जब मृदा पिण्ड पर प्रतिबल उत्पन्न होते हैं तो मृदा की प्राकृतिक अवस्था में विकृति उत्पन्न होती है अर्थात् उसके आयतन में परिवर्तन होता है। यदि मृदा पिण्ड पर प्रत्येक दिशा से सम्पीडन बल लगाया जाये तो उसकी आकृति में बदलाव नहीं आता है अर्थात् मृदा पिण्ड में विरूपण नहीं हो सकता बल्कि सम्पीडन से मृदा पिण्ड के आयतन में बदलाव की सम्भावना हो जाती है।

मृदा पिण्ड में भार लगने से मृदा सम्पीड्य निम्न कारणों से होती है—
(i) मृदा कणों के सम्पीडन के कारण
(ii) रन्ध्रों में जल, वायु के सम्पीडन के कारण
(iii) मृदा रन्ध्रों से जल एवं वायु के निष्कासन के कारण

मृदा पिण्ड पर भार लगना या सम्पीडन बल लगना जिससे मृदा कणों से वायु का निष्कासन अथवा जल का निष्कासन जिससे मृदा के आयतन में कमी/रन्ध्रों में कमी हो जाती है। इस तरह मृदा के आयतन में कमी निम्न दो विधियों से उत्पन्न होती है—
(i) संहनन की विधि
(ii) संघनन की विधि

6.2. संहनन (Compaction)

यांत्रिक विधियों से मृदा कणों को पास-पास पहुँचाना जिससे मृदा रन्ध्रों से वायु का निष्कासन तथा मृदा आयतन में कमी उत्पन्न होना संहनन (compaction) कहलाता है। यह कृत्रिम क्रिया है।

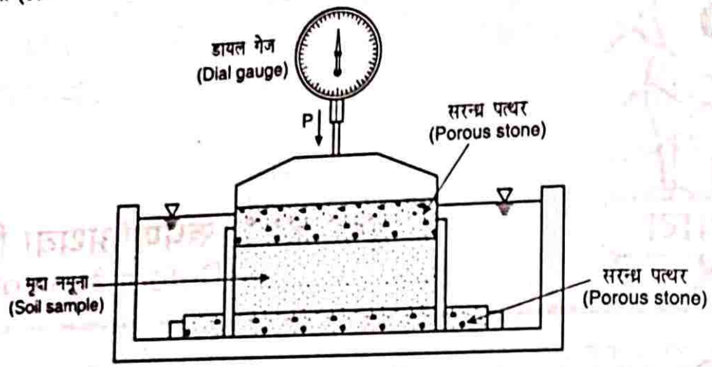
6.3. संघनन (Consolidation)

स्थैतिक भार के कारण धीरे-धीरे मृदा कणों का पास-पास पहुँचना और जल का रन्ध्रों से निकलना जिससे रन्ध्रों में कमी/आयतन में कमी होना संघनन (consolidation) क्रिया कहलाती है। यह प्राकृतिक क्रिया है।

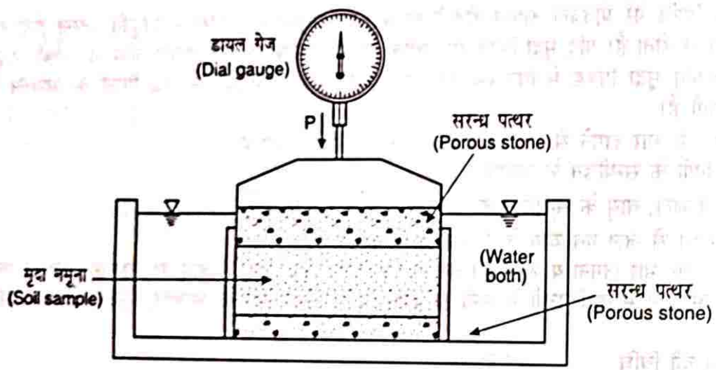
6.4. संघनन परीक्षण (Consolidation test)

यदि मृदा में संघनन निषदन (Consolidation settlement) का अनुमान लगाना है तो मृदा में प्रतिबल विकृति के गुणों को जानना आवश्यक हो ... है) सामान्यतः इसका

ज्ञात प्रयोगशाला में परीक्षण करके प्राप्त करते हैं। इस परीक्षण को संघनन परीक्षण कहते हैं। इस परीक्षण में प्रयोग उपकरण को संघननमापी (consolidometer) कहते हैं।



(a) Fixed ring consolidometer



(b) Floating ring consolidometer

चित्र 6.1

चित्र 6.1 (a) and (b) में fixed ring type और floating ring type संघनन मापी दर्शाये गये हैं। Fixed ring type में जो सरन्ध्र पत्थर (Porous stone) प्रयोग करते हैं केवल ऊपर वाला सरन्ध्र पत्थर नीचे की ओर गति कर सकता है, जबकि floating ring type में सरन्ध्र पत्थर दोनों (अर्थात् ऊपर और नीचे वाले) गति कर सकते हैं। नमूने की पारगम्यता किसी भी चरण (stage) में केवल fixed ring type उपकरण से नाप (Measure) करते हैं। नमूने में सम्पीडन नापने के लिये डायल गेज की सहायता लेते हैं जोकि लोडिंग कैप (cap) से लगा दिया जाता है। नमूने को संघनित करने के लिये कई प्रकार से ऊर्ध्वाधर दाब लगाया जाता है। जैसे—0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 4, 8 और 10 kg/cm^2 इसमें ऊर्ध्वाधर बल का चयन स्थल दाब के अनुमान से कर लिया जाता है। इसमें अधिक दाब (overburden pressure) को भी जोड़ लिया जाता है।

भार बढ़ोत्तरी अनुपात (load increment ratio) (LIR) का परम्परागत तरीका प्रयोग किया जाता है। LIR (Unity) का तात्पर्य यह है इसमें प्रत्येक समय भार दो गुना लिया जाता है। प्रत्येक दाब बढ़ोत्तरी (increment) 24 घण्टे बनाये रखते हैं। नमूने को ऊपर व नीचे की ओर मुक्त जल निकासी हेतु संघनित करते हैं। डायल गेज पाद्यांकों को 30 sec, 1, 2, 4, 8, 15, 30 mins, 1 hr, 2, 4, 8 and 24 hrs पर पढ़ लेते हैं। अन्तिम दाब पर जब संघनन पूर्ण होता है तब मृदा नमूने से भार हटाकर उसे फूलने (swell) को छोड़ देते हैं। परीक्षण के परिणाम अर्ध-लघुगणकीय ग्राफ पर दर्शाया जाता है। इस परीक्षण में लगाये

भारों को लघुगणकीय पैमाने पर X-अक्ष (abscissa) और रिक्तता अनुपात (void ratio) को Y-अक्ष (ordinate) पर प्रदर्शित करते हैं।

रिक्तता अनुपात को लगाये गये भारों के सापेक्ष डायल गेज से ज्ञात करके नमूने का शुष्क भार परीक्षण के अन्त में ज्ञात कर लेते हैं।

6.4.1. इस विधि में संतृप्त और आंशिक संतृप्त नमूने लिये जाते हैं।

M_s = नमूने की शुष्क संहति परीक्षण की समाप्ति पर

A = नमूने का क्षेत्रफल

G = मृदा का आ० गुरुत्व

ठोस मृदा की मो० H_s की गणना करने पर

$$G = \frac{Y_s}{Y_w} = \frac{M_s}{A.H_s} \Big/ Y_w$$

$$\frac{M_s}{A.H_s} = G.Y_w$$

$$\boxed{H_s = \frac{M_s}{AGY_w}}$$

रिक्तता अनुपात e किसी भार की बढ़ोत्तरी के अन्त में दिया गया है।

$$\boxed{e = \frac{H - H_s}{H_s}}$$

H = नमूने की ऊँचाई (specimen height)

$= H_0 + \Sigma\Delta H$

जहाँ, $\Sigma\Delta H$ = दाब बढ़ोत्तरी की समाप्ति के समय नमूने की मोटाई में संचयी परिवर्तन

H_0 = परीक्षण के प्रारम्भ में नमूने की ऊँचाई

6.5. मान्यतायें (Assumptions)

(i) मृदा परत समांग (Homogeneous) और पूर्णतः संतृप्त हो।

(ii) मृदा कण और जल असंपीड्य हो।

(iii) डार्सी नियम ही प्रतिपादित होगा।

(iv) क्षैतिज समतल के अनुदिश लगाया गया दाब समान (uniform) हो।

(v) संघनन प्रक्रिया एक विमीय होना चाहिये।

(vi) मृदा में लगातार संघनन गुणांक स्थिर हो एवं समय के साथ भी स्थिर रहे।

(vii) संघनित मृदा में लिया गया समय t पारगम्यता गुणांक K पर निर्भर करता है।

चित्र 6.2 के अनुसार मृदा के एक घटक की संघनन क्रिया में सम्मिलित करते हुये।

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + u \quad ...(A)$$

$$u = hY_w \Rightarrow h = \frac{u}{Y_w}$$

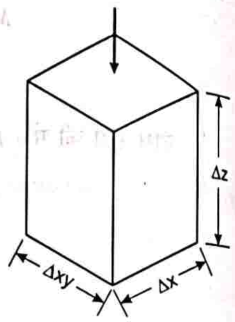
डार्सी नियम को उपयोग में लाने पर

$$V_z = Ki_z = -K\frac{\delta h}{\delta Z} \qquad \left(\because i = \frac{\delta h}{\delta Z}\right)$$

$$= \frac{-K}{Y_w}\frac{\delta u}{\delta Z} \qquad \left(\because h = \frac{u}{Y_w} \text{ and } \frac{\delta h}{\delta Z} = \frac{1}{Y_w}\cdot\frac{\delta u}{\delta Z}\right) \quad ...(1)$$

गहराई के साथ वेग की दर को बदलने पर

$$\frac{\delta V_z}{\delta Z} = -\frac{K}{Y_w}\frac{\delta^2 u}{\delta Z^2} \text{ समी० (i) से} \quad ...(2)$$



चित्र 6.2 : Soil element

मृदा घटक में प्रवेशित जल की मात्रा

$$= V_z.\Delta x.\Delta y$$

मृदा घटक से पानी बहने (flow) की मात्रा

$$= \left(V_z + \frac{\delta V_z}{\delta z}.\Delta z\right)\Delta x.\Delta y$$

$$= \left(V_z - \frac{K}{Y_w}.\frac{\delta^2 u}{\delta z^2}.\Delta z\right)\Delta x.\Delta y$$

समीकरण (2) का प्रयोग करने पर

इकाई क्षेत्र में जल बहने की मात्रा

$$= \frac{\Delta V}{\Delta t} = \left\{V_z - \frac{K}{Y_w}\frac{\delta^2 u}{\delta z^2}\Delta z\right\}\Delta x\Delta y - V_z\Delta x\Delta y\Delta z$$

$$= -\frac{K}{Y_w}\frac{\delta^2 u}{\delta z^2}\Delta x.\Delta y.\Delta z \quad ...(3)$$

$$\text{आयतन परिवर्तन की दर} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = m_v.V_1.\frac{\delta\sigma'}{\delta t} = m_v\Delta x.\Delta Y\Delta Z.\frac{\delta\sigma'}{\delta t} \quad ...(4)$$

जहाँ,

m_v = आयतन परिवर्तन गुणांक

V_i = मृदा घटक का प्रारम्भिक आयतन

σ' = प्रभावी प्रतिबल

रन्ध्र जल के कारण प्रभावी प्रतिबल में परिवर्तन समी० (A) का प्रयोग करने पर

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + u$$

$$\Delta\sigma' = \Delta\sigma - u \quad ...(5)$$

समी० (5) का अवकलन (Differential) करने पर

$$\frac{\delta\sigma'}{\delta t} = \frac{-\delta u}{\delta t}$$

समी० (3) एवं (4) से हम प्राप्त कर सकते हैं—

$$\frac{m_v\delta\alpha'}{\delta t}\Delta X\Delta Y.\Delta Z = -\frac{K}{Y_w}\frac{\delta^2 u}{\delta z^2}\Delta X\Delta Y\Delta Z$$

$$\frac{m_v.\delta\sigma'}{\delta t} = -\frac{K}{Y_w}.\frac{\delta^2 u}{\delta z^2}$$

$$= -\frac{m_v\delta u}{\delta t} = \frac{K}{Y_w}.\frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \qquad \left[\because \frac{\delta\sigma'}{\delta t} = \frac{\delta u}{\delta t}\right]$$

$$\frac{\delta u}{\delta t} = \frac{K}{m_v Y_w}.\frac{\delta^2 u}{\delta z^2}$$

$$\boxed{\frac{\delta u}{\delta t} = C_v\frac{\delta^2 u}{\delta z^2}} \text{ जहाँ } \boxed{C_v = \frac{K}{m_v Y_w}} \quad ...(6)$$

6.6. सम्पीड्यता के पैरामीटर (Compressibility of parameter)

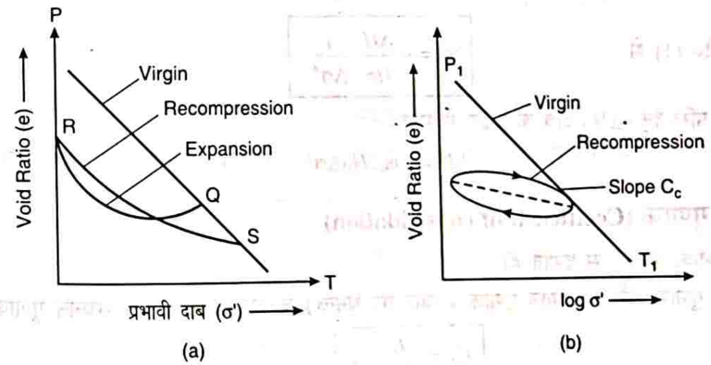
संघनन परीक्षण से निम्न तीन पैरामीटर मृदा सम्पीड्यता के प्राप्त हुये—

(i) सम्पीड्यता गुणांक C_v

(ii) आयतन सम्पीड्यता गुणांक m_v

(iii) सम्पीडन सूचकांक C_c

संघनन परीक्षण द्वारा प्राप्त सम्पीडन वक्र चित्र 6.3 में दर्शाया गया है।



चित्र 6.3–मृत्तिका के लिये सम्पीडन वक्र

मृतिका (clay) संहनन परीक्षण से सम्पीडन वक्र प्राप्त किया जा सकता है। संघनित मृतिका नमूने जब दाब बिन्दु Q पर पहुँचता है तो दाब घटने पर नमूने में प्रसार होता है, प्रसार के समय नमूना कभी भी अपने पूर्व आयतन में कभी वापस नहीं पहुँचता। ऐसी स्थिति स्थायी सम्पीडन के कारण ऐसा सम्भव होता है। पुन: सम्पीडन की स्थिति में RS वक्र प्राप्त होता है। जब पूर्व दाब बिन्दु Q के अनुरूप पहुँचता है, तो पुन: सम्पीडन (recompression) वक्र में रिक्तता अनुपात कुछ कम हो जाता है, परीक्षण लगातार दाब बढ़ाते रहते हैं तो औसत वक्र अपनी प्रारम्भिक अवस्था PQ से कुछ कम या ज्यादा प्राप्त होगा।

चित्र 6.3 (b) से प्रदर्शित होता है कि वक्र प्रभावी दाब और रिक्तता अनुपात में खींचा जायेगा। यह वक्र अर्ध-लघुगणकीय ग्राफ पेपर पर प्रदर्शित होता है। सीधा P_1Q_1 और S_1T_1 में बिन्दु Q_1 के दूसरी तरफ vigrin सम्पीडन वक्र होगा।

6.6.1. सम्पीड्यता गुणांक (Coefficient of compressibility)

इसको a_v से प्रदर्शित किया जाता है। इसको रिक्तता अनुपात एवं प्रभावी प्रतिबल वक्र से दर्शाते हैं।

इसे इस प्रकार भी परिभाषित कर सकते हैं—

रिक्तता अनुपात में कमी होना और प्रभावी प्रतिबल में बढ़ोत्तरी होना, इन दोनों के अनुपात को सम्पीड्यता गुणांक कहते हैं। उपरोक्त परीक्षण इकाई क्षे० में माना गया है।

$$a_v = \frac{e-e_0}{\Delta\sigma'} \text{ अत: } \boxed{a_v = \frac{-\Delta e}{\Delta\sigma} = \frac{-\Delta e}{\Delta\sigma'}} \ m^2/kN$$

जहाँ संघनन के प्रारम्भ और समाप्ति पर रिक्ता अनुपात क्रमश: e_0 एवं e है, जहाँ दाब की बढ़ोत्तरी $\Delta\sigma'$ है।

6.6.2. आयतन संपीड्यता गुणांक (Coefficient of compressibility)

मृदा संघनन में इकाई आयतन में कमी और प्रभावी दाब का बढ़ना ही आयतन गुणांक कहलाता है इसे m_v से दर्शाते हैं जोकि a_v के ही समान है।

अत:
$$m_v = \frac{e-e_0}{1+e_0}\cdot\frac{1}{e'-e'_0} = \frac{-\Delta e}{1+e_0}\times\frac{1}{\Delta\sigma'} \quad ...(I)$$

$$= \frac{a_v}{1+e_0} \qquad \left[\because -\frac{\Delta e}{\Delta\sigma'} = a_v\right]$$

आयतन में परिवर्तन मोटाई ΔH के समानुपाती होता है एवं प्रारम्भिक आयतन प्रारम्भिक मोटाई H_0 के समानुपाती होता है।

अत: समी० (I) से
$$\boxed{m_v = -\frac{\Delta H}{H_0}\cdot\frac{1}{\Delta\sigma'}}$$

मोटाई में परिवर्तन (ΔH) दाब के बढ़ने से मान-

$$\Delta H = -m_v \cdot H_0 \Delta\sigma'$$

6.6.3. संघनन गुणांक (Coefficient of consolidation)

संघनन गुणांक को C_v से दर्शाते हैं।

पारगम्यता गुणांक और (आयतन गुणांक × जल का घनत्व) के बीच अनुपात को संघनन गुणांक कहते हैं।

$$\boxed{C_v = \frac{K}{m_v Y_w}}$$

जहाँ,

K = पारगम्यता गुणांक

Y_w = जल का घनत्व

C_v = संघनन गुणांक

m_v = आयतन परिवर्तन गुणांक

संघनन (consolidation) गुणांक मृदा में सम्पीड्यता और पारगम्यता का संयुक्त प्रभाव है जो कि मृदा के आयतन परिवर्तन की दर है।

संघनन गुणांक निम्न सूत्र से भी ज्ञात किया जाता है—

$$\boxed{T_v = \frac{C_v t}{d^2}}$$

T_v = समय कारक (time factor) जो संघनन अंश पर आधारित है।

t = संघनन क्रिया में लगा समय

d = जल निकासी रास्ता

$d = H/2$ दोहरा जल निकासी रास्ता हेतु

यदि T_v स्थिर हो जोकि संघनन अंश पर आधारित हो और निश्चित सीमा संघनन के अन्तर्गत हो। संघनन अंश 'U' जल निकासी रास्ते के वर्ग के समानुपाती होती है और संघनन गुणांक के व्युत्क्रमानुपाती (Inversely proportional) होती है। दिये गये मृदा और दिये रिक्तता अनुपात में संघनन का परिमाण (magnitude) बढ़ने से C_v का मान बढ़ता है।

जब
$$U < 60\% \quad T_v = \frac{\pi}{4}\left(\frac{U}{100}\right)^2$$

$$u > 60\% \quad T_v = 0.9332\log_{10}\left(1-\frac{u}{100}\right) - 0.0851$$

6.6.4. सम्पीडन सूचकांक (Compression Index)

रिक्तता अनुपात और $\log_{e'}$ के बीच दर्शाये जा चुके वक्र में रेखीय भाग का ढाल C_c सम्पीडन सूचकांक कहलाता है। यह विमारहित (dimensionless) होता है।

वक्र पर रेखीय भाग में दो बिन्दुओं के लिये

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log_{e'}} = \frac{e_0 - e}{\log\sigma' - \log\sigma'_0} = \frac{e_0 - e}{\log\sigma'}$$

$$e = e_0 - C_c \log_{10}\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \quad ...(ii)$$

अथवा

रिक्तता अनुपात के परिवर्तन (variation) e और प्रभावी प्रतिबल σ के परिवर्तन को अर्ध-लघुगणकीय ग्राफ पर दर्शाया जाता है।

$$\boxed{C_c = \frac{\Delta_e}{\Delta\log\sigma_{eff}}}$$

जहाँ
Δ_e = variation of void ratio

$\Delta\log\sigma_{eff}$ = variation of effective stress

Note : Compression index का प्रयोग सामान्य संघनित मृतिका (clay) के निषदन (settlement) ज्ञात करने के लिये किया जाता है।

सम्पीडन सूचकांक प्रत्येक मृदा के लिये अलग-अलग होगा।

Clay — 0.258 से 0.968 रेन्ज

Laterite मृदा— 0.101 से 0.940 रेन्ज

6.6.5. संघनन अंश (Degree of consolidation)

किसी समय निषदन और अन्तिम निषदन के अनुपात को संघनन अंश कहते हैं। इसे U से प्रदर्शित किया जाता है। इसे प्रतिशत में दर्शाते हैं।

$$\boxed{U\% = \frac{S}{S_1}\times 100} \quad ...(1)$$

S = किसी समय निषदन (settlement any time)

$= e_0 - e_1$

S_1 = अन्तिम निषदन (final settlement) = $e_0 - e$

e_1 = किसी समय रिक्तता अनुपात

$$U\% = \frac{e_0 - e_1}{e_0 - e} \times 100 \quad ...(2)$$

6.7. अक्षुब्ध मृदा का संघनन (Consolidation of soil)

संघनन क्रिया को मृदा निक्षेपण (soil deposits) में तीन तरह से विभाजित करते हैं—

1. मृदा का पूर्व संघनन अथवा अधिक संघनित मृदा (Pre-consolidation soil or over-consolidation soil) —Over-consolidation या संघनन समाप्त या अन्तिम संघनन कह सकते हैं। इसमें प्राकृतिक अवस्था में मृदा पर जो प्रतिबल कार्य करते हैं इसमें मृदा उच्चतम प्रतिबल वहन करती है। यदि वर्तमान में मृदा जो प्रतिबल वहन करती है, प्राकृतिक अवस्था के प्रतिबल का मान वर्तमान में कार्य कर रहे प्रतिबल से सदैव अधिक रहता है। यह मान लगभग 2 गुना होता है। ऐसी मृदा over संघनित मृदा कहलाती है।

उदाहरण—माना संघनित मृदा जोकि 10 N/mm^{2}का दाब बिना विफलता के प्राकृतिक अवस्था में वहन करती है। यदि हम 5 N/mm^2 का दाब वर्तमान में लगाते हैं तो पिछला दाब वर्तमान दाब से 2 गुना अधिक है। इसे ही over संघनित मृदा कहते हैं। इसे O_c से निरूपित करते हैं।

2. सामान्य रूप से संघनित मृदा (Normally consolidated soil)—ऐसी मृदा जो ऊर्ध्वाधर प्रभावी प्रतिबल के कभी भी अधीन नहीं होती है जोकि वर्तमान ऊर्ध्वाधर प्रभावी प्रतिबल से अधिक होता है सामान्य रूप से संघनित मृदा कहलाती है। इसे N_C से निरूपित करते हैं।

अर्थात् मृदा पर आ रहे वर्तमान अधिभार दाब के कारण ही मृदा पूर्णत: संघनित हो पाती है।

व्याख्या—(i) यदि वर्तमान प्रभावी प्रतिबल S', पूर्व संघनन प्रतिबल के बराबर है तो मृदा सामान्य रूप से संघनित मृदा कहलायेगी।

(ii) यदि वर्तमान प्रभावी प्रतिबल पूर्व संघनन प्रतिबल से कम है तो मृदा over संघनित मृदा कहलायेगी।

3. कम संघनित मृदा (Under-consolidated soil)—ऐसी मृदा जिस वर्तमान अत्यधिक दाब (over-burden) pressure या प्रतिबल के कारण पूर्णत: संघनित्र नहीं होती है कम संघनित मृदा (underconsolided soil) कहलाती है।

6.7.1. अधिक संघनन अनुपात (Over-consolidation ratio) OCR

यह पूर्व-संघनन दाब और वर्तमान अत्यधिक दाब का अनुपात होता है।

OCR = पूर्व-संघनन दाब (Pre-consolidation pressure)

वर्तमान अत्यधिक दाब (Present over burden pressure)

Note : OCR > 1, अधिक संघनित मृदा को प्रदर्शित करता है।

OCR = 1 सामान्य रूप से संघनित मृदा को प्रदर्शित करता है।

6.8. संघनन को प्रभावित करने वाले कारक (Factors affecting consolidation)

मृदा संघनन को प्रभावित करने वाले कारक निम्न हैं—

(a) **मृतिका परत की मोटाई** (Thickness of clay layer)—यदि मृतिका परत की मोटाई अधिक है तो मृतिका के स्वयं अत्यधिक (over-burden) दाब के कारण संघनन का मान अधिक होगा।

(b) **जल निकासी रास्ते की संख्या**—मृतिका नमूने में वह अधिकतम दूरी जो पानी के कणों को मुक्त जल निकासी परत तक पहुँचने में दर्शाती है जल निकासी रास्ता प्रदर्शित करता है।

यदि जल निकासी रास्ता जल कणों की यात्रा की दूरी से अधिक है तो संघनन के कारण जल मृदा परत से बाहर आ जाता है। अर्थात् जल कण अपनी यात्रा की दूरी कम कर देते हैं।

(c) **पारगम्यता गुणांक** (Coefficient of permeability)—यदि मृदा का पारगम्यता गुणांक अधिक है तो मृदा रन्ध्रों से जल बहुत आसानी से निकल जाता है। यहाँ संघनन अधिक होगा।

(d) **संघनन गुणांक** (Coefficient of consolidation)—संघनन गुणांक, संघनन अंश के समानुपाती होता है। यदि संघनन गुणांक अधिक है तो मृदा में संघनन भी अधिक होगा।

(e) **संघनित मृदा का परिमाण एवं वितरण** (Magnitude of the consolidating pressure and its distribution) संघनित दाब के कारण मृदा का संघनन और वितरण अत्यधिक प्रभावित होता है। यदि संघनित दाब अधिक है और समान रूप से पूर्ण क्षेत्रफल पर वितरित होता है, तो मृदा में संघनन भी अधिक होगा।

(f) **समय गुणांक** (Time factor)—संहनन समीकरण से हम जानते हैं कि

$$T_v = \frac{C_v t}{d^2}$$

इस समीकरण से स्पष्ट है कि संघनन गुणांक (C_v), समय गुणांक (time factor) T_v के समानुपाती है। यदि समय गुणांक (T_v) अधिक होगा, तो संघनन भी अधिक होगा।

6.9. कुल निषदन (Total settlement)

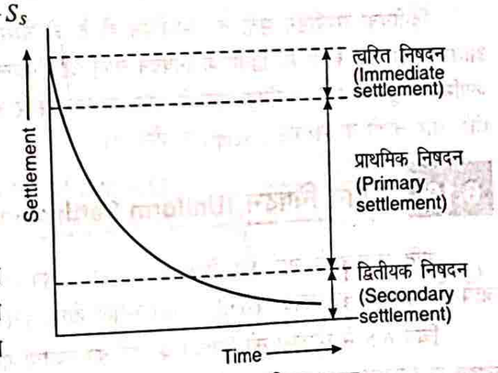
संतृप्त मृदा परत के ऊपर **लम्बी समयावधि** (long time period) में स्थैतिक दाब (static pressure) पर कुल सम्पीडन ही कुल निषदन कहलाता है। इसको S से प्रदर्शित करते हैं।

$$S = S_i + S_c + S_s$$

जहाँ S_i = तत्काल निषदन (immediate settlement)

S_c = संघनन निषदन or प्राइमरी निषदन (primary settlement)

S_s = द्वितीयक निषदन (secondary settlement)



चित्र 6.4–समय-निषदन वक्र

6.9.1. तत्काल निषदन (Immediate Settlement)

तत्काल निषदन वह भाग है जिसमें भार लगने पर तुरन्त प्राप्त होता है। मृदा परत पर तुरन्त सम्पीडन के कारण ही मुख्यत: यह प्राप्त होता है, जबकि निषदन अपवाहित (undrained) दशा में होता है अर्थात् मृदा रन्ध्रों से जल का निकास सम्भव नहीं है।

तुरन्त निषदन (immediate settlement) बेसिक निषदन (primary settlement) की तुलना में बहुत छोटा होता है।

6.9.2. संघनन निषदन अथवा बेसिक निषदन (Consolidation settlement of primary settlement)

बेसिक निषदन (primary settlement) वह भाग (portion) है जिसमें मृदा रन्ध्रों से जल का निष्कासन होता है। इस क्रिया के कारण मृदा रन्ध्रों के आयतन में कमी आ जाती है।

संघनन निषदन (consolidation settlement) S_c निम्न किसी भी विधि से ज्ञात किया जा सकता है।

(i) आयतन गुणांक m_v के परिवर्तन के आधार पर

$$S_c = m_v H_0 \Delta\sigma'$$

(ii) रन्ध्र अनुपात (Δe) के परिवर्तन के आधार पर—

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{e_0 - e}{1 + e_0}$$

$$S_c = \Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H_0$$

(iii) सम्पीडन सूचकांक (compression index) C_c के आधार पर

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{e_0 - e}{1 + e_0}$$

$$\Delta H = \frac{\Delta e - e}{1 + e_0} H_0 = \frac{C_c . \log \frac{\sigma'}{\sigma'_0} H_0}{1 + e_0}$$

$$S_c = \Delta H = \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'}{\sigma'_0} H_0$$

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} H_0 \qquad [\because \sigma' = \sigma'_0 + \Delta\sigma']$$

संघनित मृदा परत की सतह का नीचे की ओर संचालन संघनित निषदन कहलाता है।

संतृप्त मृदा पर भार लगने से संचालन आयतन की कमी के कारण होता है।

6.9.3. द्वितीयक निषदन (Secondary Settlement)

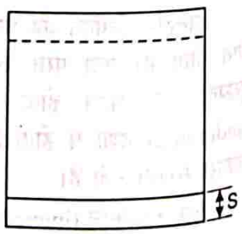
द्वितीयक सम्पीडन मृदा का सम्पीडन ही है जो बेसिक निषदन के बाद ही होता है। इसमें जल के निष्कासन की आवश्यकता नहीं होती है। द्वितीयक निषदन बालू और ग्रेवल में नगण्य होता है। किन्तु द्वितीयक निषदन का महत्त्व, उच्च प्लास्टिक मृतिकाओं, कार्बनिक मृदाओं और स्वच्छता स्तर करने में है। यह निषदन कार्बनिक पदार्थों के अपघटन होने से धीरे-धीरे कणों के सरकने (creep) से होता है।

6.10. समान निषदन (Uniform Settlement)

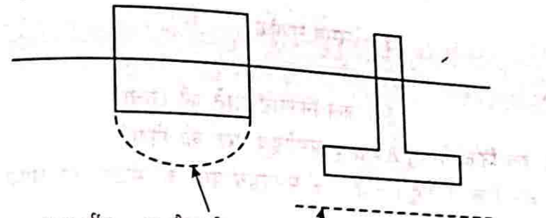
यदि संरचना के नीचे मृदा पिण्ड (soil mass) को समान रूप से दवाया (compress) जाये तो संरचना का निषदन (settlement) समान होगा। इसको समान निषदन कहते हैं।

चित्र 6.5 में संरचना को निषदन के पूर्व का दर्शाया गया है और बिन्दु युक्त (dotted) लाइन से निषदन के बाद की स्थिति को दर्शाया गया है।

यदि संरचना कठोर नींव पर है तो यहाँ भी समान निषदन होता है। चित्र 6.6 देखें।



चित्र 6.5–समान निषदन



चित्र 6.6–Rigid footing settlement profile

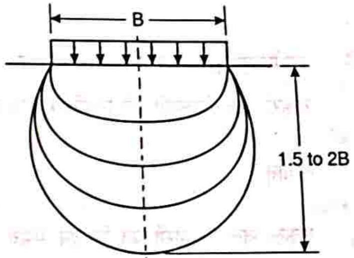
6.11. अन्तर निषदन (Differential settlement)

चित्र 6.7 के अनुसार पूरी तरह से लचीले भारित क्षेत्रफल मोटाई B को दाब वल्ब से प्रदर्शित किया गया है। प्रेरित ऊर्ध्वाधर प्रतिबल (Induced vertical stress) का मान भारित क्षेत्रफल (load area) की केन्द्र रेखा पर एवं भारित क्षेत्रफल के किनारों से नीचे समान गहराई पर इसके मान से सदैव अधिक रहता है। ऐसा अन्तर प्रेरित प्रतिबलों के कारण होता है अर्थात् किनारों की तुलना में केन्द्र पर निषदन अधिक होता है। यह निषदन असमान (uneven) होता है। इसलिये इसे अन्तर निषदन (differential settlement) कहते हैं।

अन्तर निषदन (differential settlement) दो नींवों के बीच निषदन अथवा एक ही नींव के दो बिन्दुओं के बीच निषदन का अन्तर है।

यह मुख्यत: मृदा की असमानताओं एवं संरचनात्मक भारों में अन्तर के कारण होता है।

अन्तर निषदन (differential settlement) समान निषदन (uniform settlement) से बहुत अधिक खतरनाक होता है। इसके कारण संरचना विफल हो जाती है।



चित्र 6.7–प्रेरित ऊर्ध्वाधर प्रतिबल

व्याख्या—संरचना के नीचे की मृदा में सिकुड़न, फैलाव व दूर हटना अन्तर निषदन के अन्तर्गत होता है। इसका कारण मृदा की सूखी स्थिति (drought condition) होता है। जैसे—पेड़ों की जड़ों का फैलना, उचित जल निकासी न होना, पाला (frost), जल निकासी पाइपों का टूटना, संरचना के पास हो रहे अन्य निर्माण कार्यों के कम्पन (vibration) के कारण और, कमजोर मृदा का भराव आदि।

6.12. निषदन की दर (Rate of Settlement)

निषदन की दर वह समय है जोकि कुल निषदन का कुछ प्रतिशत प्राप्त करता है।

निषदन की दर निम्नलिखित कारकों पर निर्भर करती है—

(i) मृदा परत की मोटाई

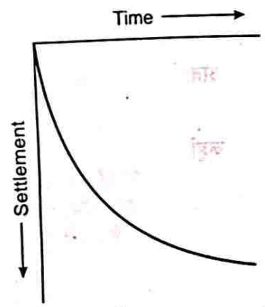
(ii) मृदा की पारगम्यता

(iii) अपवाह नालियों की संख्या (drainge faces)

(iv) अप्रयुक्त भार का परिमाण (magnitude of applied load)

(i) निषदन की दर की गणना निम्न सूत्र से करते हैं—

$$T = \frac{C_v t}{h^2}$$



चित्र 6.8–निषदन समय वक्र

जहाँ T = समय गुणांक

C_v = संघनन गुणांक

h = जल निकासी रास्ते की लम्बाई

एकल जल निकासी हेतु $h = d$ = सम्पीड्य परत की मोटाई

दोहरी जल निकासी हेतु $h = d/2$ = सम्पीड्य परत की मोटाई का आधा

एकल जल निकासी हेतु $$T = \frac{C_v t_1}{d^2}$$

$$\boxed{t_1 = \frac{Td^2}{C_v}} \qquad [\because h = d]$$

दोहरी जल निकासी हेतु $$T = \frac{C_v t_2}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{4C_v t_2}{d^2}$$

$$t_2 = \frac{Td^2}{4C_v} = \frac{t_1}{4} \qquad ...(i)$$

समीकरण (i) से स्पष्ट है निषदन का प्रतिशत समय (time) से लिया जाता है।

दोहरी जल निकासी की स्थिति में एकल जल निकासी में लिये गये समय का $\frac{1}{4\pi}$ लिया जाता है।

अर्थात् $$\boxed{t_2 = \frac{1}{4} t_1}$$

एकल जल निकासी का निषदन समय दोहरी जल निकासी के निषदन समय से 4 गुना कम है अर्थात् दोहरी जल निकासी में एकल जल निकासी के समय से 4 गुना अधिक है।

$$\boxed{t_1 = 4t_2}$$

(ii) $$U = \frac{S}{S_1} \times 100$$

जहाँ U = संघनन अंश (degree of consolidation)

S = निषदन (किसी भी समय) t

S_1 = कुल निषदन

$$S_1 = H \frac{C_c}{1+e_0} \log_{10} \frac{\sigma'}{\sigma'_0}$$

अत: $$\boxed{S = \frac{U \times S_1}{100}}$$

जहाँ C_c = सम्पीड्न सूचकांक

$\sigma' = \sigma'_0 + \Delta\sigma'$

σ'_c = प्रारम्भिक प्रभावी दाब

H = मृदा परत की मोटाई

6.13. निर्माण संक्रिया और जल स्तर के नीचे गिरने से निषदन (Settlement due to construction operation and lowering of water table)

मशीनों से उत्पन्न कम्पन्न गतिज बलों (dynamic force) को बढ़ा देते हैं। यह कम्पन्न, जैसे—टरबों जनरेटर, टरबाइन आदि, पाइल गाड़ने की संक्रियाओं, विस्फोटकों, भूकम्पों या अन्य दूसरे प्रकार के आघातों (impacts) द्वारा उत्पन्न होते हैं और मृदा में निषदन उत्पन्न करके संरचनाओं को विफल कर देते हैं। असंजक मृदाओं (non-cohesive soil) में निषदन अपेक्षाकृतससंजक मृदाओं से अधिक होता है।

इसी प्रकार सुरंग बनाने से भूतल पर बनी संरचनाओं में विफलता उत्पन्न होती है। दरारें भी स्पष्ट होने लगती हैं। इनको न्यूनतम करने के लिये अभियंताओं ने सुरंग बनाने की तकनीकी में सुधार किये हैं। इससे स्पष्ट है कि निर्माण संक्रिया में कार्य कर रही मशीनरी या अन्य कारण मृदा निषदन को बढ़ावा देते हैं।

गहरी खाइयाँ खोदकर गहरी नींव खोदकर जो निर्माण कार्य कराये जाते हैं ऐसे कार्यों में सबसे बड़ी समस्या जल स्तर की आती है। जल-स्तर बिना कम किये कारीगरों से कार्य कराया जाना सम्भव नहीं क्यों कि सूखी अवस्था में ही कार्य कराये जा सकते हैं। अत: जल को पम्पिंग करके जल स्तर को गिराना पड़ता है। इसमें बलुई मृदाओं में जल स्तर कम करने से मृदा निषदन पर प्रभाव नहीं पड़ता है, जबकि मृतिकामय मृदाओं का जल-स्तर गिराने से मृदा निषदन पर बहुत खराब (bad) प्रभाव पड़ता है।

6.14. उठना (Heaving)

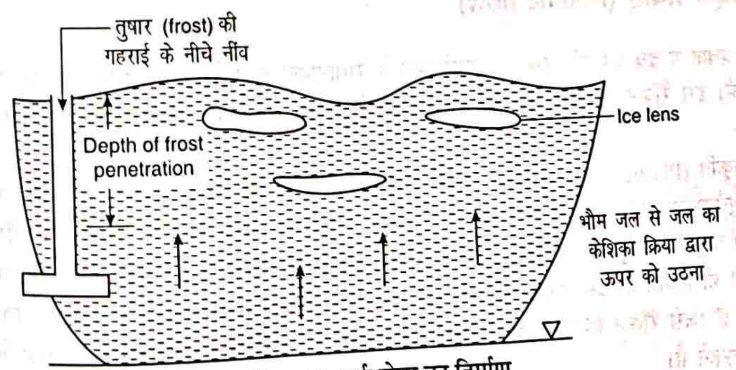
मृदा गीली अवस्था में फूलती (swell) है तो मृदा में फैलाव (expansion) होता है। इसमें भूमि (ground) ऊपर को संचालन करके ऊपर उठती है। इस क्रिया को heaving कहते हैं।

इसके विपरीत दूसरी क्रिया संरचना के भार के कारण मृदा नीचे की ओर धँसती है। इसे निषदन (settlement) कहते हैं।

ऐसे क्षेत्र जहाँ पर मृदा पर बर्फ जमती है (freezing) यहाँ जमीन तल के नीचे बर्फ हो जाने से भूमि तल ऊपर को संचालन करने लगता है। ऐसी घटना तुषार हीव (frost heave) कहलाती है।

(i) जब मृदा पर बर्फ जमती है तब रन्ध्रों का पानी 9% आयतन बढ़ा देता है और मृदा आयतन में 4% प्रसार कर लेती है इस प्रकार मृदा में उठान (heaves) समान रूप से होते हैं और कम विफलता होती है।

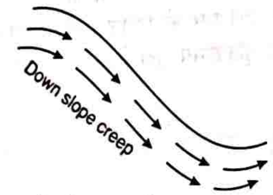
(ii) यदि भौमजल-तल ऊपर है तो केशिका क्रिया द्वारा जल तुषार (frozen zone) क्षेत्र में पहुँच जाता है। यह व्यवस्था चित्र 6.9 में दर्शायी गई है। यह प्रक्रिया जल को अधिक मात्रा में पहुँचाती है जिससे heaves 12 इंच अथवा इससे अधिक हो जाती है और अनियमित (irregular) होती है और सिविल इन्जीनियरिंग कार्यों में अधिक विफलता पैदा करते हैं। Heave (हीव) की समस्या सामान्यत: निम्न सिविल इन्जी० कार्यों में आती है। जैसे—छोटे भवन, सड़क, फुटपाथ, बाँध और स्पिल-वे (spillway) आदि।



चित्र 6.9–बर्फ लेन्स का निर्माण

6.15. विसर्पण (Creep)

विसर्पण (creep) मन्द (slow) और लम्बे समय में खड़ी ढलान में मृदा कणों की गति (संचालन) को दर्शाता है। मृदा कणों की गति प्रति वर्ष के अनुसार mm में होती है इसमें मृदा कणों का गुरुत्व ढलान की ओर होता है जिससे मृतिका में अपरूपण प्रतिबल तुषार क्रिया (heaving), फैलना और सिकुड़ना होता है। यदि मृदा का अपरूपण प्रतिबल इसके अपरूपण सामर्थ्य से 70% से अधिक हो जाता है। मन्द अपरूपण (slow shear) अथवा विसर्पण (creep) शुरू हो जाता है। कुछ मृदायें महत्वपूर्ण विसर्पण प्रकट करती हैं। जब मृतिका में अपरूपण प्रतिबल, अपरूपण सामर्थ्य से 50% अधिक हो तो विसर्पण गहराई (deplh) की तरफ 0.3 से 5 m फैलती है। यह अधिकतम दूरी भूमि तल से होती है। संक्षेप में विसर्पण का संरचनाओं में कम महत्त्व है। किन्तु लम्बी अवधि में मृदाओं में विसर्पण (creep) संरचनाओं में महत्त्वपूर्ण विकृतियाँ (distortions) उत्पन्न करती है। विसर्पण के कारण मृदा पहाड़ी से नीचे की ओर गति करती है। मूल मृदा से अलग तरह का पदार्थ उत्पन्न करती है। ऐसी विसर्पण को रोकने के लिये मृदाओं में उच्च सुरक्षा गुणांक लेकर कार्य करना चाहिये।



विसर्पण (Creep)
- सतत (Continuous) (गुरुत्व बल द्वारा)
- मौसमी (Seasonal) (मृतिकामय मृदाओं में जलांश और तापक्रम के परिवर्तन से)

चित्र 6.10

6.16. संघनन और निषदन (Consolidation & Settlement)

मृदा संहति (soil mass) पर संरचना का भार स्थानान्तरित होने के कारण मृदा रन्ध्रों से जल निकासी के कारण जल द्वारा वहन किया जाने वाला दाब मृदा कणों द्वारा वहन किया जाता है।

संघनन का परिणाम ही निषदन होता है जिससे संरचना भूमि तल के नीचे निर्माण के बाद धँस जाती है।

6.17. सुघट्य प्रवाह (Plastic flow)

किसी भी प्रवाह में द्रव की गति उस पर लगाये बल के समानुपाती होती है। पदार्थ में विकृति उस पर लगाये गये बल कारण होती है। इसे रैंकिन सिद्धान्त की मूल मान्यताओं से समझा सकते हैं। दीवार/पदार्थ में विचलन सुघट्य प्रवाह हलाता है।

सुघट्य विकृति (Plastic deformation) अनेकों धातुओं के बनाने की क्रिया में होती है (जैसे-रोलिंग, प्रेसिंग एवं गैंग), किन्तु भूवैज्ञानिक तरीके से (चट्टानों का मुड़ना) और चट्टानों का प्रवाह पृथ्वी में उच्च दाब और बढ़े हुये तापक्रम ारण होता है। चट्टानों का मुड़ना (folding of rocks) एवं चट्टानों का प्रवाह (flow of rocks) सुघट्य विकृति (plastic rmation) की ही स्थिति है। इस स्थिति को भी मृदा दाब और प्रतिधारक संरचनाओं में सुघट्य संतुलन की स्थिति से जा सकता है जिसे रैंकिन सिद्धान्त द्वारा समझा जा सकता है। इसमें दीवार/प्रतिधारक संरचनाओं के विचलन को प्रवाह भी कहते हैं।

6.18. पार्श्व विचलन (Lateral movement)

पार्श्व विचलन को मृदा दाब और प्रतिधारक संरचनाओं के साथ सक्रिय मृदा दाब, निष्क्रिय मृदा दाब को समझते हुये प्रतिधारक संरचनाओं में सुघट्य विरूपण एवं भराव वाले पदार्थों में कुल दाब को पार्श्व दाब (lateral pressure) अथवा पार्श्व विचलन से भराव वाले पदार्थों में गति (movement) होती है। इस स्थिति को रैंकिन सिद्धान्त द्वारा समझाया जा सकता है जिसमें रैंकिन ने सुघट्य सन्तुलन की अवस्था की संकल्पना की है।

मृदा दाब एवं प्रतिधारक संरचनायें

6.18.1. परिचय (Introduction)

मृदा अथवा अन्य पदार्थ यदि किसी भी संरचना के पीछे भरी जाती है, संरचना पर मृदा दाब डालती है। भराव वाले पदार्थ; जैसे—मृदा, बालू आदि स्वयं रुक नहीं सकते हैं बल्कि संरचनाओं के सहारे रुक सकते हैं, इसलिये इन संरचनाओं का अभिकल्पन करना पड़ता है, क्योंकि इन संरचनाओं पर मृदा दाब आता है।

6.18.2. मृदा दाब को रोकने वाली संरचनायें

1. धारक दीवारें (Retaining Walls)—मृदा को रोकने वाली संरचनायें धारक दीवारें कहलाती हैं। यदि बालू, मृदा आदि को किसी स्थान पर भरा जाये, ये पदार्थ बिना सहारे के ऊर्ध्वाधर नहीं रह सकते हैं, बल्कि एक प्राकृतिक ढाल (Slope) बनाते हैं। **क्षैतिज से सामग्री का ढाल विश्राम कोण (Angle of Repose) कहलाता है।** यह कोण सामग्री (बालू, मिट्टी) की प्राकृतिक स्थिति पर होता है।

संरचना के पीछे भरा पदार्थ पश्च भराव (Backfill) होता है।

2. अन्तयाधार—ये संरचनायें पुल का आधार कहलाती हैं। इन पर भी मृदा का दाब आ जाता है अतः इनका अभिकल्पन करना पड़ता है।

3. तख्ताबन्दी—खुदाई के समय मृदा को रोकने हेतु तख्ताबन्दी का प्रयोग होता है। यहाँ भी मृदा दाब आता है।

4. काफर बाँध—निर्माण कार्यों; जैसे—पुलों आदि में मृदा को अस्थायी रूप से रोकने हेतु एवं जल प्रवाह का मार्ग बदल कर निर्माण कार्यों हेतु काफर बाँध प्रयोग किये जाते हैं। इन पर मृदा दाब, जल दाब आता है।

6.19. मृदा दाब (Earth pressure)

प्रतिधारक दीवार द्वारा रोके जाने वाला पश्च-भराव (Backfill) के कारण दीवार के पृष्ठ भाग पर कार्य करने वाला दाब मृदा दाब (Earth Pressure) कहलाता है।

संरचना पर कार्य करने वाला मृदा दाब निम्न तीन प्रकार का हो सकता है—

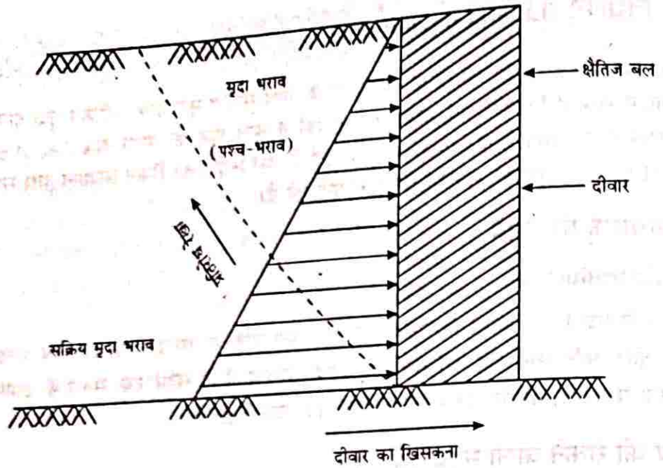
(i) सक्रिय मृदा दाब (Active Earth Pressure)

(ii) निष्क्रिय मृदा दाब (Passive Earth Pressure)

(iii) विराम स्थिति में मृदा दाब (Earth Pressure at Rest)

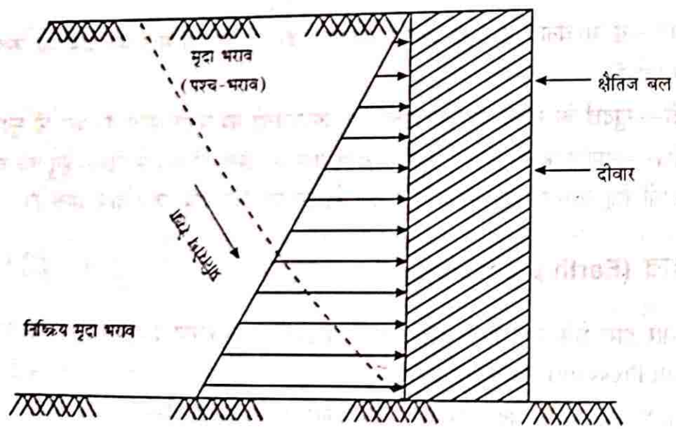
(i) सक्रिय मृदा दाब (Active Earth Pressure)—इस स्थिति में जब **पश्च-भराव** की मृदा के दाब के कारण दीवार **पश्च-भराव** से दूसरी तरफ आगे को विचलित होने लगे इस दाब को **सक्रिय मृदा दाब** कहते हैं अर्थात् सक्रिय दाब के कारण दीवार मृदा से दूसरी ओर खिसकने की स्थिति में हो जाती है। चित्र 6.11।

नोट—पश्च-भराव (Backfill)—संरचना/दीवार के पीछे भरा जाने वाला पदार्थ (जैसे—बालू, मिट्टी, राख)



चित्र-6.11 : सक्रिय मृदा दाब

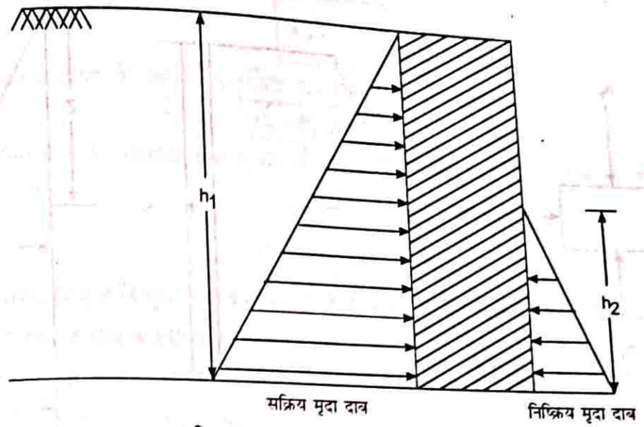
(ii) निष्क्रिय मृदा दाब (Passive Earth Pressure)—संरचना/दीवारों पर सामने की ओर से क्षैतिज बल इस प्रकार कार्य करे कि दीवार का विचलन पश्च-भराव की ओर होने लगे, जिससे संरचना पश्च-भराव पर दबाव डालती है। इस प्रकार का दाब निष्क्रिय दाब (Passive Earth Pressure) कहलाता है। (चित्र 6.12 देखें)



चित्र-6.12 : निष्क्रिय मृदा दाब

(iii) विराम स्थिति में मृदा दाब (Earth Pressure at Rest)—यदि संरचना/दीवार जिसके पीछे पश्च-भराव हो तथा आगे से कोई क्षैतिज बल कार्य कर रहे हों या संरचना/दीवार बहुत मजबूत हो जिससे दीवार का विचलन आगे-पीछे न हो सके तो ऐसी स्थिति में मृदा दाब को **विराम स्थिति में मृदा दाब** कहते हैं (चित्र 6.13 देखें)। इसे पार्श्व दाब (lateral pressure) भी कह सकते हैं।

नोट—इस दाब का गुरुत्व केन्द्र दीवार की तली से $H/3$ ऊँचाई पर स्थित होगा। इस स्थिति में दीवार में कोई विस्थापन नहीं होगा और वह विश्राम की स्थिति में बनी रहती है।



चित्र-6.13 : विराम स्थिति में मृदा दाब

6.20. रैंकिन मृदा दाब सिद्धान्त (Rankine's theory of earth pressure)

मृदा दाब का अध्ययन अलग-अलग शोधकर्त्ताओं ने किया, स्वयं के अनुसार सिद्धान्त प्रतिपादित किये जिसमें रैंकिन, टरजागी, कूलम्ब के सिद्धान्त सबसे अधिक मान्यता प्राप्त हैं।

सन् 1860 में रैंकिन ने प्रतिधारक दीवारों (Retaining walls) पर सिद्धान्त प्रतिपादित किया। रैंकिन ने यह सिद्धान्त असंजक मृदाओं के लिये प्रतिपादित किया। सन् 1910 में रेसल एवं 1915 में बैल (Bell) ने ससंजक मृदाओं के लिये अध्ययन को बढ़ाया एवं सिद्धान्त प्रतिपादित किया।

6.21. रैंकिन सिद्धान्त की मूल मान्यतायें

(i) रैंकिन ने अपने सिद्धान्त में **सुघट्य सन्तुलन** की अवस्था (State of plastic equilibrium) की संकल्पना की है।

(ii) रैंकिन ने प्रतिधारक दीवार को **ऊर्ध्वाधर व चिकना** अर्थात् घर्षण रहित स्वीकार किया है जबकि वास्तव में प्रतिधारक दीवार की सतह रूक्ष (Rough) होती है। इस कारण मृदा दाब के मान की गणना करने पर वास्तविक मान से भिन्नता हो सकती है।

(iii) प्रतिधारक दीवार के पीछे मृदा को समांग, शुष्क एवं असंजक (Cohesionless) स्वीकार किया है।

(iv) पश्च-भराव (Backfill) की मृदा की सतह को क्षैतिज या नत स्वीकार किया है।

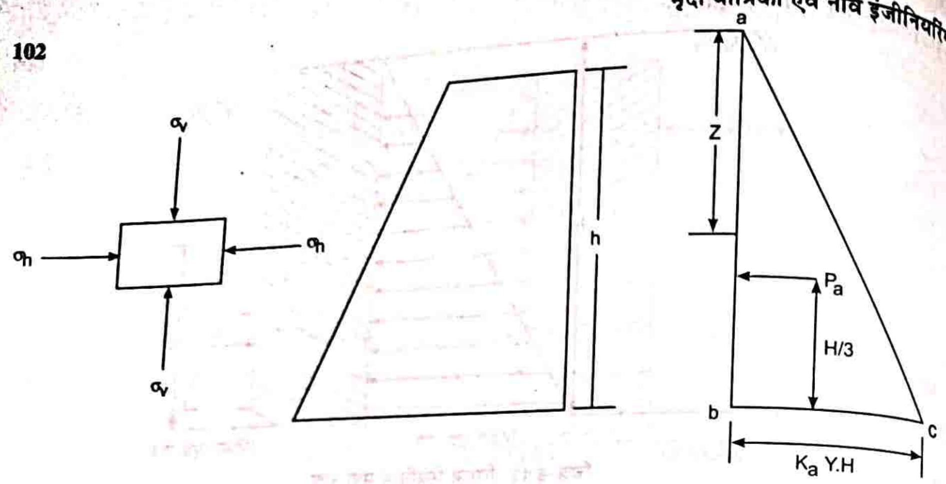
(v) दीवार में विचलन सुघट्य विरूपण (Plastic deformation) के रूप में स्वीकार किया है।

नोट—अथवा इसे सुघट्य प्रवाह (Plastic flow) भी कहते हैं।

6.22. सक्रिय मृदा की गणना

शुष्क, असंजक मृदा जिस पर कोई अधिभार न हो।

चित्र से स्पष्ट है, यहाँ एक प्रतिधारक दीवार है जिसके पीछे असंजक शुष्क मृदा का भराव है। प्रतिधारक दीवार की ऊँचाई h है। दीवार की सतह से Z गहराई पर मृदा के एक छोटे अंश पर विचार करेंगे।



चित्र-6.4

नोट—सक्रिय दाब की स्थिति में मृदा दाब के कारण दीवार बाहर की ओर विचलित होगी। उस समय मृदा या (पश्च-भराव) में सुघट्य सन्तुलन की सक्रिय अवस्था को प्राप्त होती है।

इस अवस्था में ऊर्ध्वाधर दाब σ_v एवं क्षैतिज दाब σ_h उत्पन्न हो जाते हैं। यहाँ σ_1 एवं σ_2 प्रतिबल उत्पन्न होते हैं।

जहाँ,

σ_1 = ऊर्ध्वाधर अक्ष P_v पर

σ_2 = क्षैतिज अक्ष P_v पर प्रतिबल है।

यहाँ पर P_V Major प्रतिबल एवं P_h Minor प्रतिबल होते हैं।

अत: $\sigma_1 = \sigma_2 \tan^2(45° + \frac{\phi}{2}) + 2C\sqrt{\tan(45° + \frac{\phi}{2})}$ $N\phi = (45° + \frac{\phi}{2})\tan^2(45° + \frac{\phi}{2})$

$N\phi$ को बहाव मान (Flow value) कहते हैं।

असंजक मृदा के लिये $C = 0$ होगा।

अत: $$\frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \frac{1}{\tan^2(45° + \frac{\phi}{2})} = \cot^2(45° + \frac{\phi}{2})$$

जहाँ σ_h = पार्श्विक मृदा दाब $= P_a$

σ_v = ऊर्ध्वाधर दाब $= YZ$

अत: $$P_a = YZ\cot^2(45° + \frac{\phi}{2})$$

$$= K_a YZ$$

जहाँ K_a = सक्रिय मृदा दाब गुणांक

अत: $$\cot^2(45° + \frac{\phi}{2}) = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$$

जहाँ,

Y = मृदा का घनत्व (Density)

P_a = सक्रिय मृदा दाब (Active earth pressure)

ϕ = घर्षण कोण (Angle of Internal friction)

K_a = सक्रिय मृदा दाब गुणांक (Coefficient of active earth pressure)

अत: $$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$$

1. यदि प्रतिधारक दीवार के आधार पर सक्रिय दाब तीव्रता जहाँ $Z = h$ है,

तब $$P_a = K_a Yh$$

2. यदि प्रतिधारक दीवार (Retaining wall) की इकाई लम्बाई पर कुल सक्रिय दाब P_a का मान त्रिभुजाकार मानकर क्षेत्रफल ज्ञात करें।

तब $$P_a = \frac{1}{2}K_a YH^2$$

यह दाब वितरण त्रिभुज के गुरुत्व केन्द्र पर कार्य करेगा अत: आधार से $h/3$ या सतह से $2h/3$ पर कार्य करेगा।

यदि पश्च-भराव निमग्न है (Back Fill is Submerged)—

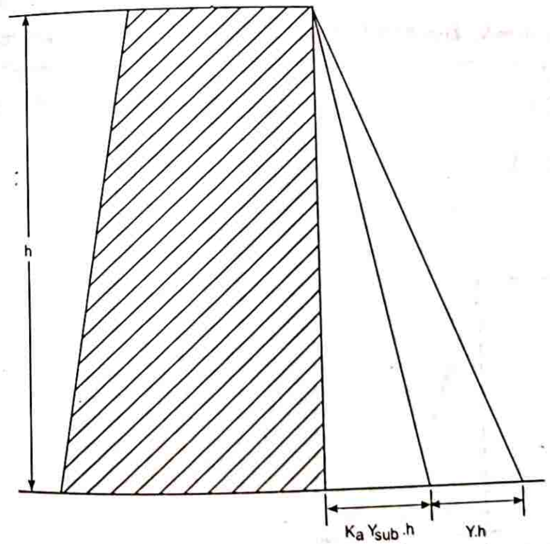
यदि प्रतिधारक दीवार के पीछे भरा पदार्थ निमग्न स्थिति में है तो सक्रिय मृदा दाब निम्न दो घटकों से बनता है—

(i) मृदा के निमग्न घनत्व के कारण (Submerged Density)

(ii) जल के कारण

(A) सक्रिय मृदा दाब (निमग्न स्थिति में)

$$P_a = K_a Y_{sub}.h + Y_w h$$



चित्र-6.15 : दाब वितरण

जहाँ,

P_a = सक्रिय मृदा दाब, kg/m^3

K_a = सक्रिय मृदा दाब गुणांक

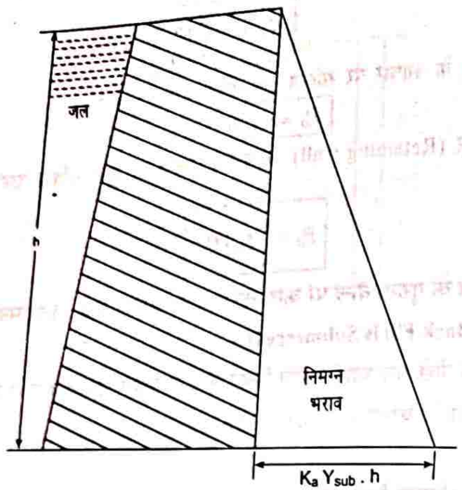
Y_{sub} = निमग्न घनत्व, g/cm^3

Y_w = जल का घनत्व, g/cm^3

(B) सक्रिय मृदा दाब (यदि दीवार के एक ओर जल + दूसरी ओर मृदा निमग्न हो)

$$P_a = K_a Y_{sub}.h$$

शुद्ध सक्रिय मृदा दाब

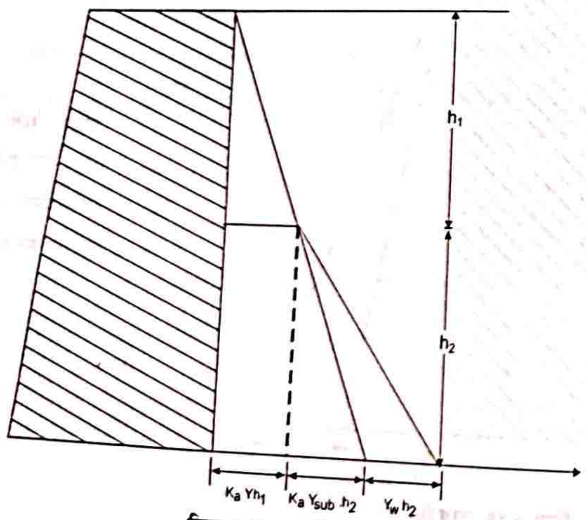


चित्र-6.16 : दाब वितरण

(C) सक्रिय मृदा दाब (पश्च-भराव आंशिक निमग्न) (Backfill Partially Submerged)

आधार पर दाब तीव्रता का मान

$$P_a = K_a \gamma h_1 + K_a \gamma_{sub} h_2 + \gamma_w h_2$$



चित्र-6.17 : दाब वितरण

6.23. निष्क्रिय मृदा दाब की गणना

इस अवस्था में ऊर्ध्वाधर मृदा दाब को अर्थात् P_V को स्थिर माना गया है।

अतः: P_V = Minor प्रतिबल

P_h = Major प्रतिबल

जहाँ, P_P = निष्क्रिय मृदा दाब

K_P = निष्क्रिय दाब गुणांक

अतः: $P_h = P.N\phi = 2C\sqrt{N\phi}$

$C = 0$ हेतु

$$\frac{P_h}{P_V} = N\phi = KP$$

$N\phi = \tan^2 (45° + \frac{\phi}{2})$ by Mohr Circle.

अतः: $$K_P = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$$

नोट—निष्क्रिय मृदा दाब > विश्राम की स्थिति में दाब > सक्रिय मृदा दाब

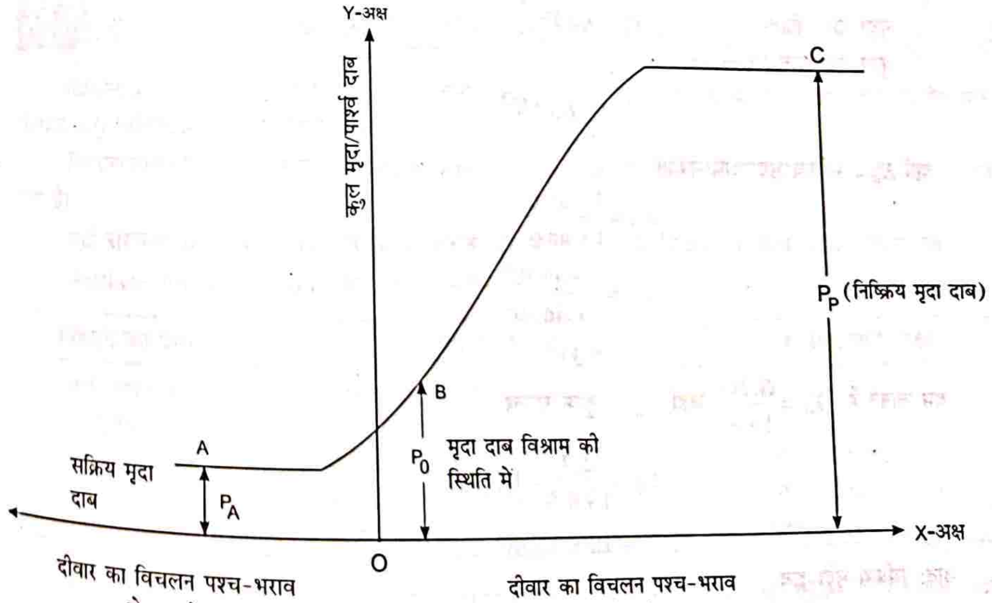
दीवार के आधार पर

निष्क्रिय मृदा दाब (Passive Earth Pressure) $P_P = \frac{1}{2} K_a . Y . h^2$ होगा।

उपरोक्त दाब P_P त्रिभुज का क्षेत्रफल ही होगा।

6.24. मृदा दाब व दीवार की गति में सम्बन्ध (Relation between movement of (Earth pressure/lateral pressure) and wall)

मृदा दाब एवं दीवार की गति का सम्बन्ध ग्राफ से दर्शाया गया है। इस ग्राफ में कुल मृदा दाब को Y-अक्ष पर ऊर्ध्वाधर दिखाया जाता है एवं मूल बिन्दु से दाँयी ओर दीवार का विचलन/गति पश्च-भराव की ओर एवं मूल बिन्दु से बाँयी ओर दीवार की गति को पश्च-भराव से दूर होना दर्शाया गया है।



चित्र-6.18 : मृदा दाब एवं दीवार की गति का ग्राफ

ग्राफ पर मृदा दाब भी दर्शाये गये हैं। सक्रिय मृदा दाब, विश्राम की स्थिति में मृदा दाब एवं निष्क्रिय मृदा दाब को ग्राफ वक्र रेखा से दर्शाया जाता है।

जहाँ P_A = सक्रिय मृदा दाब (Active Earth Pressure)

P_o = विश्राम की स्थिति में मृदा दाब (Earth Pressure at Rest)

P_P = निष्क्रिय मृदा दाब (Passive Earth Pressure)

O = ग्राफ में मूल बिन्दु (Origin); विचलन अर्थात् गति

जब पश्च-भराव का पदार्थ जो कि दीवार के पीछे होता है प्रतिधारक दीवार पर बल लगाता है। यह दाब परिवर्तनशील है। पूर्व में दाबों के विषय में वर्णन किया जा चुका है। जब पश्च-भराव की मृदा के दाब के कारण दीवार पश्च भराव से दूसरी तरफ आगे को विचलित होने लगे **सक्रिय मृदा दाब** होगा जिसे P_A कहते हैं। इसे ग्राफ में दर्शाया गया है।

जब दीवार में कोई गति/खिसकन नहीं होती है, दीवार अपनी स्थिति पूर्ण रूप से आबद्ध (fixed) रखती है। उस दशा में **मृदा दाब विश्राम की स्थिति** में होगा जिसे ग्राफ पर P_0 से दर्शाया गया है जो कि Y-अक्ष पर B बिन्दु पर वक्र रेखा काटती है।

यदि दीवार आगे को सरकने लगे अर्थात् गति करे तो विश्राम की स्थिति से मृदा दाब घटने लगेगा और वह न्यूनतम हो जायेगा। वह न्यूनतम दाब सक्रिय दाब होगा जैसा ग्राफ में A बिन्दु पर दर्शाया गया है।

यदि दीवार पर क्षैतिज बल लगाया जाये और उसे धक्का दिया जाये तो B बिन्दु से मृदा दाब बढ़ना शुरू हो जायेगा जैसा ग्राफ में दर्शाया गया है। एक स्थिति में मृदा दाब बहुत अधिक (Maximum) हो जायेगा। कुछ समय पश्चात् दाब स्थिर होना शुरू हो जायेगा जिसे बिन्दु C पर ग्राफ द्वारा दर्शाया गया है। ऐसा दाब निष्क्रिय दाब कहलायेगा।

उदाहरण 6.1—एक 6 मी० ऊँची कैन्टीलीवर प्रतिधारक दीवार जो बालू को रोकती है जिसका रिक्तता अनुपात 0.5, आन्तरिक घर्षण कोण 30° तथा विशिष्ट गुरुत्व 2.7 है। रैंकिन सिद्धान्त का प्रयोग करते हुये बालू के शुष्क होने की दशा में सक्रिय मृदा दाब ज्ञात कीजिये। *(B.T.E. U.P. 2001)*

हल—रेत के लिये ससंजन $C = 0$

मृदा दाब तीव्रता $P_a = K_a Yh$

कुल मृदा दाब (Active)

$$P_a = \frac{1}{2} K_a YH^2$$

जहाँ K_a = सक्रिय मृदा दाब गुणांक

$$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-\sin 30°}{1+\sin 30°} = 0.33$$

हम जानते हैं $Y_d = \frac{G.Yw}{1+e}$ जहाँ Y_d = शुष्क घनत्व

$$Y_d = \frac{2.7}{1+0.5} = 1.8 \text{ g/cm}^3 = 1800 \text{ kg/m}^3$$

अत: सक्रिय मृदा दाब

$$P_a = 0.33 \times 1800 \times (6)^2 = 21600 \text{ kg}$$

उत्तर

उदाहरण 6.2—एक प्रतिधारक दीवार जिसकी ऊँचाई 6.00 मी० है, पर निष्क्रिय मृदा दाब की गणना कीजिए यदि मृदा शुष्क है एवं आन्तरिक घर्षण कोण 30° तथा घनत्व 1.8 gm/cm³ है। अत: मृदा दाब की कार्य करने की ऊँचाई धारक दीवार के आधार से ज्ञात करें। भौम जल स्तर के प्रभाव को नगण्य मानें।

हल—ज्ञात है—

$H = 6$ मी०

$Y = 1.8$ ग्राम/सेमी०^3

$\phi = 30°$

अत: निष्क्रिय मृदा दाब गुणांक

$$K_P = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \frac{1+\sin 30°}{1-\sin 30°} = 3$$

$$\text{निष्क्रिय मृदा दाब} = \frac{1}{2} K_P YH^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 3 \times 1800 \times (6)^2 \quad [\because Y = 1.8 \text{ g/cm}^3 = 1800 \text{ kg/m}^3]$$

$$= 3 \times 900 \times 36$$

$$= 97200 \text{ kg}$$

उत्तर

यह निष्क्रिय मृदा दाब शीर्ष से $h/3$ तथा आधार से $2h/3$ पर कार्य करेगा।

अत: $2h/3 = \frac{2\times 6}{3}$

$= 4.00$ मी० की ऊँचाई पर कार्य करेगा। उत्तर

6.25. विभिन्न संरचनाओं के लिये सहनीय निषदन (Tolerable settlement for different structures)

विभिन्न प्रकार के पदार्थों से निर्मित एवं संरचना के लिये बनायी गई नींवों हेतु सहनीय निषदन हेतु भारतीय मानक संस्थान द्वारा विभिन्न संस्तुतियाँ बतायी गयी हैं।

निम्नलिखित तालिका में अन्तर निषदन (differential settlement) हेतु सीमान्त गुणांक एवं अधिकतम निषदन दर्शाया गया है।

यहाँ संरचना की ऊँचाई = H और W = संरचना की चौड़ाई, L = दो बिन्दुओं के बीच अलग-अलग निषदन

Aesthetic एवं serviceability हेतु आवश्यकता—

निषदन का प्रकार	सीमान्त गुणांक	अधिकतम निषदन
अन्तर निषदन (Diff. settlement)	प्लास्टर में दरारें पड़ना	0.001L
	प्रबलित कंक्रीट फ्रेम वाला भवन	0.0025–0.004L
	प्रबलित कंक्रीट भवन निश्चित दीवारों युक्त	0.003L
	सतत फ्रेम इस्पात	0.002L

भवनों में सहनीय निषदन हेतु भारतीय मानक संस्थान द्वारा स्वीकार्य निषदन हेतु उचित सुरक्षा गुणांक (factor safety) लेकर कार्य कराये जाने हेतु संस्तुति की है।

नीचे तालिका में विभिन्न संरचनाओं हेतु अनुज्ञेय निषदन (allowable settlement) दर्शाया गया है साथ ही सीमान्त गुणांक (limiting factor) भी दर्शाया गया है।

Type of settlement	Limiting factor	Maximum settlement
Total settlement	1. चिनाई दीवार वाली संरचना	2.5-5 cm
	2. Framed structure (फ्रेम युक्त संरचना)	5-10 cm
	3. चिमनी, सीलो mats	8-30 cm

नोट—स्थूणा नींव (Pile foundation) के लिये अनुज्ञेय निषदन का मान 15.6 mm स्वीकार्य है जिसमें 2.1 mm पाइल की विकृति (pile deformation) भी सम्मिलित है। नींव निषदन पाइल के व्यास का 2% से अधिक नहीं होना चाहिये।

विशेष सूत्र—

(i) $T_v = \dfrac{C_v t}{d^2}$

(ii) $C_v = \dfrac{K}{m_v \gamma_w}$

(iii) $m_v = \dfrac{a_v}{1+e_0}$

(iv) $a_v = \dfrac{\Delta e}{\Delta \sigma}$

(v) $u\% = \dfrac{S}{S_1} \times 100$

(vi) $S_1 = H \dfrac{C_0}{1+e_0} \log_{10} \dfrac{\sigma'}{\sigma'_0}$

(vii) $C_c = \dfrac{e_0 - e}{\log \dfrac{\sigma'}{\sigma'_0}}$

प्रश्नावली

1. निम्न को परिभाषित कीजिये—
   (i) सरकन (creep)
   (ii) हीविंग (heaving)
   (iii) फूलना (swelling)
   (iv) सुघट्य प्रवाह
2. निम्न को परिभाषित कीजिये—
   (i) संपीडन सूचकांक (Compression index)
   (ii) संघनन गुणांक (Coefficient of consolidation)
   (iii) संघनन अंश (Degree of consolidation)
3. (i) संघननमापी (Consolidometer) क्या है और इसका प्रयोग कहाँ होता है।
   (ii) स्वच्छ चित्र बनाकर संघननमापी को fixed ring consolidation cell द्वारा समझाइये।
4. मृदा निषदन (soil settlement) से आप क्या समझते हो?

5. (i) निषदन का प्रभाव क्या होता है?
   (ii) जल स्तर के गिरने से निषदन किस प्रकार होता है?
6. निम्नांकित में अन्तर समझाइये—
   (i) संहनन और संघनन
   (ii) पूर्व संघनित मृदा और सामान्य संघनित मृदा
   (iii) संघनन गुणांक और सम्पीड्यता गुणांक
   (Coefficent of consolidation and coefficient of compressibility)
7. सम्पूर्ण निषदन (total settlement), समान निषदन (uniform settlement) एवं अन्तर निषदन (differential settlement) को समझाइये।
8. सहनीय निषदन (tolerable settlement) विभिन्न प्रकार की संरचनाओं हेतु सूची बनाइये।
9. स्प्रिंग एनालोजी विधि से भी संघनन की घटना को समझाइये।
10. पार्श्विक विरूपण (lateral deformation) को समझाकर दीवार के पीछे भरी मृदा दाब एवं दीवार की गति में कुल (lateral pressure) पार्श्व दाब ग्राफ द्वारा समझाइये।
11. सक्रिय मृदा एवं निष्क्रिय मृदा दाब एवं विश्राम की स्थिति में मृदा दाब को समझाइये।
12. पार्श्विक विचलन एवं सुघट्य प्रवाह को समझाइये।

अध्याय 7

मृदा की अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength of Soil)

7.1. परिचय (Introduction)

सिविल इन्जीनियर को मृदा का ज्ञान होना आवश्यक है, मृदा की सामर्थ्य हर क्षेत्र की अलग-अलग होती है। भूमि के नीचे प्रत्येक परत (Layer) भी भिन्न-भिन्न होती है, क्योंकि हर मृदा का जलांश, स्थूल घनत्व (Bulk density) एवं मृदा की संरचना भिन्न होती है। इस कारण मृदा की अपरूपण सामर्थ्य अलग-अलग होती है।

स्थूणों (Piles) की धारण सामर्थ्य (Bearing capacity), बाँधों (Dams) व तटबन्धों, प्रतिधारक दीवारों पर मृदा दाब आदि उपरोक्त सभी मृदा की शक्ति अर्थात् अपरूपण सामर्थ्य पर आश्रित है।

7.2. परिभाषा (Definition)

"मृदा का अपरूपण के प्रति प्रतिरोध उसकी अपरूपण सामर्थ्य कहलाती है।"

जब मृदा पर कोई बाहरी बल लगाया जाता है तो मृदा में अपरूपण प्रतिवल उत्पन्न होते हैं, यदि बाहरी बल को बढ़ाते जायें, तो अपरूपण प्रतिवल का मान बढ़ जायेगा और कुछ समय बाद मृदा में **विकृति** उत्पन्न हो जायेगी अर्थात् मृदा भंग हो जाती है।

नोट—विकृति का अर्थ है, मृदा का धँस जाना, गड्ढा हो जाना अर्थात् नींव धँस जायेगी, प्रतिधारक दीवार आगे सरक जाती है। मृदा पर अपरूपण प्रतिवल आने पर मिट्टी के कणों में विस्थापन प्रारम्भ हो जायेगा । मृदा की स्वयं की शक्ति इसका विरोध करती है। अपरूपण प्रतिवल का मान मृदा की अपरूपण सामर्थ्य से अधिक होने पर मृदा में विकृति हो जाती है। अर्थात्

"विकृति के विरोध में मृदा द्वारा लगाया गया अधिकतम प्रतिरोध बल मृदा की अपरूपण सामर्थ्य कहलाता है।"

7.3. मृदा अपरूपण सामर्थ्य के घटक (Components of Shear Strength of Soil)

मृदा में अपरूपण सामर्थ्य निम्न घटकों से मिलकर वनी होती है—

(i) Frictional Component—मृदा कणों को आपस में गुँथे रहने (Interlocking) एवं आपस में घर्षण के कारण।

(ii) ससंजन घटक (Cohesion Component)—वह बल जिसके कारण मृदा कण आपस में चिपके/सटे रहते हैं संसजक बल होता है।

कणों का ससंजन मुख्यत: उनके चारों ओर के अधिशोपित जल (Adsorbed water) के बीच अन्त: आणविक बन्ध (Inter molecular bond) के कारण होता है जो मृदा के जलांश, कण परिमाण एवं संहनन (Compaction) पर निर्भर करता है।

7.4. सिविल इन्जीनियरिंग में अपरूपण सामर्थ्य का उपयोग

1. मृदा की धारण क्षमता (Bearing capacity) प्राप्त करने में।
2. नीवों के अभिकल्पन में।
3. मृदा के बाँधों (Dams) एवं तटबन्धों के अभिकल्पन में।
4. प्रतिधारक दीवारों (Retaining walls) के अभिकल्पन में।

7.5. विश्राम कोण (Angle of Repose)

"क्षैतिज (Horizontal) से बना वह कोण जो मृदा स्वयं प्राकृतिक तरीके से खिसक कर बनाती है विश्राम कोण कहलाता है।"

यदि मृदा को लगभग ऊर्ध्वाधर या तीखे ढाल की तरह रखने का प्रयास किया जाये, तो वह बिना प्रतिधारक दीवार का निर्माण किये नहीं रुक सकती, यदि मृदा को ढीली अवस्था में ढेर के रूप में छोड़ दें तो कुछ समय बाद मृदा ढह कर एक स्थिर स्थिति में आ जायेगी।

विश्राम कोण का मान निम्न घटकों पर आश्रित होता है—

(i) मृदा कणों के विशिष्ट घनत्व (Specific gravity)

(ii) मृदा कणों की आकृति (Shape of soil particles)

(iii) कणों के परिमाण एवं श्रेणीकरण (Size and gradation)

नोट—मृदा की ढीली अवस्था में, विश्राम कोण (Angle of repose) का मान मृदा के आन्तरिक घर्षण कोण के बराबर होता है।

7.6. कूलम्ब का नियम (Coulomb's Law)

फ्रांसीसी अभियन्ता कूलम्ब ने सन् 1776 में अपरूपण सामर्थ्य हेतु एक सिद्धान्त समीकरण के रूप में बनाया जिसे कूलम्ब का नियम कहते हैं।

"मृदा की अपरूपण सामर्थ्य मृदा कणों में ससंजकता (Cohesion), मृदा पर आने वाले अभिलम्ब प्रतिबल (Normal stress) एवं मृदा कणों के आन्तरिक घर्षण कोण पर आश्रित होती है तथा अपरूपण सामर्थ्य अभिलम्ब प्रतिबल (Normal stress) के समानुपाती होती है।"

समीकरण—

$$\tau_f = C + \sigma \tan\phi$$

जहां,

τ_f = मृदा की अपरूपण सामर्थ्य

C = मृदा की ससंजकता (Cohesion)

σ = अभिलम्ब प्रतिबल (Normal stress)

ϕ = कणों के बीच आन्तरिक घर्षण कोण (Angle of internal friction)

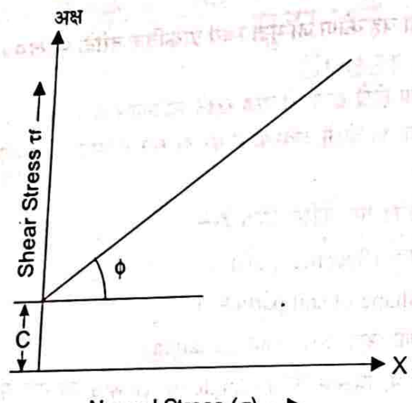
$\tan\phi$ = आन्तरिक घर्षण गुणांक (Coefficient of internal friction)

7.7. कूलम्ब के समीकरण पर आधारित वक्र

कूलम्ब के समीकरण द्वारा विभिन्न गुणों वाली मृदाओं को वक्र द्वारा दर्शाया जाता है। इसे उपकरणों द्वारा प्राप्त मानों (Value) से दर्शाया जाता है।

(i) घर्षण युक्त ससंजक मृदा (Cohesive Frictional Soil)—जिन मृदा कणों में घर्षण एवं ससंजकता (Cohesion) का गुण होता है उनके लिये कूलम्ब वक्र एवं समीकरण निम्न है—

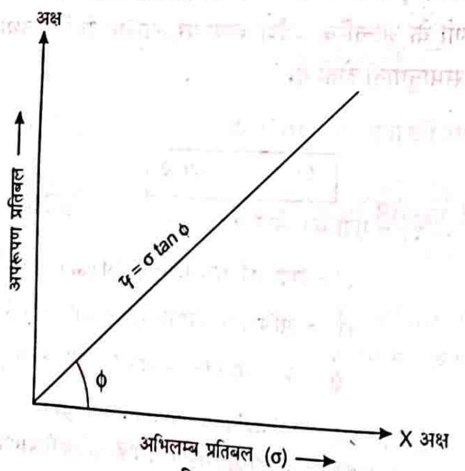
$$\boxed{\tau_f = C + \sigma \tan\phi}$$



चित्र-7.1

यह एक सरल रेखा का समीकरण है जो Y-अक्ष को C दूरी पर काटती है। C दूरी मृदा की ससंजकता के परिमाण को दर्शाती है। यह रेखा X-अक्ष से ϕ कोण बनाती है जो मृदा का आन्तरिक घर्षण कोण है।

(ii) असंजक मृदा (Cohesionless Soil)—यदि मृदा असंजक है; **जैसे**—शुद्ध रेत अर्थात् कण मोटे होते हैं वहाँ $C = 0$ तथा τ_f रेखा की Y-अक्ष पर काट शून्य होगी अर्थात् रेखा मूल बिन्दु से होकर निकलेगी तथा X-अक्ष से ϕ कोण बनाती है। (चित्र—7.2)



चित्र-7.2

समीकरण निम्न प्राप्त होगा—

$$\tau_f = C + \sigma \tan\phi$$

$$\tau_f = 0 + \sigma \tan\phi \qquad \text{जहाँ } C = 0 \text{ (Cohesion)}$$

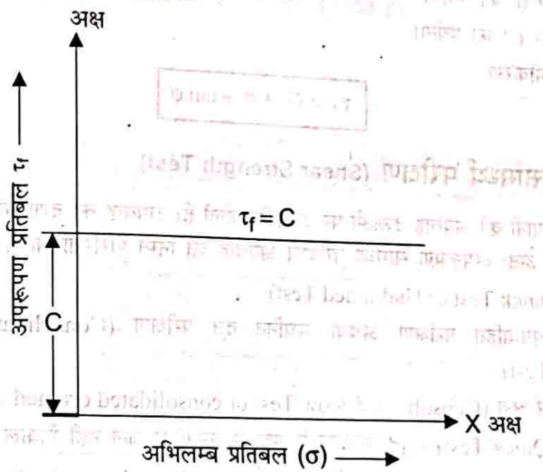
or

$$\boxed{\tau_f = \sigma \tan\phi}$$

(iii) ससंजक मृदा (Cohesive Soil)—यदि शूक्ष्म कण वाली मृदा है और उसमें केवल ससंजकता है; जैसे—**शुद्ध मृत्तिका** (Pure clay, $\phi = 0$) तो τ_f रेखा C दूरी पर X-अक्ष के समान्तर होगी। ऐसी मृदा को C मृदा कहते हैं। वक्र क्षैतिज प्राप्त होता है।

अतः समीकरण निम्न होगा। चित्र—7.3 देखें।

$$\boxed{\tau_f = C}$$



चित्र-7.3

7.8. कूलम्ब का संशोधित नियम (Modified Coulomb's Law)

डॉ० टरजागी ने सन् 1936 में कूलम्ब के नियम में कुछ संशोधन किया, इसकी आवश्यकता इसलिये पड़ी, क्योंकि कूलम्ब के सिद्धान्त से अभिकल्पित भवन/संरचनाओं में विफलता आ जाती थी।

संरचनाओं में संघनन प्रक्रिया (Consolidation process) होते समय संरचनाओं का सम्पूर्ण भार नींव के नीचे वाली मृदा परत पर पड़ता है। बाद में जल निकल जाने पर सम्पूर्ण भार मृदा कणों को वहन करना पड़ता है अर्थात् जल द्वारा प्रतिबल मृदा कणों पर स्थानान्तरित हो जाते हैं। ये प्रतिबल दो प्रकार के होते हैं—

(1) प्रभावी प्रतिबल (Effective Stress)—यदि **मृदा संतृप्त** (Saturated) हो, और उस पर संरचना का भार आता है, तो मृदा संहति में भार के कारण प्रतिबल उत्पन्न हो जाते हैं। इसमें **भार की कुछ मात्रा मृदा कणों द्वारा वहन की जाती है, एवं शेष मात्रा मृदा रन्ध्रों** (Voids) **में उपस्थित जल द्वारा वहन की जाती है।**

''मृदा कणों द्वारा स्थानान्तरित होने वाला दाब प्रभावी दाब व उससे उत्पन्न प्रतिबल प्रभावी प्रतिबल कहलायेगा।''

नोट—संरचना के दाब से मृदा कणों में संपीडन के कारण रिक्तता अनुपात में कमी होगी अर्थात् मृदा कण पास-पास पहुँच जायेंगे जिससे मृदा की अपरूपण सामर्थ्य में वृद्धि हो जाती है।

2. निष्क्रिय प्रतिबल (Neutral Stress)—**''जल रन्ध्रों द्वारा संचारित होने वाला दाब निष्क्रिय दाब व उससे उत्पन्न प्रतिबल निष्क्रिय प्रतिबल कहलाता है।''**

नोट—उपरोक्त प्रतिबल द्रव स्थैतिक होने की वजह से मृदा कणों के चारों ओर समान रूप से दबाव बनाते हैं जिससे इन प्रतिबलों का परिणामी दाब शून्य हो जाता है। अतः मृदा कणों पर इनका कोई प्रभाव नहीं पड़ता न ही रिक्तता अनुपात (Void ratio) में कोई अन्तर आता है एवं अपरूपण सामर्थ्य में भी न कोई लाभ दे पाते हैं। इसलिये इन्हें निष्क्रिय प्रतिबल कहना उचित ही है।

अतः सम्पूर्ण प्रतिबल (σ) = प्रभावी प्रतिबल ($\bar{\sigma}$) + निष्क्रिय प्रतिबल (U)

$$\sigma = \bar{\sigma} + U$$

डॉ० टरजागी ने कूलम्ब के नियम में निम्न सुधार किये—

1. कुल प्रतिबल (σ) के स्थान पर प्रभावी प्रतिबल ($\bar{\sigma}$) का प्रयोग।
2. ϕ के स्थान पर ϕ' का प्रयोग।
3. C के स्थान पर C' का प्रयोग।

अतः संशोधित समीकरण

$$\tau_f = C' + \bar{\sigma} + \tan\phi'$$

7.9. अपरूपण सामर्थ्य परीक्षण (Shear Strength Test)

अपरूपण सामर्थ्य पानी की अपवाह दशाओं पर आधारित होती है। अपवाह की दशा बदलने पर अपरूपण सामर्थ्य में भी परिवर्तन आ जाता है। अतः अपरूपण सामर्थ्य परीक्षण अपवाह की निम्न परिस्थितियों में करना सम्भव होता है—

1. द्रुत परीक्षण (Quick Test or Undrained Test)
2. संघनित व अपवाहित परीक्षण अथवा संघनित द्रुत परीक्षण (Consolidated Undrained Test or Consolidated Quick Test)
3. संघनित धीमा परीक्षण (Consolidated Slow Test or consolidated drained test)

1. द्रुत परीक्षण (Quick Test)—द्रुत परीक्षण में मृदा के रन्ध्रों से जल नहीं निकल पाता है, इसलिये परीक्षण के दौरान मृदा प्रतिदर्श में रन्ध्र दाब बना रहता है। अभिलम्ब प्रतिबल (Normal stress) लगाने के बाद अपरूपण सामर्थ्य (Shear strength) ज्ञात कर ली जाती है। इस परीक्षण में मृदा रन्ध्रों से जल की निकासी न होने के कारण मृदा के आयतन में कोई अन्तर नहीं आता है अर्थात् संघनन (Consolidation) क्रिया पूर्ण नहीं हो पाती है। इस परीक्षण में जल की निकासी न होने की वजह से यह परीक्षण शीघ्र पूर्ण हो जाता है। इसलिये इसे द्रुत परीक्षण एवं अपवाहित परीक्षण कहा जाता है। **द्रुत परीक्षण नींवों के नीचे की मृदाओं के लिये करते हैं।**

2. संघनित द्रुत परीक्षण (Consolidated Quick Test)—संघनित द्रुत परीक्षण में मृदा प्रतिदर्श में अभिलम्ब बल (Normal force) लगाने के बाद मृदा के रन्ध्रों से जल को निकलने देते हैं। इससे मृदा में संघनन क्रिया हो जाती है। यह क्रिया जब समाप्त हो जाये तो मृदा प्रतिदर्श में अपरूपण वल लगाया जाता है एवं मृदा से जल की निकासी नहीं होने देते, अतः मृदा के आयतन में कोई अन्तर नहीं आता है। **यह परीक्षण साइलो के निर्माण पूर्व करते हैं।**

3. संघनित धीमा परीक्षण (Consolidated Slow Test)—संघनित धीमा परीक्षण में मृदा प्रतिदर्श में अपरूपण बल एवं अभिलम्ब प्रतिबल दोनों को लगाते हैं एवं परीक्षण के दौरान जल को रन्ध्रों से निकलने देते है, जल की निकासी हो जाने से रन्ध्रों से जल दाब समाप्त हो जाता है। इस परीक्षण को करने में समय बहुत लगता है, इसलिये इसे संघनित धीमा परीक्षण कहा जाता है।

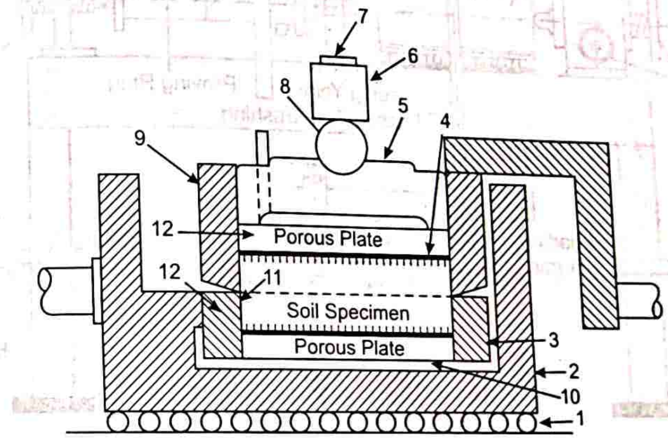
यह परीक्षण तटबन्धों एवं अपवाह नालियाँ बनाने में मृदाओं हेतु सम्पन्न किया जाता है।

नोट—साइलो (silo) का अर्थ है—**अनाज एकत्र करने वाले निर्माण।**

7.10. अपरूपण सामर्थ्य ज्ञात करने की विधियाँ (Methods of Testing-Shear Strength)

1. सीधा अपरूपण परीक्षण (Direct Shear Test)—अपरूपण सामर्थ्य ज्ञात करने के लिये प्रयोगशाला में सीधा अपरूपण परीक्षण किया जाता है। इसमें एक वर्गाकार बाक्स होता है जिसमें मृदा प्रतिदर्श को रखा जाता है। बॉक्स की माप 6 सेमी० × 6 सेमी० × 2 सेमी० होती है। यह बॉक्स दो हिस्सों में बँट जाता है।

बॉक्स को आपस में जोड़ने के लिये पेचों का प्रयोग किया जाता है, प्रयोग शुरू होने से पूर्व पेचों को निकाल लिया जाता है। बॉक्स को एक पात्र में रखते हैं। पात्र को रोलर पर रखा जाता है। अपरूपण बल लगाने पर यह पात्र रोलरों के माध्यम से गति कर सकता है। यह रोलरों के ऊपर घर्षण मुक्त चल सकता है। पात्र को चलाने के लिये विद्युत मोटर की व्यवस्था होती है, विद्युत न होने की स्थिति में हाथ से भी चलाया जा सकता है। पात्र को निश्चित दर से आगे बढ़ा सकते हैं। जिससे बॉक्स का निचला भाग गति में आ जाता है। चूंकि बॉक्स में मृदा प्रतिदर्श होता है इसलिये बॉक्स का ऊपरी भाग प्रतिरोध करता है इस बल का मान प्रूविंग रिंग के डायल से नोट कर लेते हैं।



चित्र-7.4 : सीधा अपरूपण बाक्स

परीक्षण में प्रतिदर्श के ऊपर व नीचे रन्ध्रमय प्लेट भी रखते हैं। चित्र—7.4 देखें।

इसमें लोडिंग फ्रेम की मदद से अभिलम्ब बल (Normal load) लगाते हैं एवं निश्चित दर से अभिलम्ब बल तब तक लगाते हैं जब तक कि प्रतिदर्श भंग (Fail) न हो जाये। **मृदा की अपरूपण सामर्थ्य (Shear strength) प्रूविंग रिंग (Proving ring) की मदद से एवं उसकी विकृति डायलमापी (Dial gauge) की मदद से ज्ञात कर लेते हैं।** अपरूपण प्रतिबल (Shear stress) एवं अभिलम्ब प्रतिबल (Normal stress) के मान बॉक्स के क्षेत्रफल अर्थात् (6 सेमी० ×6 सेमी० = 36 सेमी०^2) से भाग देकर ज्ञात कर लिये जाते हैं। इसके बाद ग्राफ पेपर पर X-अक्ष पर अभिलम्ब प्रतिबल (σ) एवं Y-अक्ष पर अपरूपण प्रतिबल (τ_f) को दर्शाकर प्राप्त मानों से ग्राफ तैयार किया जाता है एवं C (Cohesion) एवं ϕ (Angle of internal friction) के मान ज्ञात कर लिये जाते हैं।

नोट—उपकरण में निम्न भाग होते हैं—

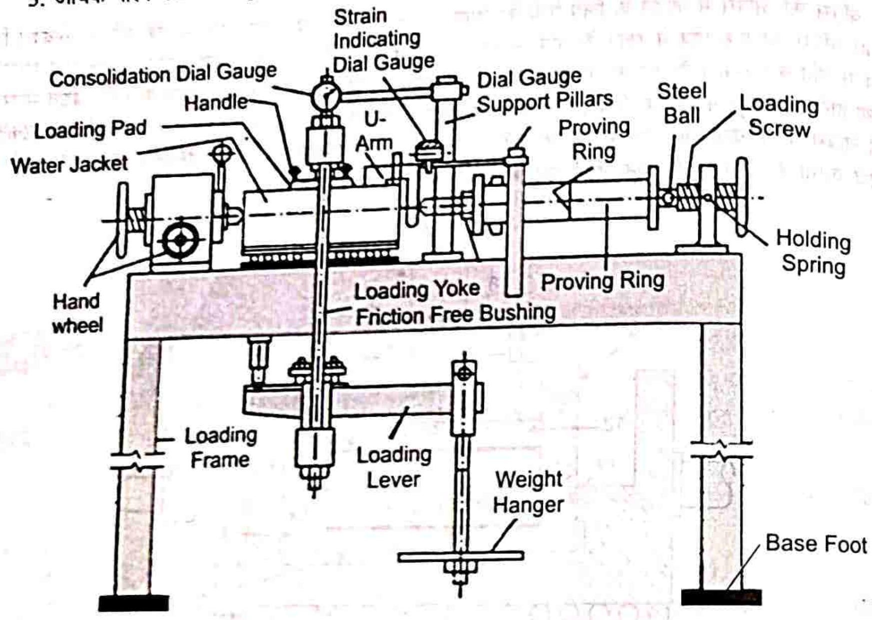
1. रोलर, 2. अपरूपण बॉक्स रखने का पात्र, 3. अपरूपण बॉक्स का निचला भाग, 4. धातु की जाली (Grid), 5. दबाव के लिये गद्दा (Pressure pad), 6. धारण योगक (Loading yoke), 7. डायलमापी (Dial gauge), 8. धातु की गोली, 9. अपरूपण बॉक्स का ऊपरी भाग, 10. जल छिद्र (Water grooves), 11. मृदा प्रतिदर्श, 12. रन्ध्रमय प्लेट।

सीधा परीक्षण के गुण—

1. परीक्षण सरल एवं समय कम लगता है।
2. ससंजनहीन मृदाओं; जैसे बालू आदि के लिये उचित है।

अवगुण—

1. समय बीतने पर प्रतिबल क्षेत्र कम होता जाता है।
2. प्रतिदर्श में जल अपवाह पर नियन्त्रण नहीं रह पाता है।
3. अधिक पारगम्यता वाली मृदाओं के रन्ध्रों से जल का बाहर निकलना पूर्णतः नहीं रुकता है।



चित्र-7.5 : सीधा अपरूपण परीक्षण उपकरण

नोट—परीक्षण बॉक्स में दो प्रकार की प्लेट लगा सकते हैं—

1. सादा ग्रिड प्लेट (Plain Grid Plate)—इस्पात की सादा ग्रिड प्लेट (Plain grid plates) मृदा प्रतिदर्श के ऊपर व नीचे द्रुत परीक्षण में लगायी जाती हैं।

2. छिद्रवाली ग्रिड प्लेट (Perforated grid plate)—

(i) मृदा प्रतिदर्श में ऊपर-नीचे छिद्र वाली ग्रिड प्लेट संघनित द्रुत परीक्षण में लगायी जाती है। इस परीक्षण में 5 से 10 मिनट लगते हैं।

(ii) संघनित धीमे परीक्षण में भी दोनों ओर छिद्र वाली प्लेट लगायी जाती हैं। इसमें 2 से 5 दिन लग जाते हैं। असंजक मृदाओं; जैसे—बालू में कम समय लगता है।

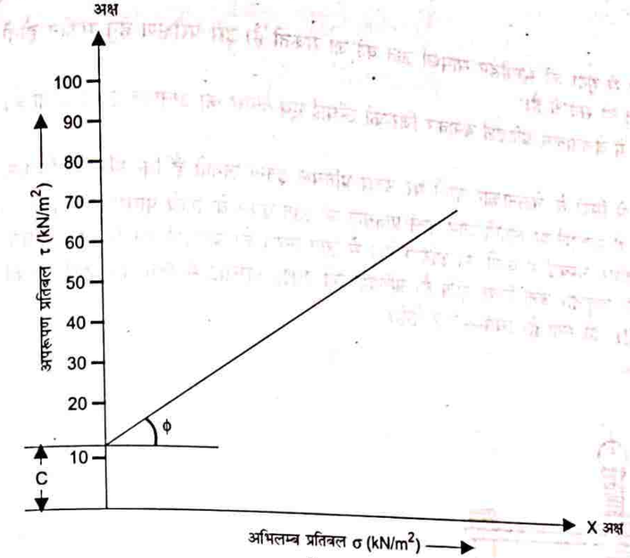
उदाहरण 7.1—सीधा अपरूपण विधि से 36 cm^2 आकार वाले अपरूपण बाक्स में परीक्षण करने के बाद निम्न पाठ्यांक प्राप्त हुये। मृदा में ससंजन (*C*) एवं आन्तरिक घर्षण कोण (ϕ) के मान ज्ञात करो।

अभिलम्ब प्रतिबल (kN/m^2)	25	50	75
अपरूपण प्रतिबल (kN/m^2)	27	38	50

हल—अभिलम्ब प्रतिबल एवं अपरूपण प्रतिबल के बीच ग्राफ चित्र 7.6 में दर्शाया गया है।

ग्राफ से,

$$C = 13, \phi = 27°$$



चित्र-7.6

उदाहरण 7.2—बलुई मिट्टी का सीधा अपरूपण परीक्षण करने पर निम्न पाठ्यांक प्राप्त हुये अभिलम्ब भार = 0.35 kN एवं अपरूपण बल = 0.19 kN; प्रतिदर्श का क्षेत्रफल 36 cm^2 है। आन्तरिक घर्षण कोण (ϕ) ज्ञात कीजिए। ***(BTE 1992)***

हल—अभिलम्ब प्रतिबल (Normal Stress) $(\sigma) = \frac{\text{अभिलम्ब भार}}{\text{क्षेत्रफल}}$

$$= \frac{0.35}{36 \times 10^{-4}} = 97.22 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{अपरूपण प्रतिबल } \tau_f = \frac{\text{अपरूपण बल}}{\text{क्षेत्रफल}} = \frac{0.19}{36 \times 10^{-4}} = 5.78 \text{ kN/m}^2$$

हम जानते हैं कि

$$\boxed{\tau_f = C + \sigma \tan\phi} \quad ...(i)$$

चूँकि मृदा बलुई है

$\therefore$

$$C = 0$$

$$\tau_f = \sigma \tan\phi \quad ...(ii)$$

σ एवं τ_f के मान समीकरण (ii) में रखने पर

$$\tau_f = \sigma \tan\phi$$

$$53.78 = 97.22 \tan\phi$$

$$\tan\phi = 0.54$$

$$\phi = 28.50°$$ उत्तर

7.11. अपरिरुद्ध सम्पीडन परीक्षण (Unconfined Compression Test)

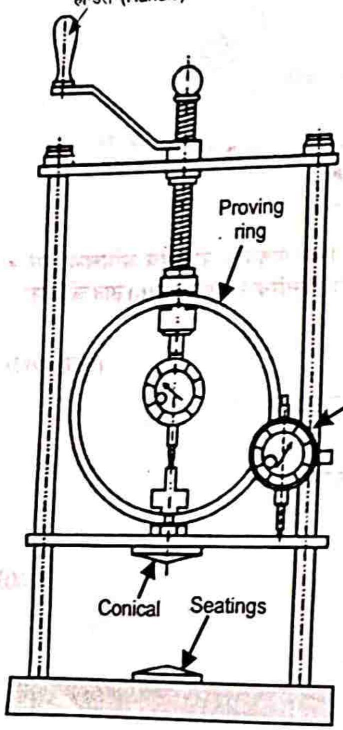
अपरिरुद्ध सम्पीडन परीक्षण में त्रिअक्षीय प्रतिबल लगाये जाते हैं और सैल दाब शून्य होता है। सैल दाब को परिरुद्ध (Confining pressure) कहते हैं। यह परीक्षण ससंजक (Cohesive) मृदाओं के लिये उचित है।

इस परीक्षण से मृदा की सम्पीडन सामर्थ्य ज्ञात की जा सकती है। इस परीक्षण हेतु मशीन होती है। ये मशीन विद्युत अथवा हस्त चालित हो सकती है।

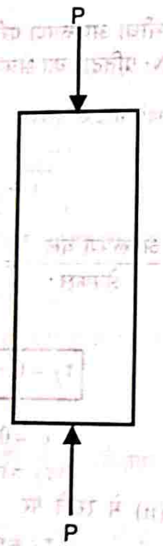
इस परीक्षण में बेलनाकार प्रतिदर्श बनाकर जिसकी ऊँचाई एवं व्यास का अनुपात 2 : 1 होता है। इसकी उपयोगी माप 38 mm होती है।

इस परीक्षण में मिट्टी के बेलनाकार नमूने पर उच्च प्रतिबल इतना लगाते हैं कि प्रतिदर्श विफल हो जाये।

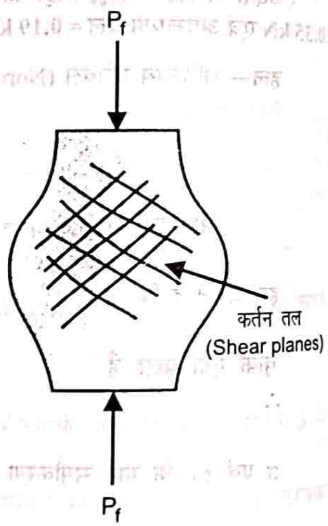
इस उपकरण में प्रतिदर्श पर लगाये जाने वाले प्रतिबल को ज्ञात करने के लिये प्रूविंग रिंग (Proving ring) लगी रहती है। प्रतिदर्श की ऊर्ध्वाधर लम्बाई में कमी को डायल गेज से ज्ञात करते हैं। प्रतिदर्श को परीक्षण समय बेलनाकार स्थिति में दोनों सिरों से काटकर शंकुदार बना दिया जाता है। प्रतिदर्श की 20% लम्बाई में कमी हो जाये इसका अर्थ है कि परीक्षण प्रतिदर्श विफल (Fail) हो गया है। चित्र—7.7 देखें।



चित्र-7.7 : अपरिरुद्ध संपीडन परीक्षण मशीन



चित्र-7.8 : प्रारम्भिक परीक्षण के समय प्रतिदर्श



चित्र-7.9 : भंग के समय प्रतिदर्श

नोट—

(i) इस परीक्षण में नमूने अर्थात् प्रतिदर्श पर कोई सैल दाब न होने के कारण प्रतिदर्श की अपरूपण सामर्थ्य सम्पीडन सामर्थ्य ज्ञात करके प्राप्त की जा सकती है **इसलिये इस परीक्षण को अपरिरुद्ध सम्पीडन परीक्षण कहते हैं।**

(ii) प्रतिदर्श पर सम्पीडन बल लगाने के बाद उसकी लम्बाई में कमी आ जायेगी एवं व्यास बढ़ जायेगा अतः प्रतिदर्श की सम्पीडन सामर्थ्य ज्ञात करने के लिये उसके बदले हुये व्यास से क्षेत्रफल ज्ञात कर लेते हैं।

(iii) यह परीक्षण केवल संतृप्त मृत्तिकाओं के लिये उचित है। इसमें ϕ का मान शून्य होता है।

(iv) कूलम्ब के समीकरण में $\phi = 0$ रखने पर एवं सम्पीडन सामर्थ्य $\sigma_1 = 2C$ प्राप्त होने पर

$$\tau_f' = C$$

$$\boxed{\tau_f = \frac{\sigma_1}{2}}$$

जहाँ σ_1 = Stress at failure (भंग समय प्रतिबल)

$$\sigma_1 = \frac{\text{विफल होने पर अक्षीय भार}}{\text{विफल होने पर अनुप्रस्थ क्षेत्रफल}}$$

इस परीक्षण में निम्न गुण एवं दोष होते हैं—

गुण (Merit)—

(i) इसका उपयोग विस्तृत है एवं परीक्षण शीघ्र हो जाता है।

(ii) यह संतृप्त मृदाओं के लिये उपयुक्त है। इसमें मृदाओं के बारे में जानकारी प्राप्त हो जाती है।

(iii) इस परीक्षण में त्रिअक्षीय (Triaxial) परीक्षण की तुलना में कम लागत (Cost) आती है।

दोष (Demerit)—

(i) यह केवल समांग (Homogeneous) मृदाओं के लिये उपयुक्त है।

(ii) यह परीक्षण असंजक (Non-cohesive) मृदाओं पर नहीं किया जाता है।

उदाहरण 7.3—संतृप्त मृत्तिका के बेलनाकार नमूने पर जिसका व्यास 4 cm एवं ऊँचाई 8 cm है जिस पर अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य परीक्षण किया गया, प्रतिदर्श 0.42 kN भार पर भंग हो गया। प्रतिदर्श की लम्बाई 8 mm नोट की गयी। अतः अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य ज्ञात कीजिए।

हल—ज्ञात है—

प्रतिदर्श का व्यास $= D = 4$ cm

ऊँचाई $L = 8$ cm

लम्बाई में परिवर्तन $\delta L = 8\text{ mm} = 0.8$ cm

प्रारम्भिक अनुप्रस्थ क्षेत्रफल $= A_1$

$$A_1 = \frac{\pi}{4}D^2 = \frac{\pi}{4}\times 4^2 = 12.57\ \text{cm}^2$$

$$\text{विकृति (Strain)} = \varepsilon = \frac{\delta L}{L} = \frac{0.8}{8} = 0.1$$

भंग होते समय अनुप्रस्थ क्षेत्रफल $= A_2$

$$A_2 = \frac{A_1}{1-\varepsilon} = \frac{12.57}{1-0.1}$$

$$= 13.97\ \text{cm}^2$$

$$\text{अतः अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य} = \frac{\text{भंग समय अक्षीय भार}}{\text{भंग समय अनुप्रस्थ क्षेत्रफल}}$$

$$= \frac{0.42}{13.97\times10^{-4}}$$

$$= \frac{0.42\times10^4}{13.97} = 300.64\ \text{kN/m}^2$$

तथा अपरूपण सामर्थ्य $= \frac{\text{सम्पीडन सामर्थ्य}}{2} = \frac{300.64}{2}$

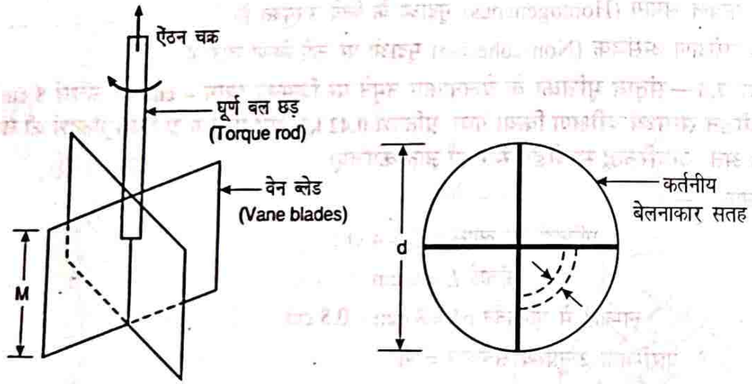
$= 150.32$ kN/m^2

7.12. वेन अपरूपण परीक्षण (Vane Shear test)

यह परीक्षण मृदु (soft) मृत्तिकाओं एवं सिल्ट की अपवाहित (undrained) अपरूपण सामर्थ्य ज्ञात करने के लिये प्रयोग में आता है। मृदा का संसजक (cohesive) होना भी आवश्यक है।

प्रयोगशाला में भी संसजक मृदायें जिनकी अपरूपण सामर्थ्य (<0.5 kg/cm^2) होती है इस उपकरण में उपयोग में लायी सकती हैं।

इस उपकरण में एक छड़ (rod) होती है इसके नीचे वाले भाग में चार ब्लेड होते हैं जिन्हें (vane) वेन कहा जाता है। ब्लेडों को छड़ में वेल्डिंग द्वारा जोड़ दिया गया है। जिस स्थान पर परीक्षण करना हो वहाँ बोरिंग पिट बनाया जाता है। इन वेनों को धँसाकर छड़ पर घूर्ण बल लगाया जाता है। वेनों (vanes) के घूमने पर मृदा प्रतिरोध उत्पन्न करती है, घूर्ण बल को क्रमशः तब तक बढ़ाते हैं जब तक कि मृदा विफल न हो जाय, जब मृदा विफल हो जाय उस समय घूर्ण बल का मान ज्ञात कर लिया जाता है।



चित्र 7.10–वेन अपरूपण परीक्षण

नोट (Note)—ब्लेडों को मृदा में धँसाने के वाद धीरे-धीरे (0.1% से) की दर से घुमाना चाहिये।

वेन अपरूपण परीक्षण उपकरण में वेन की ऊँचाई उसके व्यास से दो गुनी होती है एवं इसका I.S. कोड 4434 का प्रयोग किया जाता है।

चित्रानुसार हम मानते हैं कि—

H = वेन की ऊँचाई अथवा धँसन गहराई

D = वेन का व्यास

S_u = कर्तन प्रतिरोध (मृदा) पूर्ण बेलन पर या अपरूपण सामर्थ्य कर्तन के समय बेलन में ऊपर (top) एवं नीचे (bottom) के फलकों (faces) पर कुल प्रतिरोध

$$= \int_0^{D/2} (2\pi r.dr).S_u \qquad ...(i)$$

∴ वेन द्वारा कर्तन के समय बेलन पर कर्तन प्रतिरोध स्थिर रहता है।

अतः अधिकतम प्रतिरोध $= \pi DH.S_u$ ...(ii)

दोनों समीकरणों को जोड़ने पर

जहाँ r किसी सतह का अर्धव्यास तथा dr उसकी मोटाई है।

कुल प्रतिरोध बल का केन्द्र के सापेक्ष आघूर्ण

$$T = (\pi DHS_u)\times\frac{D}{2} + 2\int_0^{D/2}(2\pi r dr)\times r.S_u$$

$$= \frac{\pi D^2 H}{2} S_u + 4\pi S_u \int_0^{D/2} r^2 dr$$

$$= \frac{\pi D^2}{2} HS_u + 4\pi S_u \left[\frac{r^3}{3}\right]_0^{D/2}$$

$$= \frac{\pi D^2}{2} HS_u + \frac{4}{3}\pi S_u \frac{D^3}{8}$$

$$\boxed{T = \pi D^2 S_u \left[\frac{H}{2} + \frac{D}{6}\right]}$$

अथवा

$$\boxed{S_u = \frac{T}{\pi D^2\left(\frac{H}{2}+\frac{D}{6}\right)}}$$

जहाँ, T = आघूर्ण बल

S_u = मृदा की अपरूपण सामर्थ्य

नोट—मृदा की अपरूपण सामर्थ्य समीकरण में T, H एवं D के मान रखकर ज्ञात कर सकते हैं।

उदाहरण 7.4.—एक मुलायम मृतिका (soft clay) की अपरूपण सामर्थ्य ज्ञात करने हेतु एक वेन जिसकी लम्बाई 11 cm और व्यास 8 cm प्रयोग में लाया गया। आघूर्ण (torque) धीरे-धीरे 500 kg-cm की दर से लगाया गया। मृदा की अपरूपण सामर्थ्य ज्ञात कीजिये एवं जब मृदा में वेन तेजी से घुमाया जाय और remoulded हो जाये उस समय आघूर्ण बल (torque) की आवश्यकता 180 kg-cm होती है तो संवेदनशीलता (sensitivity) भी ज्ञात करें।

हल—(i) जब मृदा प्राकृतिक अवस्था में हो।

$H = 11$ cm, $D = 8$ cm, $T = 500$ kg-cm

हम जानते हैं कि—

$$S_u = \frac{T}{\pi D^2\left(\frac{H}{2}+\frac{D}{6}\right)}$$

$$= \frac{500}{\pi\times(8)^2\left(\frac{11}{2}+\frac{8}{6}\right)} = 0.364 \text{ kg/cm}^2$$ उत्तर

(ii) जब मृदा remoulded हो

$T = 180$ kg-cm

$$S_u = \frac{T}{\pi D^2\left(\frac{H}{2}+\frac{D}{6}\right)} = \frac{180}{\pi\times(8)^2\left(\frac{11}{2}+\frac{8}{6}\right)}$$

$$= 0.131 \text{ kg/cm}^2$$

संवेदनशीलता

उत्तर

$$\text{Senstivity} = \frac{0.364}{0.131} = 2.78$$

$$\text{Senstivity} = \frac{\text{प्राकृतिक अवस्था में अपरूपण सामर्थ्य}}{\text{Remoulded अवस्था में अपरूपण सामर्थ्य}}$$

7.13. प्रतिबल एवं विकृति वक्र (Stress & Strain Curve)

निम्नलिखित मृदाओं का व्यवहार प्रतिबल एवं विकृति वक्र द्वारा दर्शाया गया।

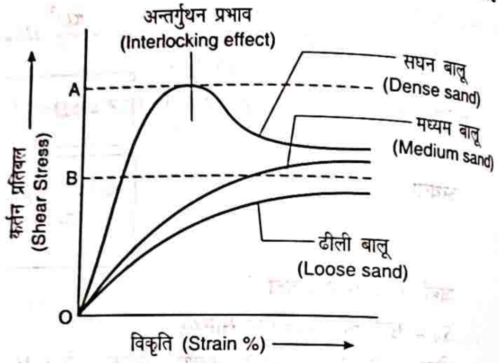
(i) बालू का प्रतिबल-विकृति व्यवहार (Stress-Strain Behaviour of sand)—चित्र में स्थूल कणीय (coarse grained) मृदाओं का प्रतिबल विकृति वक्र द्वारा व्यवहार दर्शाया गया है, वक्र में सघन मध्यम बालू (Dense medium sand) को **उच्चतम अपरूपण सामर्थ्य** (Peak shear strength) दर्शायी गयी है। वक्र में जब कर्तन प्रतिबल (shear stress) उच्चतम हो, तो उसे **उच्चतम अपरूपण सामर्थ्य** (peak shear strength) से जाना जाता है।

वक्र में उच्चतम मान (peak value) प्राप्त होने के बाद, दोनों वक्रो में कर्तन प्रतिबल (shear stress) घटने लगती है और दोनों वक्र स्थिर, परम कर्तन प्रतिबल (ultimate shear stress) पर पहुँच जाते हैं जिसे **परम अपरूपण सामर्थ्य** (Ultimate shear strength) कहते हैं।

OA = Peak shear strength for dense sand

OB = Ultimate shear strength

ढीली अवस्था (loose condition) में भी बालू परम अपरूपण सामर्थ्य (ultimate shear strength) में पहुँच जाती है।



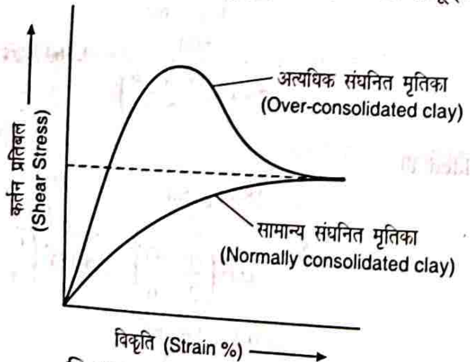
OA = Peak sheer strength for dense sard

OB = Ulitimate shear strength

चित्र 7.11 : Stress-strain curve

7.14. मृतिका का प्रतिबल-विकृति व्यवहार (Stress-strain behaviour of clay)

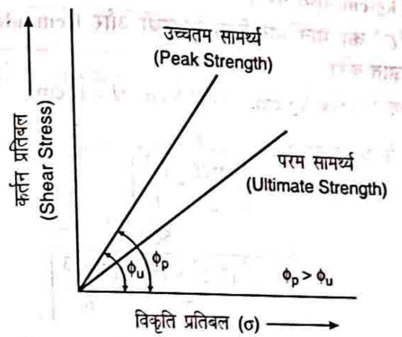
चित्र 7.12 में महीन कणों वाली मृदा (fine grained soil) का प्रतिवल-विकृति व्यवहार दर्शाया गया है। चित्रानुसार संघनित मृतिका (consolidated clay) और सघन बालू (dense sand) का प्रतिवल-विकृति व्यवहार समान (same) दर्शाया गया है और सामान्य संघनित मृदा (normally consolidated clay) का व्यवहार ढीली बालू (loose sand) के समान है।



चित्र 7.12–Stress-strain curve of clay

7.15. विफलता की धारणा (Concept of failure)

सघन बालू की विफलता वक्र में उच्चतम प्रतिबल (peak stress) बिन्दु A अथवा परम प्रतिबल (ultimate stress) बिन्दु B द्वारा परिभाषित होती है। विफलता आवृत (failure envelope) चित्र 7.13 द्वारा स्पष्ट है। विफलता निर्धारण स्थल की परिस्थितियों पर आधारित है। मुख्यत: उच्चतम प्रतिबल (peak stress) निर्धारण ही प्रयोग में लिया जाता है। ढीली बालू (loose sand) की अवस्था में इसे उच्चतम प्रतिबल बिन्दु से बाहर नहीं कर सकते हैं। सामान्यत: विफलता (failure), प्रतिबल विकृति दशा पर निर्धारित है।



चित्र 7.13–विफलता आवृत (Failure envelope)

7.16. कंपानुवर्तिता (Thixotropy)

ससंजक मृदा को यदि remould किया जाये तो वह मृदा अपनी सामर्थ्य में कमी कर देती है और बाद में पुन: सामर्थ्य प्राप्त करती है। ऐसी घटना जिसमें मृदा का जलांश और आयतन नहीं बदलता है कंपानुवर्तिता कहलाती है।

Remoulding—मृदा का क्षुब्ध प्रतिदर्श (disturbed sample) प्राप्त करना remoulding कहलाता है।

मृदा का क्षुब्ध प्रतिदर्श प्राप्त करने में मृदा कण अपनी प्राकृतिक अवस्था से अलग हो जाते हैं। इन नमूनों से जलांश, कण परिमाप विश्लेषण व सूचकांक गुण प्रयोगशाला में प्राप्त कर सकते हैं। ऐसे नमूने जो सड़क निर्माण, बाँध आदि में उचित रहते हैं।

नोट—ससंजक (cohesive soil) की कंपानुवर्तिता असंजक मृदा (cohesionless soil) से अधिक होती है।

ससंजक मृदा-clay, असंजक मृदा-बालू (sand)।

7.17. संवेदनशीलता (Sensitivity)

मृदाओं का वह गुण, उच्च क्षुब्ध अवस्था (remoulded) में सामर्थ्य अक्षुब्ध अवस्था से कम होती है संवेदनशीलता कहलाता है।

इसे इस प्रकार भी परिभाषित कर सकते हैं–

अक्षुब्ध अपरूपण सामर्थ्य (undisturbed shear strength) और क्षुब्ध अपरूपण सामर्थ्य (distrubed shear strength) अथवा remoulded का अनुपात होता है।

अत:

$$S_t = \frac{S_u\,(\text{undisturbed})}{S_u\,(\text{Remoulded})}$$

S_t = sensitivity

नोट—Remoulding के परिणाम से मृदा में सामर्थ्य की हानि संवेदनशीलता का मापन किया जाता है।

$$\text{संवेदनशीलता (sensitivity)} = \frac{\text{प्राकृतिक अवस्था में अपरूपण सामर्थ्य}}{\text{Remoulded अवस्था में अपरूपण सामर्थ्य}}$$

अथवा

उदाहरण 7.5—एक 15 cm लम्बा एवं 7.5 cm व्यास के वेन से जब मृदु (soft) मृदा में वेधन किया गया, मृदा की विफलता पर आघूर्ण का मापन 500 kg-cm किया गया। जब वेन (vane) को तेज घुमाया गया मृदा के पूर्ण Remould होने पर आघूर्ण 200 kg-cm पाया गया। मृदा का ससंजक बल 'C' का मान प्राकृतिक अवस्था और Remould अवस्था में ज्ञात करें। साथ में संवेदनशीलता (senstivity) भी ज्ञात करें।

हल—(a) प्राकृतिक अवस्था $T = 500$ kg-cm, $D = 7.5$ cm, $H = 15$cm

सूत्र के प्रयोग से $S = \dfrac{T}{\pi\left(\dfrac{D^2H}{2}+\dfrac{D^3}{6}\right)}$

$$S = \frac{500}{\pi\left[\dfrac{(7.5^2\times 15)}{2}+\dfrac{(7.5)^3}{6}\right]}$$

$$S = 0.323 \text{ kg/cm}^2$$

अब $C = S$ (जब $\phi = 0°$)

$\therefore$ Cohesion (ससंजन) $C = 0.323$ kg/cm^2

(b) Remoulded अवस्था $\because T = 200$ kg/cm

$$S_r = \frac{200}{\pi\left[\dfrac{(7.5)^2\times 15}{2}+\dfrac{(7.5)^3}{6}\right]}$$

$$S_r = 0.129 \text{ kg/cm}^2$$

अत: $C = S_r = 0.129$ kg/cm^2

$$\text{संवेदनशीलता (sensitivity)} = \frac{\text{प्राकृतिक अवस्था में अपरूपण सामर्थ्य}}{\text{Remoulded अवस्था में अपरूपण सामर्थ्य}}$$

प्रश्नावली

1. अपरूपण सामर्थ्य किसे कहते हैं? मृदा में अपरूपण सामर्थ्य किस तरह प्राप्त होती है?
2. निम्न की परिभाषा लिखें—
   (i) आन्तरिक घर्षण कोण
   (ii) मृदा की अपरूपण सामर्थ्य
3. प्रयोगशाला में सीधे अपरूपण परीक्षण (Direct shear test) का प्रयोग करने की विधि व प्रयोग में उपयोग में लाये जाने वाले उपकरण का विस्तृत वर्णन करो। *(B.T.E. U.P. 1976, 78, 81)*
4. मृदा की अपरूपण सामर्थ्य (Shear strength) से आप क्या समझते हो? यह विशेष रूप से किन-किन बातों पर निर्भर करती है? *(B.T.E. U.P. 1976, 81)*

5. प्रयोगशाला में अपरिरुद्ध सम्पीडन परीक्षण (Unconfined compression test) करने की विधि का विस्तार से वर्णन करो। इसके लाभ एवं हानियाँ लिखिए। *(B.T.U. U.P. 1976, 81)*
6. मृदा के एक $6\times 6\times 2$ cm के नमूने पर सीधे अपरूपण परीक्षण करने पर निम्न परिणाम प्राप्त हुये—

सामान्य भार (kg)	अपरूपण भार (kg)
18	15.0
27	19.5
36	25.5
45	31.0

मृदा का अपरूपण प्रतिरोध कोण एवं ससंजन (Cohesion) ज्ञात करो। ($\phi = 30°$, $C = 0.125$ kg/cm^2) *(B.T.E. U.P. 1980)*

7. कूलम्ब का नियम समझाइये। इसमें क्या संशोधन किया गया?
8. किसी मृदा प्रतिदर्श के C व ϕ के मान ज्ञात करने की प्रत्यक्ष विधि का वर्णन कीजिए।
9. प्रभावी एवं निष्क्रिय प्रतिबल में अन्तर लिखिए।
10. निम्न से क्या समझते हो?
    (i) द्रुत परीक्षण (Quick Test)
    (ii) संघनित व अपवाहित परीक्षण (Consolidated Quick Test)
    (iii) धीमा परीक्षण (Slow Test)
11. मृदाओं की अपरूपण शक्ति (shear strength of soils) के लिये कूलम्ब समीकरण (Coulomb's equation) लिखिये तथा प्रत्येक शब्द (term) का महत्त्व समझाइये। *(UPBTE 2016)*
12. अपरूपण पेटिका परीक्षण (shear box test) द्वारा मृदा की अपरूपण शक्ति (shear strength of soil) निर्धारित करने की प्रक्रिया का चित्र बनाइये तथा समझाइये। *(BTEUP 2016)*
13. डायरेक्ट अपरूपण परीक्षण की सीमायें क्या हैं? समझाइये। *(BTE UP 2014)*
14. ससंजक मिट्टी का अपरूपण सामर्थ्य जानने के लिये प्रयोगशाला में प्रयुक्त विधियाँ लिखें एवं किसी एक का विस्तार से वर्णन करें। *(BTE UP 2014)*
15. मृदा की कर्तन सामर्थ्य हेतु अबाधित सम्पीडन परीक्षण (unconfined compression test) स्पष्टतया समझाइये। *(BTE UP 2017)*
16. अपरूपण बॉक्स परीक्षण से (drained) अवस्था में निम्नलिखित परिणाम प्राप्त हुये। Sandy clay प्रतिदर्श 30 cm^2 है अपरूपण सामर्थ्य ग्राफ खींचें जबकि सामर्थ्य parameter C' और ϕ' हैं।

सामान्य प्रतिबल kN/m^2	25	50	75
अपरूपण प्रतिबल kN/m^2	27	38	50

उत्तर— $C' = 13$

$\phi' = 27°$

17. एक क्षुब्ध बालू प्रतिदर्श का सीधा अपरूपण बॉक्स द्वारा परीक्षण किया गया।
    सामान्य भार = 0.35 kN
    अपरूपण बल = 0.19 kN
    प्रतिदर्श का क्षेत्रफल = 36 cm^2, आन्तरिक घर्षण कोण ज्ञात करें।

उत्तर—$\phi = 28.50°$

18. एक शुष्क बालू के नमूने पर सीधा परीक्षण (direct shear test) किया गया। यह ज्ञात हुआ कि नमूना 0.8 kg/cm^2 के shear बल पर विफल हुआ। उस समय सामान्य बल का परिणाम 1.25 kg/cm^2 था। बालू का आन्तरिक घर्षण कोण ज्ञात करें।

उत्तर—$\tan^{-1} 32.62''$

19. संतृप्त मृतिका के 4 cm व्यास के नमूने पर unconfined compression परीक्षण किया गया। नमूने के किनारे शंकु आकार के थे।
लम्बाई 9 cm हो और प्रतिदर्श 37.65 kg के अक्षीय भार पर विफल हो जाये तो मृदा की अपरिरुद्ध संपीडन सामर्थ्य ज्ञात करो। प्रतिदर्श की लम्बाई में 8.1 mm की कमी प्राप्त हुई।

उत्तर—$C_u = 136\ kg/cm^2$

अध्याय 8

संहनन (Compaction)

8.1. परिचय (Introduction)

संहनन का अर्थ कुटाई करना है। जिस मृदा की कुटाई हो जाती है उसमें शक्ति आ जाती है। उस मृदा की धारण क्षमता में वृद्धि हो जाती है। पारगम्यता निम्न हो जाती है, आयतन में कमी हो जाती है और शुष्क घनत्व में वृद्धि होती है। सिविल इन्जीनियरिंग कार्यों में मृदा बाँध, सड़क निर्माण में इस क्रिया को किया जाता है। यदि मृदा कार्यों में यह क्रिया न की जाये तो इन्जीनियरिंग कार्य असफल हो जाते हैं। उपरोक्त क्रिया में सन् 1933 में आर० आर० प्रोक्टर ने जलांश और शुष्क घनत्व के सम्बन्ध को समझाया है। इस क्रिया में वायु मृदा कणों के बीच से निकल जाती है जिससे आयतन में कमी हो जाती है।

परिभाषा—संहनन में मृदा कणों को यांत्रिक विधियों द्वारा पास-पास लाया जाता है, जिसके फलस्वरूप मृदा के आयतन में कमी हो जाती है और मृदा का शुष्क घनत्व बढ़ जाता है एवं मृदा कणों के बीच से वायु का निष्कासन हो जाता है।

यांत्रिक विधियाँ—रोलिंग, टैम्पिंग, वाइब्रेशन आदि।

8.2. संहनन की आवश्यकता

मृदा संहनन की निम्न सिविल इन्जीनियरिंग कार्यों में आवश्यकता पड़ती है—

1. मृदा भराव वाले स्थल पर।
2. सड़क निर्माण, बाँध, रेलमार्ग अथवा नहर के तटबन्धों (Embankment) आदि कार्यों में।

8.3. संहनन से लाभ

सिविल इन्जीनियरिंग के भराव वाले स्थलों पर संहनन क्रिया से निम्न लाभ प्राप्त होते हैं—

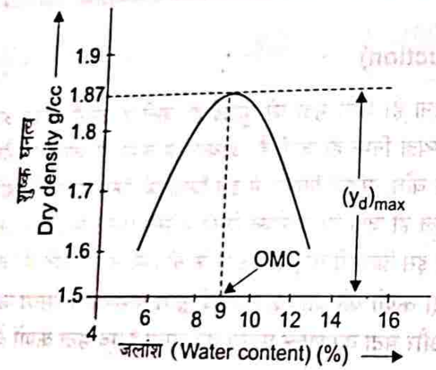
1. मृदा की धारण क्षमता (Bearing Capacity) बढ़ जाती है।
2. मृदा की पारगम्यता (Permeability) में कमी हो जाती है।
3. मृदा की अपरूपण सामर्थ्य (Shear Strength) में वृद्धि हो जाती है।
4. मृदा का टिकाऊपन अथवा स्थायित्व (Stability) बढ़ जाती है।

8.4. अनुकूलतम जलांश (Optimum Moisture Content)

"मृदा में उपस्थित जल की वह मात्रा जिस पर मृदा का शुष्क घनत्व अधिकतम होता है अनुकूलतम जलांश (Optimum Moisture Content) O.M.C. कहलाता है" इसमें मृदा जलांश और शुष्क घनत्व को ग्राफ द्वारा दर्शाया गया है।

"मृदा में जलांश की मात्रा (O.M.C.) से कम अथवा अधिक होने पर उसका शुष्क घनत्व (dry density) अधिकतम शुष्क घनत्व से कम ही होगा।" (ग्राफ चित्र 8.1)

उपरोक्त ग्राफ में जलांश को प्रतिशत में X-अक्ष पर एवं शुष्क घनत्व g/cc को Y-अक्ष पर दर्शाया गया है। परीक्षणोपरान्त जलांश 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 क्रमशः प्राप्त हुये एवं शुष्क घनत्व की रीडिंग 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, g/cc में मिली। ग्राफ में मृदा में जलांश बढ़ाने पर शुष्क घनत्व बढ़ता है फिर घटना शुरू हो जाता है। अत: वक्र में दर्शाया गया है। ग्राफ पर प्राप्त वक्र के उच्च बिन्दु से X-अक्ष पर लम्ब डालने पर (O.M.C.) प्राप्त होगी एवं Y-अक्ष पर लम्ब डालने पर अधिकतम शुष्क घनत्व (Max Dry Density) g/cc में प्राप्त होती है, यही जलांश % में कुटाई हेतु सर्वोत्तम कहलाता है और ऊपर वर्णित लाभ प्राप्त होते हैं।



चित्र–8.1 : संहनन वक्र

Note—(i) शुष्क घनत्व जितना अधिकतम होगा संहनन (Compaction) उतना ही सर्वोत्तम होगा।

(ii) कुटाई करने से रन्ध्र स्थान कम होते हैं, घनत्व उतना ही अधिक प्राप्त होगा।

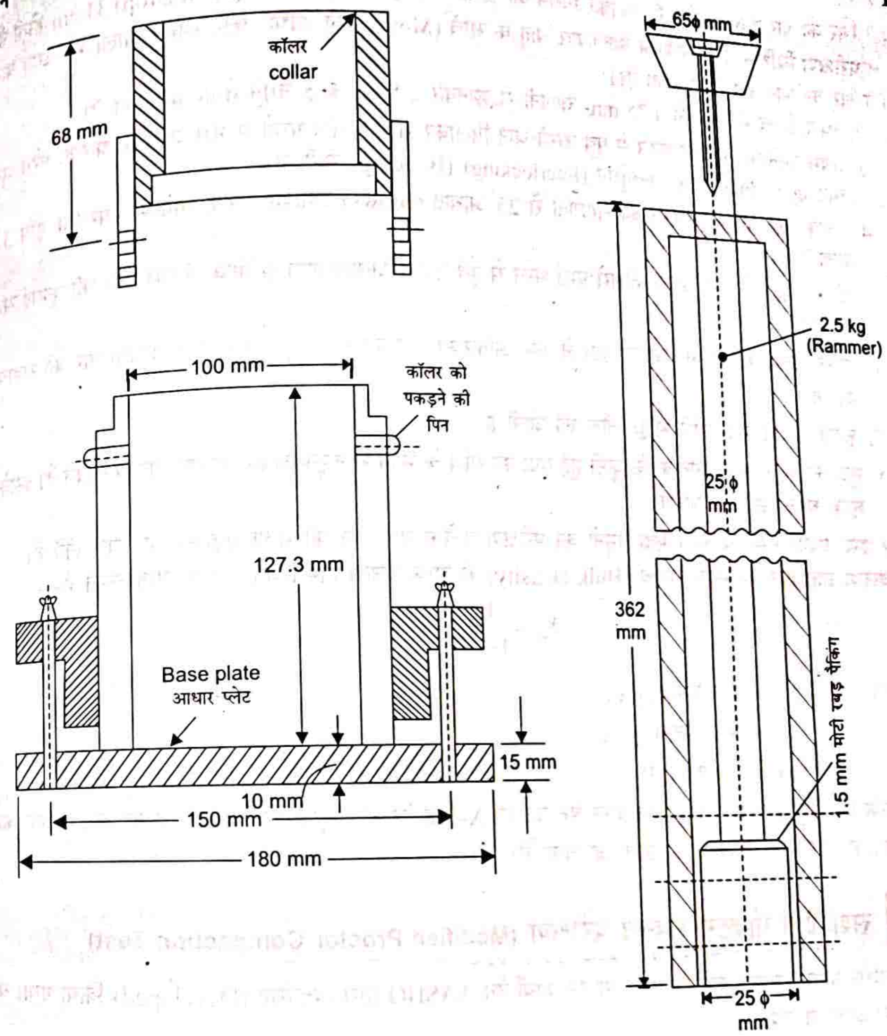
(iii) रन्ध्र स्थानों को कम करके कुटाई करके शुष्क घनत्व बढ़ा सकते है।

(iv) रन्ध्र स्थानों को निश्चित सीमा (Limit) तक ही कम किया जा सकता है।

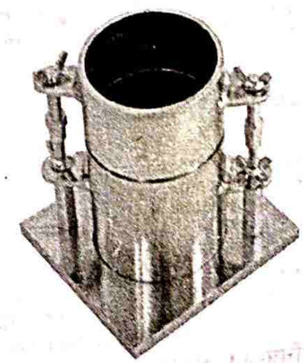
8.5. मानक प्रोक्टर संहनन परीक्षण (Standard Compaction Test)

संहनन परीक्षण भराव वाले स्थानों पर संहनन क्रिया कराने से पूर्व प्रयोगशाला में यह परीक्षण अधिकतम शुष्क घनत्व एवं अनुकूलतम जलांश (O.M.C.) प्राप्त करने हेतु किया जाता है। यह परीक्षण सन् 1933 में कैलीफोर्निया (अमेरिका) में R. R. Proctor ने बाँध निर्माण हेतु किया था। भराव कार्यों हेतु यह परीक्षण अत्यन्त महत्वपूर्ण है। यह उपकरण बेलनाकार होता है। इसका आन्तरिक व्यास 100 mm, ऊँचाई 127.3 mm तथा आयतन 1000 cc होता है। इसमें ऊपर की ओर एक कॉलर लगा सकते हैं जो 60 mm ऊँचा होता है, जो मृदा भरने के बाद अलग कर देते हैं। इसे Removable Collar कह सकते हैं। यह चित्र 8.2 में दर्शाया गया है।

साँचे के नीचे एक आधार प्लेट (Base Plate) होती है जिसे अलग किया जा सकता है। आधार प्लेट को साँचे (Mould) को कसने की व्यवस्था होती है। संहनन क्रिया कराने हेतु मृदा के लिये एक दुरमुट (Rammer) की व्यवस्था होती है।



चित्र–8.2 : प्रोक्टर मोल्ड एवं रैमर



चित्र–8.3 : प्रोक्टर मोल्ड

रैमर का भार 2.6 kg होता है। उठाकर गिराने की ऊँचाई अर्थात् पात ऊँचाई (Height of Drop) 31 cm होती है।

परीक्षण विधि—1. सर्वप्रथम बेलनाकार धातु के साँचे (Mould) को आधार प्लेट सहित खाली भार ज्ञात कर लेते हैं। (कॉलर का भार नहीं लिया जाता है।)

2. स्थल से लायी मृदा को 4.75 mm चालनी से छानकर 2.5 kg के 5 नमूने तैयार कर लेते हैं।
3. प्रथम नमूने का परीक्षण करने से पूर्व उसमें जल मिलाकर साँचे में तीन परतों में भरा जाता है। प्रत्येक परत भरने के बाद खुरच देते हैं ताकि अन्तर्गुंथन (Interlocking) (Bonding) सही हो।
4. प्रत्येक परत की कुटाई रैमर की सहायता से 25 आघात (Blows) लगाकर करनी चाहिये। रैमर का ड्रॉप 31 cm होता है।
5. दो परतें भरने के बाद अर्थात् तीसरी परत भरने से पूर्व कॉलर अवश्य लगा लें ताकि तीसरी परत की कुटाई सही की जा सके।
6. तीसरी परत भरने के बाद कॉलर हटा लें और अतिरिक्त मृदा को स्पेचुला अथवा चाकू अथवा तार की सहायता से हटा दें।
7. कुटाई की हुई मृदा साँचे सहित तौल ली जाती है।
8. मृदा का स्थूल घनत्व ज्ञात करके कुटी हुई मृदा का साँचे के मध्य से नमूना लेकर जलांश ज्ञात कर लेते हैं। इसके बाद शुष्क घनत्व ज्ञात हो जायेगा।
9. इसी प्रकार दूसरे व अन्य मृदा नमूनों का परीक्षण प्रत्येक बार जल की मात्रा बढ़ाकर ज्ञात कर लेते हैं। जलांश ज्ञात होने पर स्थूल घनत्व (Bulk Density) से शुष्क घनत्व निम्नांकित सूत्र से ज्ञात करते हैं—

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+\omega}$$

जहाँ γ_d = शुष्क घनत्व, g/cc

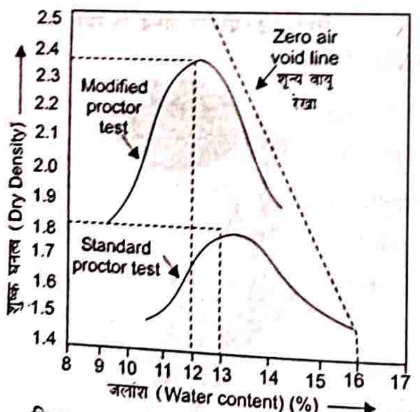
γ_b = स्थूल घनत्व, g/cc

ω = जलांश % में

इसके बाद अनुकूलतम जलांश ज्ञात करने हेतु जलांश X-अक्ष पर और शुष्क घनत्व Y-अक्ष पर लेकर ग्राफ का वक्र बनाया जाता है जिसे चित्र 8.1 पर समझाया जा चुका है।

8.6. संशोधित प्रोक्टर संहनन परीक्षण (Modified Proctor Compaction Test)

संशोधित प्रोक्टर संहनन परीक्षण भारी संहनन कार्यों हेतु AASHO द्वारा विकसित (Developed) किया गया। बाद में I.S. द्वारा अपनाया गया।



चित्र–8.4 : Modified Proctor Test Curve

यह प्रोक्टर टैस्ट को ही संशोधित किया गया है। इसमें धातु का बेलनाकार साँचा (Mould) 1000 cc आयतन का ही प्रयोग करते हैं जोकि Proctor Test में प्रयोग किया जाता है। इसमें रैमर 2.6 kg की जगह 4.9 kg का प्रयोग करते हैं। पात ऊँचाई (Height of Drop) 31 cm के स्थान पर 45 cm होती है। मृदा 3 परतों की जगह 5 परतों में भरी जाती है। आघात (Blows) 25 ही लगाये जाते हैं। शेष विधि प्रोक्टर संहनन परीक्षण की ही भाँति है।

वायु रन्ध्र रेखा (Air Void Line)—मृदा में किसी निश्चित प्रतिशत वायु रन्ध्रों के किसी प्रतिशत पर जो रेखा जलांश (Water Content) और मृदा के शुष्क घनत्व के सम्बन्ध को दर्शाती है उसे **वायु रन्ध्र रेखा** कहते हैं।

8.7. संहनन को प्रभावित करने वाले कारक (Factors affecting Compaction)

संहनन को निम्न कारक प्रभावित करते हैं—

(i) जलांश (Water Content)
(ii) मृदा का प्रकार (Type of Soil)
(iii) संहनन की विधि (Method of Compaction)
(iv) सम्मिश्रकों (Admixture) को मिलाना

1. जलांश (Water Content)—संहनन में जल की भूमिका महत्वपूर्ण होती है। शुष्क मृदाओं में जल की भूमिका एक स्नेहक (Lubricant) के रूप में है। जल मिलाने पर मृदा के कण शीघ्र पास-पास पहुँच जाते हैं जिससे संहनन क्रिया पूर्ण हो जाती है। जल मिलाने से शुष्क कणों के बीच घर्षण कम हो जाता है। सर्वोत्तम संहनन होने पर मृदा का शुष्क घनत्व उच्च प्राप्त होता है।

2. मृदा का प्रकार (Type of Soil)—सर्वोत्तम संहनन मृदा के प्रकार पर निर्भर करता है। संहनन करने पर अलग-अलग मृदाओं पर समान शुष्क घनत्व प्राप्त नहीं होता है। सुवर्गीय मृदाओं (Well Graded Soil) का संहनन शीघ्र पूर्ण हो जाता है, जबकि कुवर्गीय मृदाओं (Poorly Graded Soils) के संहनन हेतु अधिक क्रिया करनी पड़ती है।

3. संहनन की विधि (Method of Compaction)—संहनन यांत्रिक विधियों से करना उचित है। हस्तविधियों से किया हुआ संहनन यांत्रिक विधियों से कम उपयुक्त है। बड़े एवं महत्वपूर्ण कार्यों हेतु संहनन यांत्रिक विधियों से ही किया जाता है।

जैसे—I. Vibratory Rollers—असंजक मृदाओं हेतु

II. Static Rollers—मृत्तिकाओं (Clay) हेतु

4. सम्मिश्रकों को मिलाकर (Admixture)—संहनन क्रिया में मृदा के साथ विभिन्न प्रकार की मृदाओं को मिलाकर एवं उनमें सम्मिश्रक मिलाकर मृदा के गुणों में वृद्धि की जा सकती है तथा संहनन क्रिया को सर्वोत्तम बनाया जा सकता है। जैसे—मृदा में चूने का मिलाना, सीमेन्ट का मिलाना आदि।

8.8. स्थल संहनन की विधियाँ (Field Methods of Compaction)

इन्जीनियरिंग कार्यों हेतु मृदा का संहनन निम्न विधियों से किया जा सकता है—

(i) हस्त विधि द्वारा (Manually), जैसे—दुरमुट द्वारा
(ii) यांत्रिक विधियाँ (Mechanically), जैसे—रोलरों द्वारा

6.8.1. हस्त विधि द्वारा (Manually)

संहनन क्रिया पूर्ण कराने में इसमें दुरमुटों का प्रयोग किया जाता है। यह विधि उन स्थलों के लिये है जहाँ रोलर आदि का प्रयोग सम्भव न हो सके। इसमें बाँस का लम्बा टुकड़ा होता है, इसमें निचले सिरे पर लोहे का भार 2.5 kg का लगा होता है। इसमें स्थल पर मृदा को तीन परतों 15 cm-15 cm में पानी छिड़क कर कुटाई की जाती है।

दुरमुटों से सभी प्रकार की मृदाओं में कार्य किया जा सकता है। प्रथम परत की कुटाई करने के बाद खरोंचने के बाद दूसरी परत डालकर कुटाई करनी चाहिये। इससे Bonding अच्छी बनती है।

8.8.2. यांत्रिक विधि (Mechanical Method)

संहनन हेतु निम्न यन्त्रों को प्रयोग में लाते हैं—

उपकरण निम्न प्रकार हैं—

1. रोलर (Rollers)
2. कंपित्र (Vibrators)
3. दुरमुट (Rammers)

1. रोलर (Rollers)—रोलर निम्न प्रकार के होते हैं—

1. स्थैतिक रोलर (Static Rollers)

(i) समतल पहिये वाले रोलर (Smooth Wheel Rollers)

(ii) शीप फुट रोलर (Sheep Foot Rollers)

(iii) रबड़ टायर वाले रोलर (Rubber Tyred Rollers) or वायुवीय रोलर (Pneumatic Rolls)

(iv) ग्रिड रोलर (Grid Rollers)

2. कम्पनशील रोलर (Vibratory Rollers)

(i) समतल पहिये वाले कम्पी रोलर

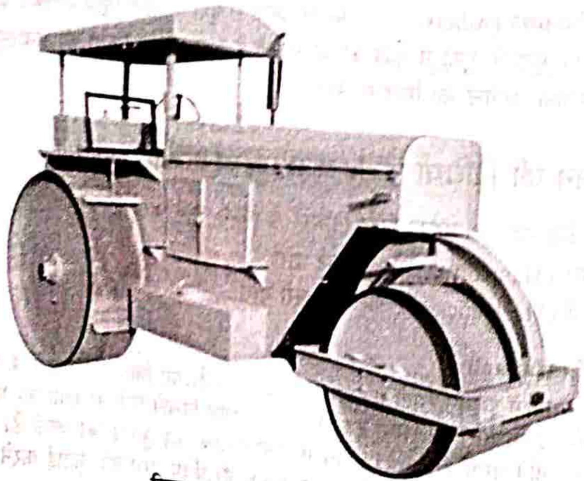
(ii) रबड़ टायर वाले कम्पी रोलर

3. वाइब्रेटर्स (Vibrators)

4. टैम्पर्स (Tampers)

8.9. स्थैतिक रोलर (Static Rollers)

1. समतल पहिये वाले रोलर (Smooth Wheel Rollers)—इन रोलरों के पहिये समतल/चिकने होते हैं, इसलिये इन्हें समतल पहिये वाले रोलर कहते हैं। इनमें तीन पहिये होते हैं। अगले भाग में बड़ा पहिया, पीछे दो छोटे पहिये होते हैं। इन रोलरों से मृदा की कुटाई 15 cm मोटी परतों में बिछाकर की जाती है। मृदा अनुकूलतम जलांश पर कुटाई करनी चाहिये। यह रोलर विभिन्न मृदाओं के अतिरिक्त सड़क की रोड़ी के संहनन आदि कार्यों में प्रयोग में लाये जाते हैं। चित्र 8.5 देखें।



चित्र–8.5 : समतल पहिये वाला रोलर

2. शीप फुट रोलर (Sheep Foot Rollers)—इन रोलरों में एक खोखला ड्रम होता है जो कि लोहे का होता है। इस ड्रम पर बाहर की ओर भेड़ के पैर के आकार के प्रक्षेप (उभार) निकले होते हैं। यही उभार मृदा में प्रवेश करके मृदा को दबाते हैं जिससे मृदा संहनित हो जाती है। ड्रम के खोखले भाग में आवश्यकतानुसार रेत या मिट्टी भर दी जाती है जिससे रोलर का भार बढ़ जाता है। ये रोलर ट्रैक्टरों द्वारा खींचे जाते हैं। एक ट्रैक्टर तीन रोलरों को खींच सकता है। ये 2.5 टन से 13 टन भार तक के हो सकते हैं। इन रोलरों में एक चक्कर में इनके पैरों द्वारा मृदा पर पड़ने वाले भार पर निर्भर करता है जो स्वयं शीप फुट रोलर के कुल भार, एक पैर के क्षेत्रफल, एक समय में मृदा के सम्पर्क में आने वाले पैरों की संख्या तथा प्रत्येक ड्रम में पैरों की कुल संख्या पर निर्भर करता है।

चित्र–8.6 : शीप फुट रोलर

चित्र–8.7 : शीप फुट रोलर

3. रबड़ टायर रोलर (Rubber Tyred Rollers)—इन रोलरों में पहिये रबड़ टायर के होते हैं और भारी होते हैं। इन रोलरों में एक चबूतरा रहता है जो धुरों पर लगा रहता है। छोटे रोलर में एक धुरे पर पहियों की संख्या 4 से 9 तक होती है। अगले धुरे में पहिये इस प्रकार लगे रहते हैं कि वे पिछले पहियों के बीच-बीच के खाली स्थान को भर दें ताकि संहनन के समय पूरी पट्टी की एक साथ कुटाई हो सके। कुछ रोलरों में पहिये धुरे की अपेक्षा कुछ कोण पर झुके हुये लगाये जाते हैं जिसके कारण मृदा को गूँथने में लगे रहते हैं। इन रोलर टायरों में दाब 6 से 10 kg/cm^2 रखते हैं। रोलर के मंच पर भार रखकर इसके भार को बढ़ा सकते हैं। जैसे—मिट्टी के बोरे, पत्थर आदि, यह सभी प्रकार की मृदाओं की कुटाई कर सकते

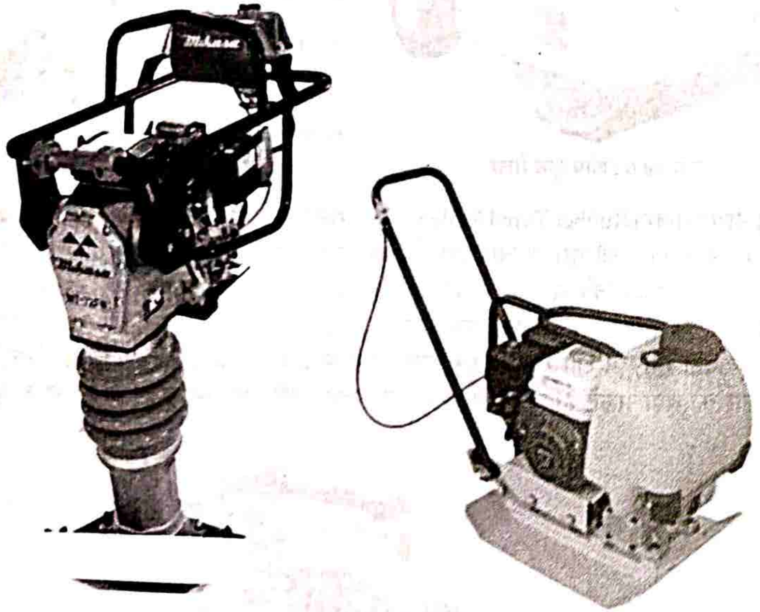
चित्र–8.8 : रबड़ टायर रोलर

हैं। चित्र 8.8 देखें। भारी रोलर 25 से 100 टन के होते हैं। पहियों का दाब 10.2 kg/cm^2 तक होता है। साधारण रोलर 5 से 15 टन के होते हैं।

4. ग्रिड रोलर (Grid Rollers)—ग्रिड रोलर सड़कों की आधार सतह (Sub grade) की कुटाई के लिये उचित रहते हैं। इनका जो भाग मृदा से सम्पर्क करता है उसका 3.7 cm व्यास की लोहे की छड़ों की जाल का बना होता है। छड़ों के बीच एक वर्ग बन जाता है। दो रोलर एक धुरी पर फिट होते हैं। इसमें रेत के भरे बोरे भार बढ़ाने के लिये रखे जाते हैं। इन रोलरों को ट्रैक्टर द्वारा खींचते हैं। रोलर का भार लगभग 15 टन तक हो सकता है।

8.10. वाइब्रेटर्स रोलर (Vibratory Rollers)

जब मृदाओं में कम्पन कराते हैं तो इससे मृदा कण पास-पास आ जाते हैं। इन रोलरों में अलग से इन्जन की व्यवस्था की जाती है। कम्पन होने से मृदा का घनत्व बढ़ जाता है। कम्पनों की आवृत्ति लगभग 2000 से 4000 कम्पन्न प्रति मिनट हो सकती है। ये मुख्यत: ससंजनहीन मृदाओं; जैसे—बालू, बजरी आदि के लिये अत्यधिक उपयुक्त हैं। इन्हें जितनी धीमी गति से चलाया जाय उतनी अच्छी संहनन प्रक्रिया प्राप्त होती है। जिन स्थानों पर बड़े उपकरणों से संहनन करना सम्भव न हो वहाँ इन रोलरों से कार्य सम्पन्न कराया जा सकता है। बाजार में प्लेट टाइप वाइब्रेटर्स उपलब्ध हैं।



चित्र–8.9 : वाइब्रेटर्स

8.11. संहनन उपकरण का चुनाव (Choice of Compaction Equipment)

संहनन हेतु उपकरणों का चुनाव निम्न बातों पर निर्भर करता है—

(i) मृदा का प्रकार (Type of Soil)

(ii) प्रोजेक्ट का आकार (Size of Project)

(iii) संहनन की आवश्यकता (Compaction Requirements)

(iv) मृदा का जलांश (Water Content of Soil)

कोई भी उपकरण प्रत्येक दशा के लिये उपयुक्त नहीं होता है। निम्न तालिका में अलग-अलग मृदाओं के लिये उपकरणों का चुनाव किया गया है।

तालिका 8.1

क्र०सं०	उपकरण का प्रकार	मृदा का प्रकार (Type of Soil)
1.	रोलर (Roller) (i) शीप फुट रोलर (Sheep Foot Roller)	सिल्टयुक्त मृदा, चिकनी मृदा, सिल्टी मृदा (केवल संसजक मृदाओं हेतु)
	(ii) समतल पहिये वाले रोलर (Smooth Wheel Roller)	टूटी हुई चट्टान, ग्रेवल, बालू आदि
	(iii) वायु दाब टायर वाले रोलर (Rubber Tyred Roller)	बालू, ग्रेवल, सिल्टयुक्त मृदा, मृत्तिका
2.	दुरमुट (Rammers)	प्रतिधारक दीवारों (Retaining walls), अन्त्याधारों (Abutments) के पीछे पश्च भराव हेतु
3.	वाइब्रेटर्स (Vibrators)	कोणीय कणों वाली मृदाओं; जैसे—ग्रेवल, बालू आदि।

8.12. संहनन नियन्त्रण (Compaction Control)

प्रयोगशाला एवं स्थल पर संहनन समय-समय पर निरीक्षण करते रहना चाहिये एवं दोनों का तुलनात्मक अध्ययन बहुत आवश्यक है। स्थल से लायी मृदा का प्रयोगशाला में अनुकूलतम जलांश (OMC) एवं अधिकतम शुष्क घनत्व प्राप्त किया जाता है एवं स्थल पर स्थल घनत्व (Field Density) ज्ञात करके अधिकतम शुष्क घनत्व प्राप्त करते हैं। यदि स्थल पर प्रयोगशाला का 95% तक संहनन प्राप्त हो जाये तो संहनन कार्य अच्छा ही मान सकते हैं। समय-समय पर यह कार्य करते रहना चाहिये। जब दोनों स्थानों का घनत्व समान प्राप्त हो जाये तो संहनन उत्तम माना जायेगा।

मृदा का स्थल पर घनत्व ज्ञात करने की निम्नांकित विधियाँ हैं—

(i) क्रोड कर्तनी विधि (Core Cutter Method)

(ii) रेत प्रतिस्थापन विधि (Sand Replacement Method)

8.13. क्रोड कर्तनी विधि (Core Cutter Method)

क्रोड कर्तनी विधि महीन कणीय मृदाओं की स्थलीय घनत्व ज्ञात करने की उपयुक्त विधि है। चित्र 8.10 देखें, इस विधि में निम्न उपकरण प्रयोग में लाये जाते हैं—

(i) बेलनाकार क्रोड कर्तक (Cylindrical Core Cutter)
(100 mm Internal Diameter & 127.4 mm Height)

(ii) स्टील डॉली (Steel Dolly)

(iii) स्टील रैमर (Steel Rammer)

(iv) स्क्रेपर (Scrapper) खुरचनी या खुरपा

(v) विद्युत भट्टी, भौतिक तुला, कन्नी (Trowel), एल्यूमीनियम कन्टेनर

विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम कोर कर्तक का व्यास तथा ऊँचाई ज्ञात करके कोर कर्तक का आयतन (Volume) मालूम कर लेंगे। (कर्तक का आयतन बराबर होगा मृदा के आयतन के)।
2. कोर कर्तक का खाली भार ज्ञात करेंगे डॉली का भार नहीं लेंगे (Without Dolly)।
3. स्थल को साफ करके खुरचक (Scraper) से समतल कर लेना चाहिये।

4. अब स्थल पर कोर कर्तक रखकर डॉली लगाकर उस पर रैमर से आघात लगाते हुये भूमि के अन्दर धँसाने का कार्य करेंगे। विशेष ध्यान रखें कि कर्तक भूमि में सीधा प्रवेश करे और कर्तक पूरा भूमि में धँस जाये।
5. डॉली का कार्य कर्तक को पूरा भूमि में धँसाने का है। कर्तक के धँसने के बाद डॉली अलग कर लेनी चाहिये।
6. अब खुरपे की मदद से कर्तक को भूमि से निकालें, ध्यान रखें कर्तक हिलने न पाये।
7. कर्तक को मृदा सहित तौल लें।
8. कर्तक से मृदा निकालने के बाद मृदा का जलांश ज्ञात करते हैं।

उपरोक्त विधि अपनाने के पश्चात् स्थूल घनत्व ज्ञात कर लेते हैं।

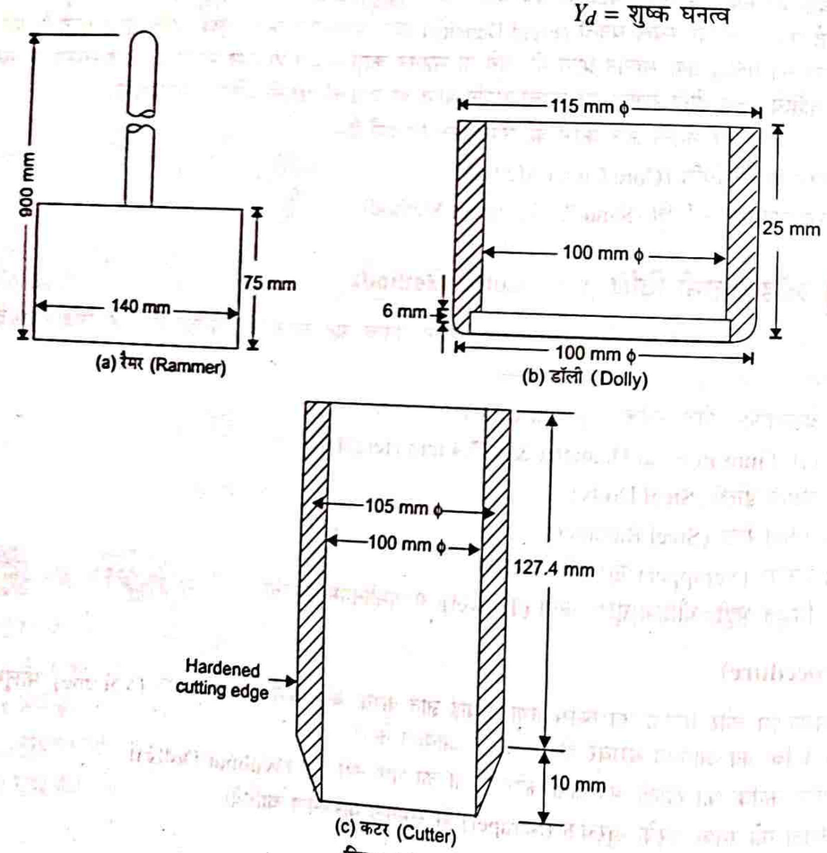
$$\text{स्थूल घनत्व} = \frac{W}{V} \qquad W = W_2 - W_1$$

$$\gamma_b = \frac{(W_2 - W_1)}{V}$$

$$\gamma_b = W/V \qquad ...(i)$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+W} \qquad ...(ii)$$

जहाँ, W_1 = कोर कर्तक का खाली भार
W_2 = कोर कर्तक + मृदा का भार
W = जलांश
γ_b = स्थूल घनत्व
V = मृदा का आयतन
γ_d = शुष्क घनत्व



चित्र–8.10

8.14. रेत प्रतिस्थापन परीक्षण (Sand Replacement Test)

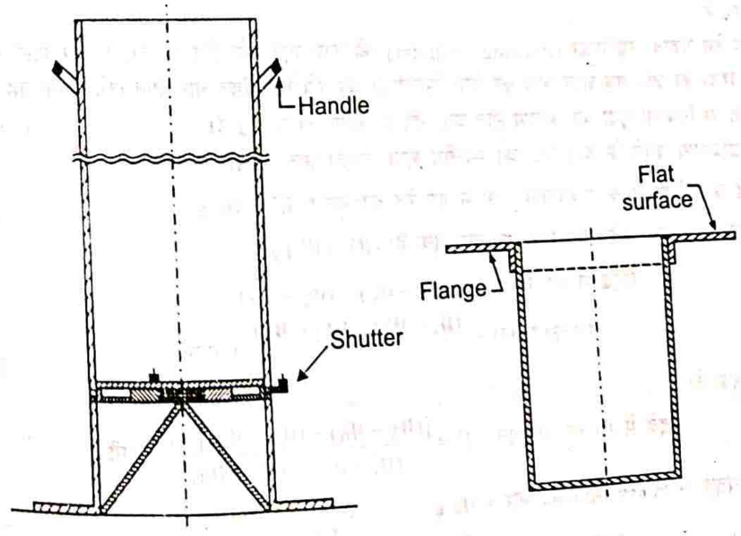
रेत प्रतिस्थापन परीक्षण स्थूल एवं महीन कणीय मृदाओं के स्थलीय घनत्व ज्ञात करने के लिये उपयुक्त है। इस परीक्षण में मृदा का घनत्व रेत को बदलकर (Replace) करके प्राप्त किया जाता है। चित्र 8.11 देखें। इस परीक्षण में निम्न सामानों (उपकरणों) की जरूरत होती है—

(i) रेत भरने का सिलिण्डर (Sand Pouring Cylinder)।
(ii) अंशांकन सिलिण्डर (Calibrating Cylinder)।
(iii) वर्गाकार धातु की ट्रे, जिसके मध्य में गोलाकार छिद्र हो।
(iv) मृदा को हटाने के लिये खुरचक (Dibber/Scraper)।
(v) विद्युत भट्ठी, तुला, शीशे की प्लेट।
(vi) शुष्क रेत 600 μ चालनी से छना हुआ।

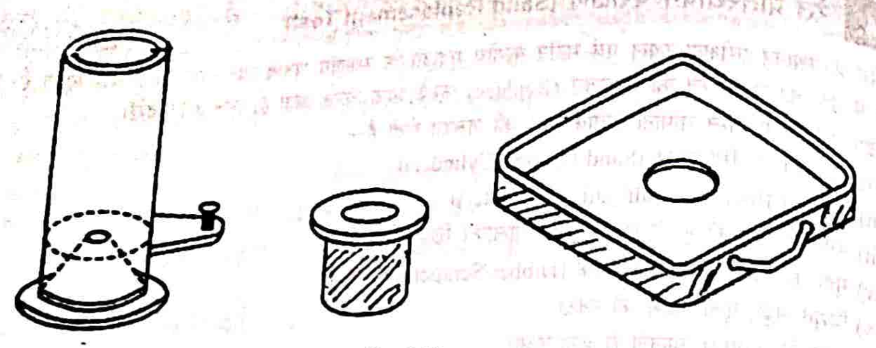
विधि (Procedure)

(A) इस परीक्षण में सर्वप्रथम रेत का स्थूल घनत्व ज्ञात करते हैं। इसके बाद रेत के स्थूल घनत्व की मदद से मृदा का शुष्क घनत्व (Dry Density) ज्ञात करते हैं।

1. रेत बहाव सिलिण्डर में 600 μ चालनी से छने हुयी बालू भरेंगे। ध्यान रहे सिलिण्डर 1 cm खाली रहे ताकि (बालू छलक कर बाहर न गिरे) और इसे तौल लें, माना भार W_1 है।
2. अंशांकन पात्र के ऊपर रेत बहाव सिलिण्डर को दोनों के केन्द्र मिलाकर रखें, रेत बहाव सिलिण्डर के शटर को खोल दें जिससे रेत अंशांकन पात्र/सिलिण्डर में भरने लगेगा। जब पात्र भर जाये, शटर को बन्द कर देंगे। रेत बहाव सिलिण्डर को बची हुयी बालू के साथ तौल लें, माना भार W_2 है।
3. पुन: रेत बहाव सिलिण्डर में 600 μ से छनी बालू 1 cm का गैप रखते हुये भर दें।
4. रेत बहाव सिलिण्डर को समतल शीशे की प्लेट पर रख कर शटर को खोलें, जब बालू बहना बन्द हो जाये शटर बन्द कर दें और सिलिण्डर में बचे रेत को तौल लें, माना भार W_3 है।



चित्र–8.11 : रेत प्रतिस्थापन उपकरण



चित्र 8.12

इसके बाद बालू का स्थूल घनत्व ज्ञात करेंगे।

अंशांकन पात्र + शंक्वाकार भाग में रेत की मात्रा $= W_1 - W_2$

शंक्वाकार भाग में रेत की मात्रा $= W_2 - W_3$

अत: अंशांकन पात्र में रेत की मात्रा $= (W_1 - W_2) - (W_2 - W_3)$

अंशांकन सिलिण्डर का आयतन $= V\ cm^3$

अत: रेत का घनत्व $= \dfrac{(W_1 - W_2) - (W_2 - W_3)}{V}\ g/cm^3$

(B) स्थलीय घनत्व ज्ञात करना

(i) स्थल को खुरचक (Scraper) की सहायता से साफ करके समतल करके वर्गाकार धातु की ट्रे स्थल पर रखें।

(ii) ट्रे में बने छेद के व्यास के बराबर भूमि में छेद करें। छेद की गहराई अंशांकन पात्र की गहराई के लगभग बराबर रखें। खुदी हुयी मृदा को उसी ट्रे में रख लेंगे और तौल लेंगे, माना भार W_4 है एवं रेत बहाव सिलिण्डर में बालू भर कर तौल लें, माना भार W_5 है।

(iii) अब रेत बहाव सिलिण्डर (Pouring Cylinder) को उसी खुदे हुये छेद पर रखेंगे और शटर को खोल देंगे। जब रेत का तल स्थिर हो जाये तब शटर बन्द कर देंगे। सिलिण्डर का बचे रेत सहित भार तौल लेंगे। माना यह भार W_6 है।

(iv) गड्ढे से निकली मृदा का जलांश ज्ञात कर लेते हैं। माना जलांश ω है।

उपरोक्त प्रक्रियायें करने के बाद मृदा का स्थलीय शुष्क घनत्व ज्ञात करेंगे।

खुदे गड्ढे व सिलिण्डर के शंक्वाकार भाग में गये रेत का भार $= W_5 - W_6$ g

पूर्व में शंक्वाकार भाग में रेत का भार ज्ञात कर चुके हैं। $(W_2 - W_3)$ g

अत:

गड्ढे में रेत का भार $= (W_5 - W_6) - (W_2 - W_3)$ g

रेत का घनत्व $= \dfrac{(W_1 - W_2) - (W_2 - W_3)}{V}\ g/cm^3$

ज्ञात कर चुके हैं।

गड्ढे में रेत का आयतन $= V = \dfrac{[(W_5 - W_6) - (W_2 - W_3)] \times V}{(W_1 - W_2) - (W_2 - W_3)}$ सेमी^{3}

गड्ढे से निकली मिट्टी का भार $= W_4$ g

अत:

मिट्टी का घनत्व $= \dfrac{W_4\,[(W_1 - W_2) - (W_2 - W_3)]}{[(W_5 - W_6) - (W_2 - W_3)].V}$

मृदा का जलांश ज्ञात करने के बाद निम्न सूत्र से मृदा का शुष्क घनत्व ज्ञात करते हैं—

$$Y_d = \frac{Y_b}{1+\omega}$$

जहाँ, Y_d = शुष्क घनत्व, g/cm^3

Y_b = स्थूल घनत्व, g/cm^3

ω = जलांश % में

8.15. प्रोक्टर सुई विधि (Proctor Needle Method)

प्रोक्टर सुई विधि से स्थल पर अति शीघ्र जलांश ज्ञात किया जाता है। प्रोक्टर सुई को चित्र 8.13 में देखें। इस विधि में धँसन प्रतिरोध की जाँच करते हैं। जलांश जितना अधिक होगा धँसन उतना ही अधिक होगा। इस उपकरण में छड़ के सबसे नीचे के भाग में आवश्यकता के अनुसार (0.25, 0.50, 1.0, 1.5, 2 cm^2) अनुप्रस्थ खण्ड की वृत्ताकार एडाप्टर लगा दी जाती है। यह व्यवस्था चूड़ियों द्वारा की जाती है अर्थात् कसने के लिये चूड़ियाँ बनी रहती हैं। नीडिल पॉइन्ट (Needle Point) को (Needle Shunk) में कस दिया जाता है।

विधि (Procedure)

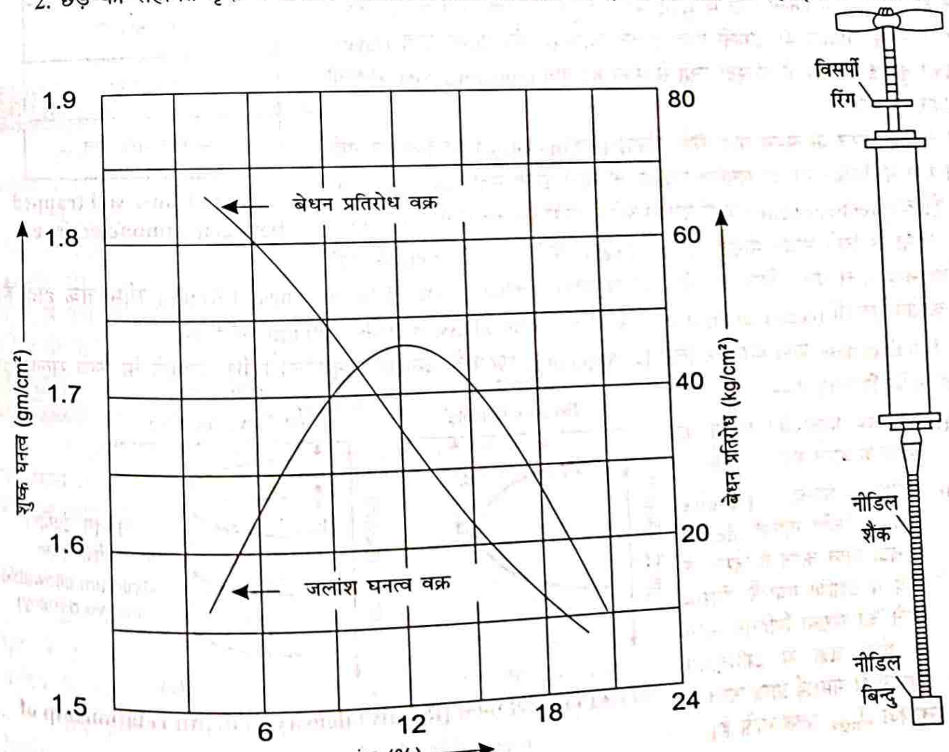
प्रोक्टर नीडिल विधि को दो भागों में पूर्ण किया जाता है—

(i) प्रयोगशाला में कैलीब्रेशन वक्र (Calibration Curve) को प्लॉट करना।

(ii) स्थल पर मृदा का बेधन प्रतिरोध ज्ञात करना।

कैलीब्रेशन वक्र का ग्राफ बनाना (Plotting of Calibration Curve)

1. दिये गये जलांश पर मानक प्रोक्टर साँचे में मृदा का संहनन करना।
2. छड़ को संहनित मृदा में प्रोक्टर नीडिल की 12.5 cm/sec की दर से 7.5 cm की गहराई तक धँसाते हैं।



चित्र–8.13 : प्रोक्टर नीडिल एवं वक्र

3. इस विधि में लगे बल को स्प्रिंग के अधिकतम सम्पीडन से ज्ञात कर सकते हैं। उपकरण पर बने अंशांकनों से पढ़कर, धँसन प्रतिरोध ज्ञात कर लेते हैं। यही बल की धँसन प्रतिरोध कहलाता है। इकाई क्षेत्रफल पर अधिकतम बल ज्ञात करने के लिये अधिकतम बल को एडाप्टर के क्षेत्रफल से भाग देकर ज्ञात करते हैं।
4. इस विधि को अलग-अलग जलांश पर दोहराते हैं।
5. बेधन प्रतिरोध और जलांश के बीच ग्राफ प्लॉट (Plot) करते हैं।

स्थल पर बेधन प्रतिरोध ज्ञात करना

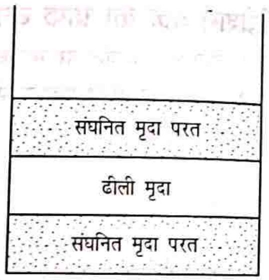
(i) प्रोक्टर नीडिल को एक निश्चित गहराई तक संहनित मृदा परत में धँसाते हैं। नीडिल का मृदा में धँसन प्रतिरोध नोट करके लेबोरेटरी में प्रोक्टर परीक्षण द्वारा उसी मृदा का जलांश एवं धँसन प्रतिरोध के तैयार ग्राफ द्वारा जलांश व शुष्क घनत्व ज्ञात कर सकते हैं।

(ii) इस प्रतिरोध के मान की मदद से प्रयोगशाला में अंशांकित (Calibrated) ग्राफ की सहायता से मृदा का जलांश व शुष्क घनत्व ज्ञात कर लेते हैं।

सावधानियाँ (Precautions)—प्रयोग में अंशांकन ग्राफ हेतु स्थल और प्रयोगशाला की मृदा समान अर्थात् एक ही (same) होनी चाहिये।

8.16. मृदा परत मोटाई नियंत्रण (Thickness control on soil layer)

संघनित मृदा मोटाई पर नियंत्रण पर विशेष ध्यान रखा जाता है इसे उठान मोटाई (lift thickness) भी कह सकते हैं। संघनित्र मृदा परत की मोटाई बढ़ने पर संघनित मृदा परत की गहराई के साथ शुष्क घनत्व घटने लगता है। इसलिये मृदा परत को निश्चित या पतली परत में कुटाई करना चाहिये। पहली परत कुटाई अच्छी तरह करने के पश्चात् ही अगली परत डालनी चाहिये। यदि पतली परत (layer) डालकर कुटाई की गयी है तो मृदा रन्ध्रों से फँसी हुई वायु (entrapped air) आसानी से बाहर हो जाती है।



चित्र 8.14 : Loose soil trapped between compacted layer

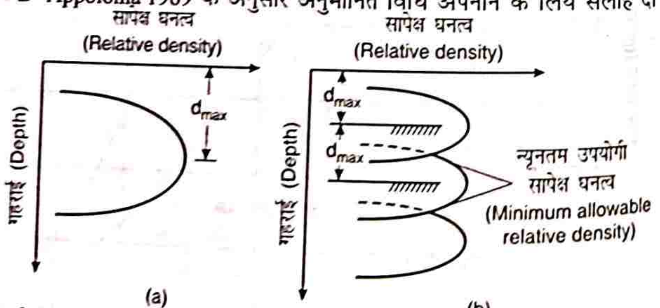
कुटाई करने के समय यदि उठान मोटाई (lift thickness) पर नियंत्रण नहीं किया गया तो चित्रानुसार दो संघनित मृदाओं के बीच ढीली मृदा (loose soil) में फँसी हुई वायु (entrapped air) बाधा उत्पन्न करेगी। परिणाम अच्छा नहीं आयेगा।

बाँधों के लिये उठान मोटाई (lift thickness) की सीमा 220 mm है जहाँ भारी वायुवीय रोलर प्रयोग किये जाते हैं। तटबन्ध/भराव (embankment) में lift thickness 150 mm सीमा तक होती है। स्थूल कणीय मृदाओं (coarse grained soil) के लिये lift thickness की सीमा 300 mm होती है।

Lift thickness प्राप्त करने के लिये D' Appolonia 1969 के अनुसार अनुमानित विधि अपनाने के लिये सलाह दी जाती है जोकि निम्नवत है—

(i) सर्वप्रथम परतों की संख्या का निर्धारण करते हैं।

(ii) सापेक्ष घनत्व (relative density) और गहराई (depth) में वक्र प्राप्त करते हैं जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है, जिसमें परतों की संख्या निश्चित करते हैं। फिर वक्र से अधिकतम संहनन पर गहराई प्राप्त करते हैं जो कि d_{max} प्राप्त होती है।



चित्र 8.15 : सापेक्ष घनत्व (Relative density vs depth relationship of sand for fixed number passes)

(iii) (a) वास्तव में lift thickness प्रत्येक परत की इतनी कम होनी चाहिये जिससे बीच में कोई ढीली परत (loose layer) फँसी न रह जाये।

(b) सापेक्ष घनत्व और गहराई वक्र से प्रदर्शित होती है कि lift thickness d और d_{max} बराबर हैं।

(iv) यदि lift thickness स्थानान्तरण में d का मान d_{max} से कम है तो संहनन का प्रयास व्यर्थ हो जाता है।

Lift thickness—यह मृदा परत की वह मोटाई है जो ढीली मृदा (loose soil) की कुटाई अर्थात् संहनन (compaction) के पश्चात् प्राप्त होती है।

8.17. तटबन्ध/भराव कार्य में कार्यरत पर्यवेक्षक का कर्त्तव्य (JOB of an embankment supervisor)

स्थल पर पर्यवेक्षक का कार्य निर्माण कार्यों की देखभाल करते रहना और कार्य में उपयोगी संयंत्रों (equipments), एवं कर्मचारियों की व्यवस्था करना होता है।

निर्माणाधीन कार्यों को दक्ष सुपरवाइजर अच्छी तकनीकी विश्वास के साथ स्थानान्तरित करवाता है और स्थल पर आने वाली समस्याओं का हल भी निकालता है। प्रत्येक दशा में कार्य को आगे बढ़ाता है।

पर्यवेक्षक (supervisor) को भराव/तटबन्ध कार्यों में निम्नानुसार कार्य करवाना चाहिये।

1. विभिन्न प्रकार की मृदाओं एवं उनके इन्जीनियरिंग गुणों की जानकारी रखना।
2. उचित संहनन प्लान्ट (compaction plant) अथवा उपकरणों का चयन करना।
3. मृदा परतों के लिये जलांश (water content) पर नियंत्रण रखना।
4. उचित संहनन (compaction) द्वारा lift thickness पर नियंत्रण रखना।
5. अत्यधिक संहनन (over-compaction) से दूर रहना अन्यथा कभी भी अपरूपण (shear) विफलता आ सकती है। यह विफलता मृदा और रोलर के समंजन में हो सकती है। ऐसी समस्या मुख्यत: शीप फुट रोलर में आती है।
6. सम्मिश्रकों (admixtures) का पूर्ण ज्ञान होना।
7. अनुकूलतम जलांश और गहराई के ज्ञान पर नियंत्रण होना।

8.18. संघनन (Consolidation)

भवन निर्माण में भवन का भार नींव द्वारा नीचे की मृदा पर स्थानान्तरित होता है। चूँकि हम जानते हैं कि मृदा के रिक्त स्थानों में जल, वायु उपस्थित रहते हैं।

इस प्रक्रिया में संरचना/भवन का सम्पूर्ण भार नींव के माध्यम से मृदा वहन करती है। यह भार मृदा कण एवं जल दोनों को वहन करना पड़ता है। धीरे-धीरे मृदा से पारगम्यता गुण के कारण भार पड़ने से मृदा कणों से जल निकलना शुरू कर देता है। यह पारगम्यता के गुण पर निर्भर करता है। यह पारगम्यता के कारण धीरे एवं तेज भी हो सकता है। जब मृदा कणों से पूर्ण जल निकल जाता है तो सम्पूर्ण भार मृदा कणों को ही वहन करना पड़ता है जिससे नींव के नीचे की मृदा में धँसन हो जाती है। इस प्रक्रिया को संघनन कहा जा सकता है।

8.19. परिभाषा (Definition)

"मृदा संहति पर संरचना का भार (Load) नींव के माध्यम से स्थानान्तरित होने के कारण मृदा के रन्ध्रों में उपस्थित जल के निकासी के कारण मृदा के आयतन (Volume) में कमी और उसके कारण उसमें होने वाली धँसन को संघनन कहा जाता है।"

रेतीली मृदाओं (Sandy Soils) में यह क्रिया शीघ्र पूर्ण होती है, क्योंकि ऐसी मृदाओं की पारगम्यता अधिक होती है जिससे भार पड़ने पर जल की निकासी शीघ्र हो जाती है।

अत: स्पष्ट है कि मृदा की पारगम्यता पर जल निकासी निर्भर करती है। चिकनी मिट्टी जिसके कण सूक्ष्म होते हैं, इस मृदा में जल निकासी देर से हो पाती है। अत: संघनन क्रिया पूर्ण होने में 100 वर्ष से भी अधिक का समय लग जाता है, क्योंकि चिकनी मिट्टी के कण सूक्ष्म होने के कारण पारगम्यता अग्र होती है।

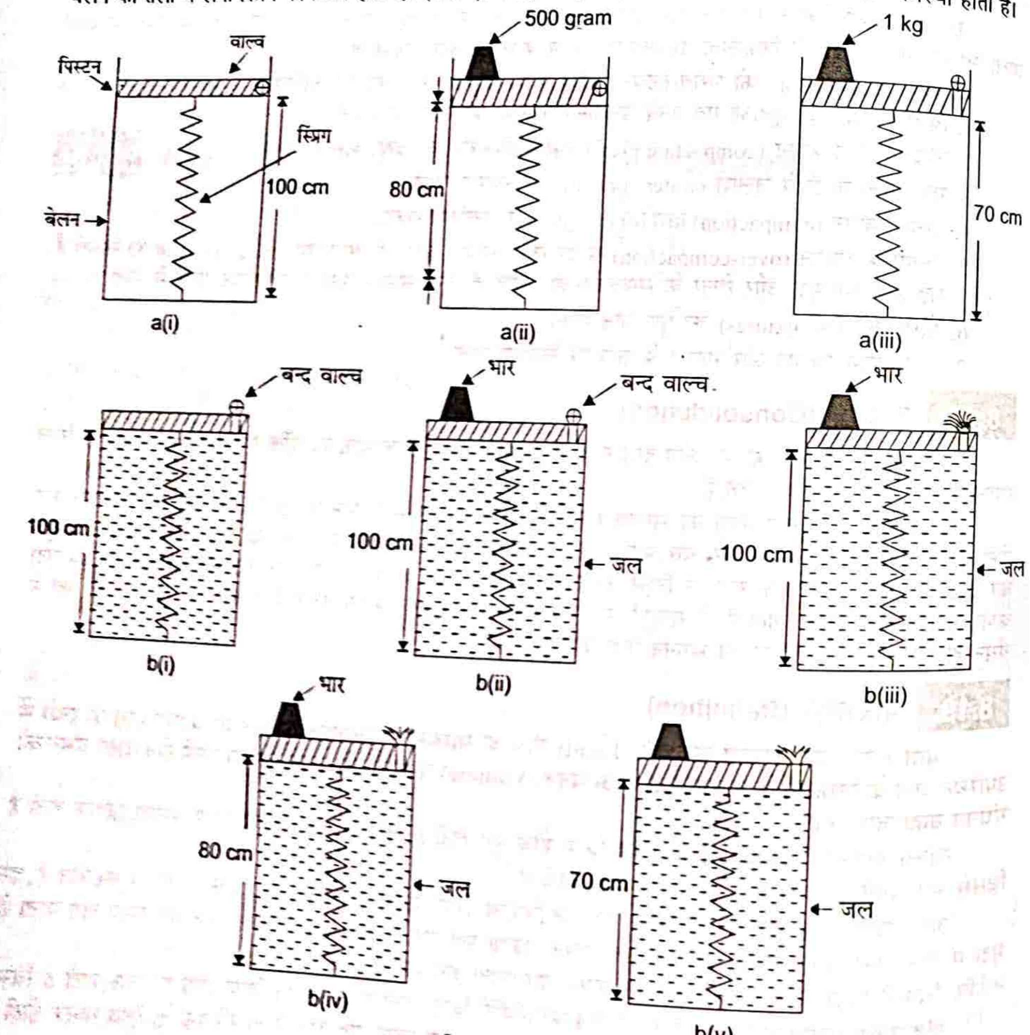
यदि उच्च पारगम्यता वाली मृदाओं में नींव का निर्माण किया जाता है तो संघनन क्रिया शीघ्र पूर्ण हो जाती है जिससे निर्माण के समय ही धँसन क्रिया हो जाती है, लम्बे अन्तराल तक यह क्रिया यदि होती है तो संरचना के लिये घातक होती है। अत: नींव निर्माण हेतु रेतीली, ग्रेवलयुक्त मृदायें अधिक उपयुक्त हैं।

निम्न पारगम्यता वाली मृदाओं में संघनन क्रिया अत्यधिक धीमी रहती है, अत: काफी समय लग जाता है। अत: निम्न पारगम्यता वाली मृदायें नींव हेतु उपयुक्त नहीं हैं। इसका प्रभाव काफी समय बाद संरचना पर स्पष्ट दिखाई देता है जिससे संरचनाओं में जटिल परिस्थितियाँ सामने आती हैं जोकि उचित नहीं है।

8.20. प्रयोगशाला में संघनन की व्याख्या (Explanation of consolidation in laboratory)

संघनन क्रिया की व्याख्या को सर्वप्रथम डा० टरजागी ने सन् 1923 में मॉडल बनाकर प्रयोगशाला में सरलता से समझाने का प्रयास किया।

चित्र 8.1a(i) में दिखाये गये मॉडल की सहायता से समझाया। इसमें एक बेलन में पिस्टन लगा रहता है। यह पिस्टन बेलन की तली में लगी स्प्रिंग पर टिका होता है। इसमें एक छिद्र भी होता है। छिद्र द्वारा पानी निकालने की व्यवस्था होती है।



चित्र 8.16

(i) चित्र 8.16a (ii) यदि पिस्टन पर भार 500 gram और बढ़ा दें तो स्प्रिंग दब जाती है।

(ii) चित्र 8.16a (iii) यदि पिस्टन पर भार 500 gram और बढ़ा दें अर्थात् 1 kg तो स्प्रिंग और अधिक दब जायेगी।

(iii) चित्र 8.16b (i) यदि अब बेलन में पानी भर दिया जाये और उसमें लगे वाल्व को बन्द कर दिया जाये और पुन: पिस्टन पर भार लगाया जाये तो देखेंगे कि भार लगाने पर स्प्रिंग बिल्कुल नहीं दबती है। चित्र 8.16b (ii) इस दशा में पिस्टन पर लगा सारा भार पानी द्वारा वहन किया जायेगा।

(iv) अब यदि हम बेलन का छिद्र खोल दें तो बेलन के पानी व वातावरण के दाब में अन्तर के कारण छिद्र खुलते ही बेलन से जल निकलना शुरू हो जाता है और धीरे-धीरे स्प्रिंग दबेगी चित्र 8.16b (iii)।

(v) थोड़ी देर बाद एक सन्तुलन आ जायेगा चित्र 8.16b (iv)।

(vi) यदि पिस्टन पर और भार बढ़ा दिया जाये तो पुन: जल की निकासी प्रारम्भ हो जायेगी और स्प्रिंग और दब जायेगी चित्र 8.16b (v)। यदि यही जल तेजी से निकलने लगे तो जल द्वारा वहन किया जाने वाला भार स्प्रिंग द्वारा वहन किया जायेगा।

इस क्रिया की गति जल निकलने की गति पर निर्भर करती है। जल की निकासी वाल्व में छिद्रों की संख्या पर निर्भर करेगी एवं छिद्रों की माप पर भी निर्भर करेगी अर्थात् जल निकासी जितनी शीघ्र होगी संघनन क्रिया उतनी शीघ्र पूर्ण होगी अर्थात् पारगम्यता अधिक होगी, संघनन क्रिया उतनी शीघ्र हो जायेगी।

नोट—डा० टरजागी के मॉडल में वास्तविक संघनन प्रक्रिया एवं कमानी व पिस्टन में अनुरूपता निम्न हैं—

(i) स्प्रिंग/कमानी अनुरूप मृदा कणों के।

(ii) संरचना का भार अनुरूप पिस्टन पर रखा भार।

(iii) मृदा पारगम्यता अनुरूप वाल्व के छिद्रों एवं माप के।

(iv) रन्ध्र जल अनुरूप बेलन में पानी के।

$$\sigma = \bar{\sigma} + U$$

σ = सम्पूर्ण भार

$\bar{\sigma}$ = कमानी द्वारा वहन किया भार

U = जल द्वारा वहन किया भार

उपरोक्त समीकरण से दर्शाया जा सकता है।

8.21. संहनन और संघनन में अन्तर (Difference between compaction & consolidation)

संहनन	संघनन
1. यह कृत्रिम क्रिया है।	1. यह प्राकृतिक क्रिया है।
2. इस क्रिया में आयतन में कमी यांत्रिक विधि, जैसे रोलर आदि से की जाती है। रन्ध्रों से वायु निकल जाती है। रन्ध्रों में कमी हो जायेगी।	2. इस क्रिया में भार पड़ने पर रन्ध्रों से जल धीरे-धीरे निकल जाता है और आयतन में कमी होती है।
3. इस क्रिया को नियन्त्रण में रख सकते हैं। क्रिया की दर घटा-बढ़ा सकते हैं।	3. यह क्रिया प्राकृतिक होने के कारण इस पर नियन्त्रण नहीं है।
4. इसमें प्रतिबलों का स्थानान्तरण नहीं होता है।	4. इसमें प्रतिबलों का स्थानान्तरण होता है। भार पड़ने पर पहले जल वहन करेगा बाद में जल निकल जाने पर मृदा कणों पर भार स्थानान्तरित हो जाता है।

प्रश्नावली

1. संहनन से आप क्या समझते है? इसकी आवश्यकता क्यों होती है?
2. अनुकूलतम जलांश से आप क्या समझते हो? इसका क्या महत्व है? स्थल पर संहनन की विभिन्न विधियों का संक्षेप में वर्णन करो। *(U.P. B.T.E. 1980)*
3. संहनन में जल की भूमिका को स्पष्ट करो।
4. प्रयोगशाला में किये जाने वाले मानक प्रोक्टर की प्रक्रिया स्पष्ट करो। इसके परिणामों का फील्ड में क्या उपयोग होता है? विवेचना करो। 90% संहनन से आप क्या समझते हो? *(U.P.B.T.E. 2001, 85)*
5. स्थलीय शुष्क घनत्व निकालने की कोर कर्तक तथा रेत प्रतिस्थापन विधियों का वर्णन करो।
6. मृदा का संहनन एवं अनुकूलतम जलांश (OMC) ज्ञात करने हेतु मानक प्रोक्टर परीक्षण लिखें।
7. संशोधित प्रोक्टर परीक्षण (Modified Proctor Compaction Test) एवं मानक प्रोक्टर परीक्षण की तुलना कीजिए।
8. संहनन को प्रभावित करने वाले कारक लिखिये।
9. स्थल संहनन यन्त्रों पर टिप्पणी लिखो। *(U.P.B.T.E. 1983, 85)*
10. मृत्तिकामय मृदा का स्थल पर संहनन करने की विधि का वर्णन करो। *(U.P. B.T.E. 1982)*
11. वायु रन्ध्र रेखा से आप क्या समझते हो?
12. संघनन से आप क्या समझते हो?
13. संघनन क्या होता है? यह संहनन से किस प्रकार भिन्न है? *(B.T.E. U.P. 2001)*
14. टरजागी के स्प्रिंग मॉडल की सहायता से संघनन का सिद्धान्त समझाइये।
15. संहनन और संघनन में अन्तर बताइये। *(B.T.E. 2014, June Sem)*
16. नींव के निष्दन पर संघनन का प्रभाव लिखिए।
17. मृदाओं पर मानक प्रोक्टर संहनन परीक्षण समझाइये। *(BTEUP 2016, 17)*
17. मृदाओं के संहनन (compaction of soils) को प्रभावित करने वाले कारक (factors) क्या हैं? सूची बनाइये तथा समझाइये। *(BTEUP 2016)*
18. क्षेत्र संहनन विधियों का संक्षेप में वर्णन कीजिये। *(BTEUP 2016, 17)*
19. संघनन और इसकी अभियांत्रिकीय उपयोगिता। *(BTEUP 2015)*
20. संपीडन को परिभाषित कीजिये। सम्पीडन का महत्त्व नींव स्थिरीकरण पर बतलाइये। *(BTEUP 2017)*
21. Lift thickness को समझाइये।
22. पर्यवेक्षक का मृदा तटबन्ध/भराव कार्यों में क्या दायित्व है?

अध्याय 9

मृदा अन्वेषण (Soil Exploration)

9.1. परिचय (Introduction)

सिविल इन्जीनियर को संरचना निर्माण से पूर्व नींव के नीचे की मृदा परतों की जानकारी आवश्यक होती है, क्योंकि संरचना का सम्पूर्ण भार नींव के माध्यम से नींव के नीचे की मृदा में स्थानान्तरित होता है। यदि नींव के नीचे की मृदा कमजोर है अर्थात् उसकी धारण क्षमता (Bearing capacity) कम है तो मृदा की सामर्थ्य कम होने से अधिक लागत से बनायी गयी संरचनायें विफल (Fail) हो जाती हैं।

अत: संरचनाओं के निर्माण से पूर्व; जैसे (बाँध, पुल, ऊँचे भवन आदि महत्वपूर्ण संरचनायें) इनकी नींव के नीचे की मृदा का परीक्षण करते हैं। मृदा को उस स्थल से प्राप्त कर परीक्षण हेतु लाया जाता है इसके बाद अभिकल्पन करके संरचना का निर्माण करते हैं। स्थल से मृदा प्रतिदर्श प्राप्त करना **अन्वेषण** (Exploration) कहलाता है।

9.2. परिभाषा (Definition)

"नींव के नीचे की मृदा परतों का प्रयोगशाला में परीक्षण/अध्ययन करके गुणों के बारे में जानकारी प्राप्त करना मृदा अन्वेषण (Exploration) कहलाता है।"

नोट—मृदा के परीक्षण स्थल पर भी किये जा सकते हैं।

9.3. उद्देश्य (Purpose)

मुख्य उद्देश्य निम्नलिखित हैं—

(1) संरचना निर्माण से पूर्व उस स्थल एवं उसके आस-पास की मृदा के गुणों की जानकारी एकत्र करना।
(2) सुरक्षित एवं न्यूनतम लागत की नींव अभिकल्पन हेतु।
(3) भूमि तल के नीचे भौमजल (Ground Water-table) की जानकारी प्राप्त करना।
(4) मृदा परीक्षण से नींव का प्रकार (Type of foundation) कैसा हो, जानकारी कर सकते हैं, जिससे भविष्य में संरचना सुरक्षित रहे।

9.3.1. आवश्यकता (Neccessity)

मृदा अन्वेषण (Soil exploration) की आवश्यकता निम्न सिविल इन्जीनियरिंग कार्यों में पड़ती है—

1. संरचनाओं के अभिकल्पन एवं सुरक्षा हेतु; जैसे—संपीड्यता, अपरूपण सामर्थ्य एवं जलीय परिस्थितियाँ (Hydrological conditions)।

2. निर्माण कार्यों में उचित गुणों वाले निर्माण पदार्थ उपयोग में लाना।
3. भौम जल तल की जानकारी हो जाने पर नींव का अभिकल्पन करना।
4. भारी व जलीय संरचनायें जैसे—बहुमंजिले भवन, बैराज व बाँध के निर्माण हेतु।

9.4. आवीक्षण (Reconnaissance)

इसमें बिना विस्तृत योजना के मृदा परतों की स्थल पर पहुँचकर प्रारम्भिक जानकारी एकत्र की जाती है। इसमें स्थानीय स्थलाकृति (topography), भौम जल की स्थिति, कटाव एवं भूस्खलन (land slide), बाढ चिह्न (flood marks), जल निकास (drainage) की जानकारी बिना विशेष उपकरणों की मदद से मृदा व भू-वैज्ञानिक दल करता है।

मृदा अन्वेषणों को निम्न दो भागों में विभक्त कर सकते हैं—

9.5. मृदा अन्वेषण की विधियाँ (Methods of Exploration)

अधःस्थल अन्वेषण की विधियों को प्रमुख रूप से दो भागों में बाँट सकते हैं—

(1) प्रारम्भिक अन्वेषण (Preliminary Investigation)
(2) विस्तृत अन्वेषण (Detailed Investigations)

9.5.1. प्रारम्भिक अन्वेषण

प्रारम्भिक अन्वेषण का उद्देश्य कम खर्च करके अधःस्थल की मृदा की प्रारम्भिक जानकारी एकत्र करना है। उपरोक्त अन्वेषण में मुख्य रूप से निम्न कार्य करने होते हैं—

(1) मृदा में बेधन (Penetration) करवाना।
(2) भू-भौतिक विधियों को उपयोग में लाना।
(3) परीक्षण हेतु गड्ढों की खुदाई करना।
(4) मृदा खोज हेतु बोरिंग करना।

सूचनायें (Informations)—प्रारम्भिक अन्वेषण में निम्न सूचनायें एकत्र की जाती हैं—

(1) भौम जल स्थिति, (2) मृदा परतों की मोटाई, (3) मृदा परत की सामर्थ्य एवं संपीड्यता, (4) चट्टान की गहराई।

9.5.2. विस्तृत अन्वेषण

विस्तृत अन्वेषण के अन्तर्गत, बोरिंग, सैम्पलिंग एवं परीक्षण (Testing) आते हैं जिससे मृदा की अपरूपण सामर्थ्य (Shear strength), पारगम्यता (Permeability), धारण क्षमता (Bearing capacity) एवं घनत्व सूचकांक (Density Index) आदि प्रयोगशाला परीक्षण किये जाते हैं। इस अन्वेषण में अक्षुब्ध प्रतिदर्श (Undisturbed sample) स्थल से प्राप्त करके परीक्षणों को किया जाता है। विस्तृत अन्वेषण स्थल पर भी किये जाते हैं, इस पर खर्च अधिक होता है। यह परीक्षण मुख्यतः महत्वपूर्ण निर्माण कार्यों हेतु किये जाते हैं।

9.6. प्रारम्भिक अन्वेषण की विधियाँ (Methods of Preliminary Investigation)

(1) परीक्षण गड्ढे (Trial Pits)—परीक्षण गड्ढे सभी प्रकार की मृदाओं हेतु बनाये जाते हैं। यह सबसे सुगम एवं सस्ता उपाय है। इसमें लागत (Cost) कम आती है। इसमें महत्वपूर्ण उपकरणों का प्रयोग नहीं किया जाता है, इसमें क्षुब्ध (Disturbed) एवं अक्षुब्ध (Undisturbed) प्रतिदर्श प्राप्त किये जा सकते हैं।

(2) बोरिंग विधि (Boring Method)—इसके अन्तर्गत निम्न विधियाँ आती हैं—

(i) ऑगर बेधन (Auger Boring)
(ii) पानी के जेट द्वारा बेधन (Wash Boring)

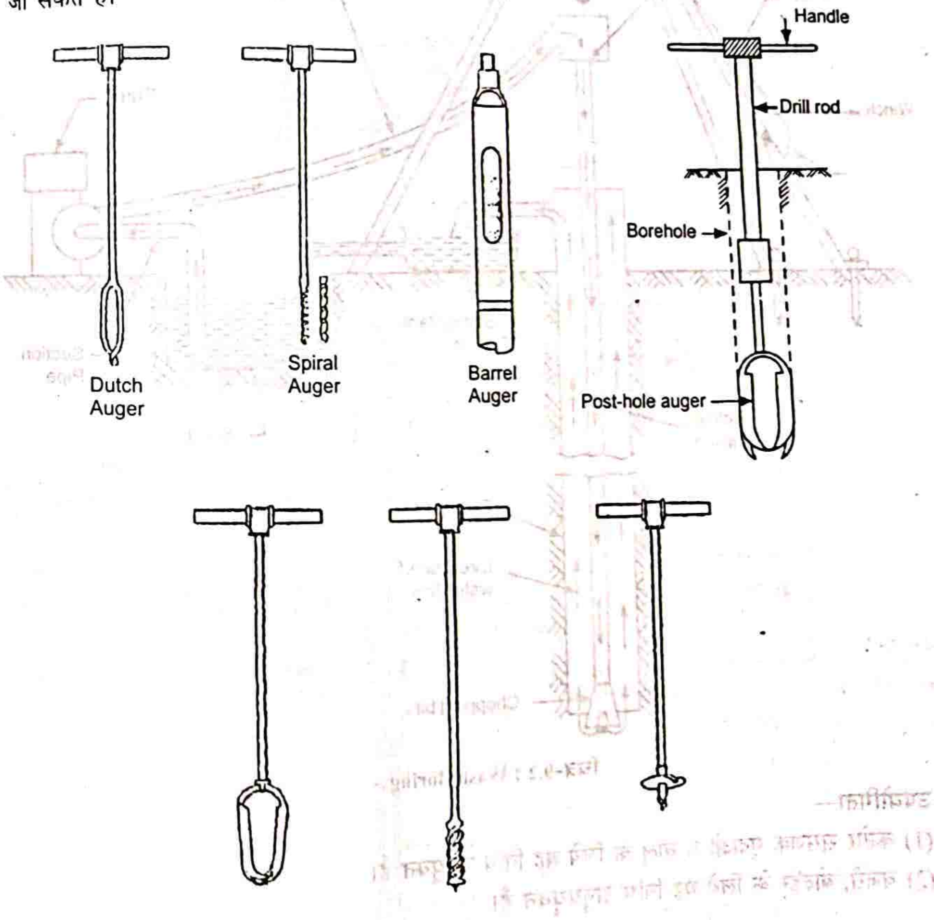
(iii) संघात बेधन (Percussion Boring)
(iv) घूर्णन बेधन (Rotary Boring)

9.7. बेधन (Boring)

इस विधि से मृदा परत में उचित गहराई तक छिद्र करके मृदा प्रतिदर्श (sample) प्राप्त करते हैं। बेधन हेतु उपरोक्त विधियों का वर्णन निम्नवत है।

9.7.1. ऑगर बेधन (Auger Boring)

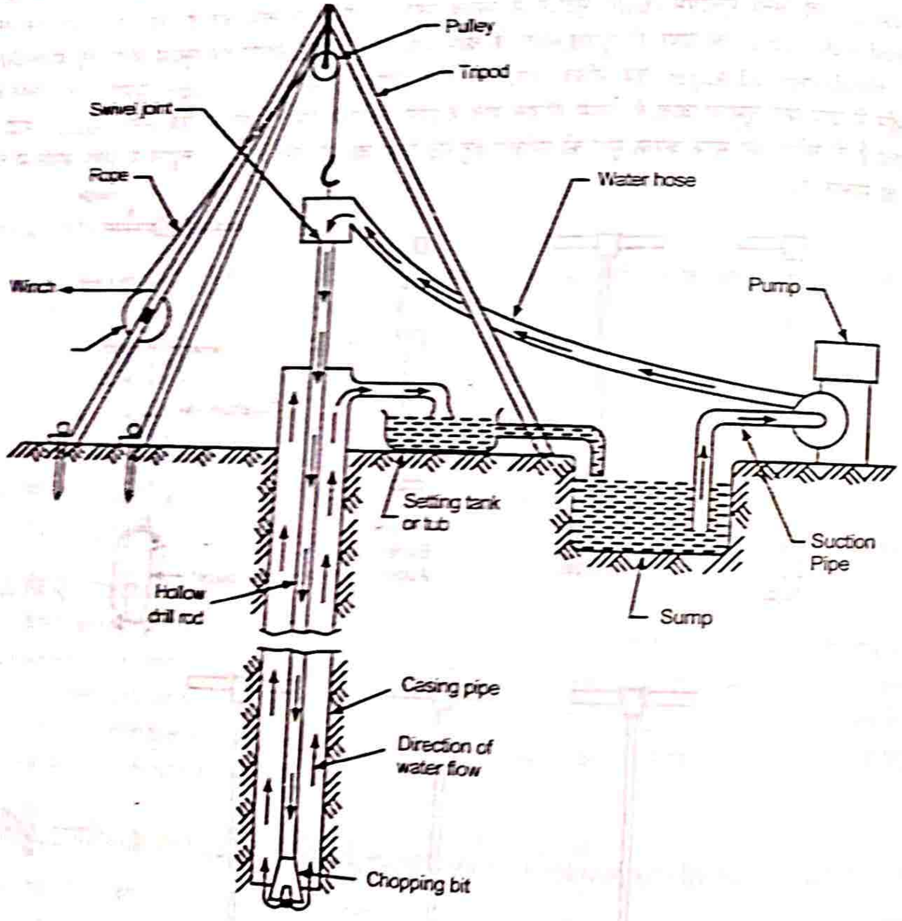
ऑगर एक औजार (Device) है, जिसकी सहायता से मृदा परत में छेद बनाया जा सकता है। ये ऑगर ससंजक (Cohesive) एवं अन्य मुलायम (Soft) मृदाओं में सुराख बनाने हेतु प्रयोग में लाये जाते हैं। यह ऑगर भौमजल तल (Ground water table) के ऊपर ही सुराख बनाने के काम आते हैं। 10 मीटर गहराई तक सुराख बनाने हेतु हस्तचालित ऑगर (Hand operated Auger) एवं अधिक गहराई हेतु शक्ति चालित (Power driven Auger) प्रयोग में लाये जाते हैं। इन्हें भूमि में दाब कर घुमाया जाता है, इसमें हैन्डिल होता है जिसे पकड़कर घुमाया जाता है। जब ऑगर (Auger) मृदा से भर जाता है तो ब्लेडों को साफ करके मृदा को परीक्षण हेतु रख लिया जाता है। देखें चित्र 9.1 चट्टानों में ऑगर प्रयोग में नहीं लाये जा सकते हैं।



चित्र-9.1 : ऑगर बोरिंग

9.7.2. पानी के जेट द्वारा बेधन (Wash Boring)

चित्र 9.2 में वाश बोरिंग की व्यवस्था दिखाई गई है। यह मृदा में छेद करने की तेज एवं सरल विधि है। इसमें ऑगर द्वारा कम गहराई तक छेद बनाते है। बोरिंग छेद की मृदा को ढहने से बचाने के लिये एक केसिंग पाइप छेद में डाल देते है, फिर एक छैनी की आकृति वाला कटिंग बिट लगाकर केसिंग के अन्दर डाल देते हैं फिर ऊपरी सिरे से तेज धारा से पानी को भेजा जाता है। पानी मृदा को काटता रहता है। कटी हुई मृदा जल दाब की सहायता से पृथ्वी पर आती रहती है। जैसे-जैसे पानी दाब से नीचे भेजते है एवं ड्रिल छड़ को गिराते रहते है। नीचे कटकर बाहर आती है और ड्रिल छड़ जमीन में धँसती जाती है। केसिंग पाइप एवं ड्रिल छड़ को क्रमशः बढ़ाते रहते है। यह क्रिया तब तक पूर्ण नहीं मानते हैं जब तक इच्छित गहराई तक बेधन पूर्ण न हो जाये। बेधन की गति व निकलने वाले मृदा युक्त पानी के रंग को देखकर भूमि की गहराई के विभिन्न स्तरों (Soil layer) का पता लगाया जा सकता है।



चित्र-9.2 : Wash Boring

उपयोगिता—

(1) कठोर ससंजक मृदाओं व बालू के लिये यह विधि उपयुक्त है।

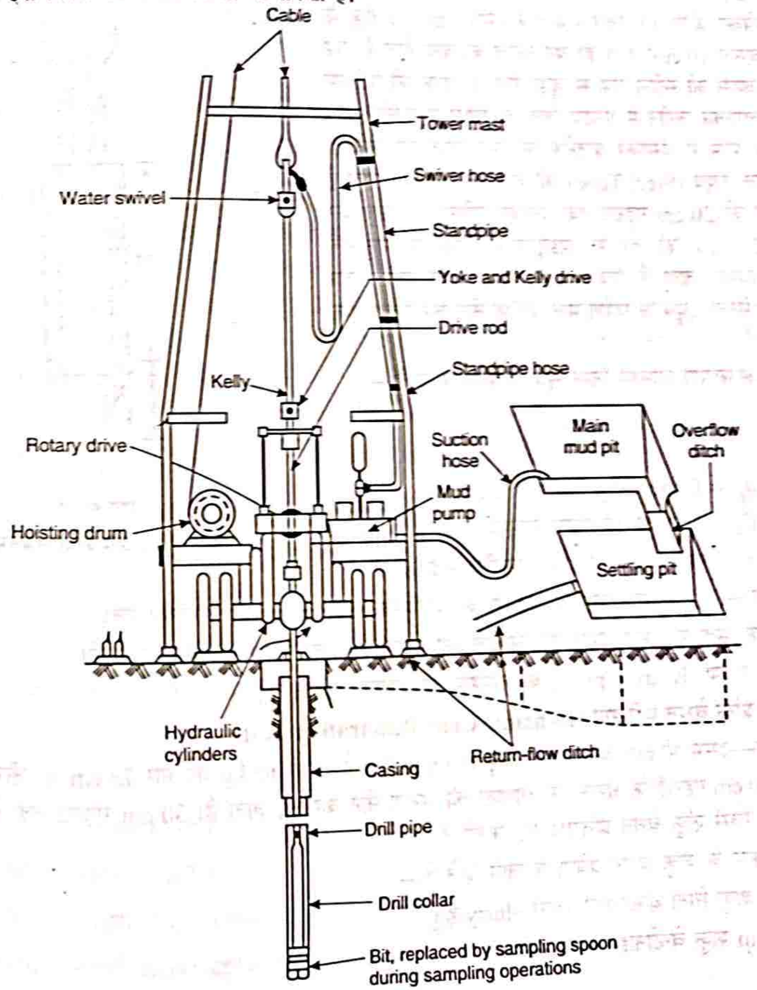
(2) बजरी, बांल्डर के लिये यह विधि अनुपयुक्त है।

9.7.3. संघात बेधन (Percussion Boring)

इस विधि में भारी छैनी को लगातार उठा-गिरा कर कठोर से कठोर मृदा को तोड़ा जा सकता है। इस विधि में छैनी को ड्रिलिंग छड़ से नीचे फिट कर देते हैं। ड्रिलिंग छड़ के निचले सिरे में लगी छैनी मृदा को चूर्ण बनाती रहती है। यदि मृदा सूखी व कठोर है तो उसमें पानी मिला दिया जाता है जिससे मृदा को नरम बनाया जा सकता है। गीली मृदा (Slurry) को बाहर निकाल लेते हैं इस व्यवस्था को वेलर कहते है। वेलन जब ऊपर-नीचे उठाते अथवा गिराते हैं तो इसमें लगा वाल्व खुलता व बन्द होता रहता है। वाल्व खुलने से गीली मृदा अन्दर हो जायेगी और मृदा बाहर नहीं निकल सकती। बाद में बेलन को बाहर निकाल लेते हैं एवं उसे स्वच्छ करके इसी क्रिया को तब तक दोहराते हैं जब तक कि इच्छित गहराई तक बेधन न प्राप्त हो जाये।

9.7.4. घूर्णन बेधन (Rotary Boring)

यह विधि कठोर मृदा एवं चट्टानों में बेधन हेतु उपयुक्त है। इसमें ड्रिलिंग छड़ जो खोखली होती है उसमें अन्तिम सिरे में ड्रिलिंग बिट हीरे का लगाते हैं। जिस जगह बेधन कार्य करना हो वहाँ तेजी से घुमाया जाता है। ड्रिलिंग बिट मृदा को चूर्ण बना देता है। चूर्ण मृदा को बाहर निकालने हेतु पानी को भेजते हैं या पम्प करते हैं। छिद्र को ढहने से बचाने के लिये केसिंग पाइप का प्रयोग किया जाता है। घूर्णन विधि से अधिकतम 75 cm व्यास (Dia) तक के छिद्र (Hole) बनाये जा सकते हैं। तेल अन्वेषण में इस विधि का प्रयोग किया जा सकता है।



चित्र-9.3 : Rotary Boring

9.8. गहरी खोज अथवा साउन्डिग विधि (Deep exploration or Sounding Method)

इस विधि से धँसन प्रतिरोध की मदद से बिना नमूने प्राप्त किये मृदा (Soil) की सघनता व आपेक्षिक घनत्व प्राप्त किया जा सकता है। इस विधि से ससंजनहीन (Non-cohesive) मृदाओं के बारे में अध्ययन किया जाता है, चट्टानों एवं मुलायम (Soft) मृदाओं के लिये भी यह विधियाँ उपयुक्त हैं।

उपरोक्त विधि में दो परीक्षण प्रमुख हैं—

(1) शंकु बेधन परीक्षण

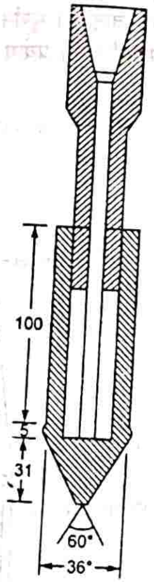
(2) मानक बेधन परीक्षण (अध्याय 10 में वर्णन है।)

9.8.1. शंकु बेधन परीक्षण (Cone Penetration Test)

शंकु बेधन परीक्षण दो प्रकार के होते हैं—

(1) स्थिर शंकु बेधन परीक्षण (Static Cone Penetration Test)

कार्य विधि—स्थैतिक बेधनमापी को **डच शंकु बेधनमापी** भी कहते हैं। यह ट्यूब के रूप में होती है। इस स्टील ट्यूब का बाहरी व्यास 35.7 एपेक्स कोण 60° चित्र 9.4 देखें (मापें mm में) शंकु के आधार का क्षेत्रफल 10 cm^2 होता है। यह स्टील का बना होता है। यह शंकु 15 mm व्यास की स्टील रॉड से जुड़ा होता है। शंकु को परीक्षण के समय दाब लगाकर जमीन में धँसाया जाता है। प्रथम शंकु को 8 cm की गहराई तक भूमि में धँसाकर प्रतिरोध का मान प्राप्त कर लेते हैं। इसके बाद स्टील ट्यूब (Steel Tube) को शंकु तक धँसाया जाता है इसके बाद दोनों को 20 cm गहराई तक धँसाकर प्रतिरोध q_c ज्ञात कर लेते हैं। इसे 2 cm/s की दर से हाइड्रॉलिक विधि या मैनुअली (Manually) दबाया जाता है एवं 4 cm गहराई तक प्रत्येक बार धँसाया जाता है। मैटल ट्यूब के घर्षण मान को भी नोट कर लिया जाता है।



चित्र-9.4 : डच शंकु बेधनमापी

मृदा की अपरूपण सामर्थ्य निम्न सूत्र से प्राप्त करते हैं—

$$C_u = \frac{q_c}{N_k}$$

जहाँ q_c = Cone (शंकु प्रतिरोध), kg/cm^2

C_u = मृदा की अपरूपण सामर्थ्य

N_k = गुणांक—17 से 18 (संघनित मृदा हेतु)

उपयोगिता—(1) मुलायम ससंजक मृदाओं की प्रारम्भिक (Preliminary) अध्ययन हेतु।

(2) शंकु की मृदा में इकाई धँसन हेतु आघातों की संख्या मृदा की विशेष जानकारी देता है।

(3) धारक स्थूणा (Bearing piles) की लम्बाई का अनुमान लगाने हेतु।

(2) गतिज शंकु बेधन परीक्षण (Dynamic Cone Penetration Test)

कार्य विधि—इसमें भी 60° कोण वाला शंकु (Cone) होता है, इसमें 65 kg का भार 75 cm की ऊँचाई से गिराया ता है। प्रत्येक 30 cm गहराई के धँसन पर आघातों की संख्या नोट कर ली जाती है। 30 cm गहराई तक बेधन के लिये ातों की संख्या जिसे शंकु बेधन प्रतिरोध Nc कहते हैं।

इसमें दो प्रकार के शंकु बेधन प्रयोग में लाये जाते हैं—

(i) 50 mm शंकु बिना बेन्टोनाइट स्लरी slurry हेतु

(ii) 62.5 mm शंकु बेन्टोनाइट स्लरी सहित।

उपयोगिता—

(1) इसे कठोर तथा ससंजनहीन मृदाओं में 20 मी० गहराई (Depth) तक उपयोग में लाया जाता है।

(2) आघातों की संख्या ज्ञात कर लेते हैं।

9.9. भू-भौतिक विधियाँ (Geophysical Method)

कार्य विधि—इस विधि में क्षेत्र में संपीडन तरंगें भेजकर तथा उनकी गति नापकर उस क्षेत्र की मृदा के बारे में ज्ञान प्राप्त करते हैं।

उपयोगिता—(1) भौमजल स्तर की जानकारी हेतु।

(2) दरारों वाली चट्टानों, जलोढ़ प्रक्षेपों (Alluvial deposits) की जानकारी हेतु भू-भौतिक विधियाँ निम्न हैं—

(1) भूकम्पीय विधि (Seismic Method)

(2) विद्युत प्रतिरोधकता विधि (Electrical Resistivity Method)

9.10. मृदा नमूने (Soil Samples)

मृदा प्रतिदर्श दो प्रकार के होते हैं—

(i) अक्षुब्ध मृदा प्रतिदर्श (Undisturbed Soil Samples)

(ii) क्षुब्ध मृदा प्रतिदर्श (Disturbed Soil Samples)

9.10.1. अक्षुब्ध मृदा प्रतिदर्श (Undisturbed Soil Samples)

परिभाषा—अक्षुब्ध मृदा प्रतिदर्श ऐसे प्रतिदर्श को कहते हैं, जिनके गुण वास्तविक मृदा की भाँति होते हैं; जैसे-मृदा का जलांश (Water Content), मृदा संरचना (Soil Structure) आदि अक्षुब्ध मृदा प्रतिदर्श कहे जाते हैं।

उपरोक्त नमूनों को भूमि से प्राप्त करने में कुछ न कुछ विक्षोम (Disturbance) हो सकता है। फिर भी नमूनों का गुण वास्तविक मृदा गुणों की भाँति होता है। प्रयास ऐसा हो कि नमूने लेने एवं प्रयोगशाला तक लाने कम से कम विक्षोभ हो सके। प्रतिदर्श सैम्पलर आदि से प्राप्त किये जाते हैं।

उपयोग—अक्षुब्ध प्रतिदर्श से स्थल की मृदा की **अपरूपण सामर्थ्य** (Shear Strength), **पारगम्यता** (Permeability) एवं **संघनन** (Consolidation) आदि मृदा गुणों की जानकारी प्राप्त की जा सकती है।

9.10.2. क्षुब्ध मृदा प्रतिदर्श (Disturbed Soil Samples)

परिभाषा—क्षुब्ध मृदा प्रतिदर्श ऐसे प्रतिदर्श को कहते हैं जिनके गुण विक्षोभ (Disturbance) हो जाने से, वास्तविक मृदा के गुणों से भिन्न हो जाते हैं।

उपरोक्त प्रतिदर्शों को प्राप्त करना सरल होता है। इनको प्राप्त करने में सावधानी रखने की आवश्यकता नहीं होती है। प्रतिदर्श प्राप्त करने के उपकरण; **जैसे**—फावड़ा, खुरपी, ऑगर आदि।

उपयोग—(i) प्रतिदर्श प्राप्त करना सरल एवं कम लागत का होता है।

(ii) कम दक्ष व्यक्ति प्राप्त कर सकता है।

(iii) प्रतिदर्श से अटरबर्ग की सीमायें, विशिष्ट घनत्व, प्रोक्टर संहनन प्राप्त नमूने से परीक्षण ज्ञात किये जा सकते हैं।

क्षुब्ध प्रतिदर्श दो प्रकार के होते है—

(i) अप्रतिनिधि प्रतिदर्श (Non-representative Samples)

(ii) प्रतिनिधि प्रतिदर्श (Representative Samples)

(1) अप्रतिनिधि नमूने (Non-representative Samples)

परिभाषा—स्थल की विभिन्न सतहों से प्राप्त मृदाओं के आपस में मिल जाने के फलस्वरूप मृदा की संरचना (Soil Structure) **में परिवर्तन हो जाता है (जैसे-संरचना, जलांश व संगठन आदि) ऐसे नमूने अप्रतिनिधि नमूने कहलाते हैं।**

उपयोग—वास्तविक गुणों को नहीं जान सकते एवं प्रारम्भिक परीक्षण हेतु उपयुक्त हैं। बरमा बेधन, धावन बेधन से प्राप्त करने में।

(2) प्रतिनिधि नमूने (Representative Samples)

परिभाषा—प्रतिनिधि नमूने स्थल की एक सतह/परत से ही प्राप्त किये जाते हैं, इसलिये मृदा के सभी तत्त्व उपस्थित रहते हैं। मृदा संरचना एवं जलांश में परिवर्तन हो जाता है। ऐसे प्रतिदर्श, प्रतिनिधि प्रतिदर्श/नमूने कहे जाते हैं।

उपयोग—प्रतिनिधि नमूनों से कण परिमाप विश्लेषण (Grain size distribution), विशिष्ट गुरुत्व (Specific gravity), प्रोक्टर संघनन परीक्षण (Proctor Compaction Test) ज्ञात किये जा सकते हैं।

9.11. अक्षुब्ध एवं क्षुब्ध नमूनों में अन्तर (Difference between Undisturbed & Disturbed Samples)

अक्षुब्ध प्रतिदर्श	क्षुब्ध प्रतिदर्श
1. इन प्रतिदर्शों में मृदा की वास्तविक संरचना (Original Structure) एवं गुण सुरक्षित बने रहते हैं।	इन प्रतिदर्शों को लेते समय मृदा की वास्तविक संरचना में परिवर्तन हो जाता है, जबकि मृदा जलांश को बचाये रखा जा सकता है।
2. इन प्रतिदर्शों को प्राप्त करने में लागत एवं परिश्रम अधिक लगता है।	इन प्रतिदर्शों को प्राप्त करने में लागत एवं परिश्रम कम लगता है।
3. इन प्रतिदर्शों को प्राप्त करने में दक्ष व्यक्तियों एवं अच्छे उपकरणों की जरूरत पड़ती है।	इन प्रतिदर्शों को साधारण व्यक्तियों एवं सरल उपकरणों द्वारा प्राप्त किया जा सकता है।
4. इन प्रतिदर्शों को प्राप्त करना कठिन होता है।	इन प्रतिदर्शों को प्राप्त करना सरल होता है।
5. इन प्रतिदर्शों को प्रयोगशाला तक लाने में विक्षोभ न हो तो परिवहन पर ध्यान देना पड़ता है।	इन प्रतिदर्शों को प्रयोगशाला तक लाने में विक्षोभ व परिवहन पर कोई ध्यान नहीं दिया जाता है।
6. नींव की मृदा हेतु अध्ययन में।	बाँध व सड़क कार्यों हेतु अध्ययन में।

9.12. मृदा प्रतिदर्श यंत्र (Soil Samples)

इन उपकरणों से स्थल से मृदा के नमूने प्राप्त किये जाते हैं। इसलिये इन्हें **सैम्पलर** कहते हैं। यह यंत्र एक बेलनाकर नलिका के रूप में होता है। इस यंत्र को आघात देकर स्थल की मृदा में भूमि में धँसा दिया जाता है। इससे इस यंत्र में मृदा भर जाती है। अब नलिका (Tube) को निकालकर मृदा का नमूना एकत्र कर लेते हैं। जब सैम्पलर को आघात लगाकर जिस स्थान पर धँसाया जाता है, वहाँ की मृदा में विक्षोभ (Disturbance) उत्पन्न होता है। विक्षोभ पर सैम्पलर नलिका (Tube) के बनावट व लेने के तरीके का प्रभाव पड़ता है।

9.13. सैम्पलर के अभिकल्पन से विक्षोभ पर प्रभाव

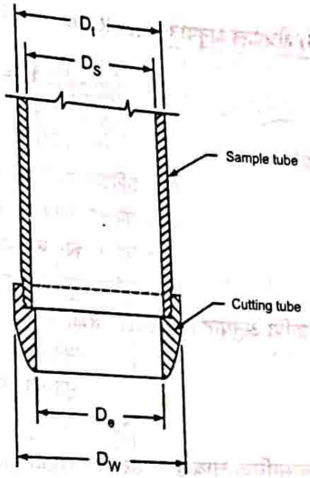
मृदा सैम्पलर के अभिकल्पन की तीन मुख्य (Main) विशेषतायें विक्षोभ पर प्रभाव कर देती हैं। (चित्र 9.5 देखें)

(i) कटिंग सिरा (Cutting edge)

(ii) अन्दर की दीवार का घर्षण (Inside wall Friction)

(iii) न लौटने वाला वाल्व (Non-return Valve)

(a) Split spoon sampler



(b) Detail of Cutting edge

(b) Dissembled split spoon sampler

चित्र-9.5

कटिंग कोर (Cutting edge) की माप का प्रभाव सैम्पलर के क्षेत्र अनुपात (Area ratio), **आन्तरिक निर्बाधिता** (Inside clearance) एवं **बाह्य निर्बाधिता** पर आता है।

अत:

(1) आन्तरिक निर्बाधिता (Inside Clearance)

$$C_i = \frac{D_s - D_e}{D_e} = 1-3\%$$

(2) बाह्य निर्बाधिता (Outside Clearance)

$$C_o = \frac{D_W - D_t}{D_t} = 2-3\%$$

(3) क्षेत्रफल अनुपात (Area Ratio)

$$A_r = \frac{D_w^2 - D_e^2}{D_e^2} \times 100\%$$

जहाँ,

D_s = प्रतिदर्श ट्यूब का आन्तरिक व्यास

D_t = प्रतिदर्श ट्यूब का बाह्य व्यास

D_e = कटिंग कोर का आन्तरिक व्यास

D_w = कटिंग कोर का बाह्य व्यास

(4) प्राप्ति अनुपात (Recovery Ratio)

$$L_r = \frac{\text{नमूने की वास्तविक लम्बाई}}{\text{नमूने की सैद्धान्तिक लम्बाई}}$$

जहाँ,

वास्तविक लम्बाई = बोर होल (Bore Hole) से निकालने के बाद ट्यूब में आये नमूने की लम्बाई

सैद्धान्तिक लम्बाई = सैम्पलर ट्यूब की लम्बाई जो वास्तव में बोर होल में धँसाई जाती है।

प्राप्ति अनुपात 1 के बराबर या कुछ कम हो सकता है।

नोट—(1) $L_r < 1$ नलिका में नमूने का संपीडन हो गया।

(2) $L_r > 1$ नलिका में नमूना आने के बाद ढीला हो गया।

प्रतिदर्श प्राप्त करने हेतु प्रतिदर्श यन्त्र का क्षेत्रफल जितना कम होगा उतना ही उत्तम होगा। कर्तक सिरे का बाहरी व्यास सैम्पलर के बाहरी व्यास से थोड़ा अधिक होता है। इसमें कर्तक सिरा ही मृदा में धँसता है। सैम्पलर की पूर्ण लम्बाई में घर्षण नहीं आता है। घर्षण कम हो जाने से सैम्पलर को धँसाने में आसानी रहती है एवं विक्षोभ भी कम होता है। सैम्पलर की बाह्य एवं आन्तरिक दीवारें चिकनी रखनी चाहियें। ग्रीस लगा देना चाहिये। सैम्पलर ट्यूब की शीर्ष पर हेड होता है। इनकी लम्बाई 1 मीटर होती है।

क्षेत्र अनुपात के आधार पर प्रतिदर्श यन्त्रों को दो प्रकार विभक्त कर सकते हैं—

(1) मोटी दीवार वाले प्रतिदर्श यंत्र

(2) पतली दीवार वाले प्रतिदर्श यंत्र

नोट—(1) मोटी दीवार प्रतिदर्श यंत्र का क्षेत्र अनुपात 10% से कम

(2) पतली दीवार वाले प्रतिदर्श यंत्र का क्षेत्र अनुपात 10% तक

मृदा के प्रतिदर्श प्राप्त करने की कार्य प्रणाली के अनुसार मृदा प्रतिदर्श यन्त्र (Soil Samplers) मुख्यत: निम्न तीन प्रकार के होते हैं—

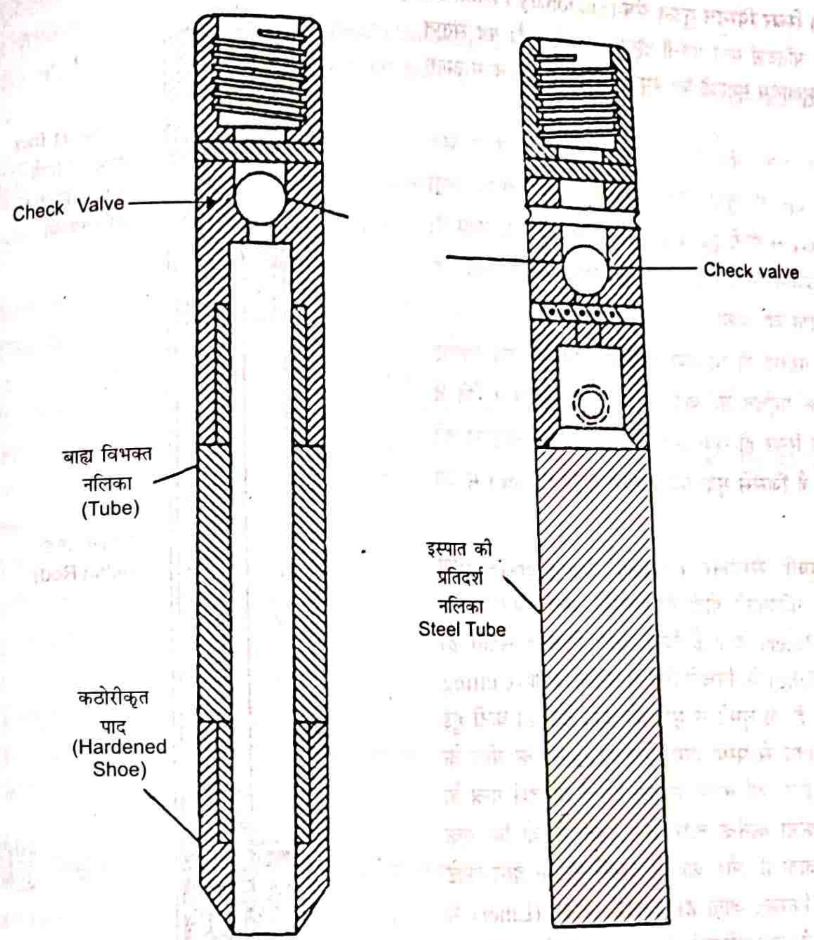
(1) वाल्व युक्त प्रतिदर्श यन्त्र (Open Drive Samplers)

(2) स्थिर पिस्टन युक्त यन्त्र (Stationary Piston Samplers)

(3) घूर्णी प्रतिदर्श यन्त्र (Rotary Samplers)

(1) वाल्व युक्त सैम्पलर (Open Drive Sampler)—इस यन्त्र की नलिका का एक सिरा खुला होता है। नीचे की तरफ तीखा कर दिया जाता है जिससे मृदा काटी जा सके अथवा निचले सिरे में चूड़ियों की व्यवस्था होती है जिससे कर्तन कोर अलग से फिट किया जा सके। नलिका के ऊपरी सिरे सैम्पलर हेड, इस हेड में एक चेक वाल्व (Check Valve) लगा होता है जिससे हवा तथा पानी निकल सकता है। किन्तु सैम्पलर में आयी मृदा वापस नहीं जा सकती है।

मोटी दीवार वाले प्रतिदर्श यंत्र से क्षुब्ध प्रतिदर्श एवं पतली दीवार वाले प्रतिदर्श यंत्र से अक्षुब्ध प्रतिदर्श प्राप्त किये जाते हैं। यह यंत्र क्षेत्र अनुपात (Area Ratio) के आधार पर होते हैं।



चित्र-9.6 : Open Drive Sampler

सैम्पलर 50 mm से 125 mm व्यास के प्रयोगशालाओं एवं स्थल कार्यों पर परीक्षण हेतु प्राप्त हो सकते हैं।

1. विभक्त चामस सैम्पलर (Split Spoon Sampler)
2. ठोस नलिका सैम्पलर (Solid Tube Sampler)
3. विभक्त चामस अस्तर सहित (Split Spoon with Liner)

(देखें चित्र 9.6)

पतली दीवार वाले मृदा सैम्पलर अक्षुब्ध (Undisturbed) प्रतिदर्श प्राप्त करने के लिये प्रयोग में लाते हैं। सैम्पलर 40 mm से 125 mm व्यास तथा 12.5 mm से 3.15 mm मोटी दीवारों के होते हैं।

इनका क्षेत्र अनुपात (Area Ratio) 15% से कम तथा निर्बाधिता 1.5% से 3% तक यह सभी प्रकार की मृदाओं के प्रतिदर्श प्राप्त करने हेतु उत्तम हैं।

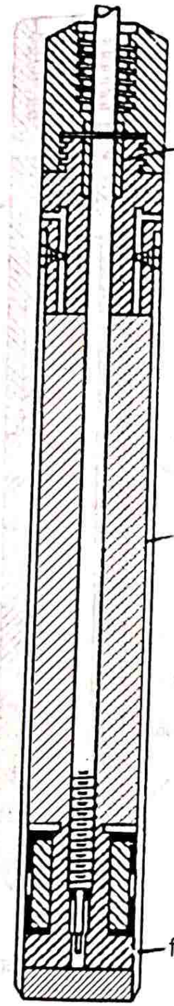
(2) स्थिर पिस्टन युक्त यंत्र (Stationary Piston Sampler)

यह प्रतिदर्श यन्त्र पतली दीवारों का होता है। यह संतृप्त बालू तथा मुलायम मृदाओं का नमूना प्राप्त करने के काम आता है।

इसके एक ओर पिस्टन प्लग, जो कि पिस्टन छड़ (Piston Rod) से जुड़ा होता है। पिस्टन छड़ बेधन छड़ों (Drill Rods) से होती हुई ऊपर भूमि सतह तक आ जाती है। पिस्टन इस प्रकार लगा होता है कि प्रतिदर्श लेने के बाद यह नीचे खिसकाया जा सके।

जिस गहराई से प्रतिदर्श लेना हो यंत्र के उस गहराई (Depth) तक पहुँचने के बाद पिस्टन छड़ को कस देते हैं जिससे पिस्टन स्थिर हो सके अब प्रतिदर्श यंत्र की नलिका को मृदा में धँसाते हैं जिससे मृदा का प्रतिदर्श ट्यूब (Tube) में आ जाये।

(3) घूर्णी सैम्पलर (Rotary Samplers)—घूर्णी सैम्पलर में दो नलिकायें होती हैं, जिसके अन्दर एक पतला अस्तर (Thin liner) होता है जिसे बाहर निकाल सकते हैं। बाहरी ट्यूब (Tube) के निचले सिरे में कर्तक कनी (Cutting bit) लगी रहती है जो घूमने से मृदा को काट देती है। कटी हुई मृदा पानी की मदद से पम्पों द्वारा दोनों (Tubes) के बीच के खाली स्थान से होती हुई बाहर निकाल देते हैं प्रतिदर्श यन्त्र के अन्दर एक **चिकना कर्तक कोर** लगा रहता है जो कि एक स्थान पर रुक जाता है और बाद में बाहरी Tube द्वारा काटे गये प्रतिदर्श पर फिसल जाता है। प्रतिदर्श अस्तर (Liner) में जमा होता रहता है। यह प्रतिदर्श यंत्र सख्त व ससंजक मृदाओं हेतु सही है जबकि भौमजल से नीचे की मृदाओं; जैसे—बजरी युक्त मृदा तथा ढीली ससंजनहीन बालू एवं सिल्ट आदि मृदाओं के प्रतिदर्श लेने के लिये सही नहीं है।



चित्र-9.7 : स्थिर पिस्टन युक्त सैम्पलर

9.14. क्षुब्ध प्रतिदर्श प्राप्त करना (Disturbed sampling)

क्षुब्ध प्रतिदर्श (Disturbed Sample) **खुदाई द्वारा** अथवा **बरमे** (Augers) द्वारा अथवा **मोटी दीवारों वाले प्रतिदर्श यंत्रों द्वारा** (Thick Walled Smapler) द्वारा प्राप्त करते हैं।

परीक्षण—क्षुब्ध प्रतिदर्श से निम्न परीक्षण कर सकते हैं—

(1) कण **परिमाप** विश्लेषण (Grain Size Distribution)

(2) जलांश (Water Content)

(3) सूचकांक गुण (Index Properties); जैसे—द्रव सीमा सुघट्य सीमा, संकुचन सीमा

(4) संहनन परीक्षण (Compaction Test)

(5) अपरिरुद्ध संपीडन परीक्षण (Unconfined Compressive Strength Test)

नोट—नमूने का स्थल से लाना एवं भण्डारण इस प्रकार हो कि उसके वास्तविक संगठन न बदले एवं उसके जलांश (Water Content) में कोई अन्तर न हो सके।

9.15. अक्षुब्ध प्रतिदर्श प्राप्त करना (Undisturbed Sampling)

अक्षुब्ध प्रतिदर्श प्राप्त करने के लिये **महीन दीवार** वाले प्रतिदर्श यन्त्र (Thin Walled Samplers) का प्रयोग किया जाता है।

परीक्षण गड्ढे (Test pits) अथवा बोर होल (Bore holes) में सैम्पलर का बेधन करते हैं।

अक्षुब्ध प्रतिदर्शों को प्रयोगशाला में लाकर निकालना चाहिये। प्रतिदर्श यंत्र से नलिका को अलग करके दोनों सिरों से लगभग 2.5 cm की गहराई तक खोखला कर, खाली स्थानों में पैकिंग पदार्थ भरकर पिघले मोम से सील कर देते हैं, जब प्रतिदर्श को नलिका से निकालें, तो प्रतिदर्श लेने की दिशा में ही निकालें।

प्रतिदर्श को काँच के पात्र में आवश्यक मात्रा में रख लेते हैं अथवा बोरे में सुरक्षित रख कर बन्द कर दें एवं उस पर label चिपका देना चाहिये।

सूचनायें प्राप्त करना—

(1) प्रतिदर्श की किस्म क्षुब्ध/अक्षुब्ध

(2) प्रतिदर्श का दिनांक एवं स्थान, समय

(3) बेधन छिद्रों की संख्या

(4) नमूने की गहराई

(5) नमूने की संख्या

नोट—अक्षुब्ध प्रतिदर्श को स्थल से प्रयोगशाला तक लाने में परिवहन में झटके न लगें। परीक्षण करने के समय तक नमूने को ठण्डे एवं आर्द्र (Humid) स्थान पर रखें।

9.16. नमूनों को संरक्षित करना (Preservation of samples)

बेधन छिद्रों से सैम्लर को निकालने के बाद, सैम्पलिंग ट्यूबों को हटा कर दोनों सिरों को पैराफिन वैक्स (paraffin wax) अथवा पेट्रोलियम जैली से सील्ड कर देना चाहिये, सील मोटाई 25 mm से कम न रखें। सैम्पलिंग ट्यूबों में निम्नलिखित सूचनायें लिख देनी चाहिये—

(i) प्रोजेक्ट का नाम

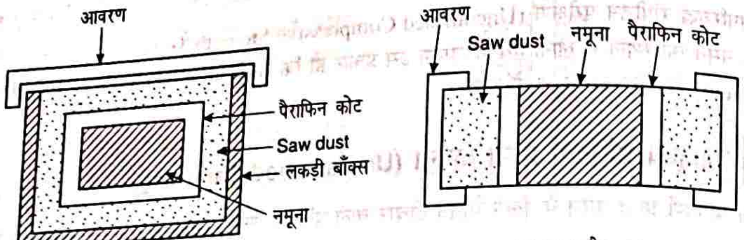
(ii) बेधन की संख्या

(iii) सैम्पलिंग की गहराई

(iv) सैम्पलिंग की दिनांक

सावधानियाँ (Precautions)

1. सैम्पलिंग ट्यूबों को सूर्य के सीधे तेज धूप से बचायें।
2. संभव हो तो शीघ्र प्रयोगशाला में भेज दें।
3. नमीयुक्त कमरों में रखें और प्राकृतिक जलांश को संरक्षित रखें।
4. परिवहन में झटके न लगे अन्यथा प्राकृतिक संरचना बिगड़ सकती है।



(a) ब्लॉक सैम्पलर (b) ट्यूब सैम्पलर

चित्र 9.8–संरक्षित नमूने

9.17. मृदा अन्वेषण आख्या (Soil investigation report)

मृदा अन्वेषण करने के उपरान्त प्रस्तावित निर्माण स्थल की मृदा परत अर्थात् अध: स्थल (sub surface) के बारे में पूर्ण जानकारी हो जाती है। निर्माण स्थल की मृदा के गुणों (properties) की जानकारी प्राप्त होती है जिससे अभिकल्प अभियन्ता को आसानी होती है।

1. अच्छी मृदा की आख्या (report) में निम्न बिन्दु अवश्य होने चाहिये—

1. परिचय
2. बोर होल लॉग (bore hole log)
3. अन्वेषण की विधि
4. प्रयोगशाला परीक्षण आख्या (Laboratory test result)
5. परिणाम का विश्लेषण (Analysis of result)
6. संस्तुतियाँ या सुझाव (Recommendations)

2. मृदा अन्वेषण के परिचय वाले भाग में निम्न सूचनाओं को भी सम्मिलित करना चाहिये—

(i) मृदा अन्वेषण में मृदा की प्रकृति एवं उपयोग।
(ii) मृदा स्थल पर बोर होल लॉग (bore hole log) के लिये प्लान खींचना चाहिये एवं अन्य स्थल परीक्षण हेतु प्लान खींचें।
(iii) अन्य प्रकार के परीक्षण प्रयोग जोकि प्रयोगशाला में किये जाने योग्य हों।

3. छिद्र वेधन लॉग (bore hole log) में निम्नलिखित सूचनायें भी सम्मिलित करनी चाहिये—

(i) बोरिंग संख्या एवं बोरिंग का प्रकार
(ii) बोरिंग की प्रारम्भ एवं समाप्त करने का दिनांक
(iii) बोरिंग का व्यास

4. Bore hole logs की अन्य सूचनायें (data) tabular form में प्रदर्शित करनी चाहिये।

1. मृदा Profile जोकि अलग-अलग परत (strata) की मोटाई (thickness) व्यक्त करें—
2. विभिन्न मृदा परतों (strata) का वर्णन
3. भौम जल तल की स्थिति
4. नमूनों की मोटाई और गहराई (thickness & depth)
5. बोरिंग के विशिष्ट अभिलेख (typical record) (as per IS : 1892) चित्र 9.17 में दर्शाये गये हैं।

इस अनुभाग (section) में मृदा अन्वेषण विधि, विशेष कारणों से चयनित स्थल परीक्षण कारण सहित, विस्तृत (detailed) स्थल परीक्षण परिणाम (field test result) दर्शाये जाते हैं।

6. प्रयोगशाला परीक्षण के परिणाम टेबिल एवं ग्राफ के रूप में दर्शाये जाते हैं। प्रमुख प्रयोगशाला परीक्षण की विस्तृत विधि भी दर्शायी जाती है। मृदा अन्वेषण में यदि कोई विशेष विधि अपनायी गई है तो उसका भी उल्लेख होता है। अन्त में सभी प्राप्त परिणामों को एक-दूसरे से जोड़कर भी देखते हैं और नींवों के प्रकार को अभिकल्पन हेतु संस्तुत किया जाता है।

Name of Boring organization

Bored for.	Location Site .....
Ground surface level	Boring No. ....
Type of boring, wash boring	Soil sampler used ....
Diameter of boring	Date started ....
Inclination : vertical	Date completed
Boring	Recorded ....

तालिका (Table) 9.17

Description of strata	Soil classification	Thicknes of stratum	Depth from ground surface	R.L. or lower confact	Sample			Ground water level	Remark
					Type	No.	Depth of thickness of sample		
Fine in medium sands with practically no binder	SP		1m 2 m 2.7 m 3 m	Undis turbed			– 1 m –1.4 m –1.7 m – 2 m – – 3 m	Not struck upto 6m depth	
	CL		4 m 5 m			2	– 4 m – 4.3 m – 5 m		

तालिका (Table)-9.17 (A)

Laboratory testing of soil

क्रम संख्या	मृदा के गुण	प्रयोगशाला परीक्षण प्रकार	प्रतिदर्श का प्रकार
1.	कण परिमाप वितरण	(i) शुष्क चालनी वितरण (ii) गीला चालनी वितरण	क्षुब्ध प्रतिदर्श
2.	गाढ़ापन (Consistency) सीमा	(i) द्रव सीमा (ii) सुघट्यता सीमा (iii) संकुचन सीमा	क्षुब्ध प्रतिदर्श
3.	घनत्व (Unit weight)	आ० गुरुत्व परीक्षण	क्षुब्ध प्रतिदर्श
4.	जलांश (Moisture content)	जलांश	क्षुब्ध प्रतिदर्श
5.	पारगम्यता	पारगम्यता परीक्षण (i) चर शीर्ष (ii) अचर शीर्ष	अक्षुब्ध प्रतिदर्श
6.	संपीड्यता	आडियोमीटर परीक्षण	अक्षुब्ध प्रतिदर्श
7.	अपरूपण सामर्थ्य	(i) सीधा अपरूपण (ii) अपरिरुद्ध सम्पीडन परीक्षण (iii) त्रिअक्षीय परीक्षण	अक्षुब्ध प्रतिदर्श

तालिका (Table)9.17 (B) (Field test of soil)

क्र० सं०	परीक्षण का उद्देश्य	परीक्षण का प्रकार
(i)	सापेक्ष घनत्व(स्थूल कणीय मृदा)	(i) मानक बेधन परीक्षण SPT (ii) DCPT
(ii)	अपरूपण सामर्थ्य (ससंजक मृदा)	(i) बेन अपरूपण परीक्षण (ii) CPT (iii) सीधा अपरूपण परीक्षण In-situ
(iii)	पारगम्यता	(i) पम्पिंग परीक्षण (ii) पीजोमीटर परीक्षण
(iv)	धारण क्षमता और निषदन	प्लेट भार परीक्षण
(v)	पाइल परीक्षण	पाइल भार परीक्षण
(vi)	संहनन नियंत्रण	प्रोक्टर सुई परीक्षण

प्रश्नावली

1. अधःस्थल (Sub surface) जाँच के मुख्य उद्देश्य क्या हैं? *(B.T.E.U.P. 1986)*
2. अधःस्थल (Sub surface) जाँच करने से आप क्या समझते हो? इसके प्रयोग में लायी जाने वाली विभिन्न विधियों का संक्षेप में वर्णन करो। *(B.T.E.U.P. 1978, 86)*
3. (i) खुली परीक्षण खाइयों के बारे में बतायें। *(B.T.E.U.P. 1980, 83)*
   (ii) क्षुब्ध व अक्षुब्ध नमूनों को कैसे प्राप्त किया जाता है? इनमें क्या अन्तर है? *(B.T.E.U.P. 1972, 77, 78, 79, 80, 86)*
4. बरमा बेधन का क्या महत्व है, बरमा बेधन द्वारा लिये गये नमूनों पर कौन-से परीक्षण किये जा सकते हैं? *(B.T.E.U.P. 1972)*
5. (i) मृदा अन्वेषण की विधियाँ लिखें। *(B.T.E.U.P. 2011, 12)*
   (ii) क्षेत्र अनुपात, प्राप्ति अनुपात लिखें।
6. स्थल वीक्षण तथा प्रारम्भिक अन्वेषण पर टिप्पणी लिखें।
7. प्रारम्भिक अन्वेषण की विधियाँ लिखिये। किन्हीं दो विधियों का वर्णन करो।
8. बोरिंग विधि से क्या आशय है? यह कितने प्रकार का होता है? किन्हीं दो का वर्णन करें।
9. मृदा अन्वेषण के लिये आवश्यक विभिन्न प्रकार के मृदा नमूनों (soil samples) तथा प्रतिदर्शितों (samplers) की सूची बनाइये तथा समझाइये। *(BTE UP 2016)*
10. निम्न पर टिप्पणी लिखें— *(BTE UP 2014)*
    (i) मृदा प्रतिदर्श लेने की विधियाँ
    (ii) मृदा अन्वेषण की विधियाँ।
11. मृदा पर्यवेक्षण (soil exploration) की विभिन्न विधियाँ लिखें तथा प्रत्येक को स्पष्ट तथा समझाइये। *(BTE UP 2017)*
12. आघात बेधन तथा घूर्णी बेधन पर टिप्पणी लिखें।
13. प्रतिदर्शों के विभिन्न प्रकार लिखें। क्षुब्ध एवं अक्षुब्ध प्रतिदर्श की तुलना करें।
14. प्रतिदर्शों को संरक्षित (preservation of sample) करने से क्या समझते हो?
15. कार्य प्रणाली के आधार पर सैम्पलरों का वर्णन करो।
16. अक्षुब्ध व representative नमूनों तथा क्षेत्रफल अनुपात की परिभाषा लिखो।

अध्याय 10

मृदा की धारण क्षमता (Bearing Capacity of Soil)

10.1. धारण क्षमता की संकल्पना (Concept of Bearing Capacity)

सिविल इन्जीनियरिंग की समस्त संरचानायें जैसे—भवन, बाँध, सेतु आदि मृदा के ऊपर निर्मित किये जाते हैं। नींव संरचना के समस्त भार (Load) को मृदा पर स्थानान्तरित (Transmit) कर देती है। यह भार नींव के माध्यम से मृदा के अधिक क्षेत्रफल पर स्थानान्तरित होता है।

अत: नींव का अभिकल्पन (Designing) इस प्रकार करना चाहिये कि नींव में कर्तन (Shear) न होने पाये न ही नींव में किसी भी प्रकार का निषदन (Settlement) हो जिससे नींव भंग (Fail) न हो जाये। अत: मृदा पर आने वाला भार मृदा की धारण क्षमता से अधिक नहीं होना चाहिए।

नींव की धारण क्षमता वह अधिकतम भार है, जो मृदा इकाई क्षेत्रफल पर भंग हुये बिना वहन करती है।

10.2. परिभाषायें एवं महत्त्व (Definition and Significance)

धारण क्षमता दो प्रकार की होती है—

(1) चरम धारण क्षमता (Ultimate Bearing Capacity)—"नींव की चरम धारण क्षमता वह न्यूनतम भार है, जिस पर मृदा इकाई क्षेत्रफल पर वहन करके विफल (Fail) हो जाती है।" इसे q_f से दर्शाते हैं।

(2) सुरक्षित धारण क्षमता (Safe Bearing Capacity)—"मृदा की वह धारण क्षमता जो मृदा विफल (Fail) हुये बिना सुरक्षापूर्वक सहन कर लेती है।" इसे q_s से दर्शाते हैं।

इसका सूत्र निम्न है—

$$\text{मृदा की सुरक्षित धारण क्षमता} = \frac{\text{चरम धारण क्षमता}}{\text{सुरक्षा गुणांक}}$$

जहाँ, सुरक्षा गुणांक $(F) = 3$ से 5

$$q_s = \frac{q_f}{F}$$

जहाँ,

q_s = सुरक्षित धारण क्षमता

q_f = चरम धारण क्षमता

3. **कुल सुरक्षित धारण क्षमता** (Net safe bearing capacity)—यदि कुल चरम धारण क्षमता को सुरक्षा गुणांक से विभाजित किया जाये, कुल सुरक्षित धारण क्षमता प्राप्त होती है।

$$q_{ns} = \frac{q_{nf}}{F} = \frac{\text{कुल चरम धारण क्षमता}}{\text{सुरक्षा गुणांक}}$$

4. **अनुज्ञेय धारण दाब** (Allowable bearing pressure)—यह अधिकतम मृदा दाब है जिस पर कोई अपरूपण विफलता (shear failure) अथवा निषदन (settlement) न हो। इसका मान महत्त्वपूर्ण गुणांक (factor) के लिये नहीं लेते है न ही इसका प्रभाव धारण क्षमता पर पड़ता है।

जैसे—मृदा की आकृति, चौड़ाई, फुटिंग की गहराई, भूमि जल तल की स्थिति, सामर्थ्य और सम्पीड्यता।

5. **अनुज्ञेय धारण क्षमता** (Allowable bearing capacity)—यह कुल भारित तीव्रता है जिस पर न तो मृदा अपरूपण में विफल होती है, न ही संरचना पर कोई हानिकारक प्रभाव पड़ता है। इसे q_a से दर्शाते हैं।

महत्त्व (Significance)

(i) धारण क्षमता नींव की गहराई और फुट प्रिन्ट (foot print) को स्थायित्व (stability) प्रदान करती है।

(ii) मृदा की धारण क्षमता अधिकतम सम्पर्क दाब है जो नींव और आधार के नीचे की मृदा के बीच कार्य करता है जिससे मृदा में अपरूपण में विफलता नहीं होती है।

10.3. मृदा की धारण क्षमता को प्रभावित करने वाले कारक (Factors affecting bearing capacity of soil)

मृदा की धारण क्षमता पर निम्न तत्त्वों का प्रभाव होता है—

(i) मृदा के प्रकार (Type of soil)

(ii) मृदा की विशेषतायें (Soil characteristics); जैसे—अपरूण सामर्थ्य, रिक्तता अनुपात

(iii) नींव की किस्म (Type of foundation) एवं नींव की विशेषतायें

(iv) मृदा के गुण (Soil properties)

(v) भौमजल स्तर (Water Table)

(vi) मृदा का बैठाव (Seltlement of soil)

(vii) संरचना की दृढ़ता (Rigidity of structure)

(viii) नींव की विशेषतायें (Foundation characteristics); जैसे—(आकार, गहराई, साइज आदि।)

1. **मृदा के प्रकार** (Type of soil)—मृदा की धारण क्षमता मृदाओं के विभिन्न प्रकार पर निर्भर करती है। जैसे—ससंजक मृदा एवं असंजक मृदा के लिये धारण क्षमता अलग-अलग होगी जो कि टरजागी समीकरण से स्पष्ट है—

शुद्ध असंजक मृदा हेतु $q_f = CN_c + 0.5YBN_y + qN_q$ ...(1)

अत: $C = 0$

शुद्ध ससंजक मृदा हेतु $\phi = 0$ $q_f = 0.5YBN_y + qN_q$

धारण क्षमता गुणांक का मान

अत: समी० (1) से $N_c = 5.7, N_q = 1$ और $N_y = 0$

$$q_u = 5.7\,C + q$$

2. **मृदा की विशेषतायें** (Soil characteristics)—इसमें धारण क्षमता पर मृदा की अपरूपण सामर्थ्य एवं रिक्तता अनुपात भी प्रभाव डालती है।

3. **नींव की विशेषतायें** (Characteristics of foundation)—नींव की निम्नलिखित विशेषतायें धारण क्षमता पर प्रभाव डालती हैं—

(i) नींव का प्रकार (Type of foundation)

(ii) नींव की गहराई (Depth of foundation)

(iii) नींव की आकृति (Shape of foundation)

(iv) नींव का आकार (Size of foundation)

4. **मृदा के गुण** (Soil properties)—मृदा के गुण जैसे—अपरूपण सामर्थ्य, घनत्व, पारगम्यता आदि धारण क्षमता पर प्रभाव डालते हैं। ढीली बालू (loose sand) की तुलना में सघन बालू (dense sand) की धारण क्षमता अधिक होती है क्योंकि सघन बालू का घनत्व ढीली बालू की तुलना में अधिक होता है।

5. **भौम जल स्तर** (Water table)—मौसम के अनुसार एक ही स्थान पर भौम जल स्तर की स्थिति बदलती है। वर्षा ऋतु में भौम जल स्तर उठता है वर्षा के बाद भौम जल स्तर नीचे चला जाता है जोकि धारण क्षमता पर प्रभाव डालता है।

जब भौम जल स्तर फुटिंग के आधार से ऊपर है तो मृदा का निमग्न घनत्व (submerged density) का प्रयोग धारण क्षमता और अत्यधिक भार (over-burden pressure) ज्ञात करने में करते हैं और 50% धारण क्षमता कम हो जाती है। सामान्य धारण क्षमता ज्ञात करने के लिये टरजागी समीकरण से—

$$q_f = CN_c + 0.5YBN_yR_w + YDN_qR'_w$$

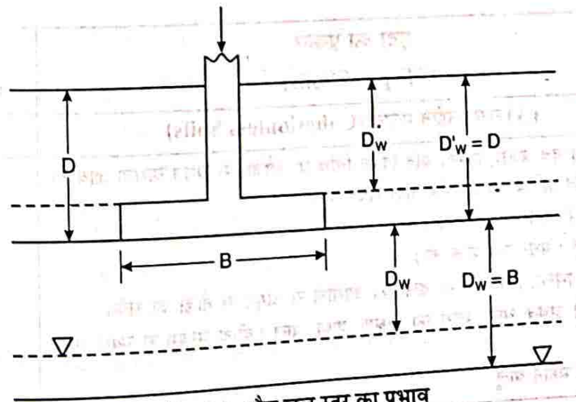
जहाँ R_w और R'_w **परिवर्तन गुणांक** (Reduction factor) भौम जल स्तर के लिये है।

अत:
$$R_w = \frac{1}{2}\left(1+\frac{D_w}{B}\right)$$

$$R'_w = \frac{1}{2}\left(1+\frac{D'_w}{D}\right)$$

यहाँ
$$D_w = 0,\ R_w = 0.5,\ R'_w = 1$$

$$D_w = B,\ R_w = \frac{1}{2}\left(1+\frac{1}{1}\right) = 1$$



चित्र 9.3–भौम जल स्तर का प्रभाव

$R'_w = 1$

At $D'_w = 0,\ R'_w = 0.5,\ R_w = 1$

At $D'_w = D,\ R'_w = 1,\ R_w = 0.5$

6. नींव का प्रकार (Type of foundation)—मृदा की धारण क्षमता के अनुसार नींव का चयन किया जाता है। राफ्ट अथवा मैट नींव का चयन संरचना पर आने वाले भार को पूरी मृदा क्षेत्र में फैलाना होता है जब मृदा की धारण क्षमता कम होती है।

7. मृदा का बैठाव (Settlement of soil)—मृदा का बैठाव (settlement) भी धारण क्षमता (bearing capacity) पर प्रभाव डालता है। संभावित बैठाव से यदि बैठाव अधिक हो जाये तो मृदा की धारण क्षमता घट जायेगी।

8. संरचना की दृढ़ता (Rigidity of structure)—संरचना निर्माण में प्रयुक्त पदार्थ जैसे—इस्पात, प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट आदि तो नींव का अनुमत बैठाव (permissble settlement) अपेक्षाकृत अन्य से कम होता है जिससे मृदा पर अनुज्ञेय धारण दाब (allowable bearing pressure) कम रखा जाता है। Unrigid (अदृढ़ पदार्थों) में अनुमत बैठाव का मान सदैव अधिक रखना पड़ता है।

10.4. धारण क्षमता ज्ञात करने की विधियाँ (Methods of Determination of Bearing Capacity)

मृदा की धारण क्षमता ज्ञात करने हेतु निम्न विधियाँ हैं—

(1) आनुभविक विधि (Empirical method)

(2) गणनाओं द्वारा (Analytical Method)

(3) स्थलीय परीक्षण विधि (Field Test Method)

आनुभविक विधि (Empirical Method)

इस विधि में बिल्डिंग कोड का प्रयोग किया जाता है जिससे विभिन्न प्रकार की मृदाओं की धारण क्षमता के मान (I.S. 1904-1961) कोड से ज्ञात किये जा सकते हैं। यह विधि कम महत्व की संरचनाओं एवं प्रारम्भिक अभिकल्पन हेतु प्रयोग की जाती है।

तालिका 10.1–मृदाओं की धारण क्षमतायें (I.S. Code 1904-1961) के अनुसार

क्र०सं० S.No.	मृदा का प्रकार (Type of Soils)	सुरक्षित धारण क्षमता Safe Bearing Capacity T/m² में	kN/m² में
	(A) संसंजनहीन मृदायें (Cohesionless Soils)		
1.	ग्रेवल, बालू एवं बजरी, जिसमें यदि किसी विधि या औजार से वेधन कराया जाये तो मृदा प्रतिरोध अधिक हो (जबकि मृदा संहत हो।)	44.0	440
2.	मोटा बालू (सघन एवं शुष्क हो)	44.0	440
3.	मध्यम बालू (सघन एवं शुष्क हो)	24.5	245
4.	सूक्ष्म बालू सिल्ट, जिसमें शुष्क ढेलों को आसानी से अंगूठे से तोड़ा जा सके।	15.0	150
5.	ढीली बजरी अथवा बालू बजरी का मिश्रण, शुष्क बालू (ढीली मध्यम-से स्थूल कण वाली)	24.5	245
6.	शुष्क ढीली महीन बालू	10.0	100
	(B) संसंजक मृदायें (Cohesive Soils)		
7.	नरम सेल, गहरी पर्तों में शुष्क कठोर मृत्तिका।	44.0	440
8.	मध्यम श्रेणी की मृत्तिका जिसमें अंगूठे के नाखून से गड्ढा हो सके।	24.5	245
9.	नर्म मृत्तिका जिसमें अँगूठे को मध्यम दाब से धँसाया जा सके।	15.0	150
10.	नर्म मृत्तिका जिसे अंगूठे के औसत दाब से दबाने पर गड्ढा पड़ जाये।	10.0	100
11.	अत्यन्त नर्म मृत्तिका जिसमें अँगूठे को कई cm तक धँसाया जा सके।	5.0	50
12.	काली कपासी मिट्टी या इसी प्रकार की सकुंचन व फैलने वाली मृत्तिकायें शुष्क अवस्था में (50% संतृप्त)	15.0	150
	(C) चट्टान (Rocks)		
13.	बिना पर्त वाली कठोर चट्टानें; जैसे—ग्रेनाइट ट्रैप, डायोराइट (Diorite) आदि।	330	3300
14.	पर्तों वाली चट्टानें; जैसे-बलुआ पत्थर व चूने का पत्थर।	165	1650
15.	टूटी हुई चट्टानें	90	900
16.	नर्म चट्टानें	45	450

गणनाओं द्वारा मृदा की धारण क्षमता ज्ञात करना (Analytical Method for Calculating Bearing Capacity)

मृदा की धारण क्षमता ज्ञात करने के लिये सन् 1943 में टरजागी ने इस विधि का सुझाव दिया एवं उन्होंने अपने सिद्धान्त के अनुसार कुछ मान्यतायें प्रदान कीं जो कि निम्न तत्वों पर निर्भर करते हैं—

(i) मृदा समांगी (Homogeneous), समदैशिक (Isotropic) है। इसकी अपरूपण सामर्थ्य कूलम्ब नियम पर आधारित है।

(ii) पाद (Footing) सतत् (Continuous) है।

अर्थात् $\dfrac{L}{B} = \infty$

(iii) पाद की गहराई उसकी चौड़ाई से कम है।

$$D < B$$

(iv) पाद का आधार खुरदरा है।

डॉ० टरजागी ने नींव की चरम धारण क्षमता ज्ञात करने हेतु निम्न समीकरण दिये। (Terzaghi's Bearing Capacity Equations)

(1) वृत्ताकार नींव (Circular Fo oting)—B is Diameter of Circular Footing ...(1)

$$q_f = 1.2C\,N_c + Y.D.N_q + 0.3Y.B.N_y$$

(2) वर्गाकार नींव (Square Footing) ...(2)

$$q_f = 1.2C\,N_c + 0.4Y.B\,N_y + Y.D\,N_q$$

(3) निरन्तर पाद नींव (Continuous Footing) ...(3)

$$q_f = C\,N_c + 0.5YB\,N_y + YD\,N_q$$

जहाँ,

Y = Unit Weight of Soil (मृदा का स्थूल घनत्व)

D = नींव की गहराई (Depth of Foundation)

C = मृदा ससंजन (Cohesion of Soil)

B = Width of Foundation (नींव की चौड़ाई)

q_f = चरम धारण क्षमता (Ultimate Bearing Capacity)

N_c, N_q, N_y = धारण क्षमता गुणांक (Bearing Capacity Factors)

नोट—उपरोक्त समीकरणों का प्रयोग करने से पूर्व C, ϕ (Shear parameter) का मान ज्ञात होने आवश्यक हैं। यह मृदा पर अपरूपण सामर्थ्य परीक्षण करके ज्ञात कर लेते हैं।

10.4.3. (1) ससंजनहीन मृदाओं हेतु (Cohesionless Soils)

यहाँ $C = 0$ for purely cohesionless soils.

$$q_f = YD\,N_q + 0.5Y.B.N_y \quad ...(i)$$

(2) ससंजक मृदाओं हेतु (Cohesive Soils) — **For purely cohesive soils**

यहाँ $\phi = 0$ — यहाँ—$N_c = 5.7,\ N_q = 1,\ N_y = 0$

अतः $$q_f = 5.7C + q \quad ...(ii)$$

10.4.4. स्थल परीक्षण (Field Test)

मृदा की धारण क्षमता स्थल पर ही परीक्षणों द्वारा ज्ञात कर सकते हैं, मृदा की धारण क्षमता ज्ञात करने की निम्न दो विधियाँ हैं—

(i) प्लेट भार परीक्षण (Plate Load test)

(ii) मानक बेधन परीक्षण (Standard Penetration Test)

10.5. प्लेट भार परीक्षण (Plate Load Test)

यह मृदा की धारण क्षमता ज्ञात करने की स्पष्ट विधि है। इस विधि से मृदा का निषदन (Settlement) भी ज्ञात कर सकते हैं।

परीक्षण व्यवस्था—इस परीक्षण में सर्वप्रथम जहाँ नींव बनानी हो, नींव की गहराई तक गड्ढा खोदकर उसके तल पर एक दृढ़ (Rigid Plate) जोकि ढलवाँ लोहे (Cast Iron) की होती है, मोटाई 25 mm होती है, रखकर प्लेट पर भार लगाया जाता है।

धारण प्लेट की चौड़ाई का 5 गुना चौड़ा गड्ढा खोदा जाता है। धारण प्लेट की माप 30×30 सेमी० और बड़ी माप 75×75 cm हो सकती है। प्लेट नीचे की तरफ खुरदरी होती है ताकि मृदा में सही तरीके से चिपक जाये, प्लेट मजबूत हो ताकि भार लगाने पर बंकन न आ जाये।

यदि प्लेट 30 cm × 30 cm की है तो गड्ढे का साइज (1.50 m × 1.50 m) रखा जायेगा।

गड्ढे के मध्य में प्लेट की साइज का एक वर्गाकार गड्ढा बनाया जाता है जिसका आधार का लेवल बनने वाली नींव के लेवल पर हो। वर्गाकार गड्ढे की मुख्य गड्ढे के तल से गहराई D_P निम्न सूत्र से ज्ञात करेंगे—

$$\frac{D_P}{B_P} = \frac{D}{B}$$

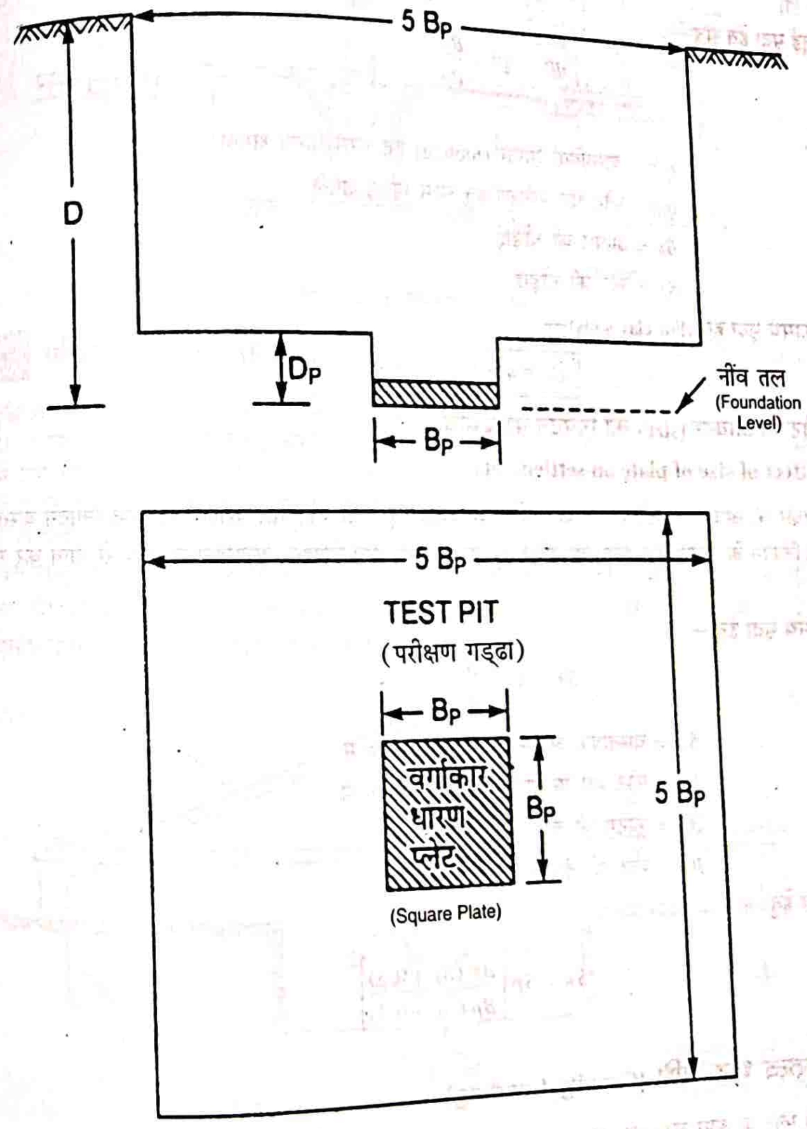
जहाँ, D = नींव की गहराई

B = नींव की चौड़ाई

B_P = प्लेट की चौड़ाई

D_P = गड्ढे के तल से मुख्य परीक्षण गड्ढे के तल की गहराई

चित्र 10.23 में दिखायी गयी प्लेट पर भार लगाने की दो विधियाँ हैं।



चित्र-10.23

10.5 (a) प्लेट के आकार का धारण क्षमता पर प्रभाव
(Effect of size of the plate on bearing capacity)

आधार (footing) का आकार (size) बढ़ाने से बालू एवं ग्रेवल की धारण क्षमता बढ़ती है। बलुई मृदा पर प्लेट भार परीक्षण करने पर प्राप्त धारण क्षमता नींव की वास्तविक धारण क्षमता से भिन्न होगी, यदि नींव का आकार प्लेट के आकार से अधिक हो।

बलुई मृदा हेतु सूत्र—

$$q_{fF} = q_{fP} \times \frac{B_F}{B_P}$$

जहाँ,

q_{fF} = वास्तविक आधार (footing) हेतु चरम धारण क्षमता

q_{fP} = प्लेट भार परीक्षण हेतु चरम धारण क्षमता

B_F = आधार की चौड़ाई

B_P = प्लेट की चौड़ाई

मृतिकामय मृदा हेतु (For clay soils)—

$$\boxed{q_{fF} = q_{fP}}$$

10.5 (b) प्लेट के आकार (size) का निषदन पर प्रभाव
(Effect of size of plate on settlement)

नींव आधार का आकार (size) बदलने पर निषदन पर प्रभाव पड़ता है। प्लेट भार परीक्षण से प्राप्त निषदन वास्तविक फुटिंग से प्राप्त निषदन के समान नहीं होगा। वास्तविक फुटिंग के लिये प्राप्त निषदन निम्नांकित सम्बन्ध से प्राप्त कर सकते हैं।

मृतिकामय मृदा हेतु—

$$S_F = S_P \times \frac{B_F}{B_P}$$

जहाँ,

S_F = वास्तविक आधार हेतु निपदन मिमी० में

S_P = प्लेट भार परीक्षण हेतु निपदन मिमी० में

B_F = फुटिंग की चौड़ाई मी० में

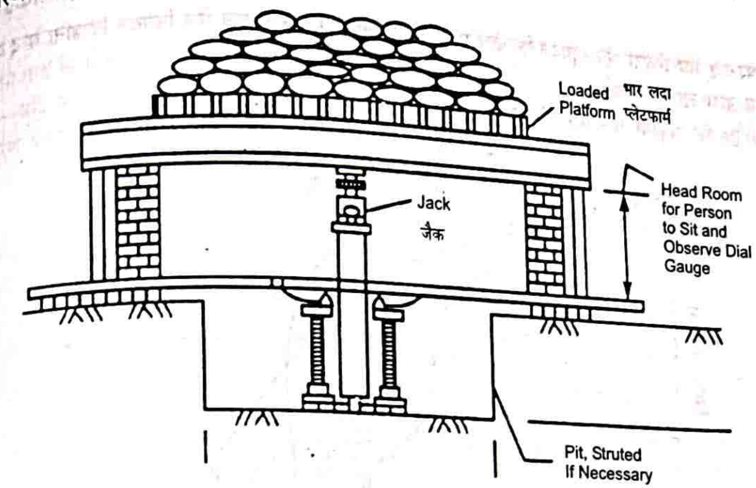
B_P = प्लेट की चौड़ाई मी० में

बलुई मृदा हेतु—

$$S_F = S_P \left[\frac{B_F (B_P + 0.3)}{B_P (B_F + 0.3)}\right]^2$$

10.6. गुरुत्व भार विधि (Gravity Loading)

इस विधि में प्लेट के ऊपर ऊर्ध्वाधर (Vertical) स्तम्भ लगाकर, इसके ऊपर प्लेटफार्म बनाया जाता है और बालू के बोरे, रेल के टुकड़े, लोहा, कंक्रीट के टुकड़े आदि भारी आदि पदार्थों को प्लेटफार्म पर रखकर भार लगाया जाता है।

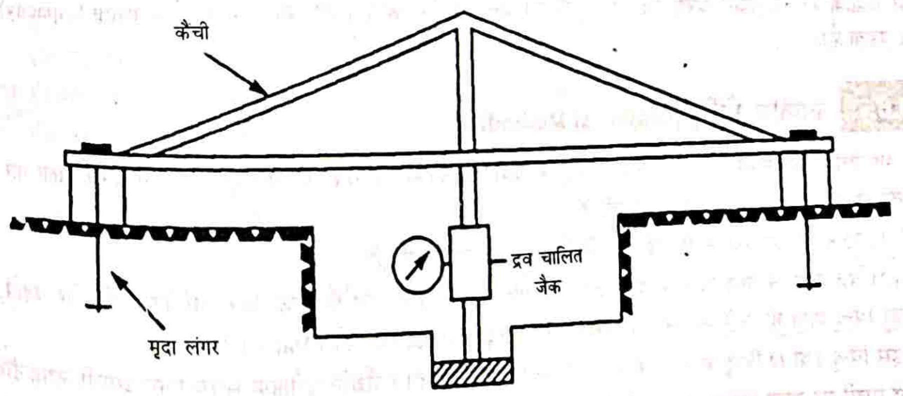


चित्र-10.24 : गुरुत्व भार विधि

10.7. प्रतिक्रिया भारण (Reaction Loading)

प्रतिक्रिया भार विधि में प्लेट पर भार जैक की सहायता से लगाया जाता है। इस प्रणाली द्वारा भार लगाना अच्छी व्यवस्था है। इस प्रणाली में भार लगाने पर नियंत्रण रहता है। जैक के कारण लगा प्रतिक्रिया बल कैंची (Truss) वहन करती है। जैक पर लगे डायल गेज द्वारा प्रतिक्रिया भार को दर्शाता है। इस प्रणाली में बिना झटके दिये भार लगाया जाता है। प्लेट पर भार को उचित दर से बढ़ाते हुये प्लेट पर लगाया जाता है। मृदा की अनुमानित चरम धारण क्षमता के 1.5 गुना लगाते हैं। भार लगाने पर प्लेट का बैठाव 0.02 mm की अल्पतमांक वाले डायल गेजों से ज्ञात करते हैं।

डायल पाठ्यांक निम्न समय अन्तरालों पर ज्ञात करते रहते हैं। भार धीरे-धीरे लगाते जाते हैं और 1, 4, 10, 20, 40, व 60 मिनट और प्रत्येक 1 घण्टे बाद पाठ्यांक प्राप्त करते रहेंगे जब तक कि बैठाव की दर 0.02 mm प्रति घण्टा से कम न हो जाये, इसके उपरान्त अगली भार व्यवस्था अपनानी चाहिये।

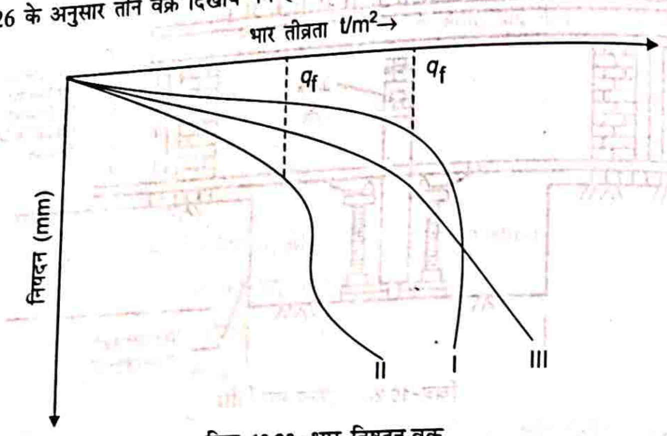


चित्र-10.25 : प्रतिक्रिया भार विधि

बलुआ मृदाओं में प्लेट का निषदन या बैठाव (Settlement) लगभग पूर्ण हो जाता है, जबकि मृत्तिकामयी मृदाओं में धीरे-धीरे चलता रहता है।

इसके पश्चात् भार तीव्रता और निषदन के बीच ग्राफ खींचा जाता है। जब डायल गेज निषदन दिखाना बन्द कर दे तभी दूसरा भार जैक द्वारा लगाना चाहिये।

चित्र 10.26 के अनुसार तीन वक्र दिखाये गये हैं—



चित्र-10.26 : भार-निषदन वक्र

वक्र I—सघन मृदाओं के भार-निषदन सम्बन्ध को दर्शाता है।

वक्र II—नरम, ढीली, विचित्र (Typical, Soft and Loose) मृदाओं के भार-निषदन सम्बन्ध को दर्शाता है।

वक्र III—सघन ससंजनहीन मृदाओं के भार-निषदन सम्बन्ध को दर्शाता है (जोकि भार लगाने के बाद भी अपरूपण में भंग होने का संकेत नहीं दर्शाती है।)

नोट—(i) वक्र I व II में धारण क्षमता का मान वह दाब तीव्रता होगी जिस पर बैठाव दर बढ़ जाती है, जबकि वक्र (III) में ऐसा कोई स्पष्ट चिन्ह नहीं दर्शाता है।

(ii) यदि भूमिगत जल स्तर (Ground Water Table) नींव के तल से ऊपर हो तो प्लेट को बैठाने से पूर्व पम्प से जल स्तर को नींव के लेवल तक नीचे लाना पड़ता है। यदि जल स्तर नींव तल के 1 मी० नीचे हो तो परीक्षण जल स्तर पर ही करें क्योंकि रेत या बजरी वाली मृदाओं में भूमिगत जल स्तर (G.W.T.) की धारण क्षमता (Bearing Capacity) पर प्रभाव पड़ता है।

10.8. ग्राफीय विधि (Graphical Method)

भारतीय मानक संस्थान (I.S. 1888-1962) ने किसी भी आकार के वक्र के लिये मृदा को भंग करने वाला भार ज्ञात करने की ग्राफीय (Graphical) विधि बनायी है।

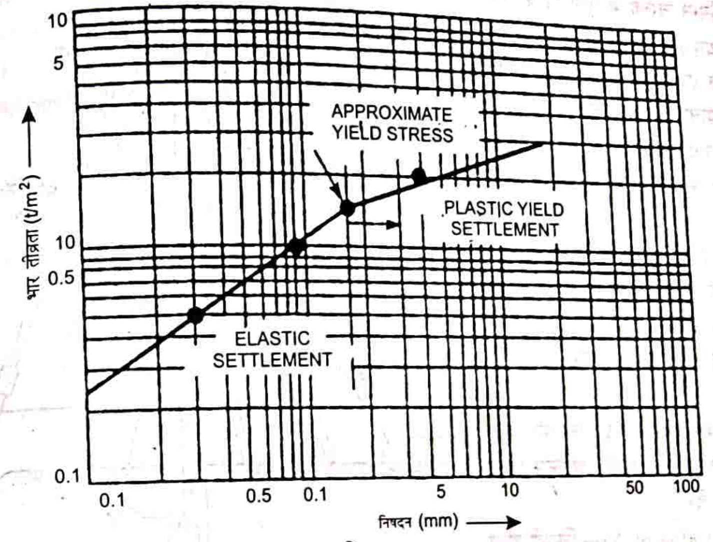
(1) प्लेट पर भार लगाने से पूर्व मृदा में बैठाव शून्य माना जाता है।

(2) वक्र ग्राफ के मूल बिन्दु से शुरू होता है। यदि यह न हो तो उसे पीछे की ओर भार रेखा की ओर बढ़ायें, इस प्रकार जो बिन्दु प्राप्त हो, उसे भार का संशोधित शून्य बिन्दु (Corrected Zero Value) मानते हैं।

इस बिन्दु तथा *O* बिन्दु के बीच के भार को शून्य त्रुटि कहते हैं। (**अर्थात् परीक्षण समय प्लेट अपनी जगह ठीक से नहीं बैठ पायी या अन्य कारण से मृदा में निषदन प्राप्त हुआ।**)

(3) शून्य त्रुटि को समझते हुये निषदन व भार तीव्रता दोनों को लघुगणकीय पैमाने पर पहले की तरह आलेखित करें जिसमें दो सीधी रेखायें प्राप्त होंगी। दोनों रेखाओं के मिलान बिन्दु को **पराभव बिन्दु** (Yield Point) कहते हैं।

(4) यदि किन्हीं कारणों से भार-निषदन वक्र स्पष्ट भंग बिन्दु न प्रदर्शित करें तो ऐसी स्थिति में प्लेट की चौड़ाई के पाँचवें भाग तक के निषदन के लिये लगाये गये भार को ही मृदा को विफल (fail) करने वाला भार स्वीकार कर लिया जाता है। जैसे—यदि परीक्षण प्लेट 30 cm चौड़ी है तो जिस भार के कारण प्लेट का निषदन 4 cm हुआ, तो उसे ही मृदा की चरम धारण क्षमता मान लेते हैं। यही वक्र पर भार तीव्रता होती है।



चित्र-10.27

नोट—यदि भौमजल स्तर उपर ऊठने लगे तो धारण क्षमता कम होने लगती है। नींव तल तक आने पर धारण क्षमता आधी हो जाती है।

10.9. प्लेट भार परीक्षण के प्रतिबन्ध (Limitations of Plate load Test)

(1) यह परीक्षण ससंजक मृदाओं के लिये अधिक उपयुक्त एवं असंजक मृदाओं के लिये भी कार्य करता है।

(2) यह परीक्षण लगभग 5 दिनों में पूर्ण कर लिया जाता है परन्तु ससंजक मृदाओं में निषदन के लिये समय अधिक लगता है। अत: उपरोक्त मृदाओं हेतु निषदन (Settlement) के मान वास्तविक मान से कम प्राप्त होंगे।

(3) प्लेट भार परीक्षण हवाई अड्डों (Airport) के धावन पथ एवं महामार्ग की मृदाओं हेतु उपयुक्त है।

(4) प्लेट भार परीक्षण कुछ घण्टों में किया जाता है जिससे यह मृदा में दीर्घ काल में होने वाले संघनन (Consolidation) को प्रदर्शित नहीं कर पाता है।

(5) नींव के साइज का भी परीक्षण पर प्रभाव आता है अर्थात् संतृप्त मृदाओं में बड़े आधार की नींव एवं परीक्षण प्लेट के निषदन का मान लगभग समान प्राप्त होगा जबकि ससंजनहीन मृदाओं के लिये धारण क्षमता नींव के साइज के साथ बढ़ेगी।

(6) यदि मृदा की परत समांगी (Homogeneous) नहीं है तो प्लेट भार परीक्षण से प्राप्त परिणाम अच्छे नहीं होते हैं।

10.10. मानक बेधन परीक्षण (Standard Penetration Test)

मानक बेधन परीक्षण, ससंजनहीन मृदाओं की धारण क्षमता ज्ञात करने में प्रयोग करते हैं। स्थल पर ही यह परीक्षण किया जाता है क्योंकि इन मृदाओं का अक्षुब्ध नमूना प्राप्त करना कठिन होता है।

इस परीक्षण में मोटी दीवार वाला विभक्त चामस मृदा प्रतिदर्श यन्त्र (Thick Wall Split Spoon Sampler) का प्रयोग करते हैं। इस यंत्र पर 65 kg के भार को 75 cm की ऊँचाई से गिराकर मृदा में धँसाया जाता है। प्रतिदर्श यंत्र (Sampler) को परीक्षण मृदा में 30 cm गहराई तक धँसाने के लिये लगाये गये आघातों (Blows) की संख्या ज्ञात कर लेते हैं। यही आघातों की संख्या उस मृदा का बेधन मान/बेधन प्रतिरोध (Penetration resistance) कहलाता है जिसे N से दर्शाया जाता है। निम्न चरणों में परीक्षण करेंगे—

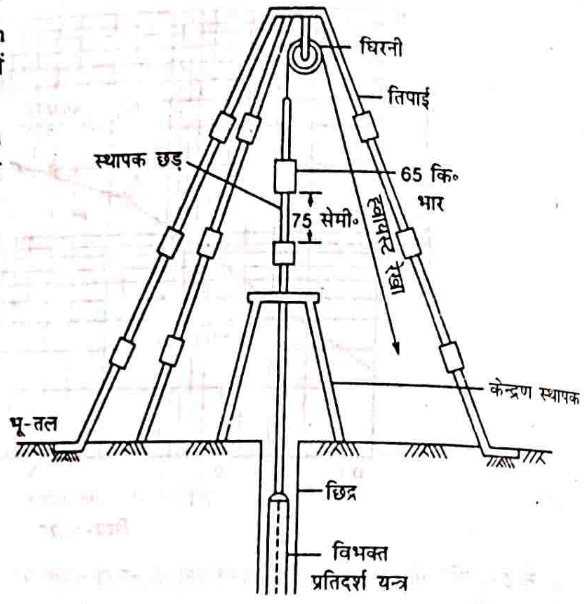
(1) सर्वप्रथम मृदा में सैम्पलर को 15 cm गहराई तक आघात देकर धँसाते हैं **किन्तु आघातों की संख्या की गणना नहीं की जाती है।**

(2) इसके बाद सैम्पलर को मृदा में 30 cm **तक धँसाते हैं और आघातों की संख्या नोट कर लेते हैं।**

(3) यदि नीचे की मृदा परत कठोर प्राप्त हो और मृदा प्रतिदर्श यंत्र 15 cm या 30 cm के बाद सैम्पलर का मृदा में प्रवेश न कराया जा सके तो **स्थल अभिलेख** में इस बात का उल्लेख करना चाहिये।

(4) यदि सैम्पलर पर 65 kg के भार द्वारा 50 आघातों पर सैम्पलर 2.5 सेमी॰ से कम प्रवेश करे तो परीक्षण रोक दें।

***N* का मान (Value of *N*)—किसी मृदा (Soil) का *N* मान उस मृदा में प्रतिदर्श यन्त्र पर 65 kg का भार 75 cm की ऊँचाई से गिराकर प्रतिदर्श यंत्र को 30 cm प्रवेश कराने के लिये आवश्यक आघातों की संख्या को कहते हैं। यह मृदा के बेधन प्रतिरोध को दर्शाता है।**



चित्र-10.28 : मानक बेधन परीक्षण उपकरण

तालिका 10.2

ससंजनहीन मृदायें जैसे रेत			ससंजक मृदायें (जैसे मृत्तिका)		
बेधन प्रतिरोध (N)	विशिष्ट घनत्व	आन्तरिक घर्षण कोण ϕ (डिग्री में)	N का मान (बेधन प्रतिरोधक)	सघनता (Consistency)	अपरिरुद्ध संपीडन सामर्थ्य Unconfined compression strength kg/cm²
0–4	अत्यन्त ढीली	25–27	0–2	अत्यन्त नरम	20.25
4–10	ढीली	27–35	2–4	नरम	< 0.5 – 0.5
10–30	मध्यम	35–40	4–8	मध्यम	0.5–1.0
30–50	सघन	40–33	8–15	कठोर (Stiff)	1–2
75	अत्यन्त सघन		15–30	अत्यन्त कठोर (Very Stiff)	2–4

इस परीक्षण में प्रयुक्त प्रतिदर्श यन्त्र द्वारा मृदा का जो नमूना प्राप्त होता है, उससे दृष्टीय परीक्षण (Visual Test) अवसादन परीक्षण (Sedimentation Test) किये जाते हैं। द्रव सीमा, सुघट्य सीमा, विशिष्ट गुरुत्व भी परीक्षण कर सकते हैं।

10.11. सीधा अपरूपण परीक्षण से धारण क्षमता का आकलन (Application of direct shear test estimation of bearing capacity)

10.11.1. डा॰ टरजागी ने नींव की चरम धारण क्षमता (q_f) ज्ञात करने हेतु निम्न समीकरणों का प्रयोग किया। निम्न समीकरणों से धारण क्षमता ज्ञात करने हेतु C व ϕ तथा मृदा घनत्व ज्ञात होना चाहिये।

अत: इन समीकरणों को प्रयोग करने से पूर्व सीधा अपरूपण परीक्षण (direct shear test) करके C व ϕ का मान ज्ञात कर लेना चाहिये।

(i) वृत्ताकार नींव (Circular footing)—अर्धव्यास 'a'

$$q_f = 1.3CN_c + YDN_q + 0.6Y.a.N_y$$

(ii) वर्गाकार नींव (Square footing)—भुजा ('b')

$$q_f = 1.3CN_c + YDN_q + 0.4Y_b.N_y$$

(iii) निरन्तर पाद नींव (Continuous footing)—चौड़ाई 'b'

$$q_f = CN_c + YDN_q + 0.5Y_b.N_y$$

जहाँ—N_c, N_q, N_y धारण क्षमता गुणांक हैं। इनका मान संख्यात्मक है। इनके मान आन्तरिक घर्षण कोण ϕ के मान पर निर्भर करते हैं। इन्हें चित्रानुसार ग्राफ से भी प्राप्त कर सकते हैं,

जहाँ Y = मृदा का घनत्व (bulk density)

D = नींव की गहराई

C = मृदा का ससंजन बल

q_f = चरम धारण क्षमता

नोट—1. टरजागी समीकरणें सघन (dense) तथा दृढ़ (rigid) मृदाओं हेतु है जिनकी विफलता सामान्य कर्तन द्वारा होती है।

2. इन मृदाओं हेतु ϕ का मान 36° से अधिक होता है।

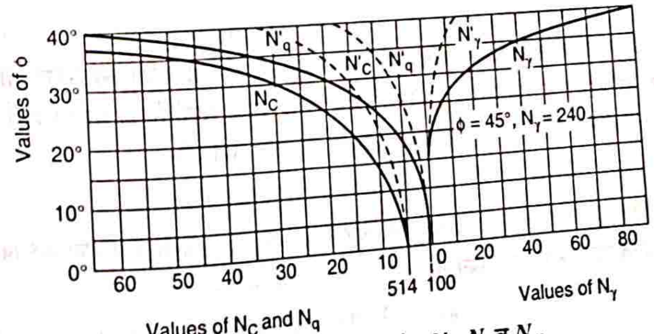
3. ढीली (loose) तथा संपीड्य मृदाओं हेतु और स्थानीय कर्तन में विफल होती है। आन्तरिक घर्षण कोण का मान 29° से कम होता है। इनके लिये $N_c N_q N_y$ के स्थान N'_c, N'_q एवं N'_y का तथा C के स्थान पर C' का प्रयोग किया जाता है।

अत:

$$C' = \frac{2}{3}C$$

जहाँ N'_c व N'_q व N'_y का मान भी चित्रानुसार ज्ञात कर सकते हैं।

4. यदि ϕ का मान 36° व 29° के मध्य है तो N_c, N_q, N_y के मान गणितीय अनुपात से (Interpolation) द्वारा ज्ञात कर सकते हैं।



चित्र 10.11–धारण क्षमता गुणांक N_c, N_q व N_y

ϕ के प्रमुख मानों हेतु धारण क्षमता गुणांकों के मान—तालिका 10.11 में नीचे दिये हैं।

ϕ के प्रमुख मानों हेतु सुरक्षा गुणांक

तालिका-10.11—ϕ के कुछ महत्त्वपूर्ण मानों हेतु सुरक्षा गुणांक

ϕ का मान	N_c	N_q	N_y	N'_c	N'_q	N'_y
0	5.7	1	0	5.7	1	0
10	9.0	3	1	7	2	0
20	17	7	5	12	4	2
30	35	22	20	18	8	6
35	55	43	40	24	14	10

उदाहरण 1. स्ट्रिप फुटिंग की चरम धारण क्षमता ज्ञात करो जिसकी चौड़ाई 1.5 m और आधार सहित गहराई 1 मी० है। आधार शुष्क रेत पर आधारित है, जहाँ $Y_d = 1.7$ kN/m^3, $\phi' = 38°$ और $C' = 0$ टरजागी समीकरण का उपयोग करें।

हल—मृदा की सामान्य विफलता हेतु

चरम धारण क्षमता $q_f = CN_c + qN_q + 0.5YBN_y$

यहाँ $C' = 0$

तो $q_f = qN_q + 0.5YBN_y$

$\phi' = 38°, \quad N_q = 60, \quad N_y = 75$

$q = Y_d D_f = 17 \times 1 = 17$ kN/m^2

$q_f = 17 \times 60 + 0.5 \times 17 \times 1.5 \times 75$

$= \mathbf{1976}$ **kN/m^2** उत्तर

उदाहरण 2. उदाहरण 01 में चरम धारण क्षमता करनी है। यदि धारण क्षमता गुणांक (मेयर हूफ, हेन्सन और I.S. 6403 (1981) द्वारा प्राप्त है।

हल—$\phi' = 38°$, given है।

$N_q = 48.9, \ N_y = 64.0$ (मेयर हूफ)

$N_q = 48.9, \ N_y = 56.2$ (हेन्सन)

$N_q = 48.9, \ N_y = 78.0$ (IS 6403–1981)

उपरोक्त मानों को धारण क्षमता समीकरण में प्रयोग करने पर

$q_f = 17 \times 48.9 + 0.5 \times 17 \times 1.5 \times 64 = 1647$ kN/m^2 (मेयर हूफ)

$q_f = 17 \times 48.9 + 0.5 \times 17 \times 1.5 \times 56.2 = 1545$ kN/m^2 (हेन्सन)

$q_f = 17 \times 48.9 + 0.5 \times 17 \times 1.5 \times 78.0 = 1826$ kN/m^2 (I.S. 6403) उत्तर

उदाहरण 3. बालू पर बनी नींव जिसका आकार 3.0 मी० × 3.0 मी० है। बालू का इकाई भार 1.8 टन/मी०^2 तथा आन्तरिक घर्षण 38° है। फुटिंग का आधार 1.0 मी० नीचे है। यदि सुरक्षा गुणांक का मान 3 है तो नींव द्वारा वहन करने वाला भार एवं टरजागी समीकरण द्वारा चरम धारण क्षमता भी ज्ञात कीजिये।

हल— टरजागी समी० $q_f = 1.3CN_c + YDN_q + 0.4YbN_y$ (वर्गाकार नींव हेतु)

$b = 3$, रेत के लिये $C = 0$ होगा। $\phi = 38°$ ग्राफ से हम N_c, N_q, N_y के मान क्रमशः 65, 60 व 80 है।

अतः उपरोक्त प्राप्त मान समी० में रखने पर

$q_f = 1.3 \times 0 \times 65 + 1.8 \times 1 \times 60 + 0.4 \times 1.8 \times 3 \times 80$

$= 0 + 108 + 172.8 = 280.8$ टन/मी०^2

दिया है—सुरक्षा गुणांक 3 है।

अतः शुद्ध सुरक्षित धारण क्षमता

$$q_{nf} = \frac{\text{शुद्ध चरम धारण क्षमता}}{\text{सुरक्षा गुणांक}}$$

$$= \frac{280.8}{3} = 93.6 \text{ टन/मी}०^2$$

सुरक्षित धारण क्षमता = शुद्ध सुरक्षित धारण क्षमता + नींव मृदा का भार

$$q_s = q_{ns} + YD$$

$= 93.6 + 1.8 \times 1$

$= 95.4$ टन/मी०^2

वर्गाकार नींव का क्षेत्रफल $= 3.0 \times 3.0 = 9$ मी०^2

अतः नींव द्वारा भार वहन क्षमता $= 90 \times 9.00$

$= 810$ टन

उदाहरण 4. 1.5 मी० चौड़ाई की एक सतत नींव है। भूमि सतह से नींव की गहराई 2.00 मी० है। मृदा हेतु निम्न आँकड़े प्राप्त है। मृदा का इकाई भार $Y = 2$ टन/मी०^3, ससंजन $C = 2$ टन/मी०^2, आन्तरिक घर्षण कोण $\phi = 20°$ एवं सुरक्षा गुणांक 3 है तो मृदा की सुरक्षित धारण क्षमता ज्ञात करो।

हल—चूँकि मृदा हेतु ϕ का मान 29° से कम है, अतः मृदा स्थानीय अपरूपण में विफल होगी। अतः N_c, N_q, N_y एवं C के स्थान पर क्रमशः N'_c, N'_q, N'_y एवं C' प्रयोग किये जायेंगे। अतः चित्र में दिये ग्राफ के अनुसार

$N'_c = 12, \quad N'_q = 4, \quad N'_y = 2$

$C' = \frac{2}{3} \times C = \frac{2}{3} \times 2 = 1.33$ टन/मी०^2

अतः चरम धारण क्षमता सतत नींव हेतु टरजागी समी०

$q_f = C'N'_c + YDN'_q + 0.5YbN'_y$

$q_f = 1.33 \times 12 + 2 \times 2 \times 4 + 0.5 \times 2 \times 1.5 \times 2$

$q_f = 16 + 16.0 + 3 = \mathbf{35.0}$ **टन/मी०^2** उत्तर

$$\text{सुरक्षित धारण क्षमता} = \frac{\text{चरम धारण क्षमता}}{\text{सुरक्षा गुणांक}}$$

$= \frac{35.0}{3} = \mathbf{11.6}$ **टन/मी०^2** उत्तर

उदाहरण 5. 200 टन के भार हेतु सघन रेत पर बना स्तम्भ हेतु अभिकल्पन कीजिये। रेत का आन्तरिक घर्षण कोण $\phi = 37°$ तथा घनत्व 1.8 टन/मी०^3 है। अनुमेय दाब 50 टन/मी०^2 है, नींव के लिये सुरक्षा गुणांक 3 से कम न हो।

हल—$\phi = 37°$ धारण क्षमता मानचित्र द्वारा ग्राफ से ज्ञात करने पर $N_c = 50, N_q = 47$ तथा $N_y = 64$, ससंजनहीन मृदा रेत के लिये $C = 0$

अनुमेय दाब = 50 टन/मी०^2

नींव अभिकल्पन के अनुसार वर्गाकार आकार में उचित होगी।

$$\text{अतः अनुमेय बैठाव की दृष्टि से वर्गाकार नींव का न्यूनतम क्षेत्रफल} = \frac{\text{कुल भार}}{\text{अनुज्ञेय धारण दाब}}$$

$$= \frac{200}{50} = 4 \text{ मी}०^2$$

अत: वर्गाकार नींव की भुजा $= \sqrt{4} = 2.0$ मी०। माना नींव की गहराई 2 मी० है।

अत: वर्गाकार नींव हेतु टरजागी समीकरण से, चरम धारण क्षमता

$$q_f = 1.3CN_c + YDN_q + 0.4Yb.N_y$$

$$q_f = 1.3\times 0\times 50 + 1.8\times 2\times 47 + 0.4\times 1.8\times 2\times 64$$

$$q_f = 0 + 84.6 + 92.16 = 176.76 \text{ टन/मी०}^2$$

नींव पर चरम भार $= 176.76\times 2\times 2 = 707$ टन

$$\text{सुरक्षा गुणांक} = \frac{\text{चरम भार}}{\text{नींव पर भार}} = \frac{707}{200} = 3.5$$

सुरक्षा गुणांक 3 से अधिक है अत: नींव वर्गाकार 2×2 मी०^2 माप हेतु उपयुक्त है। उत्तर

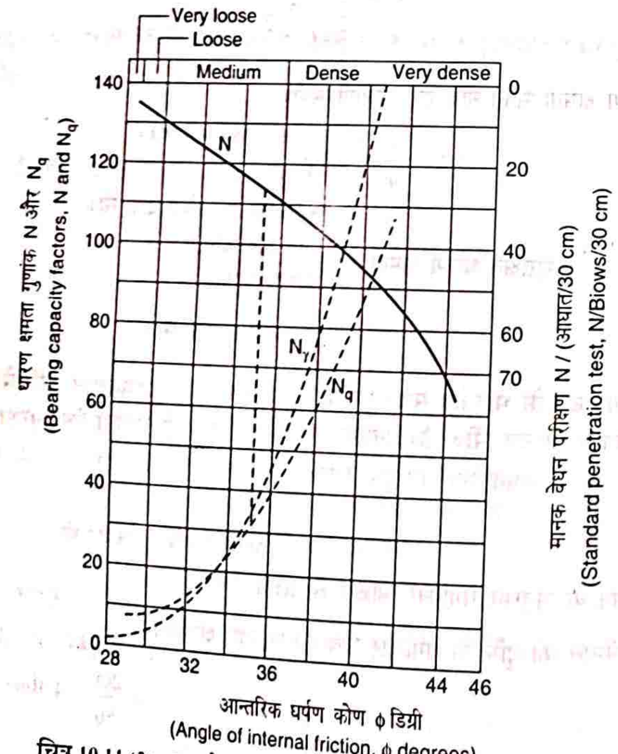
10.11.2. मानक बेधन परीक्षण से धारण क्षमता का आकलन (Application of SPT in estimation of bearing capacity)

समंजनहीन मृदाओं की स्थिति में मानक बेधन परीक्षण का परिणाम चरम धारण क्षमता ज्ञात करने में निम्न विधियों का उपयोग किया जाता है।

(i) Peck, Hanson and Thornburn द्वारा दिये गये चार्ट के उपयोग द्वारा—(By using chart given by Peck, Hanson and Thornburn)

चित्र 10.11 (2) धारण क्षमता गुणांक N_q, N_y के बदलाव (Variation) को प्रदर्शित करता है एवं ϕ के सन्दर्भ में 'N' का शुद्ध मान भी दर्शाता है। इस चार्ट से N_q एवं N_y के मान प्राप्त कर धारण क्षमता समी० में प्रयोग करते हैं। जैसे—

$$q_f = CN_C + qN_q + 0.5YBN_y \quad ...(1)$$



चित्र 10.11 (2) : पाद के लिए धारण क्षमता N मान पर आधारित

(ii) ससंजनहीन मृदा के लिये—

$C = 0$ समी० (1) में रखने पर

$$\boxed{q_f = qN_q + 0.5YBN_y}$$

इसमें N_q एवं N_y के मान चित्र 10.11(2) से सीधे प्राप्त करते हैं।

(ii) टेन्ग्स सूत्र (Teng's formula)

(i) स्ट्रिप फुटिंग के लिये—

$$q_{nf} = \frac{1}{60}[3N^2BR'_w + 5(100+N^2)DR_w]$$

(ii) वर्गाकार अथवा गोलाकार फुटिंग के लिये—

$$q_{nf} = \frac{1}{30}[N^2BR'_w + 3(100+N^2)DR_w]$$

जहाँ, q_{nf} = नेट चरम धारण क्षमता t/m^2

N = संशोधित 'N' मान (मानक वेधन परीक्षण से प्राप्त)

B = फुटिंग की चौड़ाई मी० में

D = फुटिंग की गहराई मी० में (यदि $D > B$, तो $D = B$) लेंगे

R_w & R'_w = सुधार गुणांक (corrected factor) भौम जल स्तर हेतु चित्र 10.11 (2) देखें।

(iii) भारतीय मानक कोड संस्तुतियाँ (IS-code recommendation)— चरम धारण क्षमता IS : 6403-1981 की संस्तुतियों के अनुसार उथली नींवों हेतु निम्न समी० प्रस्तावित है—

$$q_f = CN_cS_cd_ci_c + qN_qS_qd_qi_q + 0.5YB'S_yd_yi_yR'_w$$

जहाँ—

R'_w = सुधार गुणांक भौम जल स्तर हेतु

N_c, N_q, N_y = Bearing capacity गुणांक

(d_c, d_q, d_y) = depth factor

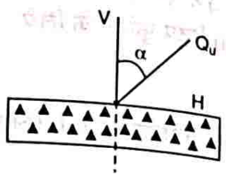
(S_c, S_q, S_y) = shape factor

(i_c, i_q, i_y) = Inclination factor

तालिका 10.11-2 I.S : 6403-1981 के अनुसार संशोधन गुणांक
(Table 10.11.2 Correction factors as per IS : 6403-1981

क्र० सं०	संशोधन गुणांक	मूल्य (Values)
1.	S_c	$1+0.2\frac{B}{L}$ for rectangle 1.3 for square and circle
2.	S_q	$1+0.2\frac{B}{L}$ for rectangle 1.2 for square and circle
3.	S_y	$1-0.4\frac{B}{L}$ for rectangle 0.6 for circle and 0.8 for square

4.	d_c d_q, d_γ	$1+0.2\left(\frac{D}{B}\right)\tan\left(45°+\frac{\phi}{2}\right)$ $1+0.1\left(\frac{D}{B}\right)\tan\left(45°+\frac{\phi}{2}\right)$ for $\phi > 10°$ 1 for $\phi < 10°$
5.	i_c, i_q i_γ	$\left(1-\frac{\alpha}{90°}\right)^2$ $\left(1-\frac{\alpha}{\phi}\right)^2$



धारण क्षमता गुणांक के चित्र 10.11 ग्राफ से प्राप्त किये जा सकते हैं। संशोधित 'N' मान 'SPT' से प्राप्त कर सकते हैं। उपर दिये गये समीकरण (i) से चरम धारण क्षमता ज्ञात कर सकते हैं।

10.11.3. मृतिकामय मृदा हेतु SPT मान पर आधारित चरम धारण क्षमता

(Allowable bearing capacity for clay soil based on SPT value)

टरजागी एवं पेक (Peck) द्वारा संस्तुत निम्न तालिका द्वारा अनुमेय धारण क्षमता—

S.N.	'N'-मान संशोधित	अनुमन्य धारण क्षमता टन/मी०^2	
		वर्गाकार फुटिंग	सतत फुटिंग
1.	0–2	0.0—3.0	2.2
2.	2–4	3.0—6.0	2.2–4.5
3.	4–8	6.0—12.0	4.5–9.0
4.	8–15	12.0—24.0	9.0–18.0
5.	15–30	24.0—48.0	18.0–36.0
6.	> 30	> 48	> 36

10.11.4. बालू हेतु SPT 'N'-मान पर आधारित चरम धारण क्षमता

(Allowable bearing capacity for sandy soil based on SPT value)

मृदा की कुल अनुज्ञेय धारण क्षमता 25 mm निपदन हेतु निम्न समीकरणों से ज्ञात कर सकते हैं—

(i) टेन्ग्स समीकरण (Teng's Equation)–

$$q_{na} = 5.25(N-3)\left\{\frac{B+0.3}{2B}\right\}^2 R_w F_d \text{ t/m}^2$$

(ii) मेयर हॉफ समीकरण (Mayerhof's Equation)—

$$q_{na} = 1.8NR_wF_d \text{ t/m}^2 \text{ for } B \le 1.2 \text{ m}$$

जहाँ,
N = संशोधित SPT N-मान
R_w = भौम जल स्तर हेतु संशोधन गुणांक
F_d = गहराई कारक (depth factor)

$$= 1+\frac{D}{B} \le 2.0$$

जहाँ, B = नींव की चौड़ाई मी० में
D = नींव की गहराई मी० में

नोट—यदि निषदन (settlement) 25 mm से अधिक है तो कुल धारण क्षमता उपरोक्त समीकरण से ज्ञात की जा सकती है जिसे बढ़ाकर इस प्रकार कर सकते हैं।

$$q_{na'} = \frac{S'}{25} q_{nq}$$

जहाँ, $q_{na'} = S'$ mm (मिमी०) निषदन हेतु कुल अनुमेय धारण क्षमता
q_{na} = 25 मिमी० निषदन हेतु कुल अनुमेय धारण क्षमता।

10.11.4. मृतिका हेतु अपरिरुद्ध सम्पीडन परीक्षण द्वारा चरम धारण क्षमता का आकलन

(Bearing capacity of clay based on unconfined compression test result)

1. Skempton के अनुसार—मृतिकामय मृदाओं के लिये स्ट्रिप, वर्गाकार, गोलाकार नींवों हेतु चरम धारण क्षमता—

$$q_f = CN_c$$

जहाँ,
C = ससंजन बल = $\frac{q_u}{2}$
q_u = अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य
N_c = धारण क्षमता गुणांक
Depth factor ratio = $\frac{D}{B}$

(i) N_c स्ट्रिप फुटिंग हेतु—

$$N_c = 5\left(1+0.2\frac{D}{B}\right)$$ अधिकतम मान 7.5 के साथ

(ii) N_c आयताकार फुटिंग हेतु—

$$N_c = 5\left(1+0.2\frac{B}{L}\right)\left(1+0.2\frac{D}{B}\right)$$

(iii) N_c वर्गाकार अथवा गोलाकार फुटिंग हेतु—

$$N_c = 6\left(1+0.2\frac{D}{B}\right)$$ अधिकतम मान 9.0 के साथ

2. टरजागी (Terzaghi) के अनुसार—
मैट नींव हेतु मृतिकामय मृदा के लिये चरम धारण क्षमता

$$q_f = 5.7C\left(1+0.3\frac{B}{L}\right)$$

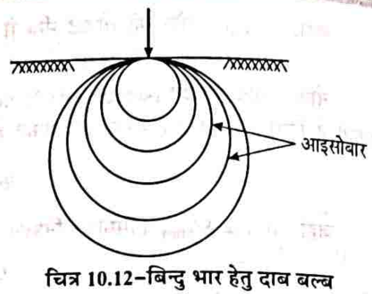
C = ससंजन = $\frac{q_u}{2}$
B = फुटिंग की चौड़ाई
L = फुटिंग की लम्बाई

10.12. दाब बल्ब (Pressure bulb)

भूमि तल के नीचे ऊर्ध्वाधर दाब जहाँ समान होता है उन बिन्दुओं को जोड़ने वाली रेखा प्रतिबल समोच्च कहलाती है। इसे प्रतिबल Isobar या दाब बल्ब कहते हैं।

अथवा

प्रतिबल समोच्च (stress contour) ही आइसोबार या दाब बल्ब है। या ऐसी रेखा जो भूमि तल के नीचे समान ऊर्ध्वाधर दाब वाले बिन्दुओं को जोड़ती है। चित्र देखे।



चित्र 10.12–बिन्दु भार हेतु दाब बल्ब

दाब बल्ब आलेखन का तरीका (Procedure for plotting pressure bulb)

Note : दाब बल्ब आलेखन हेतु तरीका निम्न है—

1. आइसोबार आलेखन के लिये सूत्र

$$\sigma_z = 0.1Q \text{ per unit area (10\% आइसोबार)}$$

2. प्रतिबल वितरण के लिये सूत्र

$$\sigma_z = \frac{K_B Q}{Z^2} \quad ...(i)$$

जहाँ

$$K_B = \frac{\left(\frac{3}{2\pi}\right)}{\{1+(1+Z)^2\}^{5/2}} \quad ...(ii)$$

3. Z के लिये मान assume कर लिये जाते हैं। सम्वन्धित K_B का मान गणना कर ली जाती है।

4. K_B का मान ज्ञात करके सम्वन्धित $\frac{r}{Z}$ का मान ज्ञात कर लेते हैं।

5. Z के कल्पित मान से, r के मान की गणना कर सकते हैं।

यह स्वाभाविक है कि r के समान मान पर Z अक्ष के किसी तरफ अथवा भार विन्दु की क्रिया रेखा पर σ_z का मान समान है, जहाँ आइसोबार अक्ष के सापेक्ष सममित (symmetrical) होगा।

जब $r = 0$, $K_B = 0.4775$ तो आइसोबार भार क्रिया रेखा को पार करके गहराई तक जायेगा।

$$Z = \sqrt{K_B / 0.1} = \sqrt{0.4775/0.1} = \sqrt{4.775}$$
$$= 2.185 \text{ इकाई (units)}$$

तालिका 1. आइसोबार के लिये DATA

$$\sigma_z = 0.1Q \text{ per unit area}$$

गहराई Z (units)	प्रभावित गुणांक K_B	r/Z	r (units)	σ_z
0.5	0.0250	1.501	0.750	
1.0	0.1000	0.932	0.932	
1.5	0.2550	0.593	0.890	
2.0	0.4000	0.271	0.542	
2.185	0.4775	0	0	

10.13. मृदा पर नींव भार के कारण उर्ध्वाधर प्रतिबल वितरण की संकल्पना (Concept of vertical stress distribution in soils due to foundation loads)

मृदा संहति पर भार पड़ने से मृदा में ऊर्ध्वाधर प्रतिबल उत्पन्न होते हैं। मृदा संहति के किसी भी बिन्दु पर आ रहे बाहरी भार के कारण उत्पन्न ऊर्ध्वाधर प्रतिबलों का आकलन भवनों, पुलों एवं अन्य संरचनाओं के निषदन की भविष्यवाणी में विशेष महत्त्व है।

उथली/कम गहरी नींवों पर बाहरी भार के कारण उत्पन्न प्रतिबल बहुत अधिक होते हैं। बिन्दु भार के पास ऊर्ध्वाधर दूरी पर यह बहुत कम हो जाती है अथवा बिन्दु भार से क्षैतिज दूरी पर बढ़ जाती है। मृदा संहति में ऊर्ध्वाधर प्रतिबल वितरण निम्न पर निर्भर करता है—

(i) भार लगने की प्रकृति अर्थात् भार लगाने का तरीका भार वितरण एवं भारित क्षेत्रफल की आकृति।

(ii) मृदा के भौतिक गुण—जैसे पायसन अनुपात (Poisson's ratio), प्रत्यास्थता गुणांक (Modulus of elasticity), सम्पीड्यता (compressibility) आदि।

नींव के नीचे प्रतिबलों की गणना करने में यह कल्पित किया जाता है कि मृदा सभी दिशाओं में प्रत्यास्थ माध्यम में व्यवहार करती है। मृदाओं में प्रतिबलों की गणना करने के लिये अनेकों सूत्र प्रत्यास्थ सिद्धान्त के आधार पर प्रयोग किये जाते हैं। **मृदा संहति पर ऊर्ध्वाधर बिन्दु भार के कारण उत्पन्न प्रतिबलों एवं आन्तरिक मृदा विकृति के लिये सर्वप्रथम** Boussinesq (1885) ने सूत्र विकसित किया। इसी प्रकार ब्रिटिश विज्ञानी Westergaard (1938) ने भी सूत्र प्रतिपादित किया।

10.13.1. बिन्दु भार (Point load)

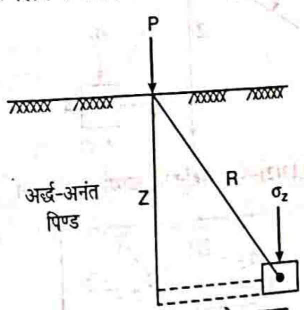
Boussinesq' का सूत्र—Boussinesq का सूत्र निम्नलिखित मान्यताओं पर आधारित है—

(i) मृदा संहति रैखिक, प्रत्यास्थ, एक रूप (homogeneous), समदैशिक (Isotropic) और अर्धअनन्त (semi infinite) है।

(ii) भार, ऊर्ध्वाधर संकेन्द्रीय भार की तरह कार्य करता है।

(iii) मृदा को भार रहित माना गया है।

एक बिन्दु पर ऊर्ध्वाधर प्रतिबल के लिये समीकरण जैसा चित्र (10.13.1) में दर्शाया गया है।



चित्र 10.13 (1)–रेखा भार के कारण ऊर्ध्वाधर प्रतिबल

$$\sigma_z = \frac{P}{Z^2} K$$

जहाँ K = आयामी कारक (dimensional factor)

$$= \frac{3}{2\pi} \frac{1}{\left[1+\left(\frac{r}{Z}\right)^2\right]^{5/2}}$$

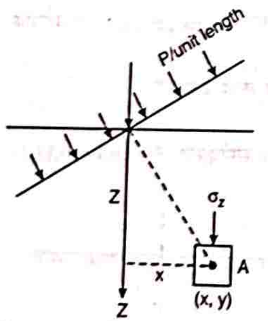
P = बिन्दु भार (Point load)
Z = भूमि तल से बिन्दु A तक ऊर्ध्वाधर गहराई
r = A तक क्षैतिज दूरी (बिन्दु भार P की ऊर्ध्वाधर अक्ष से)

तालिका 10.13.1 (K के मान)

S. No.	r / Z	K	S.No.	r / Z	K
1.	0	0.4775	6.	0.6	0.2214
2.	0.1	0.4657	7.	0.7	0.1762
3.	0.2	0.4329	8.	0.8	0.1386
4.	0.3	0.3849	9.	0.9	0.1083
5.	0.4	0.3294	10.	1.0	0.0844
			11.	2.0	0.0085

10.13.2. रेखा भार (Line load)

रेखा भार (line load) P_1 के ऊर्ध्वाधर प्रतिबल के लिये समीकरण—(जो कि ऊर्ध्वाधर सतह पर z गहराई और पार्श्विक x दूरी (per unit length) पर चित्र 10.13 (2) के अनुसार)



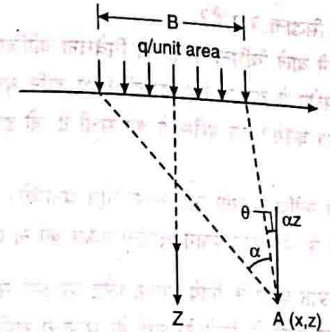
चित्र 10.13(2)–मृदा संहति पर ऊर्ध्वाधर प्रतिबल

$$\sigma_z = \frac{2P_1}{\pi} \cdot \frac{z^3}{(x^2+z^2)^2}$$

10.13.3. समान रूप से भारित पट्टी (Uniformly loaded strip)

एक पट्टी क्षेत्र (strip area) जिसकी चौड़ाई B और α एवं Q के पद में अनन्त लम्बाई (infinite length) है, पर समान भार (uniform load) q लगाने पर उत्पन्न ऊर्ध्वाधर प्रतिबल (vertical stress) के लिये समीकरण चित्र 10.13 (3) के अनुसार,

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha\cos 2\theta)$$



चित्र 10.13(3)–समान रूप से भारित पट्टी में ऊर्ध्वाधर प्रतिबल

पट्टी strip के मध्य नीचे गहराई z पर ऊर्ध्वाधर प्रतिबल σ_z

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha) \quad (\because \theta \text{ is zero एवं } \cos 2\theta = 1)$$

अथवा

$$\sigma_z = qI_{oz}$$

I_{oz} = प्रभावी कारक (Influence factor)

प्रभावी कारक के मान निम्न तालिका में दिये गये हैं।

तालिका 10.13. (2)—[d_z के लिये I_{oz} का मान B चौड़ाई की पट्टी के मध्य के नीचे]

S.No.	Z / B	I_{oz}	S.No.	Z / B	I_{oz}
1.	0.2	0.978	11.	2.4	0.270
2.	0.4	0.880	12.	2.6	0.240
3.	0.6	0.755	13.	2.8	0.223
4.	0.8	0.642	14.	3.0	0.209
5.	1.0	0.551	15.	4.0	0.160
6.	1.2	0.477	16.	5.0	0.130
7.	1.4	0.420	17.	6.0	0.110
8.	1.8	0.336			
9.	2.0	0.306			
10.	2.2	0.280			

प्रश्नावली

1. मृदा की धारण क्षमता से आप क्या समझते हो? यह किन-किन कारकों पर निर्भर करती है? *(B.T.E.U.P. 1972, 76, 78, 79, 81, 83)*
2. चरम धारण क्षमता एवं सुरक्षित धारण क्षमता में अन्तर बताइये। *(B.T.E.U.P. 1983)*
3. स्थल पर नींव के लिये प्लेट भार परीक्षण का क्या महत्व है? परीक्षण विधि का विस्तार से वर्णन करो। इसके क्या प्रतिबन्ध हैं? *(B.T.E.U.P. 1972, 78, 82, 85)*
4. मानक बेधन परीक्षण किन-किन कारणों से प्लेट भार परीक्षण से अच्छा है? मृदा की सुरक्षित धारण क्षमता निकालने के लिये मानक बेधन परीक्षण के N मान का कैसे प्रयोग करते हैं? *(B.T.E.U.P. 1982, 85)*

5. टरजागी का धारण क्षमता का सिद्धान्त क्या है? (B.T.E.U.P. 1985)
6. धारण क्षमता को प्रभावित करने वाले विभिन्न तत्वों की विवेचना कीजिए। (B.T.E.U.P. 2001)
7. प्लेट भार परीक्षण की विधि संक्षेप में बताइये तथा इसकी लाभ-हानि बताइये। (B.T.E.U.P. 2001, 2014)
8. मृदा को धारण क्षमता कैसे ज्ञात करेंगे? उन परीक्षणों की सूची दें जो इसके लिये प्रयोगशाला में करने होंगे। (B.T.E.U.P. 2001)
9. उथली एवं गहरी नींव में अन्तर कीजिए। आप कब गहरी नींव बनायेंगे? (B.T.E.U.P. 2011)
10. मृदा की धारण क्षमता 'टेराजागी' के सूत्र का उपयोग विभिन्न प्रकार की नींव के लिये किस प्रकार किया जाता है? (BTE UP 2014)
11. मिट्टी की सुरक्षित धारण क्षमता ज्ञात करने के लिये मानक प्लेट परीक्षण का वर्णन करें। (BTE UP 2015)
12. मिट्टी की चरम धारण क्षमता ज्ञात करने के लिये टेरजागी के सामान्य समीकरण को लिखें और समीकरण व्युत्पन्न करने के लिये मूल अवधारणाओं को समझाइये। (BTE UP 2015)
13. मृदा हेतु टरजागी की धारण क्षमता का सूत्र लिखें तथा प्रत्येक पद को परिभाषित करें।
14. निम्नांकित को परिभाषित कीजिये—
    (a) चरम धारण क्षमता (Ultimate bearing capacity)
    (b) सुरक्षित धारण क्षमता (Safe bearing capacity)
    (c) अनुज्ञेय धारण क्षमता (Allowable bearing capacity)
15. दाब बल्ब क्या है? आइसोबार को समझाइये।
16. प्लेट भार परीक्षण क्या है? इसकी परिसीमायें (limitations) समझाइये।
17. नींव भार के कारण ऊर्ध्वाधर प्रतिबल वितरण का मृदा पर संकल्पना को समझाइये।
18. नींव के प्रकारों पर मृदा के गुण किस प्रकार प्रभावित करते हैं?
19. अपरिरुद्ध सम्पीडन परीक्षण के प्रेक्षणों से धारण क्षमता कैसे निकालते हैं?
20. SPT प्रेक्षणों से धारण क्षमता की गणना कैसे करते हैं?

अध्याय 11
नींव इंजीनियरिंग (Foundation Engineering)

11.1. परिचय (Introduction)

सिविल इन्जीनियरिंग संरचनाओं का सम्पूर्ण भार नींव के माध्यम से ही नींव के नीचे की मृदा पर स्थानान्तरित होता है। संरचना के भार को वहन करने के लिये ही नींव का निर्माण किया जाता है। नींव जितनी मजबूत होगी, संरचना उतनी टिकाऊ रहेगी। इसके लिये नींव के नीचे की मृदा की धारण क्षमता उच्च होनी चाहिये, जिससे नींव के नीचे की मृदा में उसकी धारण क्षमता से अधिक प्रतिबल उत्पन्न न हो।

11.2. परिभाषा (Definition)

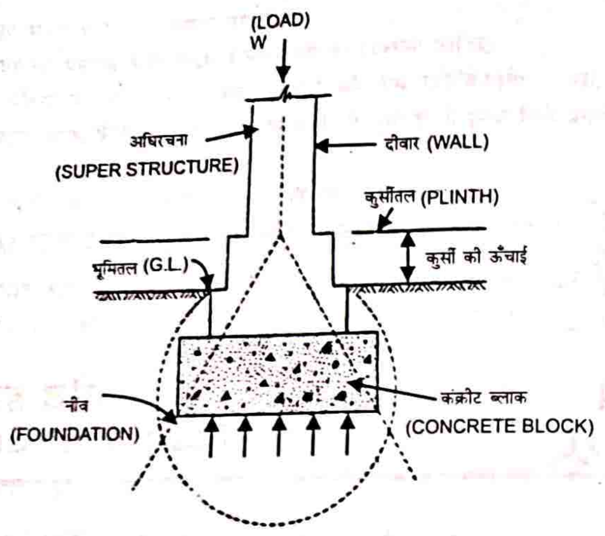
"संरचना का वह भाग जो भूमितल से नीचे होता है और हमें दिखाई भी नहीं देता है अध:रचना या नींव कहलाता है।"

11.3. संरचना के भाग (Parts of Structure)

संरचना के दो मुख्य भाग होते हैं—
1. अध: रचना (Sub Structure)
2. अधि रचना (Super Structure)

1. अध: रचना (Sub Structure)—भूमि तल से नीचे का भाग अध: रचना या नींव कहलाता है।

2. अधि रचना (Super Structure)—संरचना वह भाग, जो हमें दिखाई देता है और वास्तविक रूप से हमारे लिये उपयोग में लाया जाता है, अधिरचना कहलाता है।



चित्र-11.1 : नींव

11.4. नींव के कार्य (Functions of Foundation)

नींव के मुख्य कार्य निम्नवत् हैं—

1. संरचना के भार को नीचे की मृदा पर समान रूप से वितरित करना।
2. संरचना को समतल सतह प्रदान करना।
3. संरचना को कटाव के प्रति सुरक्षा प्रदान करना।
4. संरचना का असमान निपटन रोकना।
5. संरचना को वायुमण्डलीय प्रभावों से बचाना।
6. स्थिरता प्रदान करना।

11.5. नींव के प्रकार (Types of Foundation)

कार्ल टरजागी (Karl Terzaghi) के अनुसार नींव दो प्रकार की होती है—

(I) उथली नींव (Shallow Foundations)

(II) गहरी नींव (Deep Foundations)

) उथली नींव (Shallow Fondations)

"वह नींव जिसकी गहराई उनकी चौड़ाई के बराबर या कम हो, उथली नींव कहलाती है।"

कार्य—हल्की व मध्यम भार की संरचनाओं के भार वहन करने हेतु एवं अच्छी मृदा में कार्य करती है। **जैसे**—एक
ल भवन।

(II) गहरी नींव (Deep Foundations)

"वह नींव जिसकी गहराई चौड़ाई से अधिक हो, गहरी नींव कहलाती है।"

कार्य—भारी संरचनाओं के भार वहन हेतु कार्य करती है। **जैसे**—बहु मंजिले भवन, बाँध, पुल आदि।

11.6. उथली नींव (Shallow Foundations)

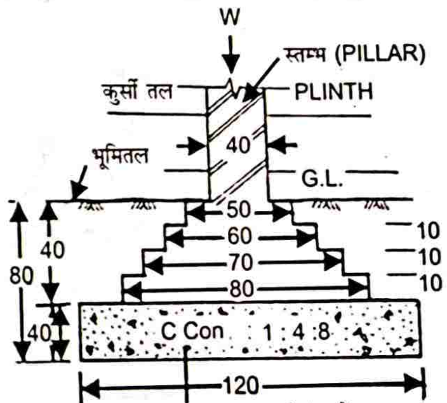
उथली नींव के अन्तर्गत निम्न नींव प्रचलन में हैं—

1. खसका या विस्तृत पाद नींव (Spread footing foundations)
2. संयुक्त पाद नींव (Combined footing)
3. राफ्ट नींव (Raft foundation)
4. प्रबलित कंक्रीट की विस्तृत पाद नींव (R.C.C. Spread footing)
5. ग्रिलेज नींव (Grillage foundation)
6. पैड़ीदार नींव (Stepped foundation)
7. बहुधारण नींव (Cantilever foundation)
8. उल्टी डाट नींव (Inverted Arch foundation)

11.7. विस्तृत पाद नींव (Spread Footing Foundation)

यह नींव साधारण भवनों के लिये प्रयोग में आती है। दीवार का भार नीचे की मृदा पर स्थानान्तीत करने के लिये बनायी जाती है, इसमें दीवार के आधार को खसका देकर चौड़ा बनाया जाता है ताकि मृदा पर आने वाला भार उसकी धारण क्षमता से अधिक न हो—उपरोक्त नींव भूमि तल से कम से कम 90 cm गहरी होनी चाहिये। चित्र 11.2 देखें।

(1) नींव की चौड़ाई—विस्तृत पाद नींव में 5-5 cm के खसके देने चाहियें। खसके (Offsets) बढ़ाकर नींव की चौड़ाई बढ़ानी चाहिये, तली में 30 cm मोटा चूना कंक्रीट बिछाना चाहिये। चूना कंक्रीट (L.C.) की चौड़ाई ही नींव की चौड़ाई कहलाती है। Lime concrete पर जब पहला रद्दा लगाया जाता है तो 15-15 सेमी० (L.C.) को छोड़ दिया जाता है।



चित्र-11.2 : विस्तृत पाद नींव

अतः नींव की चौड़ाई निकालने का सूत्र निम्नवत् है—

$$B = \frac{W}{P} \quad ...(1)$$

जहाँ,

B = नींव की चौड़ाई
W = नींव की प्रति मीटर लम्बाई मे भार, W टन
P = सुरक्षित भार वहन क्षमता, P टन

अनुकल्पित सूत्र (Thumb rule) से भी नींव की चौड़ाई ज्ञात कर सकते हैं।

$$B = 2T + 3 \text{ सेमी०} \quad ...(2)$$

जहाँ, T = दीवार की मोटाई

उपरोक्त दोनों सूत्रों से प्राप्त B का मान जो अधिकतम होगा वही मान लिया जाता है।

(2) नींव की गहराई—भूमि तल से कंक्रीट ब्लॉक की तली तक की गहराई नींव की गहराई कहलाती है। नींव को उस गहराई तक ले जायें जहाँ मृदा की धारण क्षमता सही हो। भराव (Filling) वाले स्थानों पर नींव की गहराई प्राकृतिक भूमितल तक ले जाना चाहिये।

अतः नींव की गहराई के लिये निम्न सूत्र प्रयोग करते हैं—

$$D = \frac{P}{w}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)^2$$

जहाँ,

D = नींव की भूमि तल से गहराई मी० में

P = मृदा की सुरक्षित धारण क्षमता kg/m^2

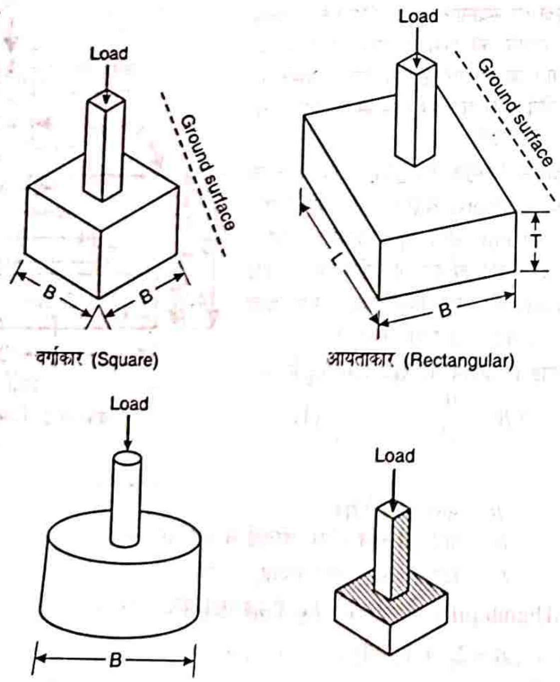
W = मृदा का घनत्व kg/m^3

ϕ = मृदा का विश्राम कोण (Angle of Repose)

11.7.1. पृथक् पाद नींव (Isolated/Pad footing)

इसे Isolated footing or pad footing या spread footing भी कहते हैं। यह उथली नींव के अन्तर्गत आती है। यह केन्द्रित भार को नींव तक कॉलम अथवा पिलर से ले जाती है पृथक् पाद नींव (isolated foundation) प्रबलित सीमेन्ट कंक्रीट अथवा अन्य पदार्थों से भी बनायी जा सकती है। जैसे-ईंट, पत्थर अप्रबलित (non-reinforced) पदार्थों से बनी नींव की ऊँचाई बढ़ाकर भार को फैलाया (spread) जाता है। जिस भूमि में निषदन (settlement) न हो वहीं यह नींव बनाना उचित है।

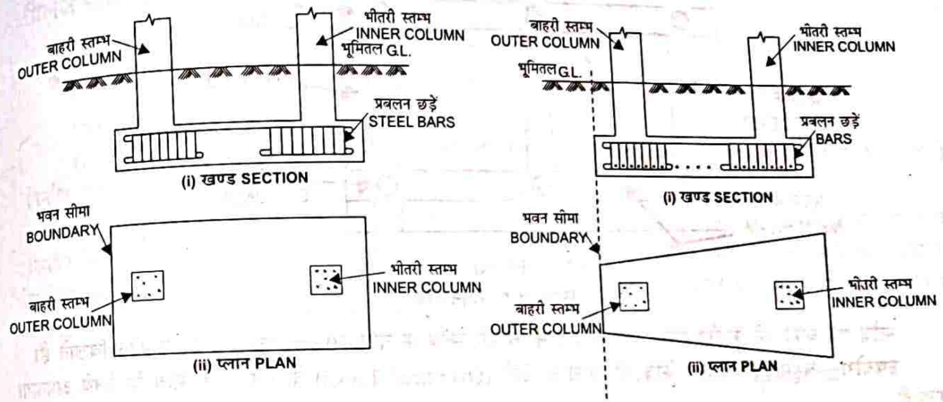
यह नींव संरचना के भार को निश्चित मृदा क्षेत्रफल पर फैलाती है।



चित्र 11.3 : Isolated footings

11.8. संयुक्त पाद नींव (Combined Footing Foundation) or STRAP footing

जब दो या दो से अधिक स्तम्भों की नींव को संयुक्त करके बनाया जाता है संयुक्त पाद नींव कहलाती है अथवा जब पास-पास स्थित स्तम्भों की फुटिंग एक-दूसरी से सटने लगती है तब सभी स्तम्भों के लिये संयुक्त पाद नींव का निर्माण किया जाता है। कभी-कभी बाहरी स्तम्भ जो भवन की सीमा के साथ सटे रहते हैं, के लिये फैलाव नींव भवन सीमा के बाहर नहीं बढ़ायी जाती है। ऐसी जगह बाहरी स्तम्भ की नींव को भीतरी स्तम्भ की नींव में जोड़ देते हैं। अभिकल्पन इस प्रकार करें कि नींव का गुरुत्व केन्द्र व स्तम्भों का गुरुत्व केन्द्र एक ही ऊर्ध्वाधर रेखा में हों, इस नींव का प्लान समलम्बाकार अथवा आयताकार हो सकता है। संयुक्त पाद नींव R.C.C. की बनायी जाती है। चित्र 11.4 देखें।



चित्र-11.4 : सयुक्त पाद नींव, आयताकार व समलम्बाकर नींव

11.9. राफ्ट नींव (Raft Foundation or Mat Foundation)

राफ्ट नींव या मैट नींव में निर्माण स्थल के पूरे क्षेत्रफल पर एक प्लेटफार्म बनाकर उसके ऊपर संरचना की दीवारें या प्रस्तम्भ बनाये जाते हैं। राफ्ट या मैट नींव निम्न अवस्थाओं मे निर्माण में अपनायी जाती है—

(1) मृदा की धारण क्षमता (Bearing Capacity) न्यून हो।

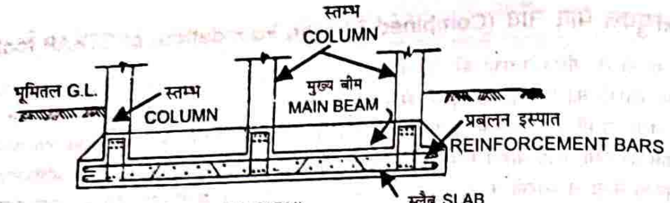
(2) मृदा में निषदन (Settlement) की स्थिति हो।

(3) भूमि दलदली हो।

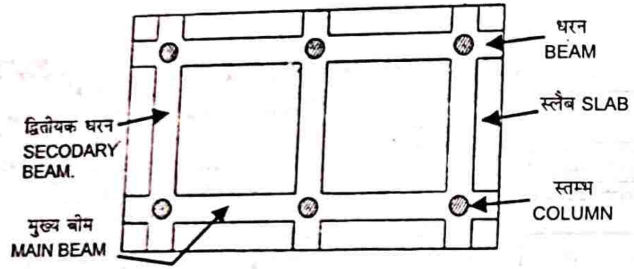
(4) संरचना/भवन का भार अधिक हो।

राफ्ट नींव उल्टी T (टी) बीम (Beam) के रूप में कार्य करती है। धरन (Beam) परस्पर लम्बवत् होती है। इनमें उचित मात्रा में प्रवलन (Steel) डालते हैं। राफ्ट नींव पर भार नीचे से ऊपर की ओर मृदा प्रतिक्रिया के रूप में कार्य करता है। इसे (Floating foundation) भी कह सकते हैं।

निर्माण विधि—राफ्ट नींव बनाने के लिये भवन के पूरे क्षेत्र में उचित माप तथा गहराई का गढ्ढा बनाकर उसमें 1 : 2 : 4 की कंक्रीट स्लैब मुख्य धरनों एवं अन्य धरनों के लिये डिजाइन युक्त स्टील छड़ें रखकर, तख्ताबन्दी करके इसमें भर कर तैयार करते हैं। कंक्रीट के सैट हो जाने पर तथा आवश्यक तराई के पश्चात् धरनों के ऊपर दीवारों का निर्माण करते है या स्तम्भ बनाते हैं।



(i) खण्ड (SECTION)



(ii) प्लान (PLAN)

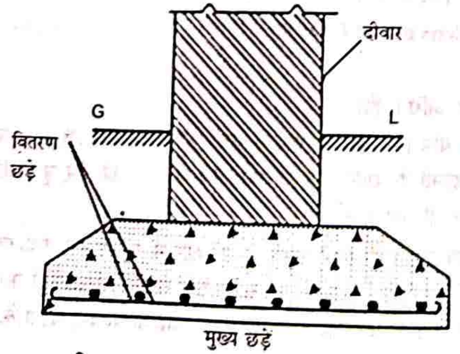
चित्र-11.5 : राफ्ट नींव

स्लैब एवं बीमों की कंक्रीट क्रिया एक साथ होनी चाहिये स्लैब के नीचे 30 cm मोटी अधार कंक्रीट बिछाते हैं।

उपयोग—बहुमंजिली भवनों, फैक्ट्रियों, पानी के टैंकों (Over head Tanks) के निर्माण में नींव के लिये अपनाया जाता है।

11.10. प्रबलित कंक्रीट की विस्तृत पाद नींव (R.C.C. Spread Footing or STRIP footing)

प्रबलित कंक्रीट की विस्तृत पाद नींव का निर्माण दीवार का भार अधिक होने पर तथा नींव के नीचे की मृदा (Sub soil) की धारण क्षमता (Bearing capacity) कम होने पर इस दशा में ईंट चिनाई की विस्तृत पाद नींव का आकार (Shape) बड़ा हो जाता है, ऐसी स्थिति में (R.C.C. Spread footing) का निर्माण किया जाता है। (चित्र 11.6 देखें)



चित्र-11.6 : R.C.C. की विस्तृत पाद नींव

11.11. ग्रिलेज नींव (Grillage Foundation)

जब स्तम्भ पर संकेन्द्रित भारी भार आ रहा हो और नींव को भौमजल स्तर (Ground water) से अधिक गहराई तक ले जाया जाता है, अथवा भार को उथली नींव द्वारा नीचे की मृदा के अधिक क्षेत्रफल पर स्थानान्तरित करना आवश्यक हो, **तो ग्रिलेज अथवा जालदार नींव बनायी जाती है।**

यह नींव बनाने में कम समय लगता है एवं कमजोर मृदाओं हेतु स्वीकार्य है।

उपयोग—यह नींव फैक्ट्री की कैचियों (Trusses) एवं रेलवे स्टेशनों के प्रतीक्षालय के **स्तम्भों** के नीचे एवं स्थाणुकों (Stanchions) के लिये ग्रिलेज नींव बनायी जाती है।

ग्रिलेज नींव के प्रकार (Types of Grillage Foundations)

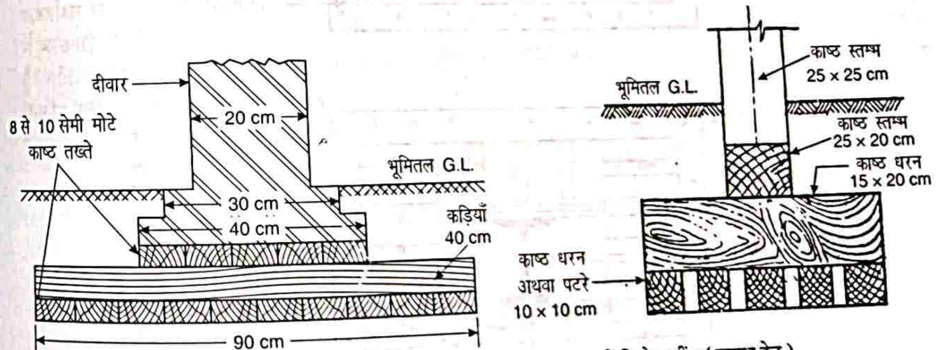
निर्माण सामग्री के अनुसार नींव दो प्रकार की होती है—

(i) काष्ठ की ग्रिलेज नींव (Timber Grillage Foundation)

(ii) इस्पात की ग्रिलेज नींव (Steel Grillage Foundation)

(i) काष्ठ की ग्रिलेज नींव—यह नींव जलग्रस्त मृदा तथा कमजोर धारण क्षमता वाली मृदा में लकड़ी के भवनों के निर्माण हेतु बनायी जाती है।

इसमें लकड़ी के स्लीपर अथवा उचित मोटाई के लकड़ी के पटरे एक-दूसरे के लम्बवत् रखकर उनके दीवार का निर्माण किया जा सकता है। (देखें चित्र 11.7) लकड़ी में लगने वाले कीटों; जैसे—दीमक, कीटों आदि से बचाव हेतु संशोषित लकड़ी (Seasoned timber) एवं परिरक्षित लकड़ी के स्लीपरों का प्रयोग करना चाहिये। लकड़ी के स्लीपरों को कंक्रीट में भली-भाँति दबा देना चाहिये जिससे भार पड़ने पर इनमें खिसकन न हो।



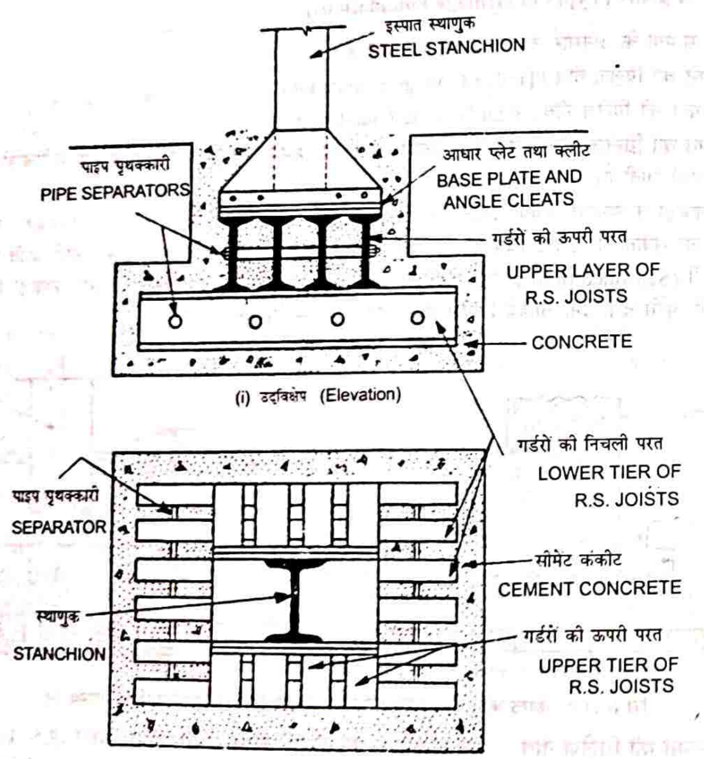
चित्र-11.7 : काष्ठ की (दीवार हेतु) ग्रिलेज नींव व काष्ठ की ग्रिलेज नींव (स्तम्भ हेतु)

(ii) इस्पात की ग्रिलेज नींव—भारी संरचनाओं हेतु इस्पात ग्रिलेज नींव में इस्पात धरनों (R.S. Joists) का प्रयोग करते हैं। उचित, Size (माप) एवं संख्या में I-खण्ड एक या दो परतों में, नींव का गड्ढा खोदकर उसमें टिका देते हैं। ऊपर वाले गर्डर निचले गर्डरों के **समकोण पर रखे जाते हैं।** गर्डरों में उचित दूरी बनी रहे उसके लिये उनके मध्य 25 mm व्यास के पाइप के टुकड़े अथवा लोहे की छड़ें लगा दी जाती हैं, इन्हें Separator कहते हैं। Separator (पृथक्कारी) 20 cm व्यास के बोल्ट से I-खण्डों के वैब से स्थिर कर देते हैं। प्रत्येक गर्डरों के बीच 8 cm का कम से कम गैप रखना चाहिये। ताकि इनके अन्दर सीमेन्ट कंक्रीट भर सकें, धरनों के बीच पर्याप्त अन्तराल होने से सीमेन्ट कंक्रीट डालने एवं उसकी कुटाई करने में आसानी हो सके। घरनों के फ्लैंजों के बीच की दूरी 30 cm से अधिक नहीं होनी चाहिये। इस्पात के घरनों को जंग से बचाने हेतु घरन के चारों ओर का कंक्रीट आवरण 10 cm से कम न हो , नीचे का आवरण (Cover) 15 cm से कम न हो।

इस्पात ग्रिलेज नींव की निर्माण विधि

इस्पात ग्रिलेज नींव बनाने का तरीका निम्न है—

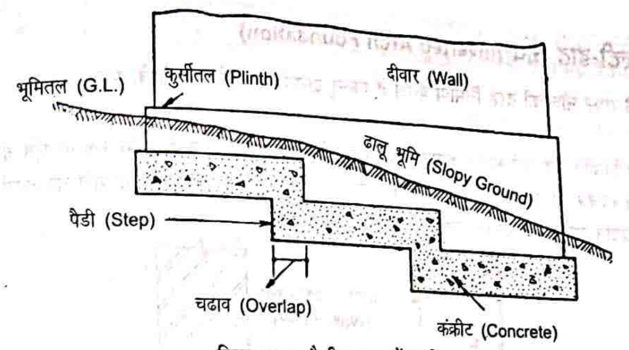
1. ऊपरी परत (Upper Tier) के ऊपर आधार प्लेट रखकर उसके ऊपर ऊर्ध्वाधर स्थिति में स्तम्भ, संगम प्लेट (Gusset plate) तथा एंगलों की मदद से लगाये जाते हैं।
2. गर्डरों के रिक्त स्थान में 1 : 2 : 4 अर्थात् M_{15} ग्रेड की सीमेन्ट कंक्रीट (C.C.) भर देनी चाहिये।
3. गर्डरों के चारों ओर तथा ऊपरी भाग में कम से कम 10 cm मोटा (C.C.) आवरण अवश्य दें।
4. आधार प्लेट (Base plate) ऊपरी परत (Upper Tiers) के शीर्ष पर मध्य में वेल्ड कर दी जाती है।



चित्र-11.8 : इस्पात गर्डरों की ग्रिलेज नींव

11.12. पैड़ीदार नींव (Stepped Foundation)

पैड़ीदार नींव सदैव ढालू भूमि अथवा पहाड़ी क्षेत्रों में बनायी जाती है। जब नींव की पूरी लम्बाई में समान गहराई तक खुदाई करना कठिन हो, तो पैड़ीदार नींव बनाना अनिवार्य है। खुदाई ढालू जमीन तल के अनुसार पैड़ियों में करनी पड़ती है, जिससे गराई में खुदाई कार्य कम करना पड़ता है। (चित्र 11.9 देखें)

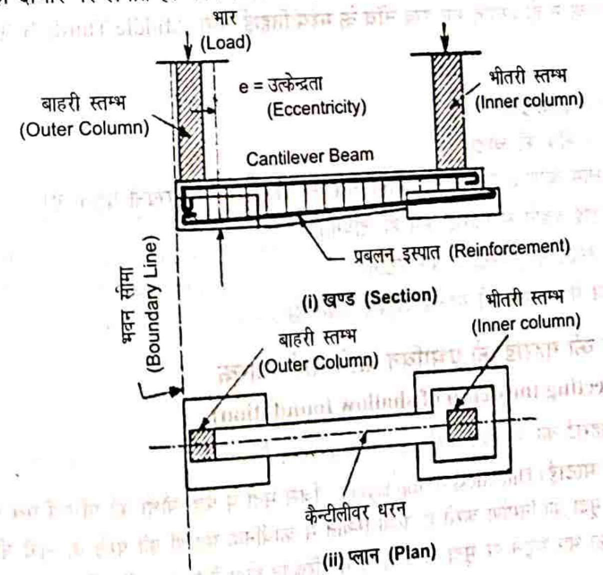


चित्र-11.9 : पैड़ीदार या बैंच नींव

वैसे यह एक विस्तृत पाद नींव ही होती है जो दीवार की लम्बाई की दिशा की तरफ अलग-अलग तलों पर रखते हैं और पैड़ीदार नींव की भाँति प्रतीत होती है। इसमें पैड़ियों की ऊँचाई, कंक्रीट ब्लॉक की मोटाई के समान हो। प्रत्येक पैड़ी, नीचे वाली पैड़ी पर overlap (उचित चढ़ाव) देकर निर्माण करें। यह चढ़ाव (Lap) कंक्रीट की मोटाई के लगभग बराबर बनायें। इस नींव में कंक्रीट ब्लॉकों की पैड़ियाँ सी बन जाती हैं, इसलिये इसे पैड़ीदार नींव कहते हैं।

11.13. बहुधारण नींव (Cantilever Foundation)

नींव निर्माण में यह आवश्यक है कि **नींव का गुरुत्व केन्द्र व इस पर आने वाले भार का गुरुत्व केन्द्र एक ही ऊर्ध्वाधर रेखा में हो।** लेकिन जब भवन बाउन्ड्री अथवा दूसरे कारण से किसी बाहरी स्तम्भ की नींव ठीक इसके नीचे बनाने में कठिनाई हो, तो इनके नीचे प्रास धरन लगाकर, स्तम्भ का भार भीतरी दीवार अथवा स्तम्भ पर स्थानान्तरित कर दिया जाता है। यदि भीतरी दीवार का स्वयं का भार कम हो तो बाहरी स्तम्भ या दीवार के भार को सन्तुलित बनाने के लिये अलग से कंक्रीट ब्लॉक, भारवाही दीवार पर लगाते हैं। धरन के लिये यह जरूरी नहीं है कि यह भूमि पर हो। (देखे चित्र 11.10)

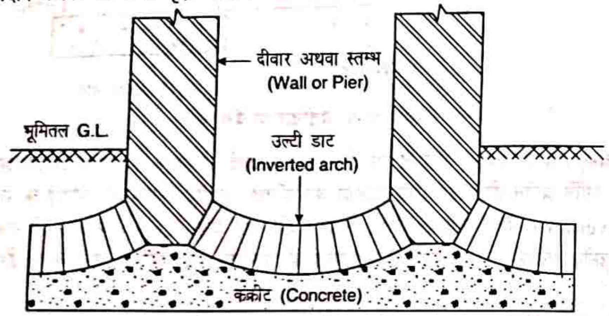


चित्र-11.10 : कैन्टीलीवर नींव

11.14. उल्टी-डाट नींव (Inverted Arch Foundation)

इस नींव को राफ्ट नींव की तरह निर्माण करते हैं किन्तु दीवारों के नीचे, धरनों के स्थान पर उल्टी डाटें प्रयोग में लायी जाती हैं।

इस नींव का निर्माण मृदा की धारण क्षमता जहाँ न्यून हो वहाँ किया जाता है इसमें स्तम्भों एवं दीवारों का भार उल्टी डाट वहन करती है। (चित्र 11.11 देखें) इस नींव पर जब डाट क्रिया द्वारा तिरछे बल दीवारों पर कार्य करते हैं अत: इनमें पुश्ता (Buttress) प्रदान करके अतिरिक्त दृढ़ता प्रदान की जाती है।



चित्र-11.11 : उल्टी डाट नींव

उपयोग—पुलों, जलीय संरचनाओं के लिये उपयोग में लायी जाती है। इसका प्रचलन धीरे-धीरे बन्द हो रहा है।

11.15. नींवों हेतु विशेष ज्ञान

(1) यदि भार रेखा गुरुत्व केन्द्र से न जाकर उत्केन्द्रित हो, तो नींव का अभिकल्पन इस प्रकार करें कि भार की उत्केन्द्रता $(e)\,\frac{b}{6}$ से अधिक न हो अर्थात् भार रेख **नींव के मध्य तिहाई भाग** (Middle Third) से गुजरे। इसके बाहर से न निकलने पाये।

जहाँ e = उत्केन्द्रता

b = नींव की चौड़ाई

(2) मृदा का विश्राम कोण ϕ जितना कम होगा नींव की गहराई अधिक रखनी पड़ती है।

(3) नींव की चौड़ाई बढ़ाने से गहराई कम हो जायेगी।

(4) भार अधिक रखने पर गहराई अधिक रखेंगे।

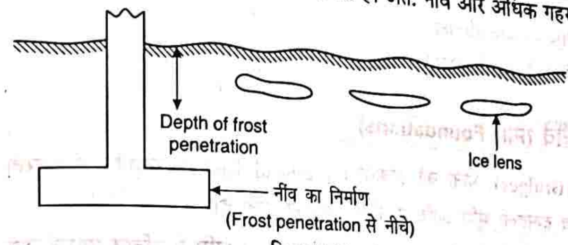
(5) भूकम्पीय क्षेत्र में संरचना की गहराई अधिक रखते हैं।

11.15.1. उथली नींव की गहराई को प्रभावित करने वाले कारक (Factors affecting the depth of shallow foundation)

उथली नींव की गहराई को प्रभावित करने वाले कारक निम्न हैं—

1. ऊपरी परत की मोटाई (Thickness of top layer)—जिस मृदा में पेड़-पौधों की पत्तियाँ एवं कार्बनिक पदार्थ सड़ी गली अवस्था में मिलकर मृदा का निर्माण करते हैं, ऐसी स्थिति में कार्बनिक पदार्थों की परत के नीचे नींव का निर्माण करना चाहिये। अन्यथा संरचना का भार पड़ने पर मृदा के आयतन में परिवर्तन होता है जिसका विपरीत प्रभाव नींव पर पड़ता है।

2. भूमि पर पानी जमना (Ground freezing)—जिन क्षेत्रों (Regions) में लम्बे समय के लिये वहाँ का तापक्रम 0°C से नीचे रहता है मृदा परत का भी तापक्रम गिर जाता है और रन्ध्रों से जल रिसकर बर्फ में परिणित (change) हो जाता है। इसे भूमि पर पानी जमना (ground freezing) कहते हैं। (ground freezing) नींव पर प्रभाव डालता है क्योंकि रन्ध्रों के माध्यम से भूमि तल के नीचे पहुँचा पानी बर्फ में बदल जाता है। इसे Ice lens कहते हैं। यह बर्फ के टुकड़ों की अवस्था में रहता है। इससे नींव पर प्रभाव पड़ने से संरचना को क्षतिग्रस्त करता है। अत: नींव और अधिक गहराई तक ले जाना चाहिये।



चित्र 11.12

3. गहराई पर आयतन परिवर्तन (Depth of volume change)—कुछ मृदायें गीली-सूखी अवस्था में आयतन में परिवर्तन कर देती हैं। जैसे—काली कपासी मिट्टी (Black cotton soil) पानी के सम्पर्क में आने पर फूल जाती है और सूखने पर सिकुड़ जाती है और आयतन बदल देती है। ऐसी मिट्टी में नींव को मृदा की परत (layer) के नीचे ले जाना चाहिये जिससे संरचना पर कोई प्रभाव न पड़े। ऐसी मृदाओं में पाइल नींव का निर्माण करना चाहिये।

4. कटाव गहराई (Depth of scour)—जहाँ संरचनायें नदी, जल धाराओं के सीधे सम्पर्क में रहती है। वहाँ नींव में कटाव (scour) की संभावना बनी रहती है। ऐसी संरचनाओं की नींव को कटाव की गहराई से बहुत नीचे तक ले जाना पड़ता है।

इसके लिये भारतवर्ष में लैसी का सूत्र सामान्य कटाव गहराई के लिये प्रयुक्त होता है।

$$D = 0.47\left(\frac{Q}{f}\right)^{1/3}$$

जहाँ, D = सामान्य कटाव गहराई

Q = कुल निस्सरण m^3/sec

f = सिल्ट गुणांक $= 1.76\sqrt{m}$

m = औसत कणों का व्यास mm में

5. भौम जल तल (Ground water level)—जहाँ भौम जल ऊपर होता है वहाँ पानी का उत्थापक दाब (uplift pressure) नींव पर प्रभाव डालता है। अत: नींव की गहराई भौम जल तल से नीचे अधिक गहराई तक ले जाना चाहिये।

पार्श्विक विचलन को रोकने निम्न सूत्र से नींव का अभिकल्पन करें—

$$D = \frac{P}{\omega}\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\right)^2$$

जहाँ, D = नींव की गहराई

P = अनुमन्य दाब, kg/m^2

ω = मृदा का घनत्व, kg/m^3

ϕ = विश्राम कोण

11.16. गहरी नींवें (Deep Foundations)

जब नींव की चौड़ाई कम, गहराई अधिक एवं संरचना का भार अधिक गहराई पर भेजना हो तब गहरी नींवों का निर्माण करना पड़ता है।

गहरी नीवें निम्न प्रकार होती हैं—

(i) स्थूणा नींवें (Pile Foundations)

(ii) कुआँ नींवें (Well Foundations)

11.17. स्थूणा नींवें (Pile Foundations)

स्थूणा नींवें, पुलों (Bridges), पानी की टंकियों (Overhead Tanks), बहुमंजिली इमारतों, काली कपासी मिट्टी (Black cotton soil), एवं दलदली भूमि आदि के लिये उपयुक्त होती हैं।

परिभाषा—पाइल नींव के लिये उचित पदार्थ के लट्ठे (Logs) भूमि में उचित गहराई तक धँसाये जाते हैं।

इनमें पाइल कैप लगायी जाती है, स्तम्भ इसी कैप पर बनाये जाते हैं। स्तम्भ का भार कैप के माध्यम से पाइल से होता हुआ नीचे की अवमृदा (Subsoil) पर स्थानान्तरित हो जाता है।

11.18. पाइलों का वर्गीकरण (Classification of Pile)

11.18.1. उपयोग के आधार पर वर्गीकरण

(i) धारण पाइल/स्थूणा (Bearing pile)

(ii) घर्षण स्थूणा (Friction pile)

(iii) संहनन स्थूणा (Compaction pile)

(iv) तनन स्थूणा (Tension pile)

(v) एंकर स्थूणा (Anchor pile)

(vi) शीट स्थूणा (Sheet pile)

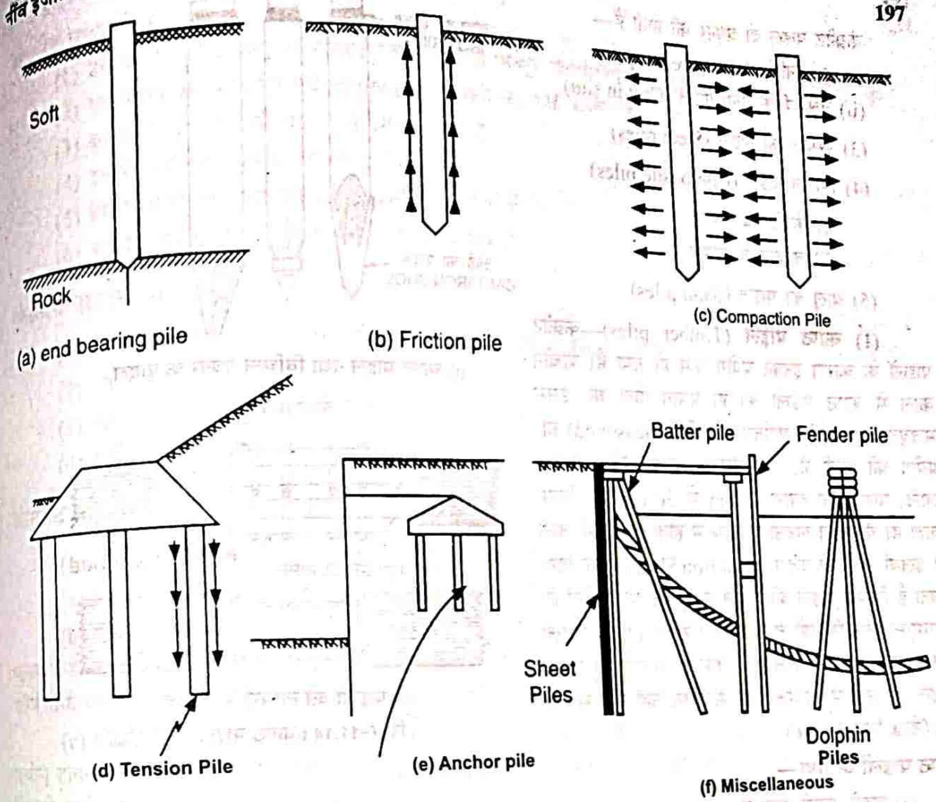
(vii) फैन्डर स्थूणा (Fander pile) and Dolphin piles)

(viii) नत स्थूणा (Batter pile)

(i) धारण पाइल (Bearing Piles)—यह पाइले स्वयं पर आने वाले भार को अपने अन्तिम सिरे के नीचे की मृदा पर स्थानान्तरित करती हैं। यह मृदाये भूमि तल से नीचे कठोर मृदा तक गाड़ी जाती हैं। (चित्र 11.13 (a) देखें)

(ii) घर्षण पाइल/स्थूणा (Friction Pile)—यह पाइलें अध्यारोपित भार को आस-पास की अवमृदा पर अपनी सतह तथा मृदा के बीच उत्पन्न घर्षण के द्वारा संचारित करती हैं। इस पाइल की लम्बाई कम होती है। इसको नीचे कठोर स्तर तक ले जाने की आवश्यकता नहीं होती। (चित्र 11.13 (b))

(iii) संहनन स्थूणा (Compaction Pile)—इस पाइल का उपयोग कमजोर अथवा ढीली मृदाओं के संहनन के लिये उपयोग में लाते है जिससे उस मृदा की धारण क्षमता बढ़ायी जा सके। यह पाइल स्वयं अपना कोई भार वहन नहीं कर सकती, जब कणदार मृदा में ठोस पाइल गाड़ी जाती है तो भूमि में कम्पन होता है और नीचे की मृदा के कणों के मध्य रन्ध्र कम हो जाते हैं और मृदा की धारण क्षमता बढ़ जाती है। (चित्र 11.13 (c))



चित्र-11.13

(iv) तनन स्थूणा (Tension Pile)—ऐसी मृदायें जिसमें जल के स्थैतिक दाब (Hydrostatic pressure) के कारण उत्पन्न बल उत्पन्न होता हो, को उलटने से रोकने के लिये बनाया जाता है। (चित्र 11.13 (d))

(v) एंकर स्थूणा (Anchor Pile) इस प्रकार की पाइलों से दीवार में आने वाले क्षैतिज बल को चादरी पाइलों से स्थिरता प्रदान करने के लिये प्रयोग किया जाता है। (चित्र 11.13 (e))

(vi) शीट स्थूणा (Sheet pile)—शीट स्थूणा, पानी के प्रवाह को रोकने, मिट्टी के भराव को सहारा देने के लिये, कमजोर मृदाओं में अपरूपण को रोकने हेतु लगायी जाती है। शीट स्थूणा इस्पात, लकड़ी या कंक्रीट आदि की बनायी जाती है। (चित्र 11.13 (f))

(vii) फैन्डर एवं डॉलफिन स्थूणा (Fonder & Dolphin Piles)—फैन्डर एवं डॉलफिन पाइलों का उपयोग समुन्द्री बन्दरगाहों या जल के किनारे बनी संरचनाओं की सुरक्षा हेतु लगाया जाता है। (चित्र 11.13 (f) देखें)

(viii) नत स्थूणा (Batter Pile)—इस प्रकार की पाइलों का प्रयोग नत बलों एवं क्षैतिज बलों को रोकने में किया जाता है। उपरोक्त पाइलें ऊर्ध्वाधर न होकर ढालू अर्थात् झुकी हुई गाड़ी जाती हैं इसलिये इन्हें नत स्थूणा कहते हैं।

11.18.2. पाइल के पदार्थ के आधार पर वर्गीकरण (Classification based on Materials)

पदार्थ के आधार पर पाइलें निम्नवत् हैं—

(1) काष्ठ पाइलें (Timber piles)

(2) कंक्रीट पाइलें (Concrete piles)

कंक्रीट पाइल दो प्रकार की होती हैं—

(i) पूर्व-निर्मित पाइल (Precast pile)

(ii) तत्स्थानिक ढली पाइल (Cast in situ)

(3) इस्पात की पाइलें (Steel piles)

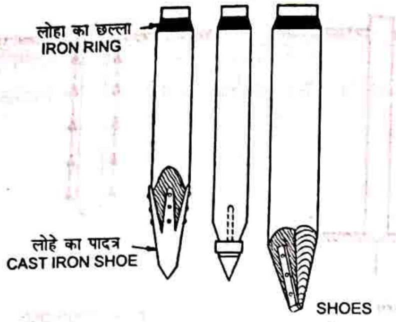
(4) मिश्रित पाइलें (Composite piles)

(i) कंक्रीट व लकड़ी

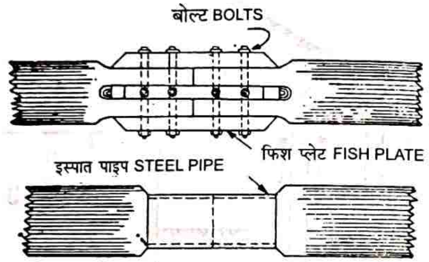
(ii) कंक्रीट व इस्पात

(5) बालू की पाइलें (Sand piles)

(1) काष्ठ पाइलें (Timber piles)—कंक्रीट पाइलों के कारण इनका प्रयोग कम हो गया है। प्राचीन काल में काष्ठ पाइलों का ही प्रयोग होता था। इसमें मजबूत काष्ठ जोकि पूर्णतय: संशोषित (Seasoned) हो, प्रयोग की जाती है; जैसे-देवदार, साल, टीक, बबूल आदि। पाइलों का व्यास 15 cm से 30 cm तक लिया जाता है। ये पाइलें लट्ठों के रूप में होती हैं। इनकी तली में ढलवाँ लोहे का पादत्र (Cost Iron Shoe) पहना दिया जाता है जिससे पाइल को गाड़ने में सुविधा प्राप्त होती है। दोषमुक्त लकड़ी वर्षों तक सुरक्षित रहती है। इन पाइलों की लम्बाई 4 मी० से 6 मी० तक हो सकती है। काष्ठ पाइल 20 टन से अधिक भार संचारित नहीं कर सकती है। (देखें चित्र 11.14)



(i) काष्ट पाइल तथा विभिन्न प्रकार के पादल



(ii) पाइलों को लम्बाई में जोडना

चित्र-11.14 : काष्ठ पाइल

काष्ठ पाइलों के गुण—

(i) पाइलें सस्ती होती हैं।

(ii) वजन में हल्की, अत: परिवहन सरल होता है।

(iii) इन पाइलों की लम्बाई बढ़ाना—घटाना सरल होता है। किसी माप में तैयार कर सकते हैं।

(iv) मृदा के अन्दर आसानी से धँसाया जा सकता है।

(v) कुशल कारीगरों की आवश्यकता नहीं होती है।

काष्ठ पाइलों के दोष—

(i) यह पाइलें कीटों आदि से शीघ्र नष्ट हो सकती हैं।

(ii) कठोर भूमि में धँसाना कठिन होता है।

(iii) प्रहार करते समय इनके फट जाने का भय रहता है।

(iv) इन पाइलों की आयु अधिक नहीं होती है।

(v) ये अधिक भार नहीं वहन कर सकती हैं।

(2) कंक्रीट पाइलें (Concrete Piles)—पाइल नीवें आर०सी०सी० (R.C.C.) की मुख्यत: गगनचुम्बी भवनों के लिये अति महत्वपूर्ण सिद्ध हो रही हैं एवं इनकी लागत भी अधिक नहीं होती है। कंक्रीट पाइलें, वर्गाकार, पटभुजाकार आदि अनेक आकारों में निर्मित की जाती हैं।

कंक्रीट पाइलों के गुण–

(1) इन पाइलों को इच्छानुसार लम्बाई एवं आकार में फैक्ट्री अथवा स्थल पर ही निर्मित किया जा सकता है।

(2) इन पाइलों पर भौमजल एवं वायुमण्डलीय प्रभावों का कोई असर नहीं पड़ता है।

(3) इनकी आयु काष्ठ की पाइलों से अधिक होती है।

(4) इनकी भार वहन क्षमता अत्यधिक होती है।

(5) विशेष यन्त्रों एवं कारीगरों की आवश्यकता नहीं होती है।

(6) कंक्रीट पाइलों का अनुरक्षण व्यय नहीं के बराबर है।

कंक्रीट पाइलों के दोष–

(1) कंक्रीट पाइलें भारी होती हैं। इनके परिवहन एवं गाड़ने में कठिनाई होती है।

(2) इनको उखाड़कर अन्यत्र ले जाना कठिन है।

(3) चटक जाने पर बेकार हो जाती हैं।

(4) इनमें दोष कम होते हैं।

कंक्रीट पाइलों का वर्गीकरण

(1) पूर्व-निर्मित कंक्रीट पाइलें (Pre-cast Concrete Piles)

(a) आकार (Shape)—पाइलों का आकार वर्गाकार, अष्टभुजाकार एवं गोल हो सकता है।

(b) माप (Size)—व्यास 25 से 60 cm एवं लम्बाई 3 मीटर से 30 मीटर तक हो सकती है। नीचे का सिरा नुकीला, मुख्य छड़े लम्बाई की दिशा में 20 mm या अधिक, बन्धक छड़े 6 से 10 mm व्यास की उचित अन्तराल पर डाली जाती हैं। शीर्ष तथा तली पर सर्पिल छड़ें (Spiral Rod) डाली जाती हैं ताकि घनों के प्रहारों से सुरक्षित रहें।

(c) कंक्रीटिंग (Concreting)—पाइलों के कार्य में 1 : 2 : 4 अथवा 1 : 1½ : 3 अनुपात की सीमेन्ट कंक्रीट का प्रयोग होता है। कंक्रीट की कुटाई कम्पन (Vibrators) द्वारा करनी चाहिये। इसमें हुकों का प्रयोग उचित अन्तराल में देते हैं। जिससे लाने-ले जाने में सुविधा रहती है।

(d) तराई करना (Curing)—कंक्रीट की तराई तीन सप्ताह तक करनी चाहिये।

(e) पाइलों की लम्बाई बढ़ाना—इसके शीर्ष की कंक्रीट को छेनी से काटकर इस्पात की लम्ब छड़ों पर 40-ϕ का चढ़ाव (Overlab) देते हुये कंक्रीटिंग कर देनी चाहिये, जिससे पाइल की लम्बाई बढ़ जाती है।

गुण—

(1) फैक्टरी में काफी संख्या में बनाई जा सकती हैं।

(2) प्रबल इस्पात अपनी अवस्था में बना रहता है।

(3) खराब मौसम एवं वर्षा ऋतु में निर्माण होता रहता है।

(4) जैविक एवं रसायनिक तत्वों के प्रति सामर्थ्य अधिक प्राप्त होती है।

(5) ढलाई के दोषों को ठीक किया जा सकता है।

अवगुण—

(1) पाइलों को गाड़ते समय उत्पन्न होने वाले प्रतिबलों से सुरक्षा हेतु अतिरिक्त प्रबलन का उपयोग करते हैं।

(2) इनकी लम्बाई बढ़ाना एवं छोटा करना कठिन होता है।

(3) इनके परिवहन (Transport) हेतु लम्बे ट्रकों व क्रेन आदि की आवश्यकता होती है।

(4) ये पाइलें वजन में भारी होती हैं इसलिये लाना ले जाना कठिन है।

(5) परिवहन एवं गाड़ने में असुविधा एवं टूटने का भय होता है।

(2) तत्स्थानिक कंक्रीट पाइलें (Cast-in-situ Concrete Piles)

निर्माण—इनका निर्माण स्थल पर ही किया जाता है। पाइल लगाने के स्थान पर उचित व्यास का छिद्र उचित गहराई तक बोर के रूप में किया जाता है। इसके लिये केसिंग पाइप लगाते हुये नीचे धातु का पाद लगाते हैं और बाद में केसिंग पाइप में जो खोखला होता है, 1 : 2 : 4 अनुपात की सीमेन्ट कंक्रीट भर दी जाती है।

गुण—

(1) इन पाइलों को छिद्र में ही ढाल देते हैं जिससे परिवहन में असुविधा एवं ले जाने में होने वाली टूट-फूट में बचत हो जाती है।

(2) प्रवलन का प्रयोग कम होता है।

(3) इनका निर्माण कार्य सस्ता होता है।

(4) आवश्यक गहराई तक बिना जोड़ के ढाली जा सकती हैं।

अवगुण—

(1) भूमि के अन्दर ढलाई के बाद उचित तराई नहीं हो पाती हैं।

(2) वर्षाकाल में उपरोक्त कार्य बन्द करना पड़ता है।

(3) इनमें घनों के आघातों की आवश्यकता नहीं पड़ती है।

तत्स्थानिक पाइलों के प्रकार (Types of Cast-in-situ Piles)

इनका प्रकार निम्न है—

(1) सिम्पलेक्स पाइल (Simplex pile)

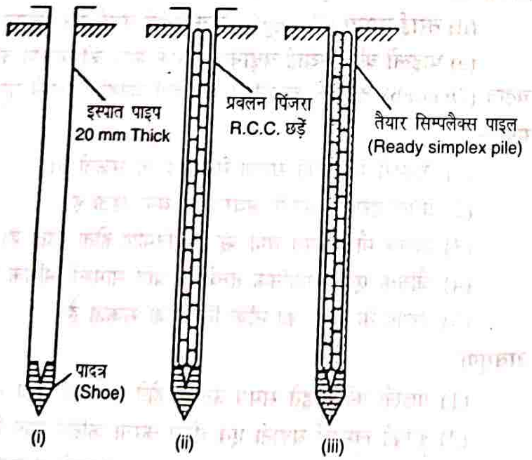
(2) फ्रेंकी पाइल (Franki pile)

(3) वाइब्रो पाइल (Vibro pile)

(4) अण्डर रीम्ड पाइल (Under Reamed pile)

(1) सिम्पलेक्स स्थूणा (Simplex Pile)—इस प्रकार का स्थूणा बनाने के लिये एक इस्पात का पाइप जिसकी दीवारों की मोटाई 20 mm, आन्तरिक व्यास पाइल के व्यास के बराबर हो जिसमें इस्पात का पृथक्की पादत्र (Detachable shoe) लगा होता है भूमि में आवश्यक गहराई तक गाड़ते हैं। इस्पात का खोखला पाइप थोड़ा ऊपर खींच लेते हैं। वहाँ सीमेन्ट कंक्रीट भर दी जाती है। इस क्रिया को दोहराते हैं। इस प्रकार इस्पात का खोखला पाइप धीरे-धीरे ऊपर खींच लिया जाता है और रिक्त स्थान में सीमेन्ट कंक्रीट भर दी जाती है।

प्रत्येक नई पाइल के लिये पृथक्की पादत्र (Detachable Iron shoe) लगा देते हैं। यह पाद जमीन की तली में हर पाइल के नीचे बना रहता है। (चित्र 11.15)

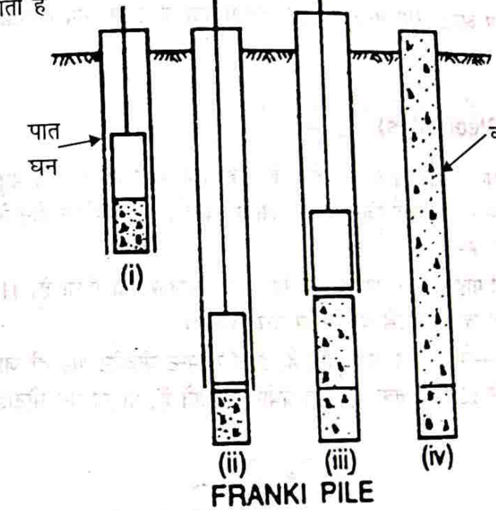


चित्र-11.15 : सिम्पलेक्स पाइल

Note—यदि आवश्यक हो तो सुराख में प्रवलन छड़ों का जाल डालकर सीमेन्ट कंक्रीट भर दी जाती है।

(2) वाइब्रो पाइल (Vibro Pile)—इस प्रकार की पाइल मुलायम तथा जलग्रस्त भूमि में बनायी जाती है। इसमें इस्पात का खोल जिसमें तली में ढलवाँ लोहे (Cast Iron) का पाद (Shoe) लगाकर भूमि में आवश्यक गहराई तक गाड़ देते हैं। इसके बाद सुराख में कुछ गहराई तक सीमेन्ट कंक्रीट भरकर खोल को बार-बार ऊपर उठाते हैं, नीचे गिराते हैं जिससे सीमेन्ट कंक्रीट का संघनन (Compaction) हो जाता है और सुराख में पूर्णत: भर दी जाती है और खोल को बाहर खींच लेते हैं।

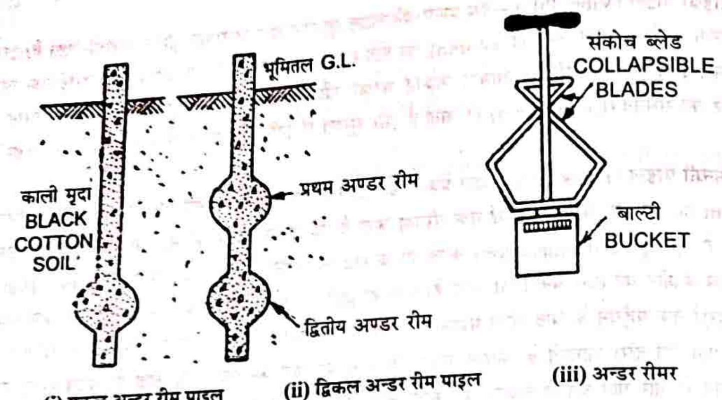
(3) फ्रेन्की पाइल (Franki Pile)—इस प्रकार की पाइल निर्माण करने के लिये एक इस्पात का खोल जिसका व्यास लगभग 50 cm हो, को मृदा में कुछ गहराई तक धँसाया जाता है एवं उसके अन्दर की मृदा बाहर निकाल कर उसमें सीमेन्ट कंक्रीट भरते हैं एवं कुटाई (Compaction) करते हैं। कंक्रीट के जमने के बाद भारी पात घन (Drop Hammer) की सहायता से इस कंक्रीट को ठोस बना दिया जाता है। ठोस हो जाने पर पाइप और कंक्रीट के बीच घर्षण उत्पन्न हो जाता है। आवश्यक गहराई तक पहुँचने के बाद खोल मशीन से पकड़कर नीचे की कंक्रीट को आघातों से नीचे के खोल से अलग कर देना चाहिये, पात घन द्वारा आघातों के कारण कंक्रीट के नीचे का भाग का व्यास बढ़ जाता है। पाइप खोल को धीरे-धीरे ऊपर खींच लेते हैं और पात घन से कंक्रीट की कुटाई करते रहते हैं। इस प्रकार स्थूणा तैयार कर लेते हैं। पाइप खींचने से कंक्रीट में लहरियाँ बन जाती है



चित्र-11.16 : Franki Pile

(4) अण्डर रीम्ड पाइल (Under Reamed Pile)—इस पाइल का विकास CBRI रुड़की ने किया है। काली कपासी मिट्टी, रेतीली मृदा हेतु उत्तम है। बहुमंजिली इमारतों की नींव हेतु भी अच्छी होती है। ऐसी नींव हेतु अधिक गहराई तक नहीं जाते हैं।

निर्माण विधि—इस पाइल में नीचे की दिशा में एक या एक से अधिक बल्ब (Bulbs) उचित दूरी पर बनाये जाते हैं। ये बल्ब पाइल के सुराख से दो गुना अधिक व्यास के रखे जाते हैं। पाइल के लिये सुराख ऑगर (Auger) की मदद से किया जाता है। इसके बाद कुछ गहराई पर अण्डर रीमर की सहायता से बल्ब का सुराख बनाया जाता है। रीमर में दो सिमटवाँ ब्लेड तथा नीचे मृदा को एकत्र करने हेतु बकेट (Bucket) लगी होती है। रीमर को दबाकर घुमाया जाता है तो सिमटवाँ ब्लेड खुल जाते हैं तो बल्ब का आकार बन जाता है और सुराख चौड़ा हो जाता है। पाइल में सुराख एवं बल्बों में सीमेन्ट कंक्रीट भर दी जाती है।



चित्र-11.17 : अण्डररीम पाइल

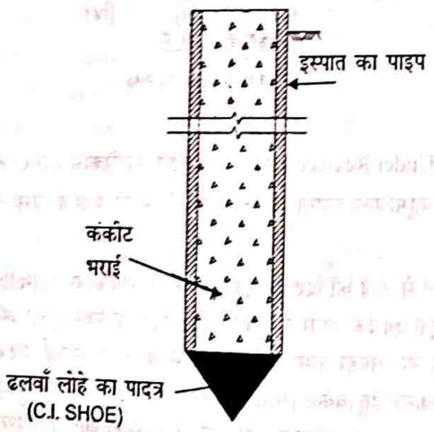
उचित अन्तराल की गहराई पर अण्डर रीम बनाये जाते हैं। इन पाइलों के ऊपर कैप लगाकर उसके ऊपर संरचना की दीवारें बनायी जाती हैं।

11.19. इस्पात पाइलें (Steel Piles)

इस्पात की पाइलों का प्रयोग भारत (India) में नहीं होता है, यह कम भारी संरचनाओं हेतु-प्रयोग में लायी जाती है, इनमें संक्षारण (Corrosion) लगने का भय रहता है जिसे बचाना आवश्यक है। खण्ड छोटा होने के कारण अधिक भार नहीं वहन कर पाती है। यह पाइलें निम्नवत् है—

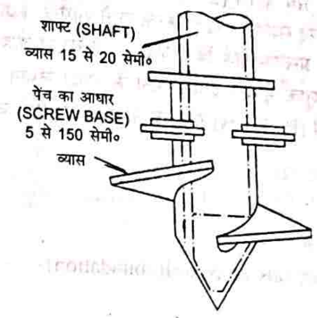
(1) H अनुप्रस्थ खण्ड वाली पाइल—इन पाइलों का खण्ड H आकार का होता है। H गर्डर को गाड़कर ऊपरी सिरे पर इस्पात की प्लेट वैल्ड कर दी जाती है। इसे कंक्रीट से दवा देते हैं।

(2) पाइप पाइल (Pipe Pile)—ये खोखले पाइप होते हैं, इनमें सीमेन्ट कंक्रीट भर दी जाती है। इनमें लोहे के पाद वैल्ड कर दिये जाते हैं इसमें 25 cm से 125 cm तक के पाइप प्रयोग में लाते हैं, पाइपों की मोटाई 12 mm तक हो सकती है।



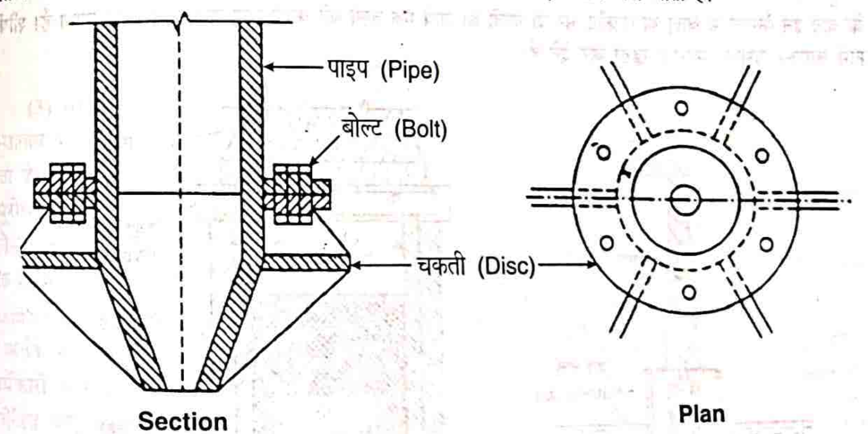
चित्र-11.18 : पाइप पाइल

(3) पेंचदार पाइल (Screw Pile)—इन पाइलों को घुमाकर मृदा में गाड़ देते हैं। मुलायम मृदाओं में आसानी से बनायी जाती हैं। पेंच का आधार चौड़ा होने से धारण क्षेत्रफल बढ़ जाता है जिससे पाइल की धारण क्षमता बढ़ जाती है। यह विद्युत मोटर की सहायता से लगायी जाती है। (चित्र 11.19 देखें)



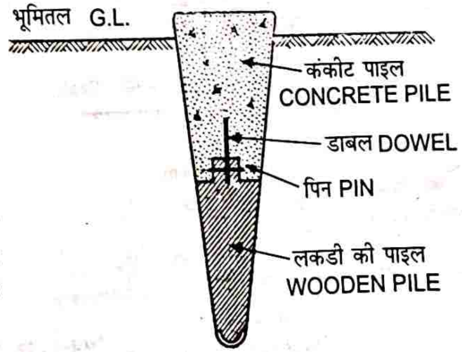
चित्र-11.19 : पेंचदार पाइल

(4) चकती पाइल (Disc Pile)—इसमें इस्पात का पाइप होता है। इसके अन्तिम सिरे में ढलवाँ लोहे (Cast Iron) की चकती वैल्डिंग द्वारा जोड़ दी जाती है। इससे नीचे क्षेत्रफल बढ़ जाता है और पाइल की धारण क्षमता बढ़ जाती है। निचला सिरा खोखला होने से पानी भेजने पर मृदा कटती जाती है और पाइल नीचे धँस जाती है।



चित्र-11.20 : चकती पाइल

(5) संयुक्त पाइल (Composite Pile)—इस प्रकार की पाइलों का निर्माण दो विभिन्न पदार्थों से बनी हुई पाइलों का एक-दूसरे से जोड़कर तैयार किया जाता है। इसे संयुक्त पाइल (Composite pile) कहते हैं। जैसे—काष्ठ की पाइल में कंक्रीट पाइल जिभी बनाकर उसमें डावल व पिन डाल दिये जाते हैं। काष्ठ भाग नीचे पानी में रहता है, कंक्रीट वाला भाग ऊपर रहता है, काष्ठ भाग पानी में रहने पर उसकी आयु बढ़ जाती है। इसी तरह इस्पात एवं कंक्रीट की संयुक्त पाइलों का इस्तेमाल किया जाता है। (चित्र 11.219 देखें)



चित्र-11.21 : Composite pile

11.20. कैसन नींव (Caisson Foundation)

कैसन शब्द फ्रेंच शब्द है जिसका अर्थ बॉक्स (Box) है। कैसन लकड़ी, इस्पात अथवा सीमेन्ट कंक्रीट के जलरोधी खोखले बाक्स होते हैं जिनको पानी में उचित स्थान पर खड़ा करके इनमें सीमेन्ट कंक्रीट भर दी जाती है और ठोस आकार में पानी में रखते हैं। इनके ऊपर संरचना के प्रस्तम्भ खड़े किये जाते हैं जो कैसन कहलाते हैं।

कुआँ एवं कैसन में अन्तर—कुएँ शुष्क भूमि में अथवा पानी के अन्दर जमीन में लगाये/धँसाये जाते हैं, जबकि कैसन जलमग्न स्थल से दूर निर्मित करके नावों से (By Boats) पानी के अन्दर उतार दिये जाते हैं और नींव का भाग बन जाते हैं।

11.21. कैसन के प्रकार

कैसन निम्नवत् तीन प्रकार के होते हैं—

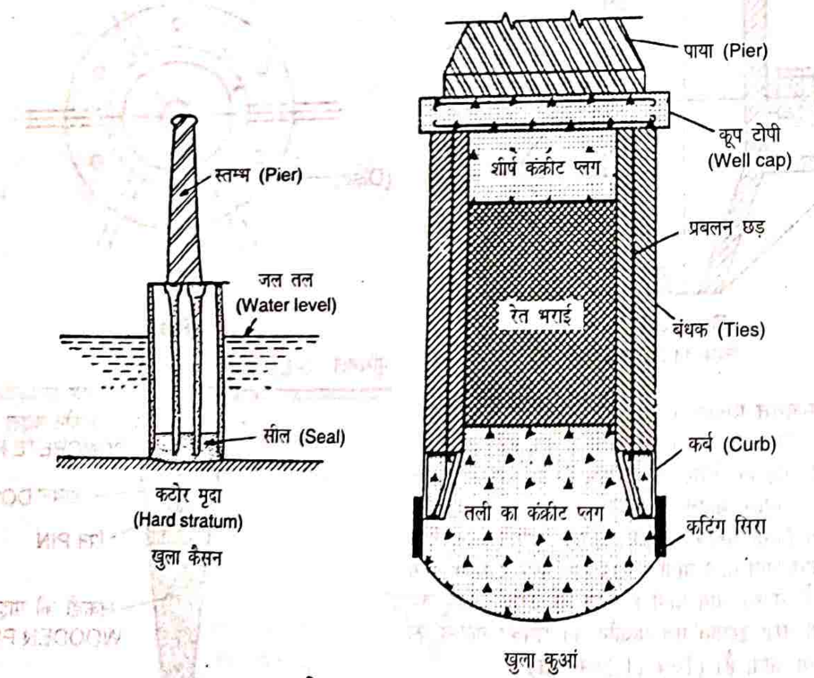
(i) खुला कैसन या कूप नींव (Open caisson or well foundation)

(ii) बन्द कैसन (Box caisson)

(iii) वातीय कैसन (Pneumatic cassion)

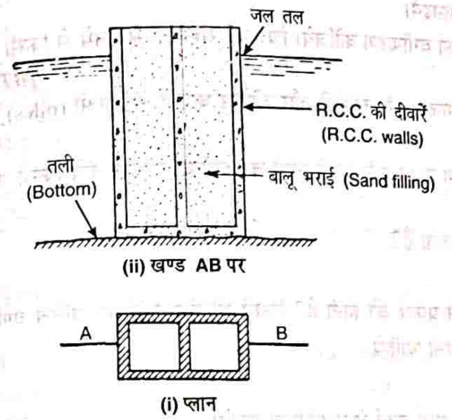
(1) खुला कैसन या कूप नींव—कैसन शीर्ष एव तली (Bottom) में खुले (Open) रहते हैं। खुले केसनों को कूप नींव कह सकते हैं।

खुले कैसन इस्पात R.C.C., ईंट चिनाई के होते हैं। इनको नीचे मृदा में धँसाया जाता है। आवश्यक गहराई तक ले जाने के बाद इन कैसनों में बालू या कंक्रीट भर दी जाती है। शीर्ष एवं तली को कंक्रीट से प्लग कर दिया जाता है। शीर्ष पर प्लेटफार्म बनाकर उसकी संरचना खड़ी कर देते हैं।



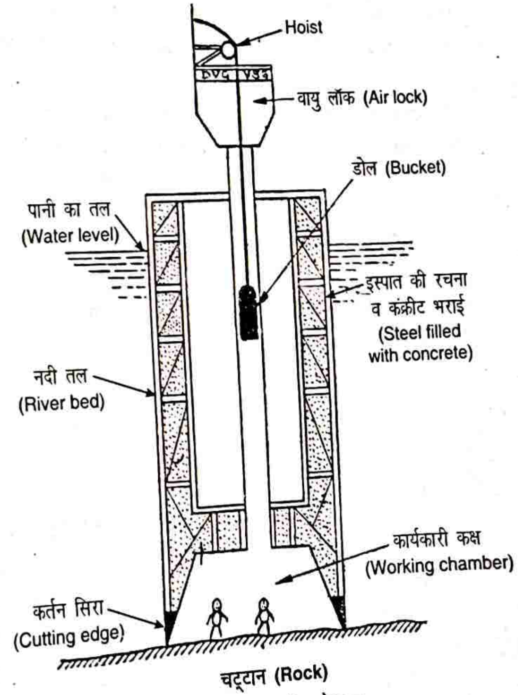
चित्र-10.22 : खुला कुंआ

(2) बॉक्स कैसन (Box Cassion)—बॉक्स कैसन खुले कैसनों की तरह होते हैं परन्तु तली (Bottom) में बन्द रहते हैं। इन्हें तैरते कैसन (Floating cassion) भी कह सकते हैं। जहाँ पानी की गहराई लगभग 8 मीटर तक होती है प्रयोग में लाये जाते हैं। इन्हें वाँछित स्थान पर ले जाकर पानी में नावों के माध्यम से या अन्य उपाय से उतारकर उसमें कंक्रीट भर दी जाती है और शीर्ष पर कैप लगाकर उस पर प्रस्तम्भ का निर्माण करते हैं। पानी में जहाँ खुदाई करना सम्भव न हो वहाँ लगाते हैं। नदी का तल समतल होना चाहिये, रेतीली तली में यह कैसन लाभदायक है।



चित्र-11.23 : बॉक्स कैसन

(3) वातीय कैसन (Pneumatic cassion)—वातीय कैसन में शीर्ष बन्द होता है, तली खुली रहती है। लकड़ी, धातु या कंक्रीट का जलरोधक व वायुरोधक सिलिण्डर की भाँति है। निर्माण सामग्री लाने-ले जाने एवं श्रमिकों को उतारने हेतु एक छिद्र होता है। कैसन की तली में कार्यकारी कक्ष (Working chamber) की व्यवस्था की जाती है। कैसन की तली में कर्तन सिरा (Cutting edge) लगी रहती है एवं कार्यकारी कक्ष में पानी को प्रवेश से रोकने के लिये संपीडित वायु उपयोग में लायी जाती है, इसी वायु के माध्यम से कैसन से जल निकालकर कैसन को धँसाया जाता है। कैसन के नीचे खुदी हुई मिट्टी को बाहर निकालने हेतु शाफ्ट में बाल्टी (bucket) का प्रयोग किया जाता है। शाफ्ट से ही श्रमिक कार्यकारी कक्ष में प्रवेश करते है। यहाँ वायु शाफ्ट (Air shaft) एवं वायु लॉक (Air lock) की भी व्यवस्था की जाती है। उचित गहराई तक कैसन को धँसाने के बाद श्रमिक बाहर बुला लेते हैं। बाद में इसमें बालू एवं कंक्रीट भर दी जाती है। तली एवं शीर्ष को प्लग करना पड़ता है। इसके बाद शीर्ष के उपर संरचना का निर्माण होता है। (चित्र 11.24)



चित्र-11.24 : वातीय कैसन

प्रश्नावली

1. उथली एवं गहरी नींव में अन्तर कीजिए। आप कब गहरी नींव बनायेंगे? *(BTE UP 2011, 2013, 2015)*
2. उथली नींव की परिभाषा लिखिये। *(BTE UP 2013)*
3. उथली नींव की गहराई को प्रभावित करने वाले कारकों को समझाइये। *(BTE UP 2013, 16)*
4. गहरी नींवों के उपयोग की परिस्थितियाँ समझाइये।
5. सामान्य उपयोग की जाने वाली गहरी नींवों का वर्गीकरण कीजिये। चित्र की सहायता से उनमें से किसी एक का वर्णन करो। *(BTE UP 2004)*
6. पदार्थ के अनुसार स्थूणाओं (piles) का विभाजन करें। लकड़ी और सीमेन्ट कंक्रीट स्थूणाओं (piles) की विशेषतायें बताइये।
7. गहरी नींव (deep foundation) की परिभाषा स्पष्ट करें। गहरी नींवों का वर्गीकरण करते हुये किसी एक का सचित्र वर्णन करें।
8. संरचनाओं हेतु नींवों का निर्माण क्यों किया जाता है?
9. ग्रिलेज नींव का चित्र युक्त वर्णन कीजिये।
10. छिछली नींवें (shallow foundations) कितने प्रकार की होती है? किसी भी एक नींव का सचित्र वर्णन करो।
11. गहरी नींवें किस प्रकार की भूमि में निर्मित करनी चाहिये?
12. कूप नींव कितने प्रकार की होती है?
13. पाइल की परिभाषा लिखें। पाइलों (piles) की नींव कार्य में उपयोगिता लिखें।
14. कूप नींव की परिभाषा लिखें एवं इसकी उपयोगिता वतायें।

12 अध्याय
जमीन सुधार तकनीक (Ground Improvement Techniques)

12.1. परिचय (Introduction)

जमीन सुधार तकनीक के अनेकों उद्देश्य हैं, इसकी सहायता से धारण क्षमता बढ़ायी जा सकती है और मृदु जमीन के निषदन (settlement) को भी कम किया जा सकता है। जमीन सुधार तकनीक से भूकम्प मृदा द्रवीकरण (liquefaction), भौम जल में नियंत्रण, भराव कार्यों का स्थिरीकरण (stabilize) एवं भूमि के चारों तरफ विकृति को रोकना (prevent deformation) अथवा दूषित जमीन की सफाई करना आदि।

कम्पन (vibration) से भी जमीन सुधार किया जाता है, जैसे—विस्तृत (major) जमीन उपचार विधि, जिसमें वाइब्रो संहनन, वाइब्रो पत्थर स्तम्भ (vibro stone columns), गतिज संहनन (dynamic compaction), शीघ्र समाघात संहनन (rapid impact compaction) आदि सम्मिलित हैं।

इस तकनीक से मृदा के इंजीनियरिंग गुणों में सुधार कर सकते हैं। इससे मृदा की अपरूपण सामर्थ्य (stiffness), एवं पारगम्यता जैसे गुणों में सुधार कर सकते हैं। जमीन सुधार के जटिल उपकरणों की सहायता से बड़ी से बड़ी संरचनाओं की नींवे बनायी जा सकती हैं। जमीन सुधार से सम्बन्धित निम्नांकित तकनीकों का वर्णन किया गया है।

12.2. पूर्व-भारित (Pre-loading)

(A) पूर्व-भारित, अथवा पूर्व-सम्पीडन वह प्रक्रिया है जिसमें सम्पीड्य मृदा पर अतिरिक्त दाब/प्रतिबल डालकर रन्ध्रों से जल को निकाल दिया जाता है। रन्ध्रों से जल निकलने से आयतन में कमी होती है जिससे निषदन (settlement) होता है। इसे पूर्वभारित सम्पीडन कहते हैं।

12.2.1. पूर्व-भारित सम्पीडन से लाभ

पूर्व-भारित सम्पीडन से निम्न लाभ हैं—

(i) कोणीय विस्थापन संचालन में अक्षीय और त्रिज्य (radial) स्थिति को बनाये रखता है।

(ii) धारण कठोरता (bearing rigidity) को बढ़ाती है।

(iii) सरकने से रोकती है। जैसे कि उच्च त्वरण अथवा घूमने की दर एवं धारण तत्वों के सापेक्ष स्थिति को रोकती है।

12.2.2. मृदा की पूर्व भारित विधियाँ निम्न हैं-

(i) वाइब्रो संहनन (Vibro compaction)

(ii) निर्वात संघनन (Vacuum consolidation)

(iii) मृदा स्थिरीकरण की तापन अथवा कांचन (Heating or vitrification) विधि
(iv) भूमि फ्रीजिंग (Freezing)
(v) पत्थर स्तम्भ (Stone column)
(vi) मृदा नेलिंग (Nailing)

12.3. मृदा स्थिरीकरण (Soil stabilization)

12.3.1. परिचय

किसी भी स्थल पर मृदा के गुण; **जैसे**—अपरूपण सामर्थ्य में वृद्धि, स्थायित्व बढ़ाना, पारगम्यता में कमी, धारण क्षमता में वृद्धि आदि गुणों में सुधार करने हेतु संघनन क्रिया की जाती है।

किन्तु कुछ मृदायें विशेष किस्म (Type) की होती हैं। उनके गुणों में परिवर्तन लाने के लिये कुछ बाहरी पदार्थ मिलाना आवश्यक है। स्थिरीकरण क्रिया से मृदा के गुण एवं व्यवहार में परिवर्तन लाया जा सकता है। अत:

"मृदा स्थिरीकरण एक यांत्रिक-रासायनिक विधि है जिसके द्वारा स्थल पर प्रयुक्त होने वाली मृदा के गुण एवं व्यवहार में परिवर्तन लाया जा सकता है। इस विधि में बाहरी पदार्थों को मृदा में मिलाकर प्रयोग किया जाता है।"

स्थिरीकृत मृदा सिविल इन्जीनियरिंग कार्यों में; **जैसे**—सड़क निर्माण, रेलवे ट्रैक का भराव कार्य, सिंचाई परियोजनाओं के कार्यों में प्रयुक्त की जाती हैं।

नोट—(i) **घर्षण** के कारण कणदार (Granular) पदार्थ से सामर्थ्य प्राप्त करते हैं।
(ii) **ससंजन** के कारण मृतिका में सामर्थ्य होती है।

यदि कणदार पदार्थ एवं मृत्तिका सही अनुपात में मिलाकर संघनन क्रिया की जाये तो ये सर्वोत्तम स्थिरीकृत मृदा कही जा सकती है।

12.3.2. स्थिरीकरण से लाभ (Advantages of stabilization)

(i) मृदा की अपरूपण सामर्थ्य बढ़ाने में।
(ii) पारगम्यता बढ़ाने अथवा कमी लाने हेतु।
(iii) संपीड्यता (Compressibility) कम करने हेतु।
(iv) मृदा में वर्फ (Frost) का प्रवेश न हो सके।
(v) मृदा पर वातावरण का प्रभाव कम करने हेतु।

12.3.3. स्थिरीकरण की आवश्यकता

यदि कार्य स्थल पर प्राप्त मृदा में इन्जीनियरिंग गुण नहीं है तो उसके गुणों एवं व्यवहार में परिवर्तन लाना आवश्यक है। यदि किन्हीं कारणों से मृदा के गुणों में परिवर्तन हेतु बाहरी पदार्थ अथवा मृदा लाना उचित न हो सके एवं आर्थिक दृष्टि से महँगा हो तो इस स्थिति में इन्जीनियर को उसी स्थान पर प्राप्त मृदा के गुणों में परिवर्तन करना होता है।

यदि स्थल पर प्राप्त मृदा में इन्जीनियरिंग गुण नहीं हैं तो इन्जीनियर को निम्न प्रक्रिया अपनानी चाहिये—

(1) अनुपयुक्त मृदा को उपयुक्त गुणों वाली मृदा में परिवर्तित कर दें। (Remove and replace spoiled soil)
(2) अनुपयुक्त मृदा की परत को छोड़कर, स्थूणा (Pile) का उपयोग करना चाहिये।
(3) संरचना का अभिकल्पन पुन: करें।
(4) मृदा के गुणों में सुधार करने का पूर्ण प्रयास करें।

12.3.4. मृदा स्थिरीकरण की विधियाँ

(1) यांत्रिक स्थिरीकरण (Mechanical Stabilization)
(2) सीमेन्ट स्थिरीकरण (Cement Stabilization)
(3) चूना स्थिरीकरण (Lime Stabilization)
(4) बिटुमिनी स्थिरीकरण (Bitumen Stabilization)
(5) रेजिन स्थिरीकरण (Resin Stabilization)

1. यांत्रिक स्थिरीकरण (Mechanical Stabilization)—मृदा स्थिरीकरण की यह सबसे अधिक प्रचलन में लायी जाने वाली विधि है, इसमें लागत भी कम आती है। इसमें सुवर्गीय मृदा (Well graded soil) का प्रयोग अपनाया जाता है। इस विधि में एक प्रकार की मृदा में दूसरी प्रकार की मृदा को लाकर मिलाया जाता है अर्थात् ऐसी मृदा को सुवर्गीय मृदा बनाया जाता है। इस विधि में कोई भी बाहरी पदार्थ नहीं मिलाया जाता है।

उपयोग—(1) इस विधि का उपयोग सड़कों के निर्माण, हवाई अड्डों का निर्माण एवं कम धारण क्षमता की मृदा की धारण क्षमता (Bearing capacity) बढ़ाने के लिये किया जाता है।

(2) इस विधि का उपयोग सड़क की आधार सतह बनाने में विशेष रूप से होता है।

प्रयुक्त पदार्थ—यांत्रिक स्थिरीकरण विधि में, टूटे पत्थर, ग्रेवल (Gravel), धातुमल (Slag), जला शेल (Burnt shale) पदार्थ अत्यधिक प्रचलन में हैं।

लाभ—यांत्रिक स्थिरीकृत सड़कों का निर्माण कम लागत का होता है, इन्हें हल्के (Light) वायवीय टायर (Pneumatic Tyre) वाले वाहनों (Vehicles) में अत्यधिक प्रयोग में लाया जाता है।

हानि—यह भारी वाहनों एवं लोहे के पहियों वाले वाहनों के लिये उचित नहीं है।

Note—मृदा को Well graded (सुवर्गीय) प्राप्त करने हेतु मृदा कणों हेतु **फुलर** (Fullar) ने एक सूत्र दिया है।

किसी चालनी (Sieve) से निकल जाने वाले (Passing) कणों का प्रतिशत

$$= 100 \times \sqrt{\frac{\text{चालनी के छिद्र की माप}}{\text{मृदा में विद्यमान मोटे कणों की माप}}}$$

2. सीमेन्ट स्थिरीकरण (Cement Stabilization)—सीमेन्ट स्थिरीकरण का उपयोग सड़क निर्माण, हवाई अड्डों में धावन पथों के निर्माण में होता है। सीमेन्ट में बन्धक पदार्थ का विशेष गुण है, मृदा में सीमेन्ट मिला देने से मृदा की अपरूपण सामर्थ्य में वृद्धि एवं पारगम्यता में कमी आ जाती है।

यदि मृदा में कार्बनिक अशुद्धियाँ हैं तो ऐसी मृदाओं हेतु यह विधि अनुपयुक्त है। मृदा में सीमेन्ट की मात्रा 5% से 20% तक मिलायी जा सकती है।

सीमेन्ट स्थिरीकरण को प्रभावित करने वाले कारक (Factors Affecting the Cement Stabilization)

(1) मृदा की किस्म (Type of Soil)—कार्बनिक मृदाओं एवं भारी मृदाओं को छोड़कर साधारण सीमेन्ट (Ordinary Cement) मृदाओं में मिलाकर मृदा के गुणों में परिवर्तन किया जाता है जिससे मृदाओं में कार्य के अनुरूप गुण आ जाते हैं। चिकनी मृदाओं का सीमेन्ट स्थिरीकरण महँगा है क्योंकि सीमेन्ट की मात्रा अधिक प्रयोग करनी पड़ती है। इसके लिये यह आवश्यक है कि 75 μ से महीन कणों की मात्रा 35% से अत्यधिक न हो। कभी-कभी यदि मृदा में चूना अथवा कैल्शियम क्लोराइड की हल्की मात्रा जैसे $\frac{1}{2}$% से 1% तक मिला देने से मृदा सीमेन्ट स्थिरीकरण के लिये उपयुक्त बन जाती है। यदि मृदा सल्फेटयुक्त है, तो ऐसी मृदा इस विधि के लिये उचित नहीं है।

(2) सीमेन्ट की मात्रा (Quantity of Cement)—प्रयोगशाला में कार्य स्थल से प्राप्त प्रतिदर्श में सीमेन्ट की अलग-अलग मात्रायें मिलाकर उस मृदा का अनुकूलतम जलांश (OMC), अधिकतम शुष्क घनत्व (Max. dry density),

धारण क्षमता (Bearing capacity) एवं पारगम्यता (Permeability) आदि गुणों को ज्ञात कर लेना चाहिये। जिस सीमेन्ट की मात्रा पर अच्छे परिणाम उपलब्ध हों वही मात्रा स्थिरीकरण क्रिया हेतु उपयुक्त होती है। इसी मात्रा को उचित मानकर स्थल पर कार्य कराया जाता है एवं संघनन क्रिया पूर्ण की जाती है। सीमेन्ट की मात्रा 5% से 20% तक ली जाती है।

सीमेन्ट मिलाने के बाद मृदा प्रतिदर्श का संपीडन सामर्थ्य परीक्षण करते हैं। सामान्यत: 2 : 1 ऊँचाई एवं व्यास वाले बेलनाकार प्रतिदर्श की सात दिन तराई करने के बाद प्रतिदर्श की संपीडन सामर्थ्य 18 kg/cm^2 होनी चाहिये।

(3) मृदा में सीमेन्ट मिलाना—मृदा में सीमेन्ट मिलाने से पूर्व जितनी परत का स्थिरीकरण करना है उसकी खुदाई करके उसमें प्राप्त पत्थरों, ईंटों के टुकड़ों एवं पेड़-पौधों की जड़ों आदि को निकलवा देना चाहिये। इसके बाद यांत्रिक तरीकों अथवा हस्तविधियों से मिट्टी को उचित गहराई तक खुदाई करके मृदा में प्राप्त ढेलों को तोड़कर महीन कर लें। इसके बाद सीमेन्ट मिलवाना चाहिये, प्रयोगशाला में प्राप्त परीक्षणों से प्राप्त मात्रा से अधिक सीमेन्ट मिलवाना चाहिये। सीमेन्ट मिलाने की अच्छी विधि से दक्षता पर प्रभाव पड़ता है।

उपरोक्त क्रिया करने के बाद संघनन करना चाहिये।

मृदा में सीमेन्ट मिलाने हेतु चरण

(1) सबग्रेड (Subgrade) तैयार करना।
(2) प्रयुक्त होने वाली मृदा के ढेलों को तोड़कर महीन करना।
(3) सीमेन्ट उचित अनुपात में मिलाना।
(4) जल की उपयुक्त मात्रा मिलाना।
(5) सतह (Surface) की उचित कुटाई करवाना।
(6) स्थिरीकृत (मृदा-सीमेन्ट) की उचित समय तक तराई (Curing) करवाना।

नोट—बलुई मृदाओं में सीमेन्ट की मात्रा कम प्रयोग की जाती है। मिलाने की विधि एक जैसी ही है।

(4) संहनन (Compaction)—सीमेन्ट स्थिरीकरण जलायोजन क्रिया को पूर्ण करने हेतु उचित तराई भी करनी चाहिये एवं संहनन क्रिया अनुकूलतम जलांश (OMC) पर होनी चाहिये।

12.3.5. निर्माण विधियाँ

मृदा में सीमेन्ट मिलाने हेतु उपरोक्त वर्णित चरणों के अनुसार कार्य होना चाहिये।

उपरोक्त कार्य निम्न दो विधियों द्वारा पूर्ण किया जा सकता है—

(1) स्थल पर मिश्रण संयंत्र (Mix in Situ Plant)—इस विधि में स्थल पर उसी स्थान पर मृदा की स्थिरीकरण क्रिया की जाती है। इस क्रिया हेतु विभिन्न मशीनें उपयोग में लायी जाती हैं। इस विधि से मृदा स्थिरीकरण क्रिया उत्तम नहीं कहलायेगी।

(2) चल प्लान्ट विधि (Travelling Plant)—इस विधि में मिट्टी को महीन करने का कार्य, सीमेन्ट व पानी मिलाने का कार्य चल प्लान्ट से कराया जाता है। इसके स्थल पर बिछाकर संघनन कराया जाता है। यह सस्ती विधि है। कार्य की प्रगति ठीक प्रकार होती है।

12.3.6. चूना स्थिरीकरण

चूना की विशेषता यह है कि चूना मृदा को सिकुड़ने से रोकता है जिससे मृदा के सूखने के पश्चात् दरारें उत्पन्न नहीं होती हैं क्योंकि काली कपासी मिट्टी का यह अवगुण है कि **पानी के सम्पर्क में आने पर फूलती है** एवं **सूखने पर उसमें दरारें उत्पन्न होती हैं।** अत: चूना इस मृदा हेतु उपयुक्त है। चूना मृत्तिका की सुघट्यता सूचकांक (Plasticity Index) में कमी कर देता है।

चूने की मात्रा—मृदा के शुष्क भार का लगभग 4% से 10% तक चूने की मात्रा मृदा में स्थिरीकरण हेतु मिलायी जा सकती है।

मिलाने की विधियाँ—चूना को मृदा में स्थिरीकरण हेतु मिलाने की दो विधियाँ हैं—
(1) शुष्क विधि
(2) घोल विधि

Note—(1) उपरोक्त दोनों विधियों में घोल विधि उत्तम है।
(2) अनुकूलतम जलांश (OMC) से अधिक पानी मिलाने के बाद संघनन क्रिया करें।
(3) मृदा महीन होनी चाहिये।
(4) तराई का समय कम से कम 07 दिन होना चाहिये।
(5) काली कपासी मृदा ही मोन्टमोरी-लोनाइट वर्ग में आती है।
(6) मृदा में चूना मिलाकर प्रतिदर्शों की सामर्थ्य एवं वेधन प्रतिरोध प्रयोगशाला में परीक्षणों द्वारा ज्ञात करके चूना-मृदा में मिलाना उचित है।
(7) चूना स्थिरीकरण विधि सीमेन्ट विधि की तरह ही है।

नोट (Note)—मृदा स्थिरीकरण में निम्न विधियों को भी जोड़ सकते हैं—
1. अतिरिक्त जलांश को मृदा जल निकासी से बाहर करना।
2. मृदा को उलट-पलट कर सुखाना।
3. खराब अवमृदा (subsoil) को खोदकर बाहर निकाल अच्छी अवमृदा भरना।

12.4. वाइब्रो संहनन (Vibro compaction)

मृदा के कोणीय (angular) कणों को पुन: संगठित (rearrange) करके सघन अवस्था (dense state) में लाना वाइब्रो संहनन तकनीक कहलाती है।

इस संघनन क्रिया में गहरे (depth) कम्पकों (vibrators) का उपयोग किया जाता है। इनको क्रेन अथवा पाइल उपकरणों से लटकाया (suspended) जाता है।

वाइब्रो तकनीक से, धारण स्तम्भों को ग्रेवल अथवा टूटे पत्थर के टुकड़ों से ससंजक मृदाओं में बनाया जाता है।

12.4.1. वाइब्रो संहनन की विधियाँ (Methods of vibro compaction)-

विधियाँ निम्न हैं—
(i) गतिज संहनन (Dynamic compaction)
(ii) शीघ्र समाघात संहनन (Rapid impact compaction)
(iii) पत्थर स्तम्भ (Stone columns)
(iv) संहनन स्थूणा (Compaction pile)
(v) ग्राउटिंग (Grouting)

1. गतिज संहनन—इसे गहरा गतिज संहनन भी कहते हैं। यह विधि भूमि तल से 12.5 मी० नीचे तक भारी भार की सहायता से मृदा का संहनन करती है।

2. शीघ्र समाघात संहनन—यह उच्च आवृत्ति वाली संघनन नियंत्रित तकनीक है। यह जमीन की 7 से 8 मी० गहराई तक मृदा को संघनित करके सघन (dense) करती है।

3. पत्थर कॉलम (Stone columns)—भूमि तकनीक सुधार में पत्थर कालम भी सम्मिलित रहकर ऊर्ध्वाधर कालम के रूप में सतह से 4 मी० भूमि की गहराई पर कार्य करता है। ग्रेवल को नींव निर्माण में निर्मित कालम के ऊपर रख संघनित करते हैं। पत्थर कालम विधि शीघ्र ही वर्ष में किसी भी समय निर्माण करती है अर्थात् भवन निर्माण हेतु भूमि के नीचे संघनित ग्रेवल से पत्थर कॉलम का निर्माण करते हैं।

निर्माण विधि—इस विधि को सुयोग्य ठेकेदार ही अपना सकते हैं अर्थात् अनुभवी ठेकेदारों से ही कार्य कराना चाहिये एवं इस विधि में विशेष प्रकार के उपकरणों की आवश्यकता पड़ती है। इस निर्माण कार्य में, **एक्सकेवेटर, वाइब्रेटिंग प्रोब** के साथ पत्थर को भूमि में बैठाता/धँसाता है और ऊर्ध्वाधर कॉलम का निर्माण करता है।

इसे ग्रेनुलर कॉलम अथवा ग्रेनुलर पाइल भी कह सकते हैं।

पत्थर कॉलम में पत्थर मिलावा (stone aggregate) का प्रयोग करते हैं। जल पत्थर कॉलम से आसानी से निकल जाता है। अत: पत्थर कॉलम अतिरिक्त जल को रन्ध्रों से आसानी से निकाल देता है और निषदन प्रक्रिया शीघ्र पूर्ण कर लेता है।

पत्थर कॉलम निर्माण से भवन/संरचना में निम्नलिखित लाभ भी प्राप्त होते हैं—

Stone columns के लाभ (Advantages of stone columns)

1. नींव के निषदन को रोकता है।
2. धारण क्षमता बढ़ा देता है।
3. दृढ़ता (stiffness) बढ़ा देता है।
4. अपरूपण सामर्थ्य बढ़ जाती है।
5. पारगम्यता घट जाती है।
6. द्रवीकरण की क्षमता को कम कर देता है।
7. बालू संहनन में बहुत ही प्रभावी है।

पत्थर कॉलम निर्माण की निम्न विधियाँ हैं—

(i) विस्थापन विधि (Displacement method)

(ii) अविस्थापन विधि (Non-displacement method)

(i) विस्थापन विधि (Displacement method)—इस विधि में जमीन में बोरिंग की जाती है और मृदा को हटाते हुये बोरिंग करते हैं और मृदा साइड में होती जाती है जिसके कारण मृदा के इन्जीनियरिंग गुणों में परिवर्तन हो जाता है।

ट्यूब या केस को जमीन में प्रवेश कराके भी छेद (hole) बनाया जा सकता है।

विस्थापन विधि में वाइब्रो फ्लोट विधि का व्यापक रूप से प्रयोग किया जा रहा है।

विस्थापन विधि की दो विधियाँ हैं—

(i) नम, ऊपर भरण विधि (Wet, top feed method)

(ii) शुष्क, तली भरण विधि (Dry, bottom feed method)

2. अविस्थापन विधि (Non-displacement method)—इस विधि में मृदा को बिना हटाये ही बोरिंग की जाती है। अगर इस विधि में मृदा का थोड़ा-बहुत विस्थापन होता भी है, तो इसे नगण्य माना जाता है।

जैसे—दबाकर वेधन विधि (bored rammed method)

नोट—पत्थर कॉलम (Stone column) तकनीक को वाइब्रो-विस्थापन विधि अथवा वाइब्रो प्रतिस्थापन विधि से जाना जाता है। इसमें पत्थर मिलावा (stone aggregate) ऊर्ध्वाधर छेद में डालकर संघनित/कुटाई करते हैं। कई परतों में डालकर संघनित करते हुये कॉलम का निर्माण हो जाता है। यह भूमि की 4 मी० गहराई से करते हुये ऊर्ध्वाधर ऊपर की ओर आते हैं। इसी कॉलम पर संरचना का निर्माण करते हैं।

4. मृदा नेलिंग (Soil nailing)—यह स्थिरीकरण (stabilization) विधि ही है। इस विधि से मृदा में, दीवारों में, ढालू स्थानों पर मृदा की सामर्थ्य बढ़ाने के लिये मृदा में प्राकृतिक स्थिति में अथवा खोदाई कर इस्पात छड़ों का प्रवेश कराया जाता है। इन छड़ों के प्रवेश बिन्दुओं पर ग्राउटिंग करके प्लेट लगाकर बन्द किया जाता है। इससे मृदा में सामर्थ्य बढ़ाने हेतु क्षेत्र को प्रबलित किया जाता है। वेधन करके भी छड़ों को प्रवेश कराके ग्राउटिंग कर दी जाती है। इससे ढाल वर्षा के दिनों कटान नहीं पाता है एवं भूस्खलन को कम किया जा सकता है। इन छड़ों को हथौड़ों से अथवा आधुनिक रिंग मशीनों से धँसा दिया

जाता है। यह कार्य की जटिलता पर निर्भर करता है। मृदा नेलिंग 80/sq ft से 200/sq. ft के बीच पंक्ति में रखी (ranging) जा सकती है।

मृदा नेलिंग से लाभ (Advantages of soil nailing)

1. मृदा नेलिंग से ढालों की सामर्थ्य बढ़ाने में एवं भूस्खलनों के प्रति स्थिरता प्रदान की जाती है।
2. अत्यधिक तीखे/नुकीले ढालों एवं प्रतिधारक दीवारों पर जहाँ भारी उपकरण ले जाना प्रतिबन्धित होता है वहाँ क्रेन की सहायता से लटकते कार्यकारी प्लेटफॉर्म स्थापित करने में सुगमता से कार्य करते हैं।
3. इससे कटाव (erosion) रोका जा सकता है। ढालू जमीन में संरचनाओं हेतु स्थिरता प्राप्त होती है।
4. मृदा नेलिंग से तनाव में मृदा दीवार की सामर्थ्य बढ़ जाती है।

विधि (Process)—(i) दीवारों में मृदा नेल कार्य सदैव ऊपर से नीचे किया जाता है।

(ii) ढालू जमीन में मृदा नेलिंग खोदकर छड़ों को बिछाकर दो छड़ों के मिलान बिन्दुओं पर धारण प्लेट ग्राउटिंग करके लगा दी जाती है।

(iii) दीवारों में वेधन करके छड़ों को प्रवेश कराया जाता है। इन छड़ों को ऊपर से नीचे की ओर ड्रिलिंग/वेधन करके लगाते हैं। इनके बीच अन्तराल रखा जाता है। दीवार के फेस पर ग्राउटिंग कर दी जाती है।

(iv) मृदा को 3 से 6 फुट गहरी चरणों में खोदते हैं। प्रत्येक चरण की खुदाई करने के बाद क्षैतिज वेधन किया जाता है और इन क्षैतिज छिद्रों में छड़ों को हथौड़े से या मशीन से धँसा दिया जाता है और ग्राउटिंग कर दी जाती है। छड़ों के ऊपर धारण प्लेट लगायी जाती है। यह नेलिंग व्यवस्था जमीन के पूरे जोन को प्रबलित कर देती है।

5. ग्राउटिंग (Grouting) **अथवा घोल अभिपूर्ण**—दीवारों के जोड़ों, दरारों को भरने हेतु इनमें गाढ़ा तरल व अधिक सामर्थ्य वाला सीमेन्ट मसाला प्रेस करके या अधिक दाब से भरा जाता है। इसे ग्राउटिंग कहते हैं।

कमजोर मृदा की धारण क्षमता मजबूत करने के लिये ग्राउटिंग की जाती है। दरारों में सीमेन्ट गन से मसाला भरते हैं। इसमें जल सीमेन्ट अनुपात कम रखते हैं। मसाले में त्वरक औरं मन्दक, गैस उत्पादकद्ध सुकार्यता एजेन्ट आवश्यकतानुसार मिलाते हैं। त्वरक के लिये कैल्शियम क्लोराइड, मन्दक के अन्तर्गत जिप्सम ($CaSO_4$) एवं गैस हेतु एल्यूमीनियम पाउडर मिलाये जाते हैं।

ग्राउटिंग क्रिया में प्रयुक्त सीमेन्ट मसाले की सम्पीडन सामर्थ्य 20-27 N/mm^2 होनी चाहिये।

महीन कंक्रीट को उच्च दाब पर मशीन द्वारा कंक्रीट सतह पर फेंक कर दरारों अथवा गड्ढों को भरने को **शाटक्रीट** (shotcrete) कहते हैं। गन मशीन का विवरण कंक्रीट तकनीकी में बताया जाता है।

इस अध्याय में ग्राउटिंग मृदा नेलिंग से सम्बन्धित है। अत: इसका वर्णन निम्नवत है।

मृदा नेलिंग ग्राउटिंग (Soil nailing grouting)

पारेक्स (Parex) मृदा नेलिंग ग्राउट उच्च तरल मिक्स के रूप में बनाया गया है और मुख्यत: मृदा नेलिंग कार्यों हेतु है और विशेषत: पम्प करके नुकीले ढालूदार अथवा खुदाई किये गये कठिन परिस्थितियों वाले स्थलों पर भेजने में उपयुक्त होता है। यह मृदा नेलिंग कार्यों में प्रेस करके भेज सकते हैं अथवा छड़ों के सम्मुख भागों में भरकर छिद्रों एवं गड्ढों को भरने के काम आता है।

इसकी सामर्थ्य उच्च होती है। पोर्टलैण्ड सीमेन्ट पाउडर मिलाकर भी वेधन किये गये छिद्रों को भरने/मृदा नेलिंग में छड़ों को जकड़ने के लिये एडहेसिव (adhesive) के रूप में प्रयोग किया जाता है। यह 20 kg के पैक के प्लास्टिक बैग में मिलता है। यह बैग जलरोधी (waterproof) होते हैं।

यह पदार्थ उच्च इस्पात को जंग से बचाता है। इसमें क्लोराइड सल्फेट होता है। इनका व्यापारिक नाम EN-447, PT-10 है।

उपयोग—इसका उपयोग मृदा नेलिंग कार्यों में करते हैं, जैसे—सुरंग लाइनिंग में, केबिलों को बिछाने पर एंकर प्लेट लगाने के लिये, रोड स्लैब में प्रयोग करते हैं। उच्च दाब से क्रैक/दरारों को भरने के काम आता है।

जेट ग्राउटिंग (Jet grouting)—ढालू सतह पर बनाये गये छिद्रों से मृदा को खिसकने से रोकने के लिये मृदा नेलिंग में जेट ग्राउटिंग प्रयोग की जाती है। छिद्रों में इस्पात छड़ें डालकर ग्राउट कर दी जाती है। इस ग्राउटिंग में ऐसी कंक्रीट का प्रयोग करते हैं जो इस्पात छड़ों को संक्षारण (corrosion) से बचाये रखे। मृदा नेलिंग विधि में छड़ों को वेधन विधि (drilling process) से मृदा ढालों एवं प्रतिधारक दीवारों में इस्तेमाल को प्रवेश कराया जाता है अर्थात् प्रबलन कार्य किया जाता है।

शाटक्रीट (Shotcrete)—कंक्रीट खुदाई कार्यों में सम्मुख (face) में इस्तेमाल किया जाता है। रेलवे ट्रैक निर्माण कार्यों में भी प्रयोग किया जाता है। साइड ढालों को स्थिरीकरण करने में जेट ग्राउटिंग की जाती है। इसमें गन मशीन से जेट प्रक्रिया द्वारा महीन मसाला छिद्रों में भर दिया जाता है। इससे इस्पात छड़ें/दरारें आदि सभी जगड़ जाते हैं। इस मसाले की सामर्थ्य उच्च होती है।

जेट ग्राउटिंग के प्रकार (Types of jet grouting)

जेट ग्राउटिंग तीन प्रकार की होती है—

(i) एकल तरल जेट ग्राउटिंग (Single fluid jet grouting)

(ii) दोहरी तरल जेट ग्राउटिंग (Double fluid jet grouting)

(iii) तिहरी तरल जेट ग्राउटिंग (Triple fluid jet grouting)

(i) एकल तरल जेट ग्राउटिंग (Single fluid jet grouting)—इसमें jet से उच्च गति से मसाला/कंक्रीट (ग्राउट पदार्थ) भेजी जाती है।

(ii) दोहरी तरल जेट ग्राउटिंग (Double fluid jet grouting)—इसमें jet से उच्च गति से grout पदार्थ + वायु भेजी जाती है।

(iii) तिहरी तरल जेट ग्राउटिंग (Triple fluid jet grouting)—इसमें jet से उच्च गति से ग्राउट पदार्थ + वायु + जल भेजे जाते हैं।

उपरोक्त विधियाँ मृदा नेलिंग में ग्राउटिंग करने की व्यवस्था है।

रेत नाला (Sand drain)—मृतिका अथवा सिल्टी मृतिका में ऊर्ध्वाधर बोरिंग करके उसमें रेत या ग्रेवल को भरने को sand drain कहते हैं।

अथवा

जल निकासी कृत्रिम अथवा प्राकृतिक व्यवस्था है जिससे सतह अथवा अवमृदा से अत्यधिक जल की निकासी हो सके।

मृदा में मृदा कण, जल एवं वायु की व्यवस्था होती है। जब भौम जल तल के नीचे मृदा कणों में वायु नहीं होती, केवल जल उपस्थित रहता है तो मृदा संतृप्त कहलाती है।

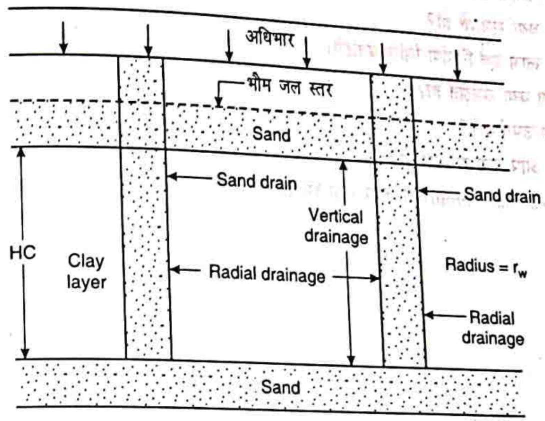
ऊर्ध्वाधर जल निकासी में सामान्यत: मृदा संतृप्त होती है। मृदा कणों के आकार (size) बदलने से उसके गुणों में भी परिवर्तन होता है। बड़े कणों वाली मृदा जैसे—बालू एवं ग्रेवल ससंजनहीन मृदा कहलाती है। चपटे कण मृदा को ससंजक बनाते हैं। जैसे-मृतिका सम्पीड्य मृदा में संघनन होता है और रन्ध्रों से जल की निकासी करता है। रन्ध्रों में उपस्थित जल ही दाब डालता है। यह दाब सतह पर पड़ता है। यह नीचे की ओर दाब लगाता है। यदि मृदा कण बहुत अच्छी तरह से संघनित, (compacted) है तो मृदा रन्ध्रों से जल तीव्रता से निकलने का प्रयास करता है। यदि मृदा से जल शीघ्र निकलने का प्रयास करता है तो निश्चित रूप से संरचना में निपदन (settlement) महत्त्वपूर्ण है।

पूर्व-भारित मृदा में बालू जल निकासी (Sand drain in soil preloading)

पूर्व-भारित मृदा में ऊर्ध्वाधर दिशा में संहनन करने में ही सक्षम है। यदि मृदा में पूर्व भार प्रक्रिया में sand drain व्यवस्था कर दी जाये तो संघनन क्रिया की दर बढ़ जाती है।

त्रिज्य संघनन (radial consolidation) में बालू जल निकासी (sand drain) व्यवस्था संघनन (consolidation) की दर बढ़ा देती है। इसे नियम चित्र में दर्शाया गया है।

संरचनाओं में संघनन (consolidation) की निपदन दर सैण्ड ड्रेन की सहायता से बढ़ जाती है। Sand drains भूमि में नीचे ऊर्ध्वाधर बोरिंग की जाती है। क्षैतिज जल निकासी हेतु sand drain बनाये जाते हैं।



चित्र 12.1–Sand drain

Types of sand drain

Sand drain के प्रकार निम्न हैं—

(i) फ्रेन्च ड्रेन (French drain)

(ii) विक ड्रेन (Wick drain)

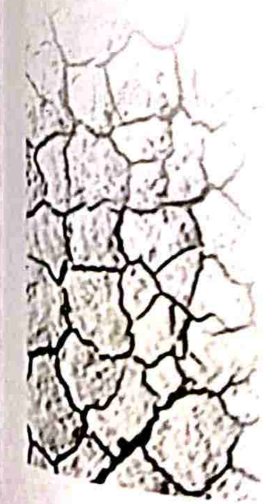
(iii) प्रीफेब्रीकेटेड ऊर्ध्वाधर (Prefabricated vertical)।

प्रश्नावली

1. जमीन सुधार तकनीक से क्या समझते हो?
2. पूर्वभारित (preloading) से क्या अभिप्राय है?
3. पूर्वभारित सम्पीडन से क्या लाभ है?
4. मृदा की पूर्व-भारित विधियाँ कौन-कौन हैं?
5. यांत्रिक स्थिरीकरण से आप क्या समझते हो? *(B.T.E. U.P. 2001)*
6. मृदा स्थिरीकरण क्या है? इसके महत्व की विवेचना कीजिए।
7. सीमेन्ट स्थिरीकरण में सीमेन्ट की मात्रा किन कारकों पर आश्रित होती है?
8. चूना स्थिरीकरण के बारे में वर्णन कीजिए।
9. बलुई मृदाओं के स्थिरीकरण में सीमेन्ट का उपयोग समझाइये।
10. वाइब्रो संहनन से क्या समझते हो?

11. वाइब्रो संहनन की विधियों के नाम बताइये।
12. पत्थर कॉलम (stone column) से क्या समझते हो?
13. पत्थर कॉलम के लाभ बताइये।
14. पत्थर कॉलम निर्माण की कौन-कौन सी विधियाँ हैं?
15. मृदा नेलिंग से क्या समझते हो?
16. मृदा नेलिंग के लाभ एवं निर्माण विधि बताइये।
17. ग्राउटिंग से आप क्या समझते हो?
18. ग्राउटिंग के क्या उपयोग हैं?
19. जेट ग्राउटिंग से आप क्या समझते हो?
20. बालू जल निकासी (Sand drain) से आप क्या समझते हो?

प्रयोगात्मक अध्ययन
(PRACTICAL STUDY)



मृदा यांत्रिकी प्रयोगशाला
(Soil Mechanics Lab)

(List of Practicals)

1. Determination of Moisture Content by Oven Drying Method.
2. Determination of Specific Gravity of Soil Particles by Specific Gravity Bottle/Pycnometer.
3. Determination of Soil Particle Size Distribution by Sieving.
4. Determination of Liquid Limit and Plastic Limit of Soil.
5. Determination of Permeability by constant head Permeameter and falling head Permeameter.
6. Shear Strength of Clean Sand by Shear Box Test.
7. Unconfined Compression Test.
8. Standard Proctor Compaction Test.
9. Determination of Field Density of Soil by Sand Replacement and Core Cutter Method.
10. Auger Boring and Standard Penetration Test.
11. Extraction of Disturbed and Undisturbed samples.
12. Demonstration of vane shear test.

13

अध्याय

प्रयोगात्मक अध्ययन
(मृदा यान्त्रिकी प्रयोगशाला)
(Soil Mechanics Lab)

जलांश प्राप्त करना

प्रयोग संख्या-1

उद्देश्य (Object)—

मृदा नमूने का विद्युत भट्ठी (Oven) में सुखाने की विधि से जलांश ज्ञात करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

(i) धातु (एल्यूमिनियम) का पात्र (कन्टेनर), ढक्कन (Lid) सहित

(ii) तुला (Balance)—सुग्राहिता (Sensitivity) 0.01 g

(iii) विद्युत भट्ठी (Oven), 105°C से 110°C तक नियन्त्रित किया जा सके।

(iv) डेसीकेटर (नमूने को ठण्डा करने हेतु)

(v) टोंग (Tong)—one pair

सिद्धान्त (Theory)—

मृदा नमूने में जल के भार एवं शुष्क ठोस कणों के भार के अनुपात को मृदा जलांश कहते हैं। इसको सदैव प्रतिशत में दर्शाते हैं।

जलांश $\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100$

$= \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$

जहाँ, W_w = मृदा नमूने में जल का भार

W_s = मृदा नमूने में शुष्क मृदा का भार

ω = मृदा का जलांश (%)

विधि (Procedure)—

1. एल्यूमीनियम कन्टेनर को साफ करके सुखाकर तौल लेते हैं, माना कि भार W_1 gram है।
2. एल्यूमीनियम पात्र (कन्टेनर) में लगभग 20 gram से 30 gram तक मृदा नमूना रखकर तौल लेते हैं। माना कि भार W_2 gram है।

3. एल्यूमीनियम पात्र (कन्टेनर) को विद्युत भट्ठी (Oven) में रखते हैं, तथा भट्ठी का तापक्रम 105°C से 110°C के बीच स्थिर कर देते हैं, नमूने को 24 घण्टे तक भट्ठी में रखते हैं।
4. 24 घण्टे बाद ओवन (भट्ठी) का स्विच बन्द करके नमूने को भट्ठी से निकाल लेते हैं।
5. इसके बाद कन्टेनर को नमूने सहित डेसीकेटर में ठण्डा करने के लिये रख देते हैं।
6. ठण्डा करने के बाद पात्र (कन्टेनर) को नमूने सहित तौल लेते हैं, माना कि भार W_3 gram है।

प्रेक्षण एवं गणना (Observations and Calculations)—

परीक्षण संख्या ......

क्रम संख्या (S.No.)	विवरण (Particulars)	1	2	3	4	5
1.	पात्र संख्या	नमूना				
2.	पात्र का भार ढक्कन सहित W_1 (g)	23.0				
3.	गीली मृदा + पात्र का भार W_2 (g)	55.0				
4.	पात्र + शुष्क मृदा का भार W_3 (g)	50.0				
5.	नमूने में जल का भार W_w (g)	5.80				
6.	शुष्क नमूने का भार W_s (g)	26.81				
7.	जलांश ω (%) जलांश $\omega = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$	21.8				

परिणाम (Result)—

मृदा का जलांश = ...%

सावधानियाँ (Precautions)—

1. पात्र का भार, शुष्क एवं गीली मृदा का भार सावधानीपूर्वक 0.01 gram परिशुद्धता (Accuracy) तक लेना चाहिये।
2. विद्युत भट्ठी (Oven) का तापक्रम 105°C से 110°C के बीच नियन्त्रित रखना चाहिये।
3. नमूने को भट्ठी से निकालने के बाद ठण्डा करके तौलना चाहिये।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. मृदा नमूने में जलांश से क्या समझते हो?
2. नमूने को भट्ठी में कितनी देर सुखाना चाहिये?
3. नमूने को सुखाने के लिये ओवन का तापक्रम कितना रखना चाहिये?
4. भट्ठी का तापक्रम 105°C से 110°C के बीच ही क्यों रखना चाहिये?
5. मृदा जलांश ज्ञात करने की कौन-कौन सी विधियाँ हैं?

आपेक्षिक गुरुत्व ज्ञात करना

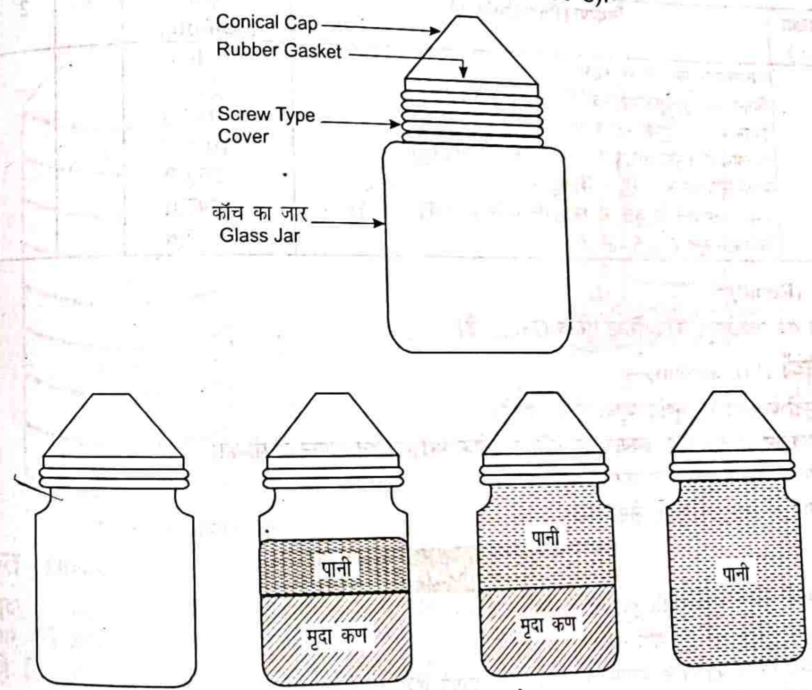
प्रयोग सख्या-2

उद्देश्य (Object)—

पिक्नोमीटर की सहायता से किसी मृदा नमूने के ठोस कणों का विशिष्ट गुरुत्व ज्ञात करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

1. पिक्नोमीटर (Pycnometer) 900 ml धारिता (Capacity) की या घनत्व बोतल (Density bottle) 100 ml धारिता की।
2. 4.75 mm I.S., चालनी (Sieve)।
3. तुला (Balance) 0.01 gram परिशुद्धता वाली।
4. विद्युत भट्ठी (Oven)।
5. निर्वात पम्प (Vacuum pump)।
6. आसुत जल।
7. डेसीकेटर
8. प्लास्टिक वाश बोतल।
9. थर्मामीटर (0 – 50°C)।



चित्र-2.1. पिक्नोमीटर बोतल

सिद्धान्त (Theory)—

मृदा कणों के किसी आयतन का वायु में भार एवं समान आयतन के आसुत जल का 4°C पर भार के अनुपात (Ratio) को विशिष्ट गुरुत्व कहते हैं।

गणितीय विधि द्वारा

$$G = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)}$$

जहाँ— W_1 = पिक्नोमीटर का भार (g), W_2 = पिक्नोमीटर + मृदा का भार (g),
W_3 = पिक्नोमीटर + मृदा + जल का भार (g), W_4 = पिक्नोमीटर + जल का भार (g)

विधि (Procedure)—

1. पिक्नोमीटर को स्वच्छ एवं शुष्क करके ढक्कन सहित तौलते है। माना कि भार W_1 gram है।
2. पिक्नोमीटर में लगभग 350 gram मृदा का नमूना लेकर तौलते है। माना कि भार W_2 gram है।
3. पिक्नोमीटर में मृदा में शुद्ध पर्याप्त जल मिलाकर ढक्कन सहित तौलते है। माना कि भार W_3 gram है।
4. पिक्नोमीटर में मृदा एवं जल के मिश्रण को मिलाकर सारी वायु निकाल दें, इसके लिये निर्वात पम्प का उपयोग कर सकते है। निर्वात पम्प न होने की स्थिति में काँच की छड़ से हिलाकर सारी वायु निकाल देते हैं।
5. पिक्नोमीटर को साफ करके उसमें शुद्ध जल भरके ढक्कन सहित भार तौल लेते हैं। माना कि भार W_4 gram है। ध्यान रखें जल ढक्कन के ऊपर तक भरें।

नोट—यह क्रिया मृदा के तीन परीक्षणों के लिये अपनाते है।

प्रेक्षण एवं गणना (Observations and Calculations)—

क्रम संख्या (S.No.)	विवरण (Particulars)	नमूना (Sample)	1	2	3
1.	पिक्नोमीटर का भार W_1 (g) =	540.0			
2.	पिक्नोमीटर + शुष्क मृदा का भार W_2 (g) =	793.0			
3.	पिक्नोमीटर + शुष्क मृदा + जल का भार W_3 (g) =	1197.3			
4.	पिक्नोमीटर (पूर्ण भरा हुआ) + जल का भार W_4 (g) =	1042.4			
5.	शुष्क मृदा का भार $(W_2 - W_1)$ g =	253.0			
6.	समान आयतन के जल का भार $(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)$ g =	97.0			
7.	विशिष्ट गुरुत्व $G = 5/6$	2.6			

परिणाम (Result)—

दिये गये मृदा नमूने का विशिष्ट गुरुत्व G=..... है।

सावधानियाँ (Precautions)—

1. मृदा परीक्षण हेतु पूर्णत: शुष्क होनी चाहिये।
2. पिक्नोमीटर बोतल के ढक्कन की चूड़ियाँ प्रत्येक परीक्षण हेतु समान कसी हों।
3. परीक्षण में वायु निकाल कर ही कार्य करें।
4. भार को सावधानीपूर्वक लेना होगा।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. विशिष्ट गुरुत्व (Specific gravity) की इकाई क्या है?
2. विशिष्ट गुरुत्व की परिभाषा बताइये।
3. विशिष्ट गुरुत्व को किस प्रतीक (Symbol) से दर्शाते हैं?
4. पिक्नोमीटर की धारिता (Capacity) कितनी होती है?
5. पिक्नोमीटर में मृदा नमूने का भार लगभग कितने ग्राम होता है?
6. पिक्नोमीटर बोतल किस पदार्थ की होती है?
7. घनत्व (Density) एवं आ० घनत्व (Specific gravity) में क्या अन्तर होता है?
8. विशिष्ट गुरुत्व (Specific gravity) की इकाई (Unit) क्या होती है?
9. यदि मृदा प्रतिदर्श में वायु न निकाली जाये तो क्या प्रभाव पड़ेगा?
10. मृदा कणों का विशिष्ट गुरुत्व किस मानक ताप पर ज्ञात करते हैं?

मृदा का कण परिमाप विश्लेषण

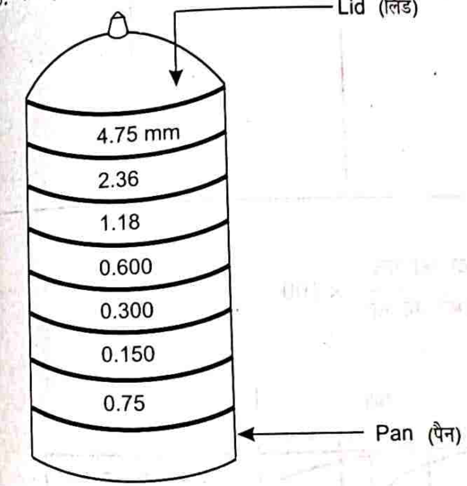
प्रयोग संख्या-3

उद्देश्य (Object)—

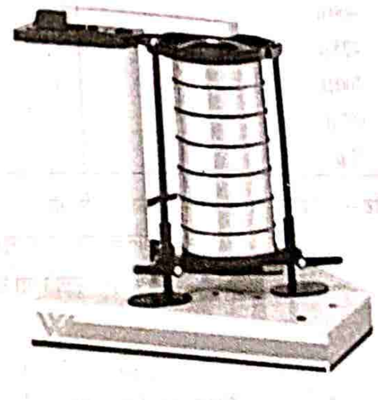
मृदा नमूने में मृदा कणों के विभिन्न कण परिमाप का वितरण ज्ञात कर कण परिमाप वितरण वक्र खींचना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

1. तुला 0.1 gram परिशुद्धता वाली।
2. भारतीय मानक चालनियों का निम्नलिखित साइज का सैट-4.75 mm, 2.00 mm, 1.18 mm, 425, 300, 150 एवं 75 माइक्रोन (Micron) (μ), ढक्कन (Lid), पैन (Pan) सहित।
3. विद्युत भट्ठी (Oven) नियन्त्रित ताप वाली।
4. रबड़ लगी मूसली।
5. भार (Weights) एवं भार बॉक्स (Weight box)।



चित्र-3.1. चालनी सेट



चित्र-3.2. यांत्रिक Sieve Shaker

सिद्धान्त (Theory)—

मृदा के नमूने का कण परिमाप (Size) वितरण वक्र उसे विभिन्न प्रामाणिक चालनियों पर छानकर तथा प्रत्येक चालनी पर बचे अवशेष को तौलकर बनाते हैं। इस विश्लेषण का उपयोग मृदा के वर्गीकरण, मृदा स्थिरीकरण व बाँधों में फिल्टर के डिजाइन में प्रयोग में लाया जाता है। चालनियों के वर्गाकार छेद के साइज से कणों के साइज को परिभाषित करते है।

विधि (Procedure)—

1. मृदा नमूने को ओवन में सुखा लेते हैं।
2. नमूना लगभग 200 gram ओवन में सुखाकर (तापक्रम 105°C से 110°C के बीच) प्राप्त करते हैं।
3. नमूने को ओखली में डालकर रबड़ की मूसली से कूट देते हैं। इस क्रिया में मृदा कण टूटने नहीं चाहियें।
4. सैट तैयार करने के लिये चालनियों को घटते क्रम में लगाकर सबसे नीचे पैन (Pan) लगाकर सबसे ऊपर ढक्कन (Lid) लगाना चाहिये।
5. अब मृदा नमूने को सबसे ऊपर की चालनी में डालकर ढक्कन (Lid) लगा देते हैं।

6. इसके चालनी सैट को Sieve Shaker मशीन में लगाकर पाँच मिनट तक हिलायें। अब स्विच बन्द करके क्रिया रोक दें। विद्युत न होने पर चालनी सैट को 10 से 15 मिनट तक हाथ से हिलाते हैं।
7. प्रत्येक चालनी को निकाल कर चालनी पर बचे अंश को अलग-अलग तौल लेते हैं और प्रेक्षण तालिका में अंकित कर लें।

प्रेक्षण एवं गणना (Observations and Calculations)—

Sample No. ...... शुष्क नमूने का भार = ... gram

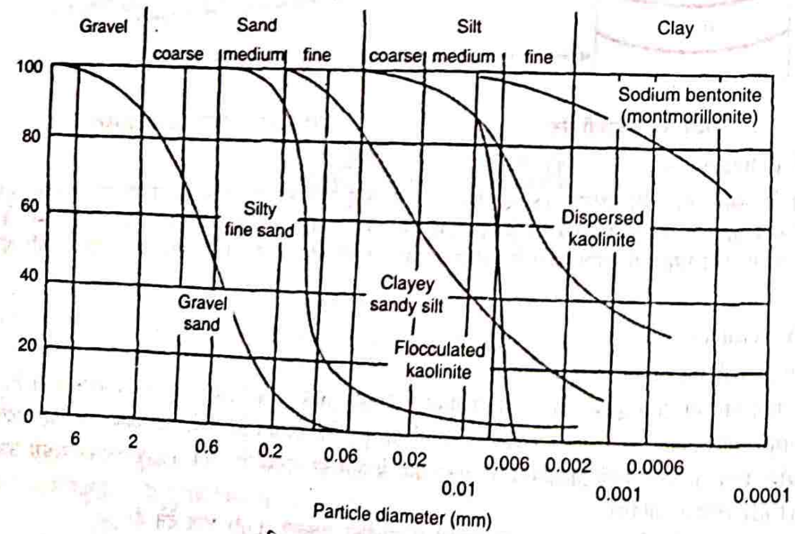
4.75 mm चालनी पर रुके अवशेष की मात्रा = ... gram,

75 Micron (μ) चालनी से निकल जाने वाले कणो का भार = ... gram

I.S. चालनी संख्या (1)	चालनी पर रुके नमूने का भार (2)	चालनी का रुकी मृदा का % में भार (3)	रुकी मृदा का संचयी प्रतिशत भार (4)	प्रतिशत महीनता (100 – कॉलम 4) (5)
4.75 mm				
2.00 mm				
1.00 mm				
600 μ				
425 μ				
300 μ				
150 μ				
75 μ				

नोट—1. चालनी पर रुकी मृदा का % में भार

$$= \frac{\text{चालनी पर रुकी मृदा का भार}}{\text{लिये गये कुल मृदा नमूने का भार}} \times 100$$



चित्र-3.3. कण परिमाप वक्र

2. अर्ध-लघुगणकीय ग्राफ (Semilog graph) के लघुगणकीय पैमाने पर कण साइज (mm) से तथा दूसरे पैमाने पर सूक्ष्म प्रतिशत के मान लेकर ग्राफ खींचो।

परिणाम (Result)—

कण परिमाप वितरण विश्लेषण तालिका एवं ग्राफ पर दर्शाया गया है।

सावधानियाँ (Precautions)—

1. नमूने को सुखाने पर तापक्रम 105°C से 110°C के बीच होना चाहिये।
2. चालनियों का साइज नीचे घटते क्रम में लगाकर ऊपर Lid, नीचे Pan लगायें।
3. छानते समय मृदा नमूने के कण बाहर न गिरें।
4. मृदा पूर्णत: शुष्क होनी चाहिये।
5. चालनी के छिद्रों को प्रयोग करने से पूर्व एवं बाद में साफ कर लें।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. चालनी के I.S. कोड नम्बर से क्या समझते हो?
2. यांत्रिक विश्लेषण से क्या समझते हो?
3. कण परिमाप वितरण वक्र से क्या समझते हो?
4. सुवर्गीय (Well graded) एवं कुवर्गीय (Poorly graded) मृदा से क्या समझते हो?
5. माइक्रोन क्या है? इसका प्रतीक (Symbol) बताइये।
6. D_{60} कण परिमाप से क्या समझते हो?
7. मृदा वर्गीकरण से क्या लाभ है?
8. स्टोक का समीकरण बताइये।
9. पैन (नीचे का ढक्कन) में गयी मृदा अवशेष को गणना में लेते हैं या नहीं?
10. मृदा नमूने का शुष्क होना क्यों आवश्यक है?

अटरबर्ग की सीमायें

प्रयोग संख्या-4 (अ)

उद्देश्य (Object)—

दिये गये मृदा नमूने की द्रव सीमा (Liquid limit) ज्ञात करना।

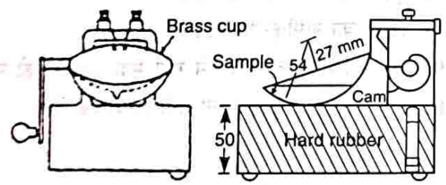
प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

1. कैसाग्रान्डे द्रव सीमा उपकरण।
2. (a) कैसाग्रान्डे का खाँचा काटने का औजार I.S.-9259-1979 के अनुसार।
   (b) A.S.T.M. खाँचा काटने का औजार।
3. स्पेचुला (Spatula)।
4. 425 माइक्रोन (μ) की I.S. चालनी।
5. एल्यूमीनियम कन्टेनर।
6. विद्युत भट्ठी (Oven) (तापक्रम 105°C से 110° C तक नियन्त्रित।
7. तुला 0.01 gram परिशुद्धता वाली।
8. आसुत जल।

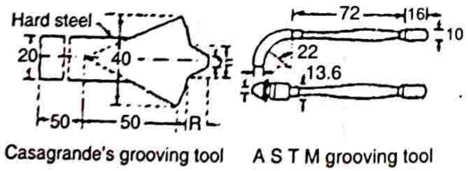
सिद्धान्त (Theory)—

मृदा नमूने में उपस्थित जल की वह न्यूनतम मात्रा है, जिस पर कैसाग्रान्डे उपकरण की प्याली में रखकर मानक उपकरण से खाँचा काटकर 25 आघातों (Blows) में लगभग 10 mm / 12 mm की दूरी बहकर भर दे द्रव सीमा (Liquid limit) कहलाती है।

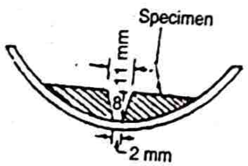
चित्र 4.1—द्रव सीमा उपकरण



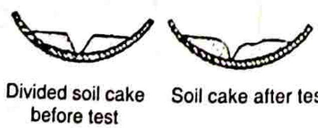
Liquid limit device



चित्र 4.2—कैसाग्रान्डे द्रव सीमा उपकरण



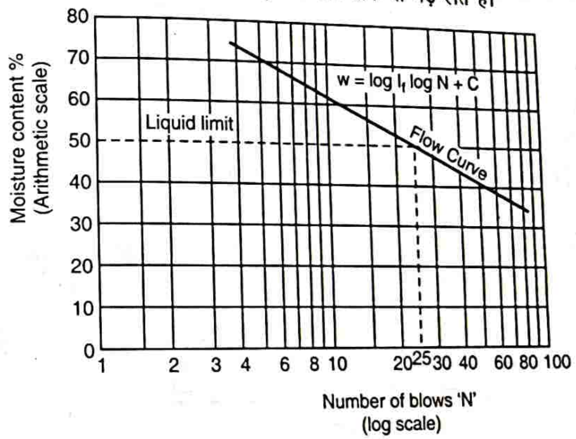
चित्र 4.3



चित्र 4.4

विधि (Procedure)—

1. 425 माइक्रोन (μ) की चालनी से छनी मृदा लगभग 100 ग्राम लेते हैं।
2. इस मृदा में आसुत जल मिलाकर समांग पेस्ट बनाते हैं। इस पेस्ट को बनाने के लिये स्पेचुला लेते हैं। सामान्यत: 24 घण्टे के लिये छोड़ सकते हैं अथवा सामान्य मृदा में 25 से 30 मिनट तक छोड़ सकते हैं।
3. इस पेस्ट (लेप) को द्रव सीमा उपकरण की प्याली में रखते हैं। पेस्ट की गहराई प्याली (Cup) में 1 cm होनी चाहिये एवं स्पेचुला की सहायता से पेस्ट को पूरी प्याली में फैलाते हैं।
4. इसके पश्चात् खाँचा काटने के औजार से प्याली (Cup) के मध्य में खाँचा बनाते हैं।
5. उपकरण के हैन्डिल की 2 चक्कर प्रति सेकेण्ड की दर से आघात लगाते हैं और आघातों की संख्या नोट करते हैं।
6. आघात लगाने से मृदा के बहने के कारण 10 mm / 12 mm की दूरी तक मृदा खिसक जायेगी और खाँचा भर जायेगा। खाँचा भरने तक आघातों की संख्या नोट कर लेते हैं।
7. जहाँ पर खाँचा भरता है वहाँ से लगभग 10 gram मृदा लेकर जलांश ज्ञात कर लेते हैं।
8. यही क्रिया मृदा में विभिन्न जलांशों पर दोहराते हैं।
9. 20 से 35 आघातों वाले मानों को नोट करके आघातों की संख्या व जलांश में अर्द्ध-लॉग (Semi-log) ग्राफ खींचकर 25 आघातों के लिये जलांश (Water content) का मान ग्राफ से पढ़ लेते हैं।



चित्र-4.5. अर्ध-लघुगणकीय ग्राफ (द्रव सीमा)

प्रेक्षण एवं गणना (Observation and Calculation)—

दिनांक ....

मृदा नमूना का विवरण ....

क्रम संख्या (S.No.)	विवरण (Particulars)	कन्टेनर संख्या				
		1	2	3	4	5
1.	आघातों की संख्या					
2.	कन्टेनर का भार = W_1 (g)					
3.	कन्टेनर + गीली मृदा का भार = W_2 (g)					
4.	कन्टेनर + शुष्क मृदा का भार = W_3 (g)					
5.	जल का भार (g)					
6.	शुष्क मृदा का भार (g)					
7.	जलांश %					

$$\text{जलांश} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$$

परिणाम (Result)—

दिये गये मृदा नमूने की द्रव सीमा ......% है।

सावधानियाँ (Precautions)—

1. प्रयोग में आसुत जल का प्रयोग करना चाहिये।
2. प्रारम्भ में कम पानी मिलाकर धीरे-धीरे पानी की मात्रा बढ़ानी चाहिये।
3. 10 से कम एवं 40 से अधिक आघातों को गणना में नहीं लेना चाहिये।
4. यह देख लें कि मृदा में काटा गया खाँचा मृदा के बहने से भरा है, मृदा फिसलने के कारण नहीं।

प्रयोग संख्या-4 (ब)

उद्देश्य (Object)—

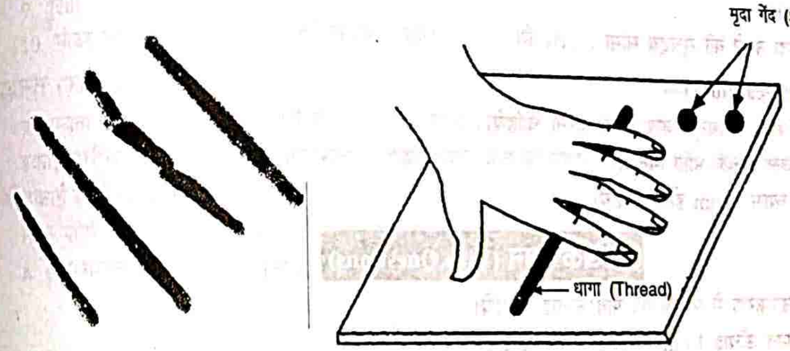
दिये गये मृदा नमूने की सुघट्य सीमा (Plastic limit) ज्ञात करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

(i) काँच की प्लेट (20 cm × 15 cm)।
(ii) तुला 0.01 gram परिशुद्धता वाली।
(iii) 425 माइक्रोन (μ) I.S. चालनी।
(iv) एल्यूमीनियम कन्टेनर।
(v) 3 mm व्यास की पीतल अथवा कॉपर की छड़।
(vi) आसुत जल।

सिद्धान्त (Theory)—

मृदा नमूने में जल की वह मात्रा जिस पर इसका लगभग 3 mm व्यास का धागा रोल करने पर टूटना (Crumbling) शुरू होने लगे, सुघट्य सीमा (Plastic limit) कहलाती है।



चित्र-4.1. सुघट्य सीमा

विधि (Procedure)—

1. 425 माइक्रोन (μ) I.S. चालनी से छनी हुई मृदा लगभग 20 gram लेते हैं।
2. मृदा नमूने में आसुत जल मिलाकर स्पैचुला से पेस्ट तैयार करके 24 घण्टे या कुछ समय के लिये छोड़ दिया जाता है ताकि जल मृदा रन्ध्रों में पहुँच जाये।
3. इस पेस्ट से लगभग 15 ग्राम मृदा लेकर छोटी गेंद बनाते हैं।
4. इस गेंद को काँच की प्लेट पर रखकर 3 mm मोटाई का धागा बनाने का प्रयास करें।
5. धागा बनाने की क्रिया को तब तक दोहराते हैं जब तक कि 3 mm का धागा टूटने न लगे।
6. इस धागे की मृदा को लेकर उसका जलांश ज्ञात कर लेते हैं।
7. इस क्रिया को दो बार और करके जलांश ज्ञात करके औसत जलांश ज्ञात कर लेते हैं। यही सुघट्यता सीमा कहलायेगी।

प्रेक्षण एवं गणना (Observations and Calculations)—

क्रम संख्या (S.No.)	विवरण (Particulars)	1	2	3
1.	कन्टेनर संख्या			
2.	कन्टेनर का भार = W_1 (g)			
3.	कन्टेनर + गीली मृदा का भार = W_2 (g)			
4.	कन्टेनर + शुष्क मृदा का भार = W_3 (g)			
5.	जल का भार = $W_2 - W_3$ (g)			
6.	शुष्क मृदा का भार = $W_3 - W_1$ (g)			
7.	जलांश = $\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$			

औसत जलांश =

परिणाम (Result)—

दिये गये मृदा नमूने की सुघट्य सीमा ......% है।

सावधानियाँ (Precautions)—

1. परीक्षण कार्य में आसुत जल प्रयोग करना चाहिये।
2. मृदा में जल अच्छी भाँति मिलायें।
3. धागे का व्यास 3 mm होना चाहिये।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. कैसाग्रान्डे उपकरण में प्याली की पात ऊँचाई बताइये।
2. प्याली की पात ऊँचाई 1 cm समंजित करके दिखाओ।
3. द्रव सीमा की परिभाषा बताइये।
4. खाँचा काटने वाले औजारों के नाम बताइये।
5. द्रव सीमा उपकरण में हैन्डिल घुमाने की दर कितनी होती है?
6. सुघट्य सीमा की परिभाषा बताइये।
7. सुघट्यता सूचकांक बताइये।
8. धागे की मोटाई/व्यास कितनी होती है?
9. मृदा नमूने को छानने के लिये चालनी का नम्बर बताइये।
10. अटरबर्ग सीमाओं का क्या महत्व है?

पारगम्यता परीक्षण

प्रयोग संख्या-5

उद्देश्य (Object)—

दिये गये मृदा नमूने की स्थिर शीर्ष विधि एवं चर विधि से पारगम्यता गुणांक ज्ञात करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

1. पारगम्यतामापी साँचा (आधार प्लेट), शीर्ष प्लेट, कॉलर एवं रन्ध्र पत्थर (2 Nos) आदि।
2. रैमर (Rammer)
3. फिल्टर पेपर 2 Nos.।
4. ग्रीस (Grease)।
5. स्टॉप वाच (Stop watch)।
6. 500 c.c. धारिता का बीकर।
7. 10 mm और 4.75 mm I.S. चालनी।
8. थर्मामीटर।
9. तुला।
10. मीटर पैमाना, Pipes, रबड़ की गास्केट आदि।

सिद्धान्त (Theory)–

पारगम्यता मृदा का गुण है जिससे मृदा कणों के मध्य रिक्त स्थानों से जल बहकर निकल जाता है। **इकाई द्रवीय ढाल पर इकाई क्षेत्रफल में बहने वाले जल के प्रवाह की गति को पारगम्यता गुणांक कहते हैं। इसकी इकाई सेमी/सेकेण्ड होती है।**

स्थिर शीर्ष पारगम्यता परीक्षण स्थूल-कणीय मृदाओं के लिये किया जाता है।

K (पारगम्यता गुणांक) को निम्न सूत्र से ज्ञात करते हैं—

$$K = \frac{QL}{t \times h \times A}$$

जहाँ,
Q = निस्सरण की दर
L = नमूने की लम्बाई
h = पानी का शीर्ष

चर शीर्ष पारगम्यता परीक्षण सूक्ष्म-कणीय मृदाओं के लिये किया जाता है।

पारगम्यता गुणांक (K) को निम्न सूत्र से ज्ञात किया जाता है—

$$K = 2.3 \frac{a.L}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

जहाँ,
a = स्टैण्ड पाइप का क्षेत्रफल
h_1 = प्रारम्भिक शीर्ष समय t_1 पर
h_2 = अन्तिम शीर्ष समय t_2 पर
$t = t_1 - t_2$

विधि (Procedure)–

नमूना तैयार करना (Preparation of Sample)—

अक्षुब्ध प्रतिदर्श—

1. मृदा नमूने में से 85 mm एवं 127.3 mm ऊँचाई का नमूना सही तरीके से काट लें।
2. साँचे में नमूने के ऊपर-नीचे फिल्टर पेपर रखें।
3. साँचे एवं नमूने के बीच के खाली स्थान में अपारगम्य पदार्थ भर दें।
4. इसके बाद नमूने सहित साँचे (Mould) को आधार प्लेट (Base plate) पर रखें।

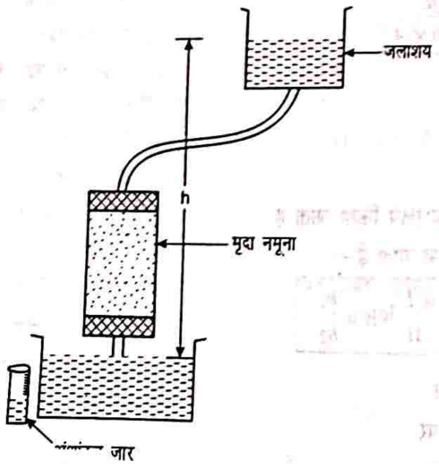
क्षुब्ध प्रतिदर्श—

1. प्रोक्टर संहनन परीक्षण के बाद अनुकूलतम जलांश एवं शुष्क घनत्व को ज्ञात करते हैं जहाँ पर Y_d ग्राम/cm^3 शुष्क घनत्व एवं जलांश ω % है।
2. साँचे का आयतन (V) 1000 c.c. होता है एवं Y_d शुष्क घनत्व g/cm^3 है तो शुष्क मृदा का भार (W) $= 1000\, Y_d$ होगा।
3. नमूने की मृदा में जल मिलाकर समांग (Homogeneous) रूप से तैयार करते हैं।
4. साँचे को आधार प्लेट में लगाकर मृदा नमूने को तीन परतों में रैमर से कुटाई (Compaction) करके भरते हैं।
5. साँचे (Mould) को पारगम्यता परीक्षण में प्रयोग हेतु लाते हैं।

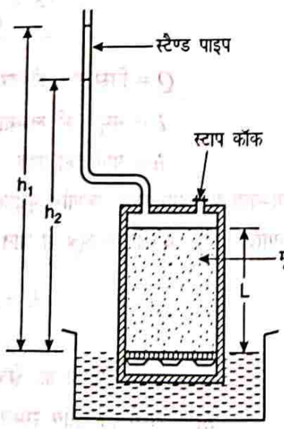
विधि (Procedure)–

(अ) स्थिर शीर्ष परीक्षण (Constant Head Test)

1. मृदा नमूने को संतृप्त करने के लिये स्थिर शीर्ष टंकी के Outlet नोजल को रबड़ ट्यूब द्वारा उपकरण साँचे की आधार प्लेट (Base plate) में लगी नॉजिल से जोड़ (Connect) देते हैं।
2. उपरोक्त क्रिया से नमूने से सम्पूर्ण वायु निकल जाती है और नमूना संतृप्त हो जाता है।
3. इसके बाद रबड़ ट्यूब Outlet से निकाल कर शीर्ष प्लेट के नोजल से जोड़ देते हैं। इससे जल नमूने से बहता हुआ आधार प्लेट (Base plate) के निकास द्वार (Outlet) से निकलना शुरू कर देता है।
4. जब जल निकलने की क्रिया स्थिर या शान्त हो जाये तो आधार प्लेट के नीचे मापन जार (Measuring cylinder) रखकर विराम घड़ी (Stopwatch) चला देते हैं।



चित्र-5.1. स्थिर शीर्ष पारगम्यतामापी



चित्र-5.2. चर शीर्ष पारगम्यतामापी

5. कुछ समय बाद मापन जार में प्राप्त जल की मात्रा का आयतन (Volume) ज्ञात करेंगे।
6. स्थिर शीर्ष टैंक के जल स्तर तथा आधार प्लेट के Outlet नोजल के केन्द्र तक ऊर्ध्वाधर दूरी नाप लें। यह दूरी जल शीर्ष (Water head) कहलायेगा।
7. मापन में जल को तीन बार प्राप्त कर जल की औसत मात्रा t समय में ज्ञात करें।

(ब) चर शीर्ष परीक्षण (Variable Head Test)

(i) मृदा नमूने में कणों के अनुसार उचित व्यास का Stand pipe लेते हैं।
(ii) मृदा नमूने को पूर्व परीक्षण की भाँति संतृप्त कर लेते हैं।
(iii) Stand pipe में जल भर कर निकास द्वार (Outlet) को रबड़ ट्यूब द्वारा उपकरण की शीर्ष प्लेट के नोजल से जोड़ (Connect) देते हैं।
(iv) जल नमूने से बहता हुआ आधार प्लेट (Base plate) के निकास द्वार (Outlet) से बाहर निकलने लगता है। कुछ समय पश्चात् निकास द्वार (Outlet) से बाहर आने वाला जल का प्रवाह (Flow) स्थिर हो जाता है।
(v) इसके बाद Stand pipe में जल स्तर (Water level) ज्ञात कर लेते हैं एवं स्टॉप वॉच (विराम घड़ी) चला देते हैं।
(vi) t समय बाद Stand pipe में पानी का स्तर नोट करते हैं।
(vii) इस क्रिया को तीन बार करते हैं।

प्रेक्षण एवं गणना (Observation and Calculations)–

स्थिर शीर्ष परीक्षण (Constant Head Test)—

(i) नमूने की लम्बाई = ... (cm)
(ii) नमूने का व्यास d = ... (cm)
(iii) नमूने का क्षेत्रफल $A = \frac{\pi}{4} d^2$ (cm^2)
(iv) जल शीर्ष h = ... (cm)
(v) तापक्रम T = ... °C

क्र० संख्या (S. No.)	जलशीर्ष h (cm)	समय t (sec)	पानी की मात्रा q (cm^3)	औसत पानी की मात्रा Q cm^3	पारगम्यता $K = \frac{Q.L}{A.ht}$ cm/sec
1.					
2.					
3.					
4.					

परिणाम (Result)—

मृदा का पारगम्यता गुणांक K = ... cm/sec.

सावधानियाँ (Precautions)—

1. उपकरण में किसी भी स्थान से जल का रिसाव न हो।
2. मृदा नमूना संतृप्त अवश्य कर लें।
3. प्रेक्षण लेने से पूर्व जल प्रवाह स्थिर कर लें।

प्रेक्षण एवं गणना (Observations and Calculations)—

चर शीर्ष परीक्षण (Variable Head Test)—

जल नली का व्यास d = ... cm

जल नली का अनुप्रस्थ क्षेत्रफल a = ... cm^2

मृदा नमूने की लम्बाई L = ... cm

मृदा नमूने का अनुप्रस्थ क्षेत्रफल A = ... cm^2

क्रम संख्या (S. No.)	प्रारम्भिक जल शीर्ष h_1 (cm)	अन्तिम जलशीर्ष h_2 in cm	समय t sec $(t_1 - t_2)$	औसत समय t sec	$\log_{10} \frac{h_1}{h_2}$	पारगम्यता $K = \frac{2.303\, aL}{A.t.} \times \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$, cm/sec

परिणाम (Result)—

मृदा की पारगम्यता गुणांक K = ... cm/sec है।

सावधानियाँ (Precautions)—

(i) मृदा नमूने में 10 mm से उच्च (Size) के कण न हों।

(ii) रबड़ ट्यूब से वायु निष्कासित कर दें।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. मृदा की पारगम्यता से क्या समझते हो?
2. डार्सी का नियम क्या है? पारगम्यता गुणांक की इकाई बताइये।
3. मृदा की पारगम्यता पर्तों के समानान्तर या ऊर्ध्वाधर दिशा में किसमें अधिक होती है?
4. डार्सी समीकरण को बताइये।
5. पारगम्यता को प्रभावित करने वाले कारक बताइये।
6. चर शीर्ष में पारगम्यता गुणांक (K) का सूत्र बताइये।
7. स्थिर शीर्ष में K का मान निकालने का सूत्र बताइये।
8. पारगम्यता साँचे (Mould) की माप बताइये।
9. पारगम्यता ज्ञात करने से पूर्व नमूने को संतृप्त क्यों करते हैं?
10. मृदा की पारगम्यता ज्ञात करने में क्षुब्ध या अक्षुब्ध नमूने में कौन-सा नमूना लिया जाता है?

सीधा अपरूपण सामर्थ्य परीक्षण (Direct Shear Test)

प्रयोग संख्या-6

उद्देश्य (Object)—

सीधा अपरूपण परीक्षण द्वारा मृदा नमूने (बालू) का आभासी ससंजन व आन्तरिक घर्षण कोण के मान ज्ञात करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

(i) अपरूपण बॉक्स, लोडिंग योक (Loading yoke), रन्ध्र युक्त पत्थर (6 mm thick), Size (60 × 60 mm), अपरूपण हेतु कन्टेनर, आधार प्लेट खाँचे कटी हुई अथवा ग्रिड प्लेट, लोडिंग फ्रेम आदि।

(ii) प्रूविंग (Proving ring) डायल गेज सहित क्षमता 200 kg, अल्पतमांक (Least count) डायल गेज 0.002 mm एवं अंशांकन चार्ट सहित।

(iii) स्पेचुला, तुला, विराम घड़ी, ओवन, क्रूसिबिल (Crucible), सीध रेखक (Straight edge)।

(iv) अभिलम्ब भार प्राप्त करने हेतु भार (0.05 kg/cm^2, 0.10 kg/cm^2, 0.20 kg/cm^2, 0.5 kg/cm^2 तथा 1.0 kg/cm^2)

सिद्धान्त (Theory)—

कूलम्ब नियम के अनुसार,

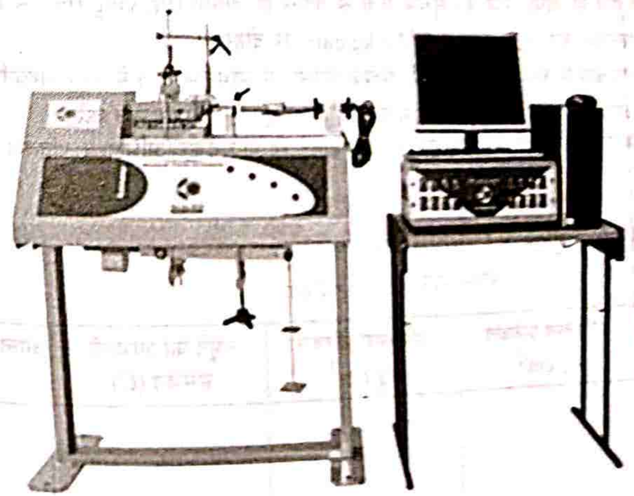
$$T_f = C + \sigma \tan\phi$$

जहाँ, T_f = मृदा की अपरूपण सामर्थ्य

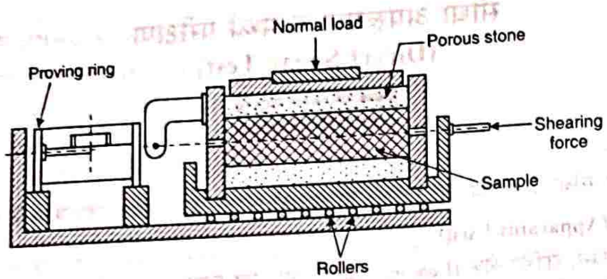
C = मृदा का ससंजन (Cohesion)

σ = अभिलम्ब प्रतिबल Normal stress, kg/cm^2

ϕ = विश्राम कोण (degree में)



चित्र-6.1. Direct Shear Apparatus



चित्र-6.2. Direct Shear Apparatus.

विधि (Procedure)—

1. अपरूपण बॉक्स के दोनों भागों को पेंचों की सहायता से जोड़ देते हैं। उसको अपरूपण पात्र में रखकर सरन्ध्र पत्थर अथवा ग्रिड प्लेट इस प्रकार रखो कि प्लेट के ग्रिड अपरूपण दिशा के लम्बवत् हो।
2. मृदा नमूने को बॉक्स में ग्रिड प्लेट के ऊपर रखकर ऊपर से भी एक ग्रिड प्लेट रखो। ग्रिड प्लेटें एक दूसरे के लम्बवत रहें।
3. धारण गद्दा (Loading pad) तथा उस पर धातु की गोली रखकर बक्से को खोल में रखकर अपरूपण मशीन पर रोलरों पर रखो।
4. बॉक्स के ऊपरी भाग को प्रूविंग रिंग (Proving ring) से जोड़ देते हैं।
5. धारण पैड (Loading Pad) के खाँचे में इस्पात की गोली रखकर विरूपण नापने के लिये डायलमापी लगाओ।
6. अपरूपण बॉक्स की पिनों को निकाल कर ऊपरी दो अन्य पेंचों की सहायता से उन्हें कसकर थोड़ा ऊपर उठा देते हैं।
7. सभी डायलमापी की सूई को शून्य पर लाते हैं।
8. लोडिंग फ्रेम में लीवर की सहायता से अभिलम्ब बल लगाते हैं एवं प्रत्येक 30 sec के बाद डायल के पाठ्यांक देखते रहें। बल तब तक लगायें जब तक कि नमूना विफल (Fail) न हो जाये।
9. नमूना विफल होते ही डायल गेज का सूचक तेजी से वापस हो जायेगा (Proving ring में देखें।)
10. यह क्रिया अपरूपण बल 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 kg/cm^2 पर दोहरायें।
11. उपरोक्त परीक्षण कम से कम 3 नमूने हेतु करें, प्रत्येक परीक्षण में अभिलम्ब बल में आये परिवर्तन नोट कर लें।
12. अभिलम्ब व अपरूपण बलों में ग्राफ खींचें तथा ग्राफ से C एवं ϕ के मान ज्ञात करें।

Note—अभिलम्ब बल को नमूने के क्षेत्रफल (6×6) cm^2 से भाग देकर अभिलम्ब प्रतिबल (Normal stress) ज्ञात कर लेते हैं।

प्रेक्षण एवं गणना (Observation & Calculations)—

बॉक्स माप $= 6 \times 6 \times 2$ cm

क्रम संख्या (S.No.)	अभिलम्ब प्रतिबल kg/cm^2	अपरूपण प्रतिबल kg/cm^2	नमूने का आभासी ससंजन (C)	आन्तरिक घर्षण कोण ϕ

परिणाम (Result)—

बालू के नमूने का आभासी ससंजन $C =$.... kg/cm^2

बालू का आन्तरिक घर्षण कोण $\phi =$.......

सावधानियाँ (Precautions)—

(i) परीक्षण में नमूने को कम्पन से सुरक्षित रखें।
(ii) अपरूपण बॉक्स का ऊपरी आधा भाग प्रूविंग (Proving ring) के सम्पर्क में रखना चाहिये।
(iii) अभिलम्ब बल ऊर्ध्वाधर (Vertical) हो तथा अपरूपण बल निश्चित दर से ही लगायें।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. अपरूपण सामर्थ्य क्या होती है? एवं कूलम्ब का नियम बताइये।
2. शुद्ध बालू के लिये C का मान बताओ।
3. शुद्ध मृत्तिका (Pure clay) हेतु ϕ का मान कितना होता है?
4. समायोजन पेंचों का उपयोग समझाइये।
5. ग्रिड प्लेटें एक-दूसरे के लम्बवत् क्यों लगाते हैं?
6. संशोधित कूलम्ब का नियम क्या है?
7. अपरूपण बॉक्स की माप बताइये।
8. प्रूविंग रिंग एवं डायल गेज में अन्तर बताइये।
9. डायल गेज का अल्पतमांक (Least count) बताइये।
10. ग्राफ पेपर में X-अक्ष एवं Y-अक्ष पर क्या दर्शाते हैं?
11. प्रभावी एवं उदासीन प्रतिबल क्या होते हैं?
12. अपरूपण सामर्थ्य ज्ञात करने की विधियों को बताइये।

अपरिरुद्ध संपीडन सामर्थ्य

प्रयोग संख्या-7

उद्देश्य (Object)—

मृदा नमूने की अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य ज्ञात करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

(i) अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य परीक्षण यन्त्र।
(ii) प्रूविंग रिंग (Proving ring) क्षमता—500 N एवं 1000 N।
(iii) डायल गेज (Dial gauge) अल्पतमांक = 0.01 mm।
(iv) वर्नियर कैलीपर्स।
(v) विद्युत भट्ठी (Oven)।
(vi) स्पेचुला।
(vii) सैम्पलिंग ट्यूब (Sampling tube) 3.8 व्यास एवं लम्बाई 7.6 cm.।
(viii) रिमोल्डिंग उपकरण।

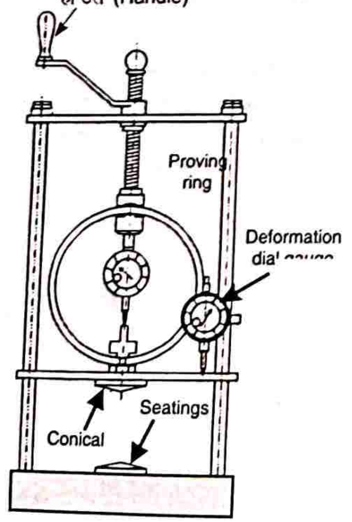
सिद्धान्त (Theory)—

मृदा प्रतिदर्श में विफल (Fail) होते समय उस पर कार्य करने वाले सम्पीडन बल तथा विफल होते समय उसके अनुप्रस्थ क्षेत्रफल का अनुपात, अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य कहलाती है, जबकि उस पर कोई पार्श्व दाब कार्य न कर रहा हो।

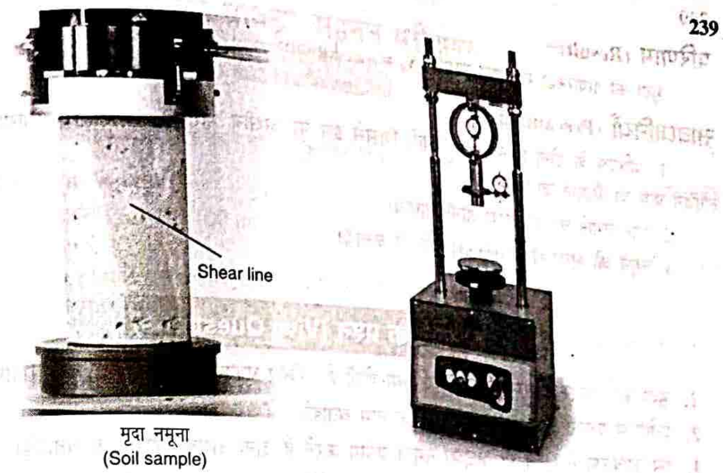
नोट—नमूने की अपरूपण सामर्थ्य इस अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य की आधी होती है।

$$q_u = \frac{S_u}{2}$$

जहाँ, q_u = अपरूपण सामर्थ्य
S_u = अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य



चित्र-7.1. अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य उपकरण



चित्र-7.2. अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य मशीन

विधि (Procedure)—

(i) मृदा नमूने को प्रतिदर्श यन्त्र से सावधानीपूर्वक निकाल कर व्यास का दोगुना काटकर टुकड़े में निकाल लो।

(ii) नमूने को उपकरण में स्थापित करके सम्पीडन बल मशीन द्वारा लगाओ जब तक कि नमूना विफल न हो जाये अथवा उसका 20% विरूपण हो जाये।

(iii) नमूना विफल होने पर डायल गेज की सुईं वापस होने का संकेत देने लगती है। कुछ मृदा नमूनों में डायल गेज की सुईं वापस नहीं होती है। ऐसी स्थिति में 20% विरूपण स्वीकार कर लें।

(iv) भार डायल गेज एवं विकृति (Strain) डायल गेज प्रत्येक 30 sec के बाद रीडिंग की जाँच करते रहें।

(v) नमूने का विफल कोण (Angle) एवं अनुप्रस्थ क्षेत्रफल नापते रहें।

(vi) विकृति दर 1/2 से 3 mm/minute हो।

प्रेक्षण एवं गणना (Observation and Calculations)—

क्रम संख्या (S.No.)	विवरण (Particulars)	परीक्षण संख्या	
		1	2
1.	मृदा प्रतिदर्श की परीक्षण के प्रारम्भ में लम्बाई = L_0 (cm)		
2.	मृदा प्रतिदर्श का परीक्षण के पूर्व व्यास = d_0 (cm)		
3.	मृदा प्रतिदर्श का प्रारम्भिक क्षेत्रफल = A_0 (cm^2)		
4.	परीक्षण समाप्त के बाद प्रतिदर्श की लम्बाई = L_1' (cm)		
5.	परीक्षण समाप्त के बाद प्रतिदर्श का व्यास = d_1 (cm)		
6.	परीक्षण समाप्त के बाद प्रतिदर्श का क्षे० = A_1 (cm^2)		
7.	विफल होते समय सम्पीडन बल = P kg		
8.	विकृति (Strain) = $\frac{L_0 - L_1}{L_0}$		
9.	अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य $S_u = \frac{P}{A_1}$ kg/cm^2		

परिणाम (Result)–

मृदा की अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य S_u = ... kg/cm²

सावधानियाँ (Precautions)–

1. प्रतिदर्श के दोनों किनारे ऐसे बनायें जिससे इस पर अक्षीय भार (Axis load) लगाया जा सके, एवं तरीके से लोडिंग फ्रेम पर बैठाया जा सके।
2. भार लगाने की दर स्थिर होनी चाहिये।
3. नमूने को क्षुब्ध (Disturbed) होने से बचायें।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. मृदा की अपरिरुद्ध सम्पीडन सामर्थ्य क्या होती है? किस प्रकार की मृदा के लिये परीक्षण करते हैं?
2. प्रयोग में प्रयुक्त होने वाले उपकरणों के नाम बताइये।
3. इस उपकरण में क्षुब्ध या अक्षुब्ध नमूना प्रयोग करते हैं दोनों अथवा कोई एक बताइये।
4. नमूने की विफलता (Failure) किस प्रकार पहचानेंगे?
5. बल किस दर से लगाना चाहिये?
6. संतृप्त नमूने हेतु आन्तरिक घर्षण कोण का मान बताइये।

मानक प्रोक्टर संहनन परीक्षण

प्रयोग संख्या-8

उद्देश्य (Object)—

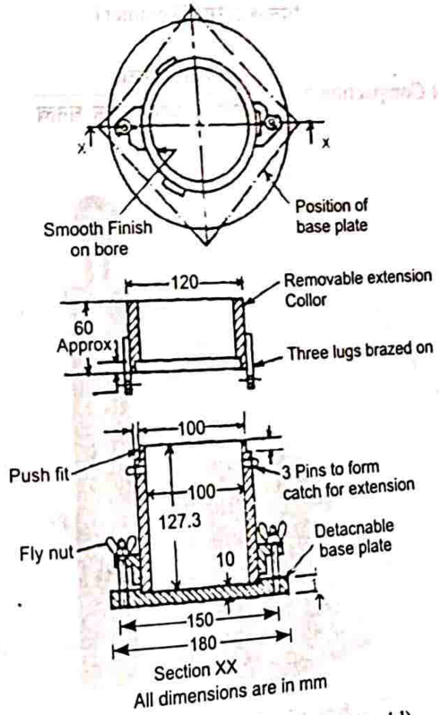
मानक प्रोक्टर संहनन उपकरण द्वारा मृदा नमूने का अनुकूलतम जलांश (O.M.C.) व अधिकतम शुष्क घनत्व ज्ञात करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

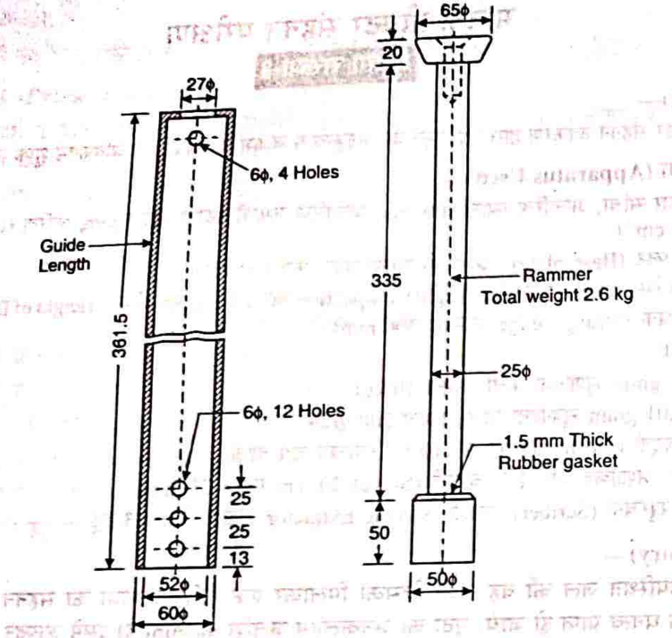
1. बेलनाकार साँचा, आन्तरिक व्यास 100 mm, आन्तरिक प्रभावी गहराई 127.3 mm, धारिता (Capacity) 1000 c.c. or cm³।
2. आधार प्लेट (Base plate) अलग से लगाने वाला कॉलर (Collar)।
3. धातु का रैमर (हल्के संहनन हेतु) Light Compaction भार 2.6 kg, पात ऊँचाई (Height of Drop 310 mm)
4. सीध रेखक (Straight edge) लम्बाई 300 mm।
5. स्पेचुला।
6. तुला 1 gram सुग्राहिता वाला, क्षमता 10 kg।
7. तुला 0.01 gram सुग्राहिता वाला, क्षमता 200 gram।
8. वैद्युत भट्ठी (Oven) 105°C से 110°C नियन्त्रित ताप वाली।
9.. कन्टेनर, अंशांकित जार, I.S. चालनी (Sieve) 20 mm एवं 4.75 mm।
10. करनी, खुरचनी (Scriber), तसला, Sample Extractor प्रतिदर्श निकालने हेतु।

सिद्धान्त (Theory)—

मृदा में उपस्थित जल की वह मात्रा जिसको मिलाकर एक निश्चित मात्रा का संहनन करने पर मृदा का अधिकतम शुष्क घनत्व प्राप्त हो जाये, मृदा का अनुकूलतम जलांश कहलाता है। इसमें आयतन (Volume) कम हो जाता है।

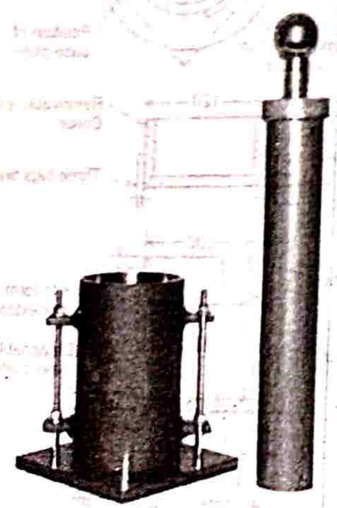


चित्र-8.1. प्रोक्टर साँचा (Proctor Mould)



चित्र-8.2. रैमर (Rammer)

$$\text{Percent Compaction} = \frac{\text{स्थल घनत्व}}{\text{प्रयोगशाला में प्राप्त शुष्क घनत्व}}$$



चित्र-8.3. प्रोक्टर साँचा एवं रैमर

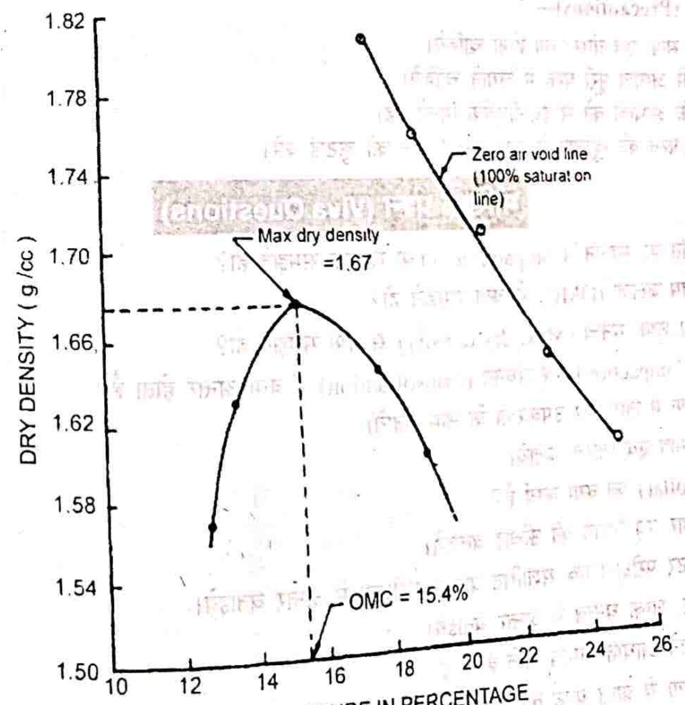
विधि (Procedure)—

1. 18 kg शुष्क मृदा लेकर 1000 c.c. साँचे के लिये तैयार करो। छानने के लिये 20 mm चालनी का प्रयोग करते हैं एवं 2250 c.c. साँचे के लिये 40 kg शुष्क मृदा I.S. चालनी 4.75 mm से छनी हुई लेते हैं।
2. इस मृदा से लगभग परीक्षण हेतु 2.5 kg मात्रा लेकर उसमें अंशांकित जार से 4% आसुत जल मिलाकर मृदा संहनन (Compaction) हेतु तैयार करते हैं।
3. साँचे में ग्रीस लगाकर साँचे का भार नोट कर लेते हैं। आधार प्लेट लगाकर भार लेते हैं। कॉलर का भार नहीं लेते हैं।
4. Sandy soil हेतु 4% से 5% एवं Clayey soil हेतु 8%–10% पानी की मात्रा लेते हैं।
5. 6 नमूनों हेतु मृदा तैयार कर लेते हैं।
6. नम मृदा को साँचे में तीन परतों में भरते हैं। प्रथम परत साँचे की गहराई का 1/3 भाग भरते हैं और रैमर प्रत्येक स्थान पर 25 आघात लगाकर कुटाई करते हैं। रैमर का पात 31 cm होना चाहिये।
7. द्वितीय परत भरने से पूर्व प्रथम परत को खुरचनी से खरोंच कर द्वितीय परत भर कर पूर्व की भाँति कुटाई करते हैं।
8. तृतीय परत भरने से पूर्व साँचे में कॉलर लगा दें और द्वितीय परत को खरोंच कर भरते हैं और कुटाई करते है और कॉलर हटाकर कन्नी या स्पेचुला से अतिरिक्त मृदा हटा देते हैं।
9. साँचे को बाहर से साफ करके साँचे को मृदा सहित तौल लेते हैं।
10. साँचे के मध्य से मृदा निकालकर कन्टेनर में रखकर उसका जलांश ज्ञात कर लेते हैं।
11. उपरोक्त क्रिया करके अन्य नमूनों का जलांश ज्ञात कर लेते हैं।

नोट—(i) 4% जलांश प्रारम्भ के बाद अगले नमूनों में 3% जल की मात्रा बढ़ाते हुये प्रेक्षण प्राप्त किये जाते हैं।

(ii) तृतीय परत भरने से पूर्व कॉलर लगाना आवश्यक इसलिये है ताकि तृतीय परत में रैमर से कुटाई करने के बाद मृदा साँचे में ऊपर तक रहे।

(iii) प्रत्येक परत भरने से पूर्व खरोंचना आवश्यक इसलिये है ताकि प्रत्येक परत में आपस में पकड़ बनी रहे।



Dry density v/s moisture content

प्रेक्षण एवं गणना (Observation and Calculations)—

दिनांक ......

मृदा नमूना संख्या ....

क्रम संख्या (S.No.)	विवरण (Particulars)	नमूनों की संख्या (Samples Nos.) 1	2	3	4	5	6
1.	खाली साँचे का भार = W_1 g						
2.	साँचा + संहनित मृदा का भार = W_2 g						
3.	संहनित मृदा का भार = $(W_2 - W_1)$ g						
4.	मृदा का स्थूल घनत्व $Y_b = (W_2 - W_1) / V$ g/cc						
5.	कन्टेनर संख्या						
6.	खाली कन्टेनर का भार = W_3 g						
7.	कन्टेनर + नम मृदा का भार = W_4 g						
8.	कन्टेनर + शुष्क मृदा का भार = W_5 g						
9.	जल की मात्रा = $(W_4 - W_5)$ g						
10.	शुष्क मृदा का भार = $(W_5 - W_3)$ g						
11.	मृदा का जलांश $\omega = \dfrac{W_4 - W_5}{W_5 - W_3}$						
12.	मृदा का शुष्क घनत्व $Y_d = \dfrac{Y_b}{1+\omega}$						

परिणाम (Result)—

जलांश एवं शुष्क घनत्व के खीचे ग्राफ से मृदा का अनुकूलतम जलांश (OMC) = ...%

अधिकतम शुष्क घनत्व (Max. dry density) = ... g/cm^3

सावधानियाँ (Precautions)—

1. साँचा साफ एवं ग्रीस लगा होना चाहिये।
2. रैमर से आघात पूरी परत में लगाने चाहियें।
3. रैमर के आघातों को सावधानीपूर्वक गिनते रहें।
4. प्रत्येक परत को खुरचने के बाद दूसरी परत की कुटाई करें।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. मृदा संहति की संहनन (Compaction) क्रिया से क्या समझते हो?
2. अनुकूलतम जलांश (OMC) से क्या समझते हो?
3. अधिकतम शुष्क घनत्व (Max. dry density) से क्या समझते हो?
4. संहनन (Compaction) एवं संघनन (Consolidation) में क्या अन्तर होता है?
5. इस परीक्षण में लाये गये उपकरणों के नाम बतायें।
6. साँचे की माप एवं धारिता बतायें।
7. कॉलर (Collar) का क्या कार्य है?
8. रैमर का भार एवं गिराने की ऊँचाई बताइये।
9. मानक प्रोक्टर परीक्षण एवं संशोधित प्रोक्टर परीक्षण में अन्तर बताइये।
10. स्थूल घनत्व, शुष्क घनत्व में अन्तर बताइये।
11. रैमर से कितने आघात लगाये जाते हैं?
12. प्रोक्टर परीक्षण में प्राप्त ग्राफ को बनाकर दिखाइये।

स्थलीय घनत्व (Field Density)

प्रयोग संख्या-9(A)

उद्देश्य (Object)—

क्रोड कर्तनी (Core cutter) की सहायता से क्षेत्र में मृदा का शुष्क घनत्व ज्ञात करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

1. बेलनाकार (Cylindrical) क्रोड कर्तनी (Core cutter)।
2. डॉली (Dolly) व रैमर (Rammer)।
3. चाकू, फावड़ा।
4. तुला, ताप नियन्त्रित भट्ठी, स्क्रेपर, कन्टेनर आदि।

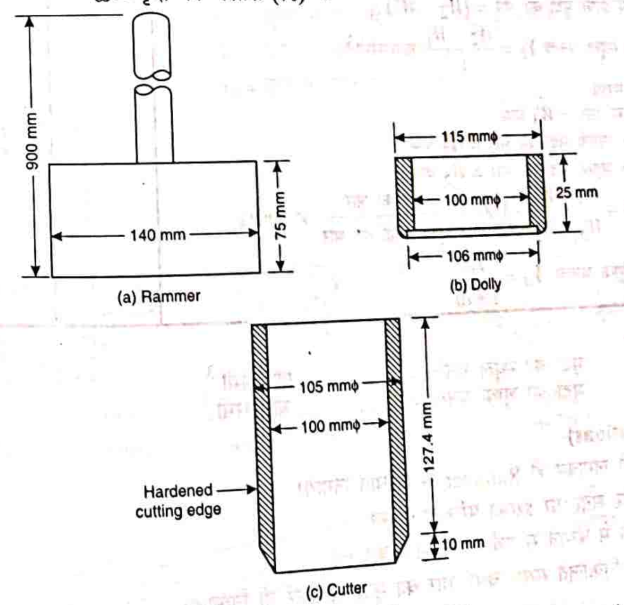
सिद्धान्त (Theory)—

सड़क निर्माण तथा अन्य भराव वाले कार्यों में मृदा की कुटाई करना आवश्यक है। यह क्रिया मृदा की स्थिरता, टिकाऊपन व अन्य सिविल इन्जीनियरिंग गुणों में सहायक है। इन गुणों को बढ़ाने हेतु कुटाई करना आवश्यक है। उपरोक्त गुणों को प्राप्त करने के लिये स्थलीय घनत्व ज्ञात किया जाता है। स्थूल घनत्व, शुष्क घनत्व जितना अधिक प्राप्त होगा, संघनन (Compaction) उतना ही अच्छा कहलायेगा।

यहाँ स्थूल घनत्व (Bulk density)

$$Y_b = W / V \text{ gram/cm}^3 \text{ एवं शुष्क घनत्व } Y_d = \frac{Y_b}{1+\omega} \text{ g/cm}^3 \text{ होगा}$$

जहाँ,
Y_b = स्थूल घनत्व (Bulk density) (g/cm^3)
Y_d = शुष्क घनत्व (Dry density) (g/cm^3)
V = मृदा का आयतन (cm^3)
ω = मृदा का जलांश (%) में



चित्र-9.A.1. क्रोड कर्तनी उपकरण

विधि (Procedure)—

1. इस विधि में सर्वप्रथम क्रोड कर्तनी साँचे का आन्तरिक व्यास व गहराई ज्ञात करके साँचे का आयतन (V) ज्ञात करते हैं। (यही मृदा का आयतन कहलायेगा)।
2. स्थल की सफाई करके साँचे में डॉली लगाकर दुरमुट (Rammer) की सहायता से क्रोड कर्तनी (Core cutter) को भूमि में पूरा धँसा देते हैं। धँसाने में यह ध्यान रखें कि क्रोड कर्तनी ऊर्ध्वाधर धँसे, उत्केन्द्रित (Eccentric) न होने पाये।
3. क्रोड कर्तनी को चारों ओर को मृदा हटाकर क्रोड कर्तनी को मृदा सहित बाहर निकाल कर उसका भार (W) ज्ञात कर लेते हैं।
4. यह ध्यान रहे कि क्रोड कर्तनी साफ कर ली जाये, अतिरिक्त मृदा काट कर निकाल दें।
5. क्रोड कर्तनी में भरी मृदा का आयतन क्रोड कर्तनी के आयतन के बराबर होगा।
6. अब क्रोड कर्तनी में भरी मृदा का कुछ नमूना लेकर जलांश ज्ञात कर लें।
7. यह क्रिया तीन स्थानों पर क्रोड कर्तनी को धँसा कर औसत प्राप्त कर लें।

प्रेक्षण एवं गणना (Observation and Calculations)—

A. क्रोड कर्तनी विधि—

मृदा प्रतिदर्श नम्बर = ... दिनांक ....

क्रोड कर्तनी का आन्तरिक व्यास d = ... सेमी०

क्रोड कर्तनी की गहराई/ऊँचाई h = ... सेमी०

क्रोड कर्तनी का आयतन V = ... सेमी०^3

क्रोड कर्तनी का खाली भार W_1 = ... ग्राम

क्रम संख्या S.No.	विवरण (Particulars)	संख्या 1	2	3
1.	क्रोड कर्तनी का खाली भार = W_1 ग्राम			
2.	क्रोड कर्तनी + धँसाने से प्राप्त मृदा का भार W_2 ग्राम			
3.	धँसाने से प्राप्त मृदा का भार = $(W_2 - W_1)$ g			
4.	मृदा का स्थूल घनत्व $Y_b = \frac{W_2 - W_1}{V}$ ग्राम/सेमी^{3}			
5.	कन्टेनर संख्या			
6.	कन्टेनर का भार = W_3 ग्राम			
7.	कन्टेनर + गीली मृदा का भार = W_4 ग्राम			
8.	कन्टेनर + शुष्क मृदा का भार = W_5 ग्राम			
9.	जलांश $\omega = \frac{W_4 - W_5}{W_5 - W_3} \times 100 = \frac{\text{जल का भार}}{\text{मृदा कणों का भार}} \times 100\%$			
10.	मृदा का शुष्क घनत्व $Y_d = \frac{Y_b}{1+\omega}$			

परिणाम (Result)—

मृदा का स्थूल घनत्व = ... ग्राम/सेमी.^{3}

मृदा का शुष्क घनत्व = ... ग्राम/सेमी.^{3}

सावधानियाँ (Precautions)—

(1) कर्तनी में डॉली लगाकर ही Rammer से आघात लगायें।

(2) बजरी या कठोर सतह पर इसका परीक्षण न करें।

(3) कर्तनी को भूमि में धँसाने से पूर्व स्थल साफ कर लें।

(4) कर्तनी भूमि से निकालते समय चारों ओर की मृदा खोदकर ही निकालें।

रेत प्रतिस्थापन विधि

प्रयोग संख्या 9(B)

उद्देश्य (Object)—

मृदा का स्थलीय घनत्व रेत प्रतिस्थापन विधि (Sand replacement method) से प्राप्त करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus Used)—

1. रेत बहाव सिलिण्डर (Sand Pouring cylinder)
2. अंशांकन सिलिण्डर (Calibration cylinder)
3. लोहे की वर्गाकार ट्रे, जिसके मध्य में अंशांकन सिलिण्डर के व्यास के बराबर छिद्र (Hole) हो।
4. काँच की प्लेट (Glass plate)।
5. हथौड़ा, लम्बी छेनी, मिट्टी निकालने का औजार।
6. I.S. 600 μ(माइक्रोन) की चालनी।
7. कन्टेनर, ओवन, तुला आदि।

सिद्धान्त (Theory)—

सड़क निर्माण तथा अन्य भराव वाले कार्यों में मृदा की कुटाई करना आवश्यक है। यह क्रिया मृदा की स्थिरता, टिकाऊपन व अन्य सिविल इन्जीनियरिंग गुणों में सहायक है। इन गुणों को बढ़ाने हेतु कुटाई करना आवश्यक है। उपरोक्त गुणों को प्राप्त करने के लिये स्थलीय घनत्व ज्ञात किया जाता है। स्थूल घनत्व, शुष्क घनत्व जितना अधिक प्राप्त होगा, संघनन (Compaction) उतना ही अच्छा कहलायेगा।

यहाँ स्थूल घनत्व (Bulk density)

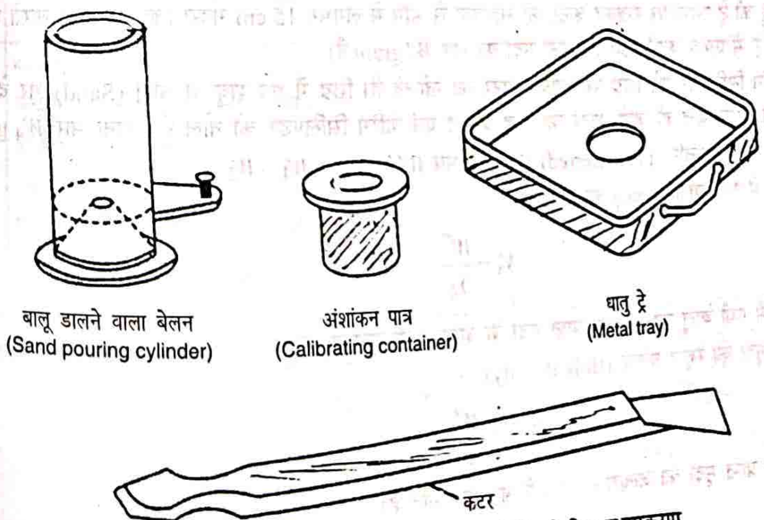
$$Y_b = W / V \text{ gram/cm}^3 \text{ एवं शुष्क घनत्व } Y_d = \frac{Y_b}{1+\omega} \text{ g/cm}^3 \text{ होगा}$$

जहाँ, Y_b = स्थूल घनत्व (Bulk density) (g/cm^3)

Y_d = शुष्क घनत्व (Dry density) (g/cm^3)

V = मृदा का आयतन (cm^3)

ω = मृदा का जलांश (%) में



चित्र-9.B1. रेत-बहाव सिलिण्डर एवं कैलीब्रेटिंग सिलिण्डर उपकरण

विधि (Procedure)—

A. शंकु (Cone) में भरी बालू का भार ज्ञात करना

1. रेत बहाव सिलिण्डर (Pouring cylinder) में 1 cm का गैप रखते हुये स्वच्छ एवं सूखी बालू भरते हैं। माना यह भार W_1 gram है।

2. काँच की प्लेट पर रेत बहाव सिलिण्डर (Pouring cylinder) को रखकर सिलिण्डर का शटर (Shutter) खोलते हैं। जब बालू का धँसना बन्द हो जाये तो शटर को बन्द कर देते हैं और पोरिंग सिलिण्डर को हटा देते हैं। काँच की प्लेट में रखी बालू का भार तौल लेते हैं। माना भार W_2 gram है। इस क्रिया को तीन बार करते हैं। यह W_2 भार, शंकु में भरी जाने वाली बालू का भार है।

3. सिलिण्डर में काँच की प्लेट की बालू वापस भर दें एवं पुनः प्रारम्भिक भार W_1 प्राप्त कर लेते हैं।

B. बालू (Sand) का स्थूल घनत्व (Bulk density) ज्ञात करना।

1. रेत बहाव सिलिण्डर (Sand pouring cylinder) को कैलीब्रेटिंग सिलिण्डर पर रखें, एवं शटर को खोलें। बालू प्रथम कैलीब्रेटिंग सिलिण्डर को भरेगी बाद में शंकु को भरेगी।

2. जब रेत बहना/धँसना बन्द कर दे, शटर को बन्द कर दें।

3. इसके बाद पोरिंग सिलिण्डर को तौल लें। माना भार W_3 gram है। औसत भार ज्ञात करने के लिये परीक्षण क्रिया तीन बार करते हैं।

4. कैलीब्रेटिंग सिलिण्डर का आन्तरिक व्यास एवं गहराई ज्ञात करके सिलिण्डर का आयतन ज्ञात करें लेते हैं

$$V = (\pi/4)\,d^2 h$$

जहाँ, d = आन्तरिक व्यास, h = गहराई/ऊँचाई

5. कैलीब्रेटिंग सिलिण्डर में बालू का भार

$$W = W_1 - W_3 - W_2$$

6. रेत (sand) का स्थूल घनत्व (Bulk density)

$$Y_b = \frac{W}{V} = \frac{W_1 - W_3 - W_2}{V}$$

(C) मृदा का स्थूल घनत्व (Bulk density) ज्ञात करना—

1. मृदा का घनत्व ज्ञात करने वाले स्थल की घास साफ करके समतल कर लेते हैं।

2. धातु की ट्रे स्थल पर रखकर कटर की सहायता से भूमि में लगभग 15 cm गहरा छिद्र (Hole) करते हैं। छिद्र से प्राप्त मृदा को ट्रे में एकत्र करते रहते हैं। माना मृदा का भार W' gram है।

3. पोरिंग सिलिण्डर को छिद्र पर रखकर शटर को खोलते हैं। छिद्र में एवं शंकु में बालू (Sand) भर देते हैं। जब बालू का बहना/धँसना बन्द हो जाये, शटर को बन्द कर दें एवं पोरिंग सिलिण्डर को तौल लें। माना भार W_4 gram है।

4. छिद्र में स्थानान्तरित (Transferred) बालू का भार $W'' = (W_1 - W_4 - W_2)$

5. छिद्र में गयी बालू (sand) का आयतन

$$V_s = \frac{W''}{Y_b}$$

6. छिद्र में गयी बालू का आयतन प्राप्त मृदा के आयतन के बराबर होगा।

7. अतः मृदा का स्थूल घनत्व (Bulk density)

$$Y_b(\text{मृदा}) = \frac{W'}{V}$$

8. छिद्र से प्राप्त मृदा का जलांश (ω) % में ज्ञात कर लेते हैं।

9. मृदा का शुष्क घनत्व ज्ञात कर लेते हैं।

$$\text{मृदा का शुष्क घनत्व } Y_d = \frac{Y_b}{1+\omega}$$

प्रेक्षण एवं गणना (Observation and Calculations)—

क्र० सं० (S. No.)	विवरण (Particulars)	परीक्षण संख्या (1)	(2)	(3)	(4)
1.	रेत बहाव सिलिण्डर + बालू का भार = W_1 g				
2.	शंकु में बालू का भार = W_2 g				
3.	कैलीब्रेटिंग सिलिण्डर में बालू भरने के बाद रेत बहाव सिलिण्डर का भार = W_3 g				
4.	कैलीब्रेटिंग सिलिण्डर में बालू का भार $W = (W_1 - W_3 - W_2)$				
5.	कैलीब्रेटिंग सिलिण्डर का आयतन V = ... सेमी^{3}				
6.	बालू का स्थूल घनत्व $Y_b = W/V$				
7.	छिद्र से प्राप्त मृदा का भार = W' g				
8.	बालू को छिद्र में डालने के बाद रेत बहाव सिलिण्डर का भार = W_4 g				
9.	छिद्र में बालू का भार $W'' = (W_1 - W_4 - W_2)$ g				
10.	छिद्र में मृदा का आयतन = छिद्र में बालू का आयतन $V_S = \frac{W''}{Y_b}$ g/cm^3				
11.	मृदा का स्थूल घनत्व $Y_b = \frac{W'}{V_S}$ g/cm^3				

जलांश का निर्धारण—

क्र० सं० (S. No.)	कन्टेनर संख्या	(1)	(2)	(3)
1.	कन्टेनर + नम मृदा का भार = W_1 g			
2.	कन्टेनर + शुष्क मृदा का भार = W_2 g			
3.	कन्टेनर का खाली भार = W_3 g			
4.	नम मृदा का भार $W_4 = (W_1 - W_3)$ g			
5.	शुष्क मृदा का भार $W_5 = (W_2 - W_3)$ g			
6.	पानी का भार $W = (W_4 - W_5)$ g जलांश $\omega = W/W_S$ (%) में			

गणना—मृदा का शुष्क घनत्व (Dry density)

$$Y_d = \frac{Y_b}{1+\omega}$$

Y_b = मृदा का स्थूल घनत्व g/cm^3

ω = मृदा का जलांश (%)

परिणाम (Result)—

मृदा का स्थूल घनत्व = ... g/cm^3
मृदा का शुष्क घनत्व = ... g/cm^3

सावधानियाँ (Precautions)—

(i) बालू स्वच्छ एवं साफ होना चाहिये।
(ii) शटर को पूर्णत: बन्द कर देना चाहिये।
(iii) प्रारम्भ से अन्त तक परीक्षण में रेत बहाव सिलिण्डर (Sand pouring cylinder) में रेत का भार हमेशा एक-सा रखें।
(iv) स्थल पर बनाये छिद्र में रखते समय पोरिंग सिलिण्डर उत्केन्द्रित न होने पाये।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. इस परीक्षण का I.S. कोड नम्बर बताइये।
2. प्रारम्भ में बालू का घनत्व क्यों ज्ञात करते हैं?
3. क्या इस परीक्षण में बालू के स्थान पर स्वच्छ एवं सूखा नमक प्रयोग कर सकते हैं?
4. मृदा का शुष्क घनत्व क्या होता है?
5. मृदा का स्थूल घनत्व ज्ञात होने पर शुष्क घनत्व किस प्रकार ज्ञात कर सकते हैं?
6. क्रोड कर्तनी एवं रेत प्रतिस्थापन विधि में कौन सी विधि अच्छी मानते हो?
7. बालू डालने वाले सिलिण्डर के नीचे शंकु का क्या कार्य है?
8. यदि छिद्र का व्यास एवं गहराई कैलीब्रेटिंग सिलिण्डर से अधिक रखें तो क्या होगा?
9. स्थल पर खोदे गये छिद्र का आयतन कैसे ज्ञात करेंगे?
10. छिद्र की न्यूनतम गहराई बताइये।

मृदा बेधन परीक्षण

प्रयोग संख्या 10

उद्देश्य (Object)—

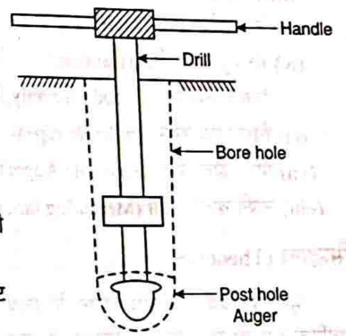
दिये गये स्थल पर बरमा वेधन एवं मानक वेधन परीक्षण संचालित करना।

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus used)—

(i) पोस्ट छेद बरमा (Post hole Auger)
(ii) 1 मीटर लम्बाई की विस्तार छड़ (Extension rod of 1 m length)
(iii) हत्थे को जोड़ने के लिये टी टुकड़ा (T-piece for fitting in the handle)
(iv) बरमा को घुमाने के लिये हैन्डिल
(v) रेन्च (Wrenches)
(vi) मापने का टेप (Measuring tape)
(vii) कन्नी (Trowel)

सिद्धान्त (Theory)—

अधोभूमि अथवा उपमृदा अन्वेषण का सबसे सरल तरीका बरमा वेधन है। बरमा वेधन में बोरहोल लॉग (borehole log) एवं मृदा वर्गीकरण की सूचना प्राप्त होती है। बरमा बेधन से अक्षुब्ध मृदा प्रतिदर्श प्राप्त होते हैं। इन प्रतिदर्शों से अनेक प्रकार के परीक्षण किये जा सकते हैं।



चित्र 1–बरमा बेधन

विधि (Procedure)

(i) जिस स्थल पर परीक्षण करना हो वहाँ घास की सफाई करनी चाहिये।
(ii) सतह पर पोस्ट होल बरमे की टिप रखकर हैन्डिल को फिट करें/जोड़ दें।
(iii) हैन्डिल की सहायता से बरमे को ऊर्ध्वाधर दिशा में घुमायें।
(iv) बकेट मृदा से भर जाने के बाद बरमे को भूमि से बाहर कर देना चाहिये।
(v) कन्नी की सहायता से बरमे से मृदा को अलग कर लें।
(vi) पॉलीथीन बैग में मृदा प्रतिदर्श को रख लें। अगर स्थल पर अलग प्रकार की मृदायें प्राप्त हो रही हैं तो उन्हें अलग-अलग पॉलीथिन बैगों में एकत्र कर लें।
(vii) यदि अधिक गहराई तक बोरिंग बढ़ानी है तो विस्तार छड़ें (extension rods) का प्रयोग करना चाहिये।
(viii) भौम जल तल की गहराई मापने वाले टेप में पत्थर बाँधकर (lowering) नीचे करके नाप लेनी चाहिये।

प्रेक्षण (Observations)–

दिनांक ....

स्थल बेधन अभिलेख (Field boring record)

स्थान ....
वेधन संख्या ....

वेधन छेद का व्यास ....
वेधन को गहराई ....
प्रतिदर्श संख्या ....
प्रतिदर्श प्राप्त करने की गहराई ....
प्रतिदर्श का प्रकार .... मृदा का प्रकार ....
भौम जल तल की गहराई ....

सावधानियाँ (Precautions)

(i) वेधन ऊर्ध्वाधर करना चाहिये। बरमे को सदैव ऊर्ध्वाधर ही रखना चाहिये एवं हत्थों को समान रूप से घुमाना चाहिये।

(ii) बलुई मृदा में बोरिंग में यह ध्यान रखें कि छेद ढह न जाये। अगर आवरण पाइप की आवश्यकता हो तो प्रयोग करके बोरिंग लगातार जारी रखें।

(B) मानक वेधन परीक्षण (Standard penetration test) or SPT

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus used)—

(i) विभक्त चामस प्रतिदर्श यन्त्र (Split spoon sampler)
(ii) 1 मीटर की विस्तार छड़ (Extension rod)
(iii) मार्गदर्शक छड़ (Guide rod)
(iv) 65 kg का हथौड़ा (Hammer)
(v) त्रिपाद व्यवस्था (Tripod assembly)
(vi) घिरनी एवं रस्सा (Pulley & rope)
(vii) पोस्ट होल बरमा (Post hole Auger)
(viii) नापने वाला फीता (Measuring tape)

सिद्धान्त (Theory)–

मृदा का वेधन प्रतिरोध जानने के लिये मानक वेधन परीक्षण किया जाता है जिसे 'N' मान (value) कहते हैं। प्राथमिक स्तर पर यह गुणात्मक परीक्षण है। मृदा गुणों को प्राप्त करने के लिये यह परीक्षण शुद्ध विवेचना करता है। विशेषत: यह परीक्षण कणीय मृदाओं हेतु है। 'N' मान के द्वारा अपवाहित (undrained) अपरूपण सामर्थ्य ज्ञात करते हैं। C_u का मान ससंजक मृदा हेतु प्राप्त करने के लिये एक सरल समीकरण प्रयोग करते हैं—

$$C_u = KN$$

K = स्थिरांक (औसत मान 4.5 kN/m^2 हेतु)

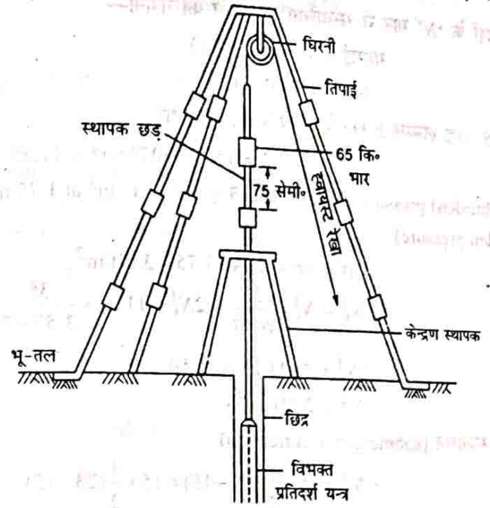
***N* value :** किसी मृदा (soil) का N मान उस मृदा में प्रतिदर्श यन्त्र पर 65 kg का भार 75 cm की ऊँचाई से गिराकर प्रतिदर्श यंत्र को 30 cm प्रवेश कराने के लिये आवश्यक आघातों की संख्या को कहते हैं। यह मृदा के वेधन प्रतिरोध को दर्शाता है।

विधि (Procedure)–

(i) बोर होल को छेद (drill) करें, उचित गहराई तक एवं पूर्णत: साफ भी करें।

(ii) बोर होल के ऊपर त्रिपाद व्यवस्था (tripod assembly) स्थापित करके घिरनी और रस्सा व्यवस्था लगाकर हथौड़े को ऊपर-नीचे करते हैं।

(iii) विभक्त चामस प्रतिदर्श यन्त्र (split spoon sampler) को छेद में रखकर ड्रिल छड़ में जोड़ देते हैं।



चित्र-10.2 : मानक वेधन परीक्षण उपकरण

(iv) गाइड रॉड को ड्रिल रॉड से जोड़कर इस पर हथौड़ा रखते हैं।

(v) हथौड़े के हल्के आघात से सैम्पलर को 15 cm गहराई तक धँसा देते हैं।

(vi) हथौड़े को 75 cm ऊँचाई से उठाते-गिराते हैं और सैम्पलर के 30 cm धँसने तक आघातों (blows) की संख्या नोट कर लेते हैं। यही आघातों की संख्या 'N' का मान होता है।

(vii) सतह पर सैम्पलर को निकालकर इसे खोलते हैं और प्रतिदर्श को निकालकर सील कर लें।

(viii) 150 mm धँसाने तक घन के आघातों की संख्या नोट कर लेते हैं। पुन: 150 mm गहराई तक धँसाने तक घन के आघातों की संख्या नोट कर ली जाती है और अन्तिम अन्तराल के 150 mm पर आघातों की संख्या N को नोट कर लेते हैं।

प्रेक्षण तालिका–

JOB ....   बोर होल का व्यास = ...

S.N.	बोर होल नं०	गहराई सेमी०	प्राप्त 'N' मान (आघात)	संशोधित 'N' मान N_c (आघात)
1.	1	1.75	15	19
2.		2.75	12	17
3.		3.75	09	14
4.	....	1.75	13	17
5.	.... 2	2.75	11	16
6.	....	3.75	10	15
7.	....	1.75	13	17
8.	3	2.75	10	15
9.		3.75	09	14

गणना (Calculation)–

प्रेक्षण से प्राप्त प्रतिदर्श के 'N' मान से सम्बन्धित 'N' मान की गणना—

बैच नं० 1 के लिये, गहराई = 1.75 cm (मी०)

प्राप्त 'N' मान = 15

संशोधन गुणांक 0.75, छड़ लम्बाई ≥ 3m के लिये प्रयोग करने पर

$$N_c' = 0.75N = 0.75 \times 15 = 11.25$$

अधिक दबाव (overburden) pressure के लिये संशोधन $\gamma = 2.14\ t/m^3$ at 1.75 m गहराई पर प्रभावी अधिक दबाव (effective overburden pressure)

$$\sigma' = \gamma h = 2.14 \times 1.75 = 3.57 t/m^2$$

$$N_c^2 = N_c^1 \times \frac{35}{\alpha'+7} \not> 2N_c^1 = 11.25 \times \frac{35}{3.57+7} = 37.25$$

$$2N_c^1 = 2 \times 11.25 = 22.50$$

$$N_c^2 = 22.50 = 23$$

जल मग्नता/निमज्जन संशोधन (submergence correction)

$$N_c^3 = 15 + \frac{1}{2}(N_c^2 - 15) = 15 + \frac{1}{2}(23-15)$$

$$N_c^3 = 15 + 4 = 19$$

BHNo-1. के लिये संशोधित 'N' मान, 1.75 मी० गहराई पर आघातों की संख्या $N_c = 19$

सावधानियाँ (Precautions)–

1. परीक्षण से पूर्व बोर होल को अच्छे तरीके से साफ कर लेना चाहिये।
2. हथौड़े से आघात पूर्णत: ऊर्ध्वाधर ही लगाना चाहिये।
3. प्रतिदर्श को सैम्पलर से निकालने के बाद अविलम्ब सील करके ठण्डे स्थान पर रखें। कभी-भी प्रतिदर्श को सीधे सूर्य की रोशनी में न रखें।
4. प्रतिदर्श को अच्छी तरह से समतल (levelled) करके प्रयोगशाला में भेजना चाहिये ताकि भविष्य में परीक्षण किये जा सकें।

मौखिक प्रश्न (Viva Questions)

1. 'N' मान क्या है?
2. पात घन के गिरने से क्या समझते हो?
3. मानक वेधन परीक्षण में कौन-सा प्रतिदर्श प्रयोग में लाया जाता है?
4. मानक वेधन परीक्षण से किस प्रकार का प्रतिदर्श प्राप्त किया जाता है?
5. बोर होल लॉग से क्या समझते हो?

प्रयोग संख्या 11

उद्देश्य (Object)–

क्षुब्ध और अक्षुब्ध मृदा प्रतिदर्श प्राप्त करना।

(A) अक्षुब्ध (Undisturbed)—प्रतिदर्श प्राप्त करना—

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus used)

बक्सा प्रतिदर्श हेतु (For block sample)

(i) लकड़ी का बक्सा ढक्कन सहित (आकार 30 cm × 30 cm × 30 cm)
(ii) कन्नी (Trowel)
(iii) खुरपी (Dibber)
(iv) फावड़ा (Spade)
(v) मुहर की मोम (Sealing wax)

प्रतिदर्श नलिका हेतु (For tube sampler)

(i) पतली दीवारों वाली प्रतिदर्श नलिका (Thin walled sampling tube)
(ii) ड्रिल रॉड
(iii) कन्नी
(iv) फावड़ा
(v) प्रतिदर्श चिमटा (Sample extractor)
(vi) सीलिंग मोम।
(vii) ड्राइविंग व्यवस्था (Driving arrangement)

सिद्धान्त (Theory)–

तत्स्थानिक संरचनाओं में अक्षुब्ध प्रतिदर्श एक प्रतिदर्श है जिससे जलांश निकालने के लिये रोक कर रख लेते हैं। अक्षुब्ध प्रतिदर्श सही प्राप्त करना असम्भव है। सैम्पलिंग लेते समय अपरिहार्य कारणों से मृदा का क्षुब्ध (disturb) होना स्वाभाविक है।

पारगम्यता परीक्षण, अपरूपण सामर्थ्य परीक्षण एवं संघनन परीक्षण हेतु अक्षुब्ध प्रतिदर्श की आवश्यकता होती है। नलिका से प्रतिदर्श प्राप्त करने की स्थिति में सैम्पलर के क्षेत्र अनुपात का चयन करते हैं।

$$\text{क्षेत्र अनुपात, } A_r = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1^2} \times 100$$

D_2 = प्रतिदर्शी (sampler) के कटिंग सिरे पर बाह्य व्यास

D_1 = प्रतिदर्शी के कटिंग सिरे का आन्तरिक व्यास

नोट—अक्षुब्ध प्रतिदर्श के लिये क्षेत्र अनुपात A_r कम से कम रखें। यदि यह अनुपात 10% से कम है तो इससे उत्पन्न होने वाले विक्षोभ (disturbance) को नगण्य माना जाता है। इसका मान जितना अधिक होगा, सैम्पिल लेने में विक्षोभ उतना ही अधिक उत्पन्न होगा।

अतः प्राप्ति अनुपात (Recovery ratio) $L_r = \frac{\text{प्रतिदर्श की वास्तविक लम्बाई}}{\text{प्रतिदर्श की सैद्धान्तिक लम्बाई}}$

अक्षुब्ध प्रतिदर्श में प्राप्ति अनुपात सदैव 1 होना चाहिये।

विधि (Procedure)–

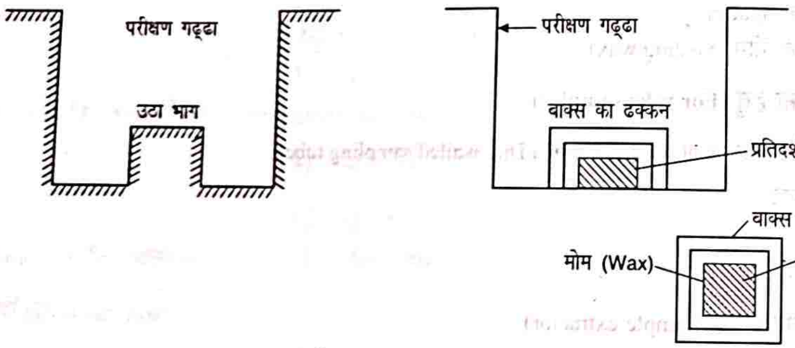
(A) बक्सा प्रतिदर्श हेतु (For block sample)

(i) सतह की घास आदि साफ कर लें जहाँ से प्रतिदर्श प्राप्त करना है।

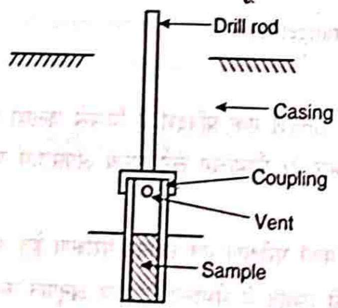
(ii) बाक्स को सतह पर रखें और बाक्स के आस-पास से मृदा हटाना शुरू करें।

(iii) बाक्स को भूमि में प्रवेश करायें। जब बाक्स पूर्णतः जमीन में धँस जाये तो फावड़े से नीचे से मृदा को कट करना चाहिये जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है।

(iv) मृदा नमूने से बाक्स को अलग कर लें और नमूने को मोम से सील कर लें।



चित्र 11.1—बॉक्स नमूना



चित्र 11.2—ट्यूब नमूना (Tube Sampling)

नलिका प्रतिदर्श हेतु—

प्रेक्षण (Observation)—

नमूना प्राप्त करने का दिनांक ....

बोरिंग का स्थल ....

बोरिंग संख्या ....

बोरिंग गहराई ....

क्षुब्ध प्रतिदर्श प्राप्त करना (Extraction of disturb sample)—

प्रयुक्त उपकरण (Apparatus used)—

(i) पोस्ट होल बरमा हैन्डिल सहित

(ii) विस्तार छड़ (extension rod)

(iii) कन्नी

सिद्धान्त (Theory)—

यह प्रतिदर्श निम्न परीक्षणों के लिये प्राप्त किये जाते हैं—

(i) कण परिमाप विश्लेषण (Grain size analysis)

(ii) जलांश निर्धारण

(iii) सूचकांक गुण, जैसे—द्रव सीमा, सुघट्य व संकुचन सीमा आदि

(iv) संहनन परीक्षण हेतु

विधि—

बरमा बोरिंग (प्रयोग संख्या 10) की भाँति

सावधानियाँ (Precautions)—

बरमा बोरिंग (प्रयोग संख्या 10) की भाँति

मौखिक प्रश्न (Viva-Questions)

1. क्षुब्ध और अक्षुब्ध नमूने को परिभाषित कीजिए।
2. ऐसे परीक्षण का नाम बतायें, जिसमें अक्षुब्ध प्रतिदर्श की आवश्यकता पड़ती है।

प्रयोग संख्या 12

उद्देश्य (Object)—

वेन अपरूपण परीक्षण का प्रदर्शन (Demonstration of vane shear test)

सिद्धान्त (Theory)—

यह परीक्षण प्रयोगशाला एवं स्थल दोनों स्थानों पर कर सकते हैं। इस उपकरण में छड़ के निचले सिरे पर परस्पर लम्ब दिशाओं में चार ब्लेड होते हैं। इन्हें ही वेन (vane) कहा जाता है। इन वेनों को उचित व्यवस्था से घुमाते हैं और मृदा प्रतिदर्श में घुसाकर रॉड में घूर्ण बल लगाते हैं जिससे वेन घूमते हैं। मृदा नमूना इन वेनों को घूमने का विरोध करेगा लेकिन घूर्ण बल को तब तक बढ़ाते रहते हैं जब तक मृदा नमूना कर्तन में विफल न हो जाये। इसी समय घूर्ण बल को ज्ञात कर लिया जाता है जो निम्न सूत्र से प्रदर्शित होता है—

$$T = \frac{\tau_f \pi D^2}{2}\left[H + \frac{D}{2}\right]$$

प्रयोगशाला में $D = 1.25$ cm तथा $H = 1.9$ cm का प्राविधान स्वीकार्य है।

नोट—वेन अपरूपण परीक्षण का चित्र अध्याय 7 के अनुच्छेद 7.12 में प्रदर्शित किया जा चुका है। उपरोक्त सूत्र में T, H तथा d का मान रखना चाहिये जिससे अपरूपण सामर्थ्य τ_f का परिणाम प्राप्त होता है।

वेन अपरूपण सामर्थ्य परीक्षण का केवल प्रदर्शन (demonstration) ही है। इस परीक्षण में निम्नांकित महत्त्वपूर्ण तथ्य हैं—

1. वेन अपरूपण सामर्थ्य परीक्षण से स्थलीय परीक्षणों को भी किया जा सकता है। इसमें बड़े आकार के वेन लगाये जाते हैं।
2. इन परीक्षणों में समय कम लगेगा।
3. यह परीक्षण केवल मृदु (soft) ससंजक मृदाओं हेतु उचित है। कठोर एवं असंजक मृदाओं का परीक्षण इस उपकरण से नहीं किया जा सकता है।
4. यदि मृदा में कंकड़, रोड़े, गिट्टी आदि मिले हुये हैं तो परिणाम स्पष्ट अर्थात् सही नहीं प्राप्त होता है।
5. इस उपकरण द्वारा कर्तन सामर्थ्य ऊर्ध्वाधर दिशा में ज्ञात होती है।