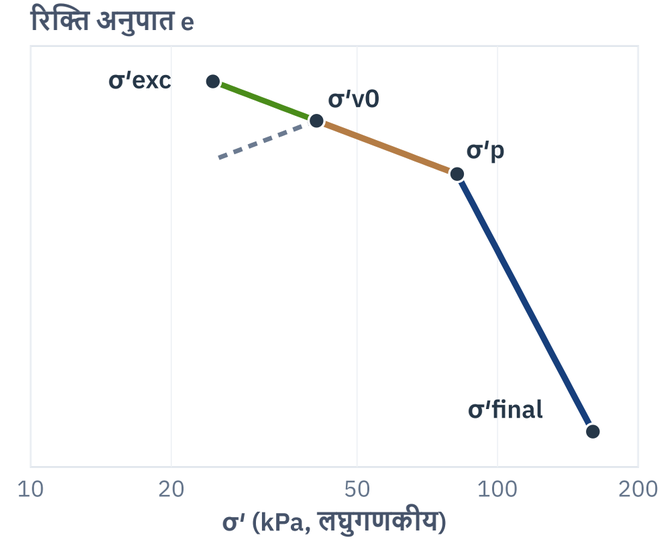
GeoTerva

भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · सेटलमेंट

समेकन (कंसोलिडेशन) सेटलमेंट

व्याख्यान: मृत्तिका परत का एकविमीय समेकन सेटलमेंट; प्रतिबल पथ, पूर्व-समेकन, उत्खनन और उत्थान, Boussinesq प्रतिबल, mv विधि और समय; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

प्रतिबल पथ | $C_c \cdot C_r \cdot C_s$ | उत्खनन और उत्थान | Boussinesq | m_v विधि | समय-आश्रित सेटलमेंट



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

- मृत्तिका के **प्रतिबल पथ** का अनुसरण करना: $\sigma'_{v0} \rightarrow \sigma'_{exc} \rightarrow \sigma'_{v0} \rightarrow \sigma'_{p} \rightarrow \sigma'_{final}$ (C_s, C_r, C_c)
- आरंभिक प्रतिबल (σ_{v0}, u_0, σ'_{v0}) और **पूर्व-समेकन प्रतिबल** ($\sigma'_p = OCR \cdot \sigma'_{v0}$) ज्ञात करना
- **उत्खनन** के अनलोडिंग और स्फीति प्रभाव को, तथा सेटलमेंट किस **संदर्भ** से मापा जाता है, इसे अलग-अलग पहचानना
- **Boussinesq** प्रतिबल वृद्धि और **प्रभाव गहराई** की गणना करना
- स्लाइस संपीडन की **चार अवस्थाओं** (पुनःसंपीडन, वर्जिन संपीडन) का प्रयोग करना; $\mathbf{m_v}$ विधि से तुलना करना
- **समय-आश्रित** समेकन (T_v, U, t_{50}, t_{90}) और परतदार प्रोफ़ाइल का सेटलमेंट–समय वक्र खींचना

व्याख्यान प्रवाह

प्रत्येक विषय **तीन चरणों में** पढ़ाया जाता है:

1 · **सिद्धांत**: नियम क्या है, ऐसा क्यों है?

2 · **प्रश्न**: दिया गया है और ज्ञात करना है

3 · **हल**: चरण-दर-चरण, संख्याओं सहित

उदाहरण मृदा: 6 m मोटी मृत्तिका, भूजल स्तर भूमि की सतह पर ($\sigma'_{v0} = 8.19\ z$), $e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $C_r = 0.06$; 4 × 6 m फ़ुटिंग, q = 150 kPa। सेटलमेंट mm में हैं।

यह मॉड्यूल क्या गणना करता है?

सिद्धांत

प्रोफ़ाइल की **प्रत्येक परत मृत्तिका है**; कोई अन्य मृदा दर्ज नहीं की जा सकती। मॉड्यूल मृत्तिका के **प्राथमिक समेकन** की गणना करता है: भार लगाए जाने पर जल धीरे-धीरे निकलता है और मृत्तिका प्रतिबल पथ के अनुदिश संपीड़ित होती है।

तात्कालिक (प्रत्यास्थ) सेटलमेंट प्रत्यास्थ सेटलमेंट मॉड्यूलों में है; दोनों का योग कुल सेटलमेंट (2D) मॉड्यूल में है।

हल **विश्लेषणात्मक** है: Boussinesq प्रतिबल वृद्धि, स्लाइस-दर-स्लाइस प्रतिबल पथ और Terzaghi सिद्धांत; द्रवस्थैतिक रंध्र जल दाब; परिमित तत्व नहीं हैं।

दायरे से बाहर: कणिकीय परतें, द्वितीयक संपीडन (C_α), रेत का SPT/CPT सेटलमेंट, चट्टान सेटलमेंट, 2D/3D समेकन, धारण क्षमता, द्रवीकरण।

चिह्न परिपाटी

सेटलमेंट **धनात्मक** है, उत्थान **ऋणात्मक**। नेट विरूपण $S_{net} = S_c + S_{heave}$।

प्रारंभिक से अंतिम प्रतिबल तक एक ही चरण में नहीं

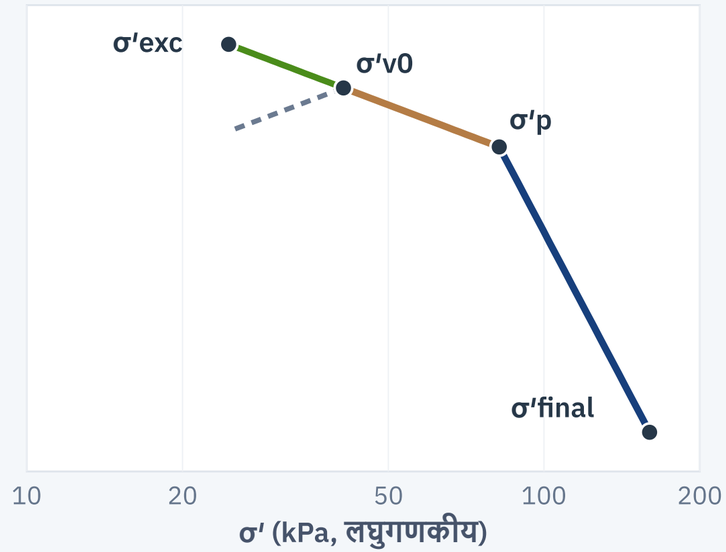
सिद्धांत

गणना कभी भी प्रारंभिक प्रतिबल से अंतिम प्रतिबल तक **एक ही चरण में** नहीं जाती। उत्खनन प्रभावी प्रतिबल को घटाता है और मृत्तिका अनलोडिंग रेखा (C_s) के अनुदिश **स्फीत होती है**। संरचना जब उस पर पुनः भार डालती है, तो मृत्तिका पहले उसी रेखा का अनुसरण करते हुए σ'_{v0} पर लौटती है (उत्थान पूर्ववत हो जाता है); फिर C_r के साथ σ'_p तक पुनः संपीडित होती है, और यदि अंतिम प्रतिबल σ'_p से अधिक हो जाए, तो वर्जिन रेखा (C_c) के अनुदिश संपीडित होती है:

$$\sigma'_{v0} \xrightarrow{C_s} \sigma'_{exc} \xrightarrow{C_s} \sigma'_{v0} \xrightarrow{C_r} \sigma'_{p} \xrightarrow{C_c} \sigma'_{final}$$

σ'_p भूतकाल का अधिकतम प्रतिबल है; **उत्खनन से घटाया नहीं जाता**।

लोडिंग–अनलोडिंग चक्र σ'_{v0} पर **बंद हो जाता है**: हटाए गए ओवरबर्डन को केवल वापस लौटाने वाला भार, प्रारंभिक स्थिति की तुलना में सेटलमेंट उत्पन्न नहीं करता; C_s और C_r चाहे जो हों।



योजनाबद्ध: डैश रेखा अनलोडिंग, हरी रेखा पुनर्भारण (C_s), नारंगी पुनःसंपीडन (C_r), नीली वर्जिन संपीडन (C_c)।

प्रत्येक स्लाइस के मध्य बिंदु पर

सिद्धांत

नींव तल और गणना गहराई z_{lim} के बीच की प्रत्येक परत, अधिकतम Δz मोटाई वाली **स्लाइसों** में विभाजित की जाती है (भूजल स्तर पर काट दी जाती है); प्रत्येक प्रतिबल स्लाइस के मध्य बिंदु पर निकाला जाता है:

$$\sigma_{v0} = \sum \gamma_i h_i \qquad u_0 = \gamma_w (z - z_w) \qquad \sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0$$

भूजल स्तर के ऊपर γ, नीचे γ_{sat} का उपयोग किया जाता है; γ_w = 9.81 kN/m³।

प्रारंभिक भूमि के प्रतिबल बाद के प्रत्येक चरण के लिए **संदर्भ** होते हैं।

स्लाइस जितनी पतली होती है, परिणाम उतना ही अधिक सटीक होता है; हाथ की गणना में एक ही स्लाइस सन्निकट परिणाम देती है।

भूजल स्तर भूमि की सतह पर

γ_{sat} = 18 के लिए γ' = 18 − 9.81 = 8.19 kN/m³ और σ'_{v0} = 8.19 z। आगे के सभी उदाहरण इसी मृदा का उपयोग करते हैं।

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\gamma = 17$ kN/m^3 **(भूजल स्तर के ऊपर),** $\gamma_{sat} = 18$ kN/m^3 **(नीचे)**
भूजल स्तर	**भूमि की सतह से 1.5 m**
गहराइयाँ	**z = 1.5; 3.0; 4.5; 6.0 m**

ज्ञात करना है

प्रत्येक गहराई पर σ_{v0}, u_0, σ'_{v0} के मान ज्ञात कीजिए।

हल

हल

1 z = 3.0 m (भूजल स्तर 1.5 m)

$$\sigma_{v0} = 17(1.5) + 18(1.5) = 52.50 \text{ kPa}$$

$$u_0 = 9.81(3.0 - 1.5) = 14.715 \text{ kPa} \qquad \sigma'_{v0} = 52.50 - 14.715 = \mathbf{37.785} \text{ kPa}$$

z (m)	σ_{v0} (kPa)	u_0 (kPa)	σ'_{v0} (kPa)
1.5	25.50	0.00	**25.50**
3.0	52.50	14.71	**37.78**
4.5	79.50	29.43	**50.07**
6.0	106.50	44.15	**62.35**

भूजल स्तर के नीचे σ'_{v0} अधिक **धीरे** बढ़ता है (ढाल $\gamma' = 8.19$ kN/m³): z = 6 m पर कुल प्रतिबल 106.5, प्रभावी प्रतिबल केवल 62.4 kPa।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

$\sigma'_p = OCR \cdot \sigma'_{v0}$ या प्रयोगशाला मान

सिद्धांत

प्रत्येक मॉडल के लिए **एक ही परिभाषा** का उपयोग किया जाता है: या तो अति-समेकन अनुपात OCR या प्रयोगशाला का σ'_p मान:

$$\sigma'_p = OCR \cdot \sigma'_{v0} \qquad \text{या} \qquad \sigma'_p = \sigma'_{p,lab} \ \ (\geq \sigma'_{v0})$$

OCR = 1: सामान्य समेकित मृत्तिका; $\sigma'_p = \sigma'_{v0}$ और आरंभिक प्रतिबल से आगे का प्रत्येक भारण वर्जिन संपीडन है।

यदि प्रयोगशाला का σ'_p मान σ'_{v0} से कम है, तो चेतावनी के साथ उसे σ'_{v0} तक बढ़ा दिया जाता है: **अल्प-समेकित मृत्तिका दायरे से बाहर है**।

σ'_p भूतकाल के अधिकतम प्रतिबल को दर्शाता है और उत्खनन से घटता नहीं है।

OCR क्या बताता है?

OCR = σ'_p/σ'_{v0}। बड़े OCR का अर्थ है एक चौड़ा पुनःसंपीडन क्षेत्र, जिसमें मृत्तिका भार पड़ने पर पहले **छोटे C_r** के साथ संपीडित होती है।

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

स्लाइस	**मध्य बिंदु** $z = 3$ m: $\sigma'_{v0} = 24.57$ kPa **(भूजल स्तर सतह पर,** $\gamma_{sat} = 18$**)**
स्थितियाँ	**(a)** $OCR = 3$ · **(b) प्रयोगशाला** $\sigma'_p = 60$ kPa · **(c) प्रयोगशाला** $\sigma'_p = 20$ kPa

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति में **σ'_p** और **OCR**; स्थिति की व्याख्या कीजिए।

हल

हल

1 (a) OCR दिया गया है और (b) प्रयोगशाला मान

$$\text{(a)}: \ \sigma'_p = 3(24.57) = \mathbf{73.71}\ \text{kPa} \qquad \text{(b)}: \ OCR = \frac{60}{24.57} = \mathbf{2.44}$$

2 (c) प्रयोगशाला मान σ′v0 से कम है

$$\sigma'_{p,lab} = 20 < \sigma'_{v0} \ \Rightarrow \ \sigma'_p = \mathbf{24.57}\ \text{kPa},\ OCR = 1$$

(a) और (b) अति-समेकित मृत्तिका (σ′p > σ′v0); (c) के लिए मॉड्यूल चेतावनी देता है और मृत्तिका को **सामान्य समेकित** मानता है (σ′p = σ′v0 = 24.57 kPa): अल्प-समेकित (अंडर-कंसोलिडेटेड) मृत्तिका दायरे से बाहर है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

अनभारण और उत्थान

सिद्धांत

हटाया गया भार उत्खनन आधार पर **प्रारंभिक प्रभावी ओवरबर्डन प्रतिबल** है (भूजल स्तर अपरिवर्तित; जल के नीचे हटाए गए भार की गणना γ' से की जाती है)। अनलोडिंग उत्खनन योजना के Boussinesq प्रभाव I_{exc} के अनुसार वितरित होती है (चौड़े उत्खनन में $I_{exc} = 1$):

$$q_{lift} = \sigma'_{v0}(D_{exc}) \qquad \Delta\sigma_{exc} = -q_{lift}\, I_{exc}(z') \qquad \sigma'_{exc} = \sigma'_{v0} + \Delta\sigma_{exc}$$

$$\Delta H_{heave} = -\frac{C_s\, \Delta H}{1 + e_0}\, \log_{10} \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{exc}}$$

स्फीति **ऋणात्मक** होती है (सेटलमेंट +, स्फीति –)। यदि C_s न दिया गया हो तो $C_s = C_r$ लिया जाता है और रिपोर्ट में उल्लेख किया जाता है।

शुद्ध दाब $q_{net} = q_{gross} - q_{uplift}$ केवल रिपोर्ट किया जाता है; गणना एक ही चरण में शुद्ध दाब से नहीं की जाती, प्रतिबल पथ का अनुसरण किया जाता है।

NEDEN KABARMA?

उत्खनन से प्रभावी प्रतिबल घटता है और मृत्तिका फूलती है। संरचना के पुनः भार डालने पर स्फीति वापस हो जाती है: यह स्फीत हुई मृदा का **पुनःसंपीडन** है।

फ़ुटिंग के केंद्र के नीचे $\Delta\sigma$

सिद्धांत

$$\Delta\sigma_{load} = q_{gross}\, I_z(z') \qquad z' = z - D_f$$

आयत B × L, उसके केंद्र के नीचे: Newmark कोना गुणांक से $I_z = 4 \cdot I_{corner}$(m = B/2z′, n = L/2z′):

$$I_{köşe} = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{2mn\sqrt{V}}{V + m^2n^2}\cdot\frac{V+1}{V} + \tan^{-1}\frac{2mn\sqrt{V}}{V - m^2n^2}\right] \qquad V = m^2 + n^2 + 1$$

(यदि $V < m^2n^2$ हो तो आर्कटैंजेंट पद में π जोड़ा जाता है)। **स्ट्रिप** (चौड़ाई B), अपनी मध्य रेखा के नीचे: $I_z = (\alpha + \sin\alpha)/\pi$, $\alpha = 2\tan^{-1}(B/2z')$। $z' = 0$ पर $I_z = 1$।

$$\sigma'_{final} = \sigma'_{exc} + \Delta\sigma_{load}$$

टिप्पणी

प्रतिबल वृद्धि फ़ुटिंग के केंद्र के नीचे ऊर्ध्वाधर रेखा के अनुदिश ली जाती है (स्लाइस और समय विश्लेषण); रंग-पट्टी वाले क्षेत्रों में फ़ुटिंग के बाहर के बिंदुओं के लिए इसे कोने के आयतों में विभाजित किया जाता है।

प्रश्न

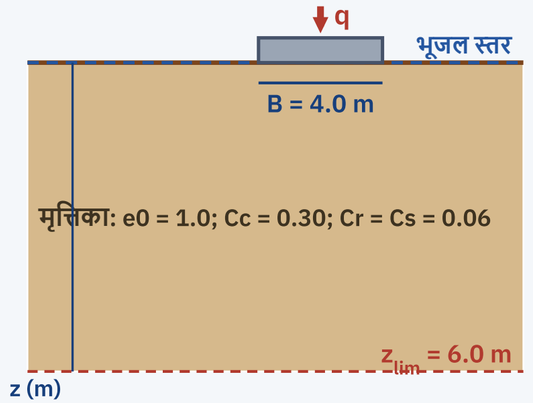
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**4 × 6 m आयत,** $q = 150$ kPa, **भूमि की सतह पर** $(D_f = 0)$
बिंदु	**स्लाइस का मध्य बिंदु z′ = 3 m, केंद्र के नीचे**
तुलना	**B = 4 m चौड़ाई वाली स्ट्रिप**

ज्ञात करना है

I_z और $\Delta\sigma$; स्ट्रिप के लिए भी यही मान हैं।



हल (1/2)

हल

1 आयत: m = B/2z′ = 2/3 = 0.667; n = L/2z′ = 1.0

$$V = m^2 + n^2 + 1 = 2.4444, \quad m^2n^2 = 0.4444, \quad \sqrt{V} = 1.5635$$

$$T_1 = \frac{2mn\sqrt{V}}{V + m^2n^2} \cdot \frac{V+1}{V} = \frac{2.0846}{2.8889} \cdot \frac{3.4444}{2.4444} = 1.0168$$

$$T_2 = \tan^{-1}\frac{2.0846}{2.0000} = 0.8061 \qquad I_{köşe} = \frac{T_1 + T_2}{4\pi} = 0.1451$$

2 आयताकार और स्ट्रिप

$$\text{आयताकार}: I_{;z} = 4(0.1451) = \mathbf{0.5803} \Rightarrow \Delta\sigma = 150(0.5803) = \mathbf{87.04}\ \text{kPa}$$

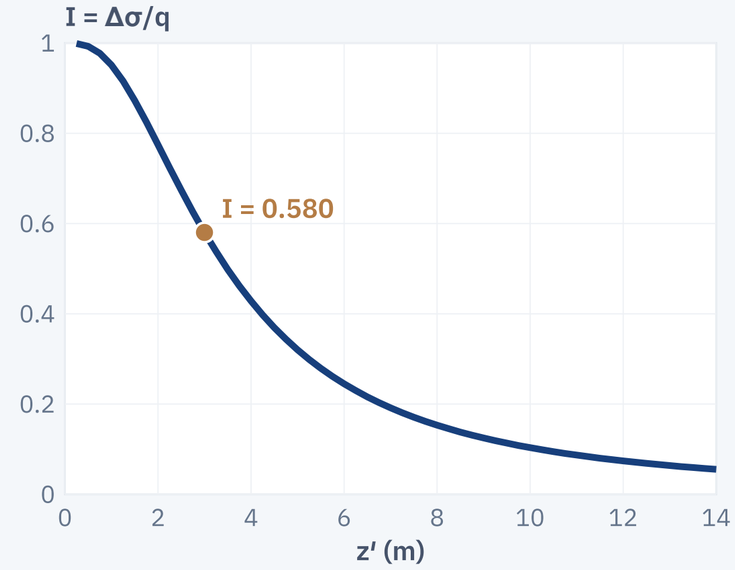
$$\text{स्ट्रिप}: \alpha = 2\tan^{-1}\tfrac{4}{6} = 1.1760 \Rightarrow I_z = \frac{1.1760 + 0.9231}{\pi} = 0.6682$$

$$\Delta\sigma = 150(0.6682) = \mathbf{100.22}\ \text{kPa}$$

हल (2/2)

हल

z′ (m)	I_z	Δσ (kPa)
0.5	0.9927	148.9
1.0	0.9513	142.7
2.0	0.7746	116.2
3.0	0.5803	87.0
4.0	0.4283	64.2
6.0	0.2449	36.7
8.0	0.1532	23.0
10.0	0.1034	15.5



स्लाइस के मध्य में Δσ = **87.0 kPa** (q का 58%); एक संकरी स्ट्रिप (वही B) 100.2 kPa देती है: **लंबी फ़ुटिंग अधिक गहराई तक प्रभाव डालती है**। प्रतिबल वृद्धि z′ = 10 m पर भी 10% है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रभाव गहराई: I(z′) = p

सिद्धांत

प्रतिबल वृद्धि गहराई के साथ घटती है किंतु कभी शून्य नहीं होती; स्लाइस संपीडनों के योग के लिए एक निचली सीमा चाहिए: **गणना गहराई z_{lim}**। प्रभाव-गहराई नियम में मृत्तिका तब तक संपीडित होती है जब तक केंद्र के नीचे Boussinesq वृद्धि प्रयुक्त दाब के **p** गुने तक न घट जाए (सामान्यतः p = 10%):

$$I_z(z') = p \;\Rightarrow\; z_{lim} = D_f + z'$$

वही प्रभाव गुणांक समान प्लान वाले उत्खनन के अनलोडिंग को भी निर्धारित करता है; इसलिए गहराई q_{gross} या q_{net} के आधार पर पढ़ी जाए तब भी वही रहती है।

यदि प्रोफ़ाइल z_{lim} के ऊपर समाप्त होती है, तो अंतिम परत z_{lim} तक उन्हीं गुणों के साथ जारी रहती है; यदि नीचे समाप्त होती है, तो z_{lim} के नीचे की मृदा असंपीड्य होती है।

वैकल्पिक नियम **प्रोफ़ाइल का तल** है: एक दृढ़ तल माना जाता है। ($\Delta\sigma = 0.2\ \sigma'_{v0}$ मानदंड गहराई पर स्थित छोटी फ़ुटिंग के लिए और नीचे तक जाता है; मॉड्यूल का नियम केवल ज्यामिति पर निर्भर करता है।)

z′/B (p = %10 | %20)

L/B	p = %10	p = %20
1.0	2.09 B	1.40 B
1.5	2.55 B	1.70 B
2.0	2.92 B	1.94 B
5.0	4.33 B	2.68 B
स्ट्रिप	6.34 B	3.13 B

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

नींव	**(a) 4 × 6 m, p = 10% और 20% · (b) 20 × 30 m राफ़्ट, p = 10% और 20%**
नियम	**प्रभाव गहराई; $D_f = 0$**

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति में **z′** और z_{lim}; 4 × 6 m के लिए I(z′) की जाँच।

हल

हल

1 जाँच: 4 × 6 m, p = 10% ⇒ z′ = 10.19 m

$$m = \frac{2}{10.19} = 0.1963,\ n = \frac{3}{10.19} = 0.2945 \ \Rightarrow\ I_z = 4(0.0250) = \mathbf{0.1000}$$

नींव	p = %10: z′ (m)	p = %20: z′ (m)
4 × 6 m (L/B = 1.5)	10.19 (2.55 B)	6.82 (1.70 B)
20 × 30 m राफ़्ट	50.9 (2.55 B)	34.1 (1.70 B)

z′ **फ़ुटिंग के आकार के समानुपाती है**: 4 × 6 m फ़ुटिंग में z_{lim} = 10.19 m, 20 × 30 m राफ़्ट में **50.9 m**। राफ़्ट लगभग 51 m गहराई तक संपीडित होने वाली मृत्तिका को ध्यान में रखती है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

पुनःभारण पर स्लाइस पिंचिंग

सिद्धांत

$f = \Delta H/(1 + e_0)$ स्लाइस के लिए; $\sigma'_{exc} \le \sigma'_{v0} \le \sigma'_{p}$ होने पर अंतिम प्रतिबल की स्थिति के अनुसार स्लाइस का संपीडन:

शर्त	पुनःभारण पर स्लाइस पिंचिंग
$\sigma'_{exc} \le \sigma'_{final} \le \sigma'_{v0}$	$S_b = C_s\, f \log(\sigma'_{final}/\sigma'_{exc})$: स्फीति का कुछ भाग पुनः प्राप्त हो जाता है
$\sigma'_{v0} < \sigma'_{final} \le \sigma'_{p}$	$S_b = C_s\, f \log(\sigma'_{v0}/\sigma'_{exc}) + S_r = C_r\, f \log(\sigma'_{final}/\sigma'_{v0})$
$\sigma'_{v0} < \sigma'_{p} < \sigma'_{final}$	$S_b + S_r = C_r\, f \log(\sigma'_{p}/\sigma'_{v0}) + S_v = C_c\, f \log(\sigma'_{final}/\sigma'_{p})$
$\sigma'_{p} = \sigma'_{v0} < \sigma'_{final}$ (NC)	$S_b + S_v = C_c\, f \log(\sigma'_{final}/\sigma'_{v0})$
$\sigma'_{final} < \sigma'_{exc}$	C_s के साथ अतिरिक्त स्फीति (ऋणात्मक)

यदि उत्खनन न हो

$\sigma'_{exc} = \sigma'_{v0}$ और $S_b = 0$: पारंपरिक पुनःसंपीडन और वर्जिन संपीडन, आरंभिक प्रतिबल से।

$$S_c = \sum (S_b + S_r + S_v) \qquad S_{net} = S_c + S_{heave}$$

प्रश्न

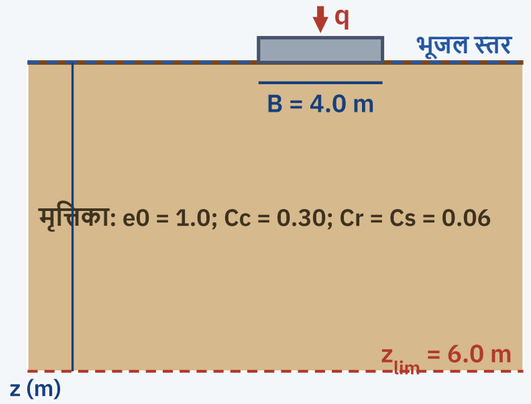
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	**एकल मृत्तिका परत, 6 m मोटाई;** $\gamma_{sat} = 18$ kN/m^3**; भूजल स्तर भूमि सतह पर;** $e_0 = 1.0,\ C_c = 0.30,\ C_r = C_s = 0.06$
नींव	**4 × 6 m आयत,** $q = 150$ kPa**, भूमि की सतह पर (कोई उत्खनन नहीं)**
स्लाइस	**एकल स्लाइस, H = 6 m, मध्य बिंदु** $z = 3$ m**:** $\sigma'_{v0} = 8.19\,z = 24.57$ kPa
अति-समेकन	**(a) OCR = 1 (NC) · (b) OCR = 6 · (c) OCR = 3**
प्रतिबल वृद्धि	$\Delta\sigma = 150\,I_z(3) = 87.04$ kPa **(उदाहरण 3)** $\Rightarrow$ $\sigma'_{final} = 111.61$ kPa

ज्ञात करना है

प्रत्येक मृत्तिका के लिए **अवस्था** और समेकन सेटलमेंट $\mathbf{s_c}$।



हल (1/2)

हल

1 उभयनिष्ठ: f = H/(1 + e_0) = 6/2 = 3 m; log($\sigma'_{final}/\sigma'_{v0}$) = log(111.61/24.57) = 0.6573

$$\text{(a) NC}: \quad S_v = C_c f \log \frac{\sigma'_{final}}{\sigma'_{v0}} = 0.30(3)(0.6573) = \mathbf{591.6\ mm}$$

2 (b) OCR = 6: σ'_p = 6(24.57) = 147.4 kPa > σ'_{final} ⇒ केवल पुनःसंपीडन

$$S_r = C_r f \log \frac{\sigma'_{final}}{\sigma'_{v0}} = 0.06(3)(0.6573) = \mathbf{118.3\ mm}$$

वही मृत्तिका, वही भार: सामान्य समेकित मृत्तिका में **591.6 mm** सेटलमेंट होता है, OCR = 6 वाली में **118.3 mm**; अंतर C_c/C_r = 5 अनुपात से आता है।

हल (2/2)

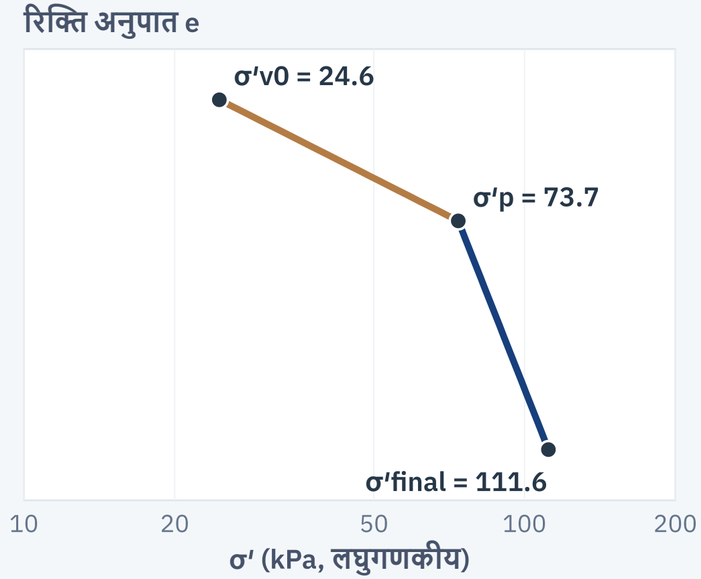
हल

3 (c) OCR = 3: $\sigma'_p = 3(24.57) = 73.71$ kPa < $\sigma'_{final} = 111.61$ ⇒ पुनःसंपीडन + वर्जिन संपीडन

$$S_r = 0.06(3)\log\frac{73.71}{24.57} = 85.9 \text{ mm}$$

$$S_v = 0.30(3)\log\frac{111.61}{73.71} = 162.2 \text{ mm} \qquad S_c = \mathbf{248.0\ mm}$$

OCR	σ'_p (kPa)	व्यवस्था	S_r (mm)	S_v (mm)	S_c (mm)
1	24.6	अखंड	0	591.6	**591.6**
6	147.4	पुनःसंपीडन	118.3	0	**118.3**
3	73.7	पुनःसंपीडन + प्रथम संपीडन	85.9	162.2	**248.0**



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

मूल भूमि से या उत्थित आधार से?

सिद्धांत

उत्खनन के बाद फ़ुटिंग आती है: सेटलमेंट इस पर निर्भर करता है कि विस्थापन **किस संदर्भ** से मापे जाते हैं (उत्खनन चरण में *उत्खनन के बाद विस्थापन* विकल्प):

संरक्षित — मूल भूमि से (डिफ़ॉल्ट): उत्थान अलग से दर्शाया जाता है; फ़ुटिंग का सेटलमेंट भारण के अंत में शुद्ध विरूपण है: $S = S_c + S_{heave} = \sigma'_{v0}$ से आगे का कुल संपीडन। हटाए गए ओवरबर्डन से बड़ा न होने वाला भार $S = 0$ देता है; यदि भार उससे छोटा हो तो मृदा मूल स्तर से ऊपर रहती है (रिपोर्ट किया जाता है, सेटलमेंट 0)।

भार लगाने से पहले शून्य किया जाता है: उत्खनन चरण के विस्थापन शून्य कर दिए जाते हैं; सेटलमेंट को उत्थित हुए उत्खनन तल से मापा जाता है: $S = S_c = S_b + S_r + S_v$। उत्थान के पुनःसंपीडन को सेटलमेंट गिना जाता है: पूर्णतः क्षतिपूरित नींव उतना ही सेटल होती है जितना तल उत्थित हुआ था। यदि उत्खनन संरचना बनने तक खुला रहा और उत्थान विकसित हो गया, तो यही सही उत्तर है।

दोनों माप सदैव मुद्रित किए जाते हैं; चयन यह निर्धारित करता है कि फ़ुटिंग के सेटलमेंट के रूप में कौन-सा रिपोर्ट किया जाए, साथ ही समय वक्र और परिणाम को भी।

सारांश

संरक्षित किया जाता है: $S = S_c + S_{heave}$ (छोटा)। शून्य कर दिया जाता है: $S = S_c$ (बड़ा)।

प्रश्न

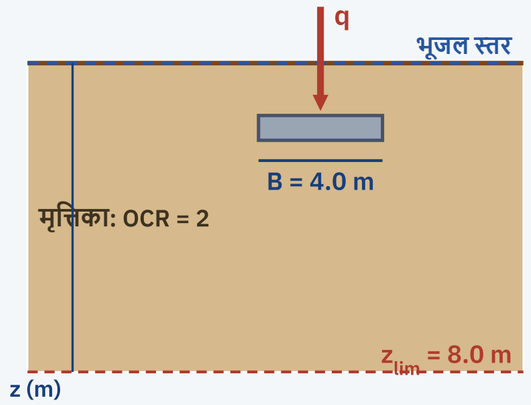
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	**मृत्तिका 0–8 m, $\gamma_{sat} = 18$, भूजल स्तर सतह पर;** $e_0 = 1.0,\ C_c = 0.30,\ C_r = C_s = 0.06;$ $OCR = 2$
उत्खनन	**चौड़ा उत्खनन ($I_{exc} = 1$), गहराई 2 m; फ़ुटिंग उत्खनन तल पर**
नींव	**4 × 6 m,** $q_{gross} = 100$ kPa
स्लाइस	**एकल स्लाइस 2–8 m,** $H = 6$ **m,** $z = 5$ **m,** $f = 3$ **m:** $\sigma'_{v0} = 8.19(5) = 40.95$ kPa

ज्ञात करना है

σ'_{exc}, उत्थान, S_b, S_r, S_v, S_c; नींव का सेटलमेंट (मूल मृदा से और रीसेट के बाद)।



हल (1/3)

हल

1 उत्खनन: हटाया गया भार, अनलोडिंग और उत्थान

$$q_{lift} = \sigma'_{v0}(2) = 8.19(2) = 16.38 \text{ kPa} \qquad \sigma'_{exc} = 40.95 - 16.38 = \mathbf{24.57} \text{ kPa}$$

$$\Delta H_{heave} = -0.06(3)\log\frac{40.95}{24.57} = -0.06(3)(0.2218) = \mathbf{-39.9\ mm}$$

2 भारण: $I_z(z' = 3) = 0.5803$ (उदाहरण 3); $\sigma'_p = 2(40.95) = 81.9$ kPa

$$\Delta\sigma = 100(0.5803) = 58.03 \text{ kPa} \quad \sigma'_{final} = 24.57 + 58.03 = \mathbf{82.60} \text{ kPa}$$

हल (2/3)

हल

3 अवस्था: $\sigma'_{v0} < \sigma'_p = 81.9 < \sigma'_{final} = 82.60$

$$S_b = 0.06(3)\log\frac{40.95}{24.57} = 39.9\ \text{mm} \qquad S_r = 0.06(3)\log\frac{81.9}{40.95} = 54.2\ \text{mm}$$

$$S_v = 0.30(3)\log\frac{82.60}{81.9} = 3.3\ \text{mm} \qquad S_c = \mathbf{97.4\ mm}$$

पुनः भारण में पहले स्फीति वापस हो जाती है (S_b = 39.9 mm = संपूर्ण स्फीति), फिर C_r के साथ 54.2 mm पुनःसंपीडन और σ'_p को हल्का-सा पार करने वाला 3.3 mm वर्जिन संपीडन होता है।

हल (3/3)

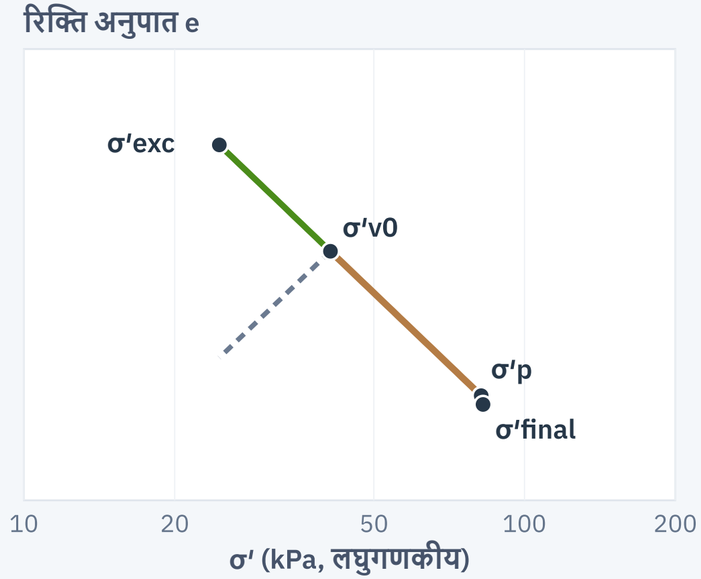
हल

4 फ़ुटिंग का सेटलमेंट

संरक्षित रहता है : $S = S_c + S_{heave} = 97.4 - 39.9 = \mathbf{57.5\ mm}$

शून्य हो जाता है : $S = S_c = \mathbf{97.4\ mm}$

मूल मृदा से मापा गया सेटलमेंट **57.5 mm**; उत्थित तल से मापा गया **97.4 mm**। अंतर उत्थान के बराबर है (39.9 mm): संदर्भ का चयन परिणाम को 69% बदल देता है।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

रैखिक पथ: $\Delta H = m_v\,\Delta\sigma'\,H$

सिद्धांत

यह एक अलग और **रैखिक** गणना मार्ग है: एक ही m_v का उपयोग भार हटाने और पुनःभारण दोनों में किया जाता है; C_c, C_r, C_s और e_0 प्रवेश नहीं करते:

$$\Delta H = m_v\,\Delta\sigma'\,H_{slice}$$

$$\text{उत्थान} = -m_v\,(\sigma'_{v0} - \sigma'_{exc})\,H \qquad S_c = m_v\,(\sigma'_{final} - \sigma'_{exc})\,H$$

S_c का σ'_{v0} तक का भाग पुनः प्राप्त स्फीति (S_b) है।

रैखिक होने के कारण इसका चक्र स्वतः बंद हो जाता है।

m_v की इकाई 1/kPa है (आयतन संपीडनशीलता गुणांक); इसे प्रतिबल सीमा के अनुसार चुना जाना चाहिए।

e – log σ′ से अंतर

m_v विधि प्रतिबल स्तर पर ध्यान नहीं देती (σ'_p नहीं है): प्रत्येक प्रतिबल वृद्धि समान संपीडन देती है।

प्रश्न

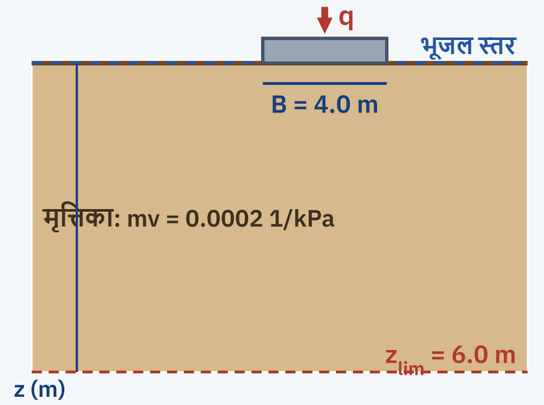
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	**6 m मृत्तिका, $m_v = 0.0002$ 1/kPa, भूजल स्तर सतह पर**
स्थिति (a)	**उत्खनन के बिना: 4×6 m, $q = 150$ kPa, $\Delta\sigma = 87.04$ kPa (उदाहरण 3)**
स्थिति (b)	**उदाहरण 6 का उत्खनन और फ़ुटिंग (2 m उत्खनन, $q = 100$ kPa, 2–8 m स्लाइस)**

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति में S_c; (b) के लिए उत्थान (हीव), S_b और शुद्ध सेटलमेंट।



हल

हल

1 (a) बिना उत्खनन

$$S_c = m_v\,\Delta\sigma'\,H = 0.0002(87.04)(6) = \mathbf{104.4\ mm}$$

2 (b) उत्खनित: σ'_{v0} = 40.95; σ'_{exc} = 24.57; $\Delta\sigma_{load}$ = 58.03; σ'_{final} = 82.60 kPa

$$\text{उत्थान} = -0.0002(40.95 - 24.57)(6) = -19.7\ \text{mm} = -S_b$$

$$S_r = 0.0002(82.60 - 40.95)(6) = 50.0\ \text{mm} \qquad S_c = S_b + S_r = \mathbf{69.6\ mm}$$

शुद्ध सेटलमेंट (मूल भूमि से) S = S_c + उभार = **50.0 mm**; केवल σ'_{v0} से अधिक की 41.65 kPa की वृद्धि सेटलमेंट उत्पन्न करती है। रैखिक मार्ग में e – log σ′ विधि पर σ'_p का प्रभाव नहीं होता।

Terzaghi: T_v, U और t

सिद्धांत

$$T_v = \frac{C_v\, t}{H_{dr}^2} \qquad U(T_v) = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T_v} \qquad M = \frac{\pi(2m+1)}{2}$$

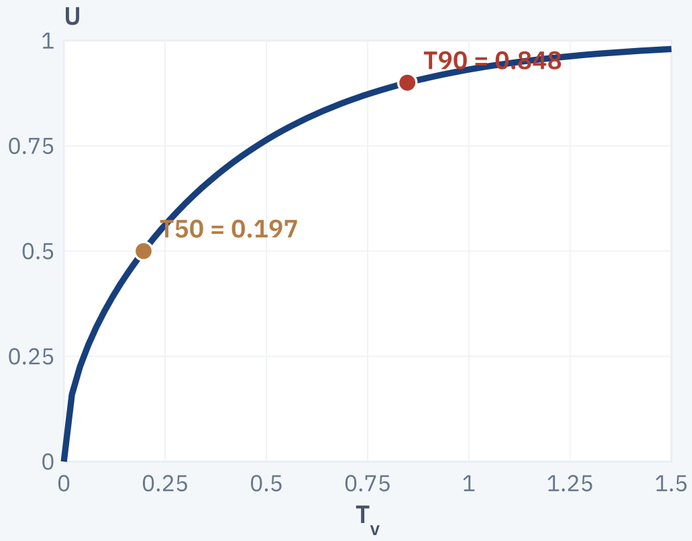
$$S_i(t) = U_i(t)\, S_{c,i} \qquad S(t) = \sum S_i(t) \qquad t = \frac{T_v\, H_{dr}^2}{C_v}$$

H_{dr} = H (एकतरफ़ा अपवाह) या H/2 (दोतरफ़ा); H नींव स्तर के नीचे की परत की मोटाई है (प्रोफ़ाइल से बाहर जाती अंतिम परत के लिए z_{lim} तक)।

$T_{v,50}$ = 0.197; $T_{v,90}$ = 0.848। T_v < 0.05 के लिए आरंभिक समय का हल U = $2\sqrt{(T_v/\pi)}$ प्रयुक्त होता है।

भिन्न C_v और H_{dr} मान वाली परतें भिन्न गति से समेकित होती हैं: प्रोफ़ाइल का वक्र **परत वक्रों का योग** है; इसके अपने t_{50} और t_{90} मान इसी योग से पढ़े जाते हैं।

वक्र भार-जनित सेटलमेंट S_c से संबंधित है; यह माना जाता है कि स्फीति भारण से पहले पूर्ण हो चुकी है।



प्रश्न

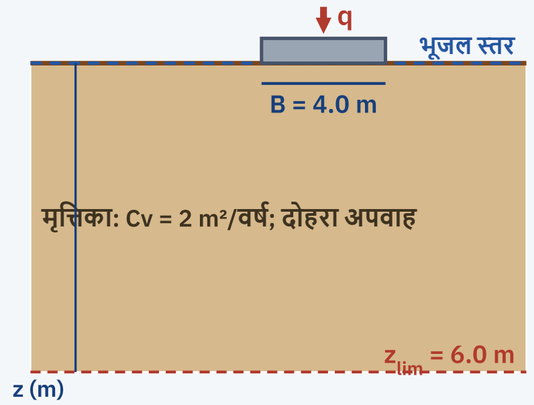
उदाहरण

दिया गया है

मृत्तिका	**6 m, सामान्य समेकित (उदाहरण 5a):** $S_c = 591.6$ **mm**
समेकन	$C_v = 2\ \mathrm{m^2/}$वर्ष**; ऊपर और नीचे अपवाह (द्विदिशीय)**
समय	**t = 0.25; 0.5; 1; 2; 4; 8 वर्ष**

ज्ञात करना है

H_{dr}, t_{50}, t_{90} और S(t); एकल अपवाह के साथ t_{90}।



हल (1/2)

हल

1 अपवाह पथ और अभिलाक्षणिक समय

$$H_{dr} = \frac{H}{2} = 3 \text{ m} \qquad t_{50} = \frac{0.197(3^2)}{2} = \mathbf{0.89} \text{ वर्ष} \qquad t_{90} = \frac{0.848(3^2)}{2} = \mathbf{3.82} \text{ वर्ष}$$

2 एकदिशीय अपवाह (H_{dr} = 6 m)

$$t_{90} = \frac{0.848(6^2)}{2} = \mathbf{15.3} \text{ वर्ष}$$

द्विदिशीय अपवाह में जल पथ आधा रह जाता है और समय **एक-चौथाई** हो जाता है: t_{90} = 3.82 वर्ष, एकदिशीय अपवाह में 15.3 वर्ष।

हल (2/2)

हल

t (वर्ष)	$T_v = C_v t/H_{dr}^2$	U	S(t) = U S_c (mm)
0.25	0.056	0.266	**157**
0.50	0.111	0.376	**222**
1.00	0.222	0.531	**314**
2.00	0.444	0.729	**431**
4.00	0.889	0.910	**538**
8.00	1.778	0.990	**586**

1 वर्ष में सेटलमेंट का केवल 53%, 4 वर्षों में 91% पूर्ण होता है (S_c = 592 mm); 8 वर्षों में U = 0.990। छोटे T_v मानों (< 0.05) के लिए $U = 2\sqrt{(T_v/\pi)}$ प्रयोग किया जाता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

नींव	**4 × 6 m, q = 150 kPa, भूमि सतह पर; भूजल स्तर सतह पर (γ_{sat} = 18)**
परत A (0–4 m)	**मृदु, NC:** $e_0 = 1.10,\ C_c = 0.35,\ C_r = 0.07$**; $C_v = 1$; द्वि-अपवाह**
परत B (4–8 m)	**कठोर,** $OCR = 2$**:** $e_0 = 0.80,\ C_c = 0.20,\ C_r = 0.04$**; $C_v = 3$; एकदिशीय अपवाह**
गणना	**प्रोफ़ाइल का तल (8 m); प्रत्येक परत एकल स्लाइस (A: z = 2 m, B: z = 6 m)**

ज्ञात करना है

प्रत्येक परत का s_c मान, t_{50} और t_{90}; निकाय का S(t) वक्र।

हल (1/3)

हल

1 A: z = 2 m, σ'_{v0} = 16.38; $I_z(2)$ = 0.7746 ⇒ Δσ = 116.19; σ'_{final} = 132.57; f = 4/2.10 = 1.9048 m; NC

$$S_{c,A} = C_c f \log \frac{\sigma'_{final}}{\sigma'_{v0}} = 0.35(1.9048) \log \frac{132.57}{16.38} = \mathbf{605.4\ mm}$$

2 B: z = 6 m, σ'_{v0} = 49.14; σ'_p = 98.28; $I_z(6)$ = 0.2449 ⇒ Δσ = 36.74; σ'_{final} = 85.88 < σ'_p; f = 4/1.80 = 2.2222 m

$$S_{c,B} = C_r f \log \frac{\sigma'_{final}}{\sigma'_{v0}} = 0.04(2.2222) \log \frac{85.88}{49.14} = \mathbf{21.6\ mm}$$

कुल समेकन सेटलमेंट **627.0 mm**: मृदु NC ऊपरी परत कुल का 97% वहन करती है; कठोर, अति-समेकित निचली परत केवल 21.6 mm।

हल (2/3)

हल

3 अपवाह पथ और अवधियाँ ($t = 0.197\, H_{dr}^2/C_v$; $0.848\, H_{dr}^2/C_v$)

$$A:\ H_{dr} = 2\ \text{m}:\ t_{50} = \frac{0.197(4)}{1} = 0.788,\ t_{90} = \frac{0.848(4)}{1} = 3.39\ \text{वर्ष}$$

$$B:\ H_{dr} = 4\ \text{m}:\ t_{50} = \frac{0.197(16)}{3} = 1.051,\ t_{90} = \frac{0.848(16)}{3} = 4.52\ \text{वर्ष}$$

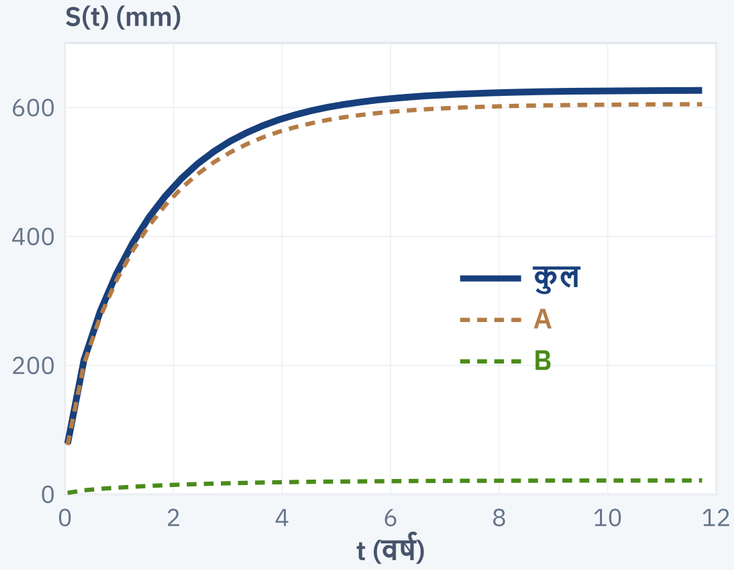
निकाय का वक्र $S(t) = U_A(t)\, S_A + U_B(t)\, S_B$ का योग है; इसके अपने समय इसी योग से पढ़े जाते हैं: **t_{50} = 0.794 वर्ष, t_{90} = 3.43 वर्ष** (प्रमुख परत A के निकट)।

हल (3/3)

हल

t (वर्ष)	S_A (mm)	S_B (mm)	S(t) (mm)	U
0.5	242	7.4	**249**	0.397
1.0	340	10.5	**351**	0.560
2.0	463	14.6	**477**	0.761
5.0	583	19.8	**603**	0.961
10.0	604	21.4	**626**	0.998
20.0	605	21.6	**627**	1.000

1 वर्ष में सेटलमेंट का 56%, 5 वर्षों में 96% पूरा हो जाता है; लगभग 10 वर्षों में समाप्त होता है (627 mm)। वक्र **मृदु परत A** द्वारा निर्धारित होता है।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

परिणाम पढ़ते समय याद रखने योग्य बातें

सिद्धांत

फ़ुटिंग स्तर = उत्खनन तल (उत्खनन न हो तो भूमि सतह); **हाइड्रोस्टैटिक** रंध्र जल दाब; भूजल स्तर उत्खनन से प्रभावित नहीं होता।

प्रतिबल वृद्धि **फ़ुटिंग के केंद्र के नीचे की ऊर्ध्वाधर रेखा पर** ली जाती है (स्लाइस और समय विश्लेषण); रंग क्षेत्र प्रत्येक बिंदु पर वही प्रतिबल पथ अपनाते हैं।

e_0 प्रत्येक चरण में प्रारंभिक रिक्ति अनुपात है; **द्वितीयक संपीडन (C_α) नहीं है**।

सेटलमेंट धनात्मक, उत्थान ऋणात्मक है; शीर्ष पट्टी का स्विच चिह्न को उलटकर ऊपर-धनात्मक प्रदर्शन में बदल देता है (गणना इंजन पारंपरिक ही रहता है)।

रंग पट्टियाँ: सेटलमेंट, स्फीति और विरूपण जैसे गहराई के साथ तेज़ी से घटने वाले क्षेत्र $1 \cdot 1.5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \times 10^{n}$ वर्गों से रंगे जाते हैं; समान पट्टियाँ निचले क्षेत्र को एक ही रंग में समेट देतीं।

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

प्रतिबल पथ: $\sigma'_{v0} \rightarrow \sigma'_{exc} \rightarrow \sigma'_{v0}\ (C_s) \rightarrow \sigma'_{p}\ (C_r) \rightarrow \sigma'_{final}\ (C_c)$; $\sigma'_p = OCR \cdot \sigma'_{v0}$, उत्खनन से घटता नहीं

स्लाइस संपीडन $f = \Delta H/(1 + e_0)$: NC: $C_c\ f \log(\sigma'_{final}/\sigma'_{v0})$; OC और $\sigma'_{final} \le \sigma'_p$: $C_r\ f \log(\ldots)$; $\sigma'_{final} > \sigma'_p$: $C_r + C_c$ के भाग

उत्खनन: $q_{unload} = \sigma'_{v0}(D_{exc})$, उत्थान $= -C_s\ f \log(\sigma'_{v0}/\sigma'_{exc})$; $S = S_c + S_{heave}$ (मूल भूमि) या S_c (शून्यीकृत)

Boussinesq: $\Delta\sigma = q\ I_z(z')$; आयत का केंद्र $4\ I_{corner}$, स्ट्रिप $(\alpha + \sin\alpha)/\pi$; $\mathbf{z_{lim}}$: $I(z') = p$ (वर्ग 2.09 B, L = 1.5 B पर 2.55 B, स्ट्रिप 6.34 B)

m_v विधि: $\Delta H = m_v\ \Delta\sigma'\ H$, रैखिक; उत्थान $= -m_v(\sigma'_{v0} - \sigma'_{exc})\ H$

समय: $T_v = C_v\ t/H_{dr}^2$; $T_{v,50} = 0.197$, $T_{v,90} = 0.848$; $H_{dr} = H$ (एकतरफ़ा) या $H/2$ (दोतरफ़ा); $S(t) = \Sigma\ U_i\ S_{c,i}$

संदर्भ

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. Wiley.

Newmark, N.M. (1935). Simplified computation of vertical pressures in elastic foundations. Univ. of Illinois Bulletin 429.

Das, B.M. (2016). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage.

Holtz, R.D., Kovacs, W.D., Sheahan, T.C. (2011). An Introduction to Geotechnical Engineering, 2nd ed. Pearson.

Craig, R.F., Knappett, J.A. (2012). Craig’s Soil Mechanics, 8th ed. Spon.

टिप्पणी

सभी संख्यात्मक उदाहरण मॉड्यूल के अपने गणना इंजन से तैयार किए गए हैं; मॉड्यूल यही मान देता है (उदाहरण स्लाइस: dz = परत की मोटाई)।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

इस प्रस्तुति के उदाहरणों की GeoTerva में चरण-दर-चरण गणना करें; मॉड्यूल में परतों की संख्या और उत्खनन स्वतंत्र रूप से दर्ज किए जाते हैं।

मॉड्यूल खोलें →

सिद्धांत पृष्ठ →

फ़ोन पर खोलें

नमूना मॉड्यूल के लिए पंजीकरण आवश्यक नहीं है।