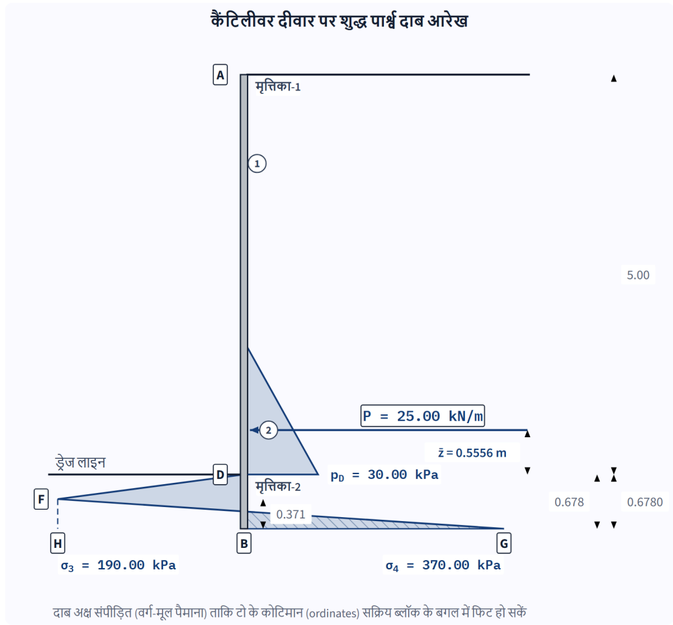
भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · शीट-पाइल दीवारें और ब्रेस किए गए उत्खनन

मृत्तिका में कैंटिलीवर शीट-पाइल दीवार

व्याख्यान: मृत्तिका में कैंटिलीवर शीट-पाइल दीवार का डिज़ाइन (अनपवाहित शुद्ध दाब, भेदन गहराई, आघूर्ण, काट, भूकंप, आधार उत्थान); प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

- कैंटिलीवर शीट-पाइल दीवार
- अनपवाहित मृत्तिका (φ = 0)
- भेदन गहराई · अधिकतम आघूर्ण
- आधार उत्थान
- भूकंप · विस्थापन



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

- मृत्तिका में कैंटिलीवर शीट-पाइल का हल **अनपवाहित, कुल प्रतिबल ($\varphi = 0$)** विश्लेषण से क्यों किया जाता है; $K_a = K_p = 1$
- रोकी गई मृत्तिका का सक्रिय दाब **$\sigma_v - 2c_u$**, **तनन दरार z_c** और उत्खनन तल के ऊपर परिणामी बल P_1
- मृत्तिका में, उत्खनन तल के नीचे **स्थिर शुद्ध दाब $\sigma_6 = 4c_u - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$** और सिरे पर σ_7
- क्षैतिज और आघूर्ण संतुलन से **D के लिए द्विघात समीकरण**; z' और M_{max}
- डिज़ाइन गहराई (f, K_p/FS_p, निर्दिष्ट गहराई); **जल से भरी दरार** और भिन्न जल स्तर का प्रभाव
- शीट-पाइल सत्यापन (EN 1993-1-1, AISC 360-22), **भूकंप**, विस्थापन और **आधार उत्थान** की जाँच

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 दीवार: उत्खनन तल के ऊपर L = 5 m मृत्तिका (γ = 18 kN/m³, c_u = 30 kPa), उसके नीचे अधिक कठोर मृत्तिका (c_u = 70 kPa); कोई जल नहीं, कोई अधिभार नहीं। हाथ से किए गए हल में तनन दरार सूखी है; मॉड्यूल के डिफ़ॉल्ट में जल से भरी है। बल दीवार की प्रति मीटर लंबाई के लिए हैं।

यह कैसे कार्य करता है, कैसे घूमता है?

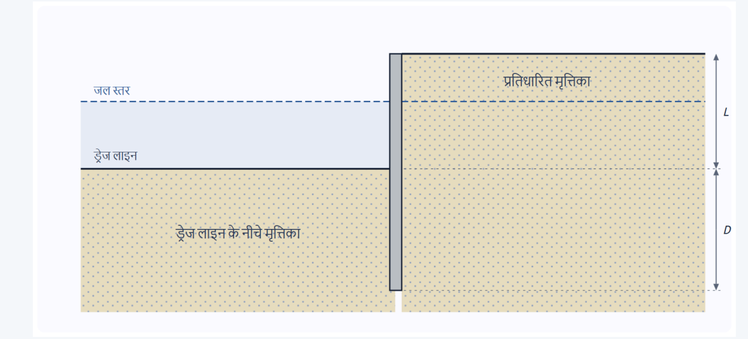
सिद्धांत

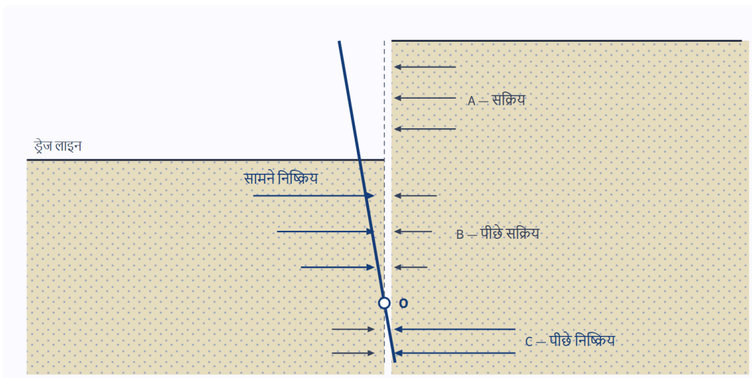
शीट-पाइल दीवार उत्खनन तल (L) के ऊपर की मृदा को थामती है और **भेदन गहराई D** के सहारे खड़ी रहती है। **कैंटिलीवर** दीवार का कोई अन्य आलंब नहीं होता; वह केवल उस मृदा के निष्क्रिय प्रतिरोध से टिकी रहती है जिसमें उसे ठोका गया है, इसलिए उत्खनन तल के ऊपर लगभग 6 m तक किफ़ायती है।

दीवार बिंदु O (सिरे के निकट) के परितः दृढ़ पिंड की तरह घूमती है: **A** (उत्खनन तल के ऊपर) सक्रिय; **B** (उत्खनन तल–O) पीछे सक्रिय, आगे निष्क्रिय; **C** (O के नीचे) पीछे निष्क्रिय, आगे सक्रिय।

स्रोत वास्तविक (वक्रीय) वितरण के स्थान पर **एक रैखिक आदर्शीकरण** रखता है: उत्खनन तल के नीचे का शुद्ध दाब और सिरे पर घूर्णन ब्लॉक; क्षैतिज और आघूर्ण साम्य से भेदन गहराई प्राप्त होती है।

मृत्तिका में तेज़ी से भारित मृदा अपवाहित नहीं हो सकती: विश्लेषण **अनपवाहित, कुल प्रतिबल में** किया जाता है ($\varphi = 0$, c_u); दोनों Rankine गुणांक 1 होते हैं। दीर्घकालीन अपवाहित स्थिति (c', φ') की इस मॉड्यूल में जाँच नहीं की जाती।





$\sigma_v - 2c_u$, तनन दरार z_c, P_1

सिद्धांत

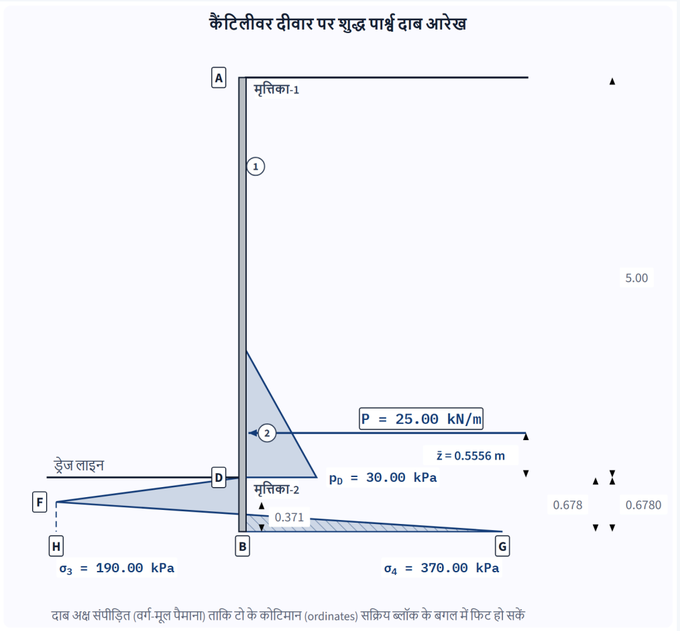
उत्खनन तल के ऊपर थामी गई मृत्तिका अपने अनपवाहित सक्रिय दाब से धकेलती है: कुल ऊर्ध्वाधर प्रतिबल घटा $2c_u$ ($\varphi = 0$ पर $K_a = 1$):

$$\sigma_a(z) = q + \gamma z - 2c_u \qquad z_c = \frac{2c_u - q}{\gamma}$$

$$P_1 = \tfrac{1}{2}\,\sigma_a(L)\,(L - z_c) \qquad \bar{z}_1 = \frac{L - z_c}{3}$$

सतह के निकट σ_a ऋणात्मक होता है: मृत्तिका दीवार को अपनी ओर खींचती। ऐसा **चूषण नहीं गिना जाता**; दाब गहराई z_c (तनन दरार) तक शून्य रहता है और उसके नीचे रैखिक रूप से बढ़ता है। एक ही मृत्तिका होने पर आरेख z_c से उत्खनन तल तक एक त्रिभुज होता है; P_1, उत्खनन तल से $\bar{z}_1$ ऊपर कार्य करता है।

दरार जल से भरी हो सकती है (मॉड्यूल का डिफ़ॉल्ट): दरार के साथ द्रवस्थैतिक जल दाब $\tfrac{1}{2}\gamma_w z_c^2$ को P_1 में जोड़ा जाता है; यदि दरार **सूखी** ली जाए (स्रोत के समीकरण), तो नहीं जोड़ा जाता। भूजल स्तर के नीचे जल दरार को स्थिर स्तर तक भर देता है।



शुद्ध दाब आरेख (जल से भरी दरार वाली प्रारंभिक दीवार)।

प्रश्न

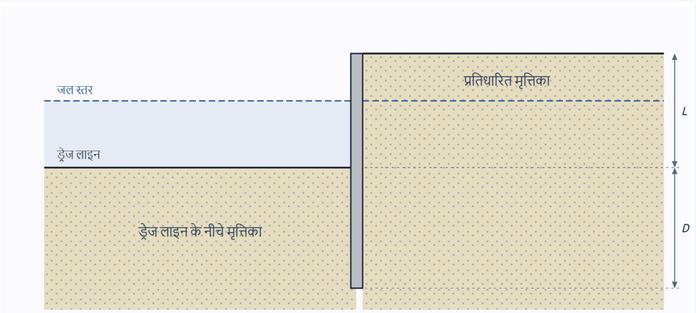
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	**प्रतिधारित मृत्तिका: $\gamma = 18$ kN/m³, $c_u = 30$ kPa; उसके नीचे कठोर मृत्तिका $c_u = 70$ kPa**
दीवार	**$L = 5$ m; जल नहीं, अधिभार नहीं; तनन दरार सूखी (स्रोत के समीकरण)**

ज्ञात करना है

z_c, $\sigma_a(L)$, P_1 और उसकी भुजा $\bar{z}_1$ (उत्खनन तल से)।



हल

हल

1 तनन दरार की गहराई और उत्खनन तल पर सक्रिय दाब

$$z_c = \frac{2c_u}{\gamma} = \frac{2(30)}{18} = \mathbf{3.333}\ \text{m}$$

$$\sigma_a(L) = \gamma L - 2c_u = 18(5) - 60 = \mathbf{30}\ \text{kPa}$$

2 त्रिभुजाकार आरेख का परिणामी और उसकी भुजा

$$P_1 = \tfrac{1}{2}\,\sigma_a(L)(L - z_c) = \tfrac{1}{2}(30)(1.667) = \mathbf{25.00}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z}_1 = \frac{L - z_c}{3} = \frac{1.667}{3} = \mathbf{0.5556}\ \text{m}\ \ (\text{उत्खनन तल के ऊपर})$$

पहली **3.33 m** गहराई में मृत्तिका सक्रिय दाब नहीं देती (दरार); उत्खनन तल पर σ_a = 30 kPa तक पहुँचता है। **P_1 = 25.0 kN/m**, उत्खनन तल से 0.556 m ऊपर।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

नियत शुद्ध दाब σ_6 और सिरे पर σ_7

सिद्धांत

दीवार जैसी स्थिति में तेज़ी से भारित होने वाली मृत्तिका में जल निकास नहीं हो सकता: $\varphi = 0$, गुणांक 1, सतह पर पार्श्व दाब ऊर्ध्वाधर कुल प्रतिबल $\mp 2c_u$ होते हैं:

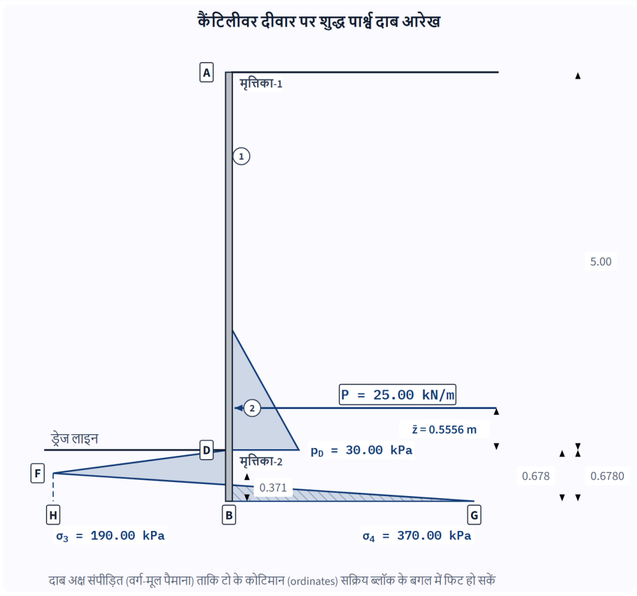
$$\sigma_a = \sigma_v - 2c_u \qquad \sigma_p = \sigma_v + 2c_u$$

उत्खनन तल के ठीक नीचे प्रतिधारित ओर अपने वहन किए गए भार $(\gamma L_1 + \gamma' L_2) - 2c_u$ से धकेलती है; उत्खनन की ओर का फलक, जिस पर अभी कोई भार नहीं है, $2c_u$ से प्रतिरोध करता है। नीचे दोनों फलकों पर समान भार जुड़ता है, इसलिए **अंतर नहीं बदलता**: शुद्ध दाब स्थिर है और प्रतिधारित मृदा की ओर निर्देशित है। घूर्णन क्षेत्र में दोनों ओर की भूमिकाएँ आपस में बदल जाती हैं:

$$\sigma_6 = 4c_u - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \qquad \sigma_7 = 4c_u + (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$$

σ_6 धनात्मक होना चाहिए: जिस मृत्तिका में $4c_u$ उत्खनन तल के भार से अधिक नहीं होता, उसे दीवार से थामा नहीं जा सकता; मॉड्यूल गणना रोक देता है।

शून्य बिंदु E स्वयं उत्खनन का तल है; उत्खनन तल के नीचे शुद्ध दाब नियत σ_6 है और सिरे पर L_4 ऊँचाई के ब्लॉक के साथ σ_7 पर लौट आता है।



प्रश्न

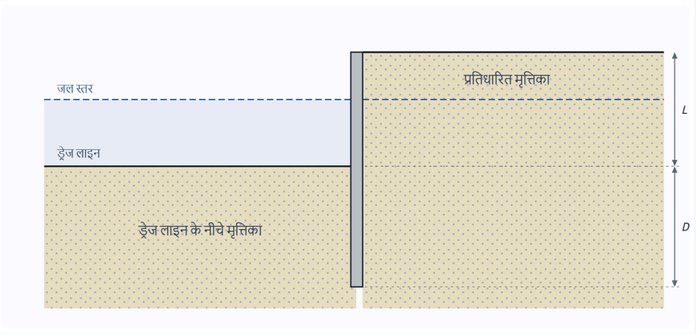
उदाहरण

दिया गया है

दिया गया है	**उदाहरण 1:** $\gamma = 18$ **kN/m³,** $L = 5$ **m (जल नहीं):** $\gamma L = 90$ **kPa; दबी हुई मृत्तिका में** $c_u = 70$ **kPa**

ज्ञात करना है

उत्खनन तल के नीचे स्थिर नेट दाब σ_6 और सिरे पर σ_7; क्या σ_6 धनात्मक है?



हल

हल

1 उत्खनन तल के नीचे शुद्ध दाब (धारित पक्ष की ओर)

$$\sigma_6 = 4c_u - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) = 4(70) - 90 = \mathbf{190}\ \text{kPa}\ > 0\ \checkmark$$

2 सिरे पर घूर्णन की कोटि

$$\sigma_7 = 4c_u + (\gamma L_1 + \gamma' L_2) = 4(70) + 90 = \mathbf{370}\ \text{kPa}$$

शुद्ध दाब σ_6 = **190 kPa** धनात्मक है: कठोर मृत्तिका दीवार को थाम सकती है। सिरे पर दाब का उत्क्रमण σ_7 = 370 kPa है। उत्खनन तल के नीचे प्रत्येक गहराई पर वही **190 kPa** शुद्ध दाब कार्य करता है (स्थिर आरेख)।

क्षैतिज संतुलन से L_4, D के लिए द्विघात समीकरण

सिद्धांत

उत्खनन तल के ऊपर परिणामी बल P_1 है (भुजा $\bar{z}_1$); उसके नीचे σ_6 पूरी भेदन गहराई (D) पर कार्य करता है और सिरे का खंड (ऊँचाई L_4) दाब को σ_7 में पलट देता है। क्षैतिज संतुलन L_4 देता है:

$$P_1 - \sigma_6 D + \tfrac{1}{2} L_4(\sigma_6 + \sigma_7) = 0 \;\Rightarrow\; L_4 = \frac{\sigma_6 D - P_1}{4c_u}$$

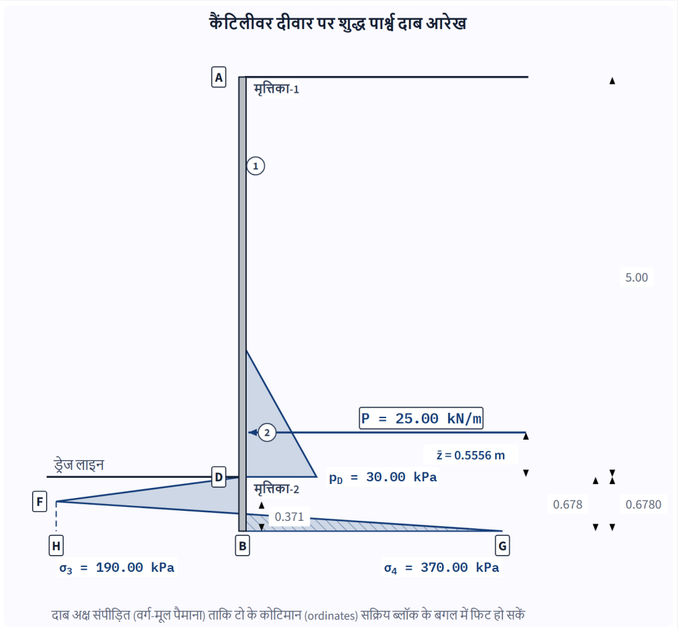
सिरे के सापेक्ष आघूर्ण संतुलन में L_4 रखने पर D के लिए एक **द्विघात** समीकरण शेष रहता है:

$$P_1(D + \bar{z}_1) - \frac{\sigma_6 D^2}{2} + \frac{4c_u}{3} L_4^2 = 0$$

$$\sigma_6(\sigma_6 - 6c_u)D^2 + P_1(12c_u - 2\sigma_6)D + P_1(P_1 + 12c_u\bar{z}_1) = 0$$

$$z' = \frac{P_1}{\sigma_6} \qquad M_{max} = P_1(z' + \bar{z}_1) - \frac{\sigma_6 z'^2}{2}$$

अपरूपण बल उस गहराई z′ पर (उत्खनन तल के नीचे) शून्य होता है जहाँ स्थिर शुद्ध दाब P_1 को निरस्त कर देता है; आघूर्ण यहाँ अधिकतम है। $D_{theoretical}$ इस समीकरण का धनात्मक मूल है; निष्क्रिय प्रतिरोध पूर्णतः सक्रिय हो चुका है, कोई आरक्षित क्षमता नहीं है।



प्रश्न

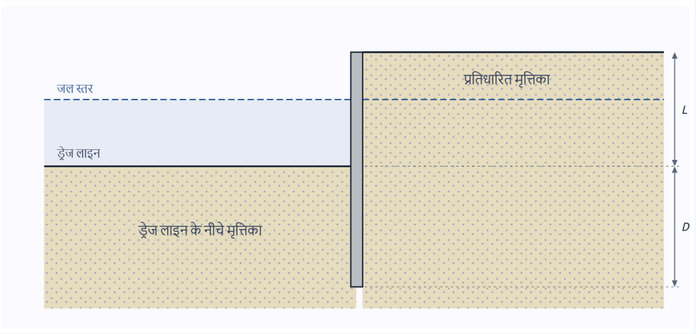
उदाहरण

दिया गया है

दिया गया है	**उदाहरण 1–2:** $P_1 = 25.00$ **kN/m,** $\bar{z}_1 = 0.5556$ **m;** $\sigma_6 = 190$ **kPa,** $\sigma_7 = 370$ **kPa;** $c_u = 70$ **kPa**

ज्ञात करना है

समीकरण के गुणांक; $D_{theoretical}$; सिरा ब्लॉक की ऊँचाई L_4।



हल

हल

1 गुणांक

$$a = \sigma_6(\sigma_6 - 6c_u) = 190(190 - 420) = -43{,}700$$
$$b = P_1(12c_u - 2\sigma_6) = 25(840 - 380) = 11{,}500$$
$$c = P_1(P_1 + 12c_u\bar{z}_1) = 25(25 + 840(0.5556)) = 12{,}291.7$$

2 धनात्मक मूल और सिरा ब्लॉक

$$-43{,}700D^2 + 11{,}500D + 12{,}291.7 = 0 \;\Rightarrow\; D_{theoretical} = \mathbf{0.678}\ \text{m}$$
$$L_4 = \frac{\sigma_6 D - P_1}{4c_u} = \frac{190(0.678) - 25}{280} = \mathbf{0.3708}\ \text{m}$$

सैद्धांतिक भेदन गहराई केवल **D = 0.678 m** है: भेदन क्षेत्र की मृत्तिका कठोर (c_u = 70 kPa) और दरार शुष्क होने के कारण उत्खनन तल के नीचे बहुत कम भेदन पर्याप्त है। सिरे का ब्लॉक 0.371 m है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

उदाहरण

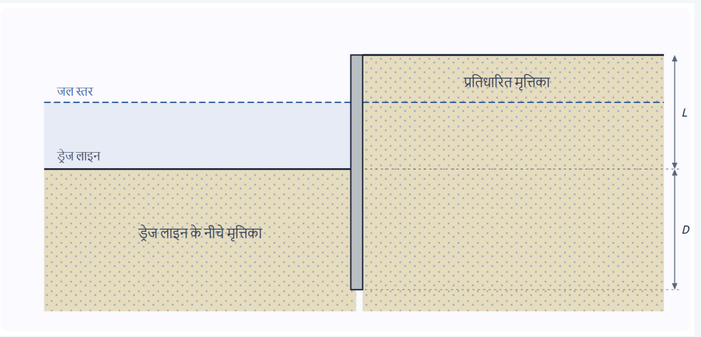
दिया गया है

दिया गया है

उदाहरण 1–3: $P_1 = 25.00$ **kN/m,** $\bar{z}_1 = 0.5556$ **m,** $\sigma_6 = 190$ **kPa**

ज्ञात करना है

जहाँ अपरूपण शून्य है वह **z′** और M_{max}।



हल

हल

1 वह गहराई जहाँ अपरूपण बल शून्य है (उत्खनन तल से)

$$z' = \frac{P_1}{\sigma_6} = \frac{25}{190} = \mathbf{0.1316}\ \text{m}$$

2 अधिकतम आघूर्ण

$$M_{max} = P_1(z' + \bar{z}_1) - \frac{\sigma_6 z'^2}{2} = 25(0.1316 + 0.5556) - 95(0.1316)^2 = \mathbf{15.53}\ \text{kN·m/m}$$

M_{max} = 15.53 kN·m/m, उत्खनन आधार से केवल 0.13 m नीचे। शुद्ध दाब स्थिर होने के कारण अपरूपण बल z′ के अनुदिश रैखिक रूप से घटता है, आघूर्ण उत्खनन आधार के बहुत निकट अपने अधिकतम मान पर पहुँचता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सुरक्षा मार्जिन जोड़ने के तरीके

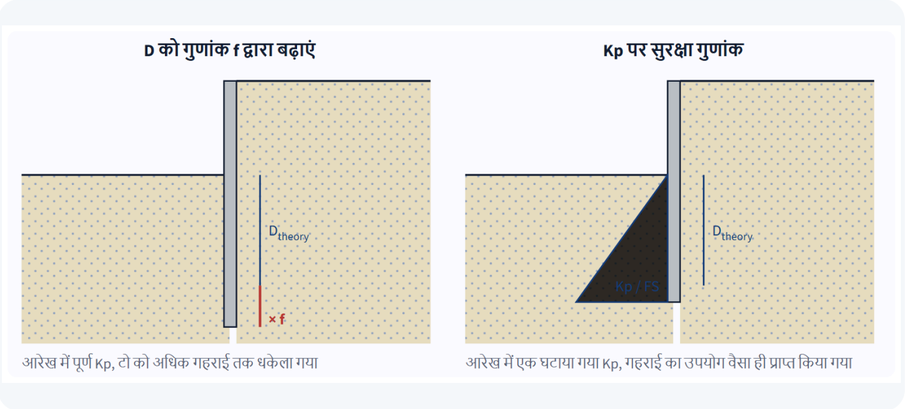
सिद्धांत

सैद्धांतिक गहराई पर कोई भत्ता नहीं है। दो मार्ग (चित्र):

गहराई बढ़ाना: $D_{design} = f \cdot D_{theoretical}$; मृत्तिका में f = 1.4–1.6 लिया जाता है (मॉड्यूल का डिफ़ॉल्ट 1.5)। दाब और आघूर्ण सैद्धांतिक दीवार के हैं।

निष्क्रिय दाब पर सुरक्षा गुणांक: आरेख आरंभ से ही σ_p/FS_p ($\sigma_p = \sigma_v + 2c_u$) से बनाया जाता है; प्राप्त गहराई को जैसा है वैसा ही प्रयोग किया जाता है, **आघूर्ण बढ़ जाता है**।

दी गई गहराई: अपेक्षित गहराई से सत्यापित की जाती है ($D_{given} \geq D_{design,required}$); $\sigma_p/FS_{p,mob}$ के साथ आरेख दी गई गहराई पर ठीक संतुलन में रहता है। आंतरिक बल दो स्थितियों के लिए निकाले जाते हैं, शीट-पाइल का चयन **बड़े आघूर्ण** के अनुसार किया जाता है; दी गई गहराई का आघूर्ण अपेक्षित गहराई के आघूर्ण से बड़ा हो सकता है।



प्रश्न

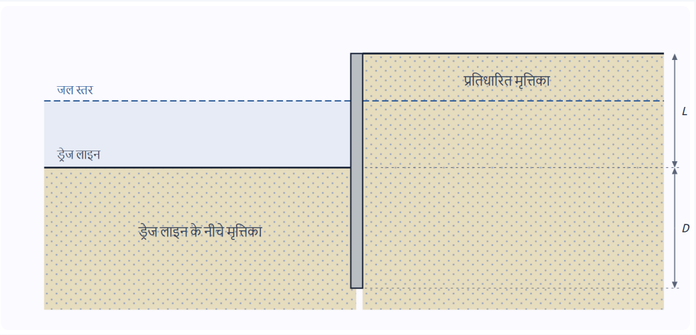
उदाहरण

दिया गया है

दीवार	**जल से भरी तनन दरार वाली प्रारंभिक दीवार (मॉड्यूल का डिफ़ॉल्ट):** $L = 5$ **m,** $c_u = 30/70$ **kPa; यदि दरार सूखी हो तो D = 0.678 m (उदाहरण 3)**
सड़कें	$f = 1.5$; $FS_p = 1.5$; **दिया गया** $D = 5.0$ **m; शीट-पाइल S275,** $W_{el} = 1\,400$ **cm³/m (**$\gamma_F = 1.35$**)**

ज्ञात करना है

प्रत्येक विधि का D_{design}, कुल लंबाई, M_{max} और शीट-पाइल उपयोग अनुपात **η**।



हल

हल

1 $D_{design} = f \cdot D_{theoretical}$ (आघूर्ण समान); K_p मार्ग में आरेख पुनः बनाया जाता है

सड़क	D_{design} (m)	L + D (m)	M_{max} (kN·m/m)	η (EN 1993)	टिप्पणी
दरार शुष्क, f = 1.5 (उदाहरण 3)	1.017	6.02	15.53	0.054	$D_{theoretical}$ = 0.678 m
जल से भरी दरार, f = 1.5	3.433	8.43	181.91	0.638	$D_{theoretical}$ = 2.288 m
जल से भरा, FS_p = 1.5	2.775	7.77	187.51	0.657	गहराई और आघूर्ण बढ़ते हैं
जल से भरा, दिया गया D = 5.0 m	5.000	10.00	209.71	0.735	$FS_{p,mob}$ = 5.19

जल से भरी दरार कहीं अधिक बड़ा भार लाती है: P_1 25.0 → 79.5 kN/m, $D_{theoretical}$ 0.68 → 2.29 m, M_{max} 15.5 → 181.9 kN·m/m (उदाहरण 6)। दिया गया D = 5.0 m डिज़ाइन गहराई (3.43 m) से अधिक है और निष्क्रिय प्रतिरोध के केवल 1/5.2 भाग को गतिशील करता है; किंतु यह आवश्यक गहराई वाली स्थिति के आघूर्ण (181.9) से **बड़ा आघूर्ण** (209.7 kN·m/m) देता है: शीट-पाइल का चयन बड़े वाले के अनुसार किया जाता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

तनन दरार में जल और भिन्न-भिन्न जल स्तर

सिद्धांत

जल से भरी दरार (मॉड्यूल का डिफ़ॉल्ट): दरार के अनुदिश द्रवस्थैतिक दाब $P_w = \tfrac{1}{2}\gamma_w z_c^2$ सक्रिय दाब में जोड़ा जाता है (इसकी आघूर्ण भुजा दरार के निचले एक-तिहाई बिंदु पर है); कुल $P_1 = P_w + \tfrac{1}{2}\sigma_a(L)(L - z_c)$। दरार को **शुष्क** चुनने पर स्रोत के समीकरण लिए जाते हैं।

दोनों ओर समान जल स्तर: उत्खनन तल के ऊपर जलस्थैतिक दाब एक-दूसरे को निरस्त कर देते हैं; भूजल स्तर के नीचे मृत्तिका का निमज्जित इकाई भार γ' प्रयुक्त होता है, और भूजल स्तर न होने पर सर्वत्र प्राकृतिक γ लिया जाता है।

भिन्न स्तर (स्रोत से आगे): उत्खनन तल के ऊपर शुद्ध जल दाब सक्रिय दाब में जोड़ा जाता है (कोई रिसाव नहीं)। मृत्तिका का हल कुल प्रतिबल में किया जाता है, इसलिए $(\gamma L_1 + \gamma' L_2)$ के स्थान पर दोनों फलकों के कुल ऊर्ध्वाधर प्रतिबलों का अंतर $\Delta q = q_r - q_e$ आता है; मृत्तिका के भीतर के जल स्तर अनपवाहित विश्लेषण में शामिल नहीं होते।

$$u_{net}(z) = \gamma_w(z - D_w) - \gamma_w(z - D_{w,exc}) \quad \text{(प्रत्येक पद } \geq 0)$$

$$\sigma_6 = 4c_u - \Delta q \qquad \Delta q = q_r - q_e$$

$$P_1 = \tfrac{1}{2}\gamma_w z_c^2 + \tfrac{1}{2}\sigma_a(L)(L - z_c)$$

प्रश्न

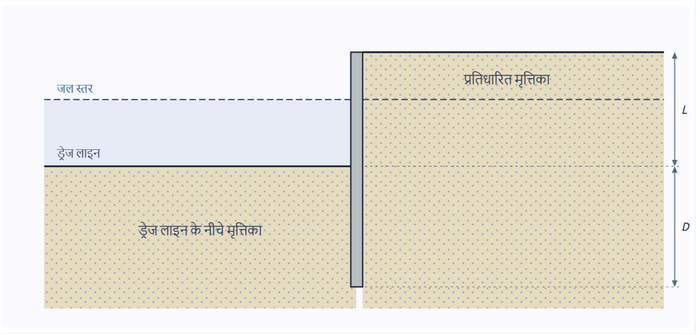
उदाहरण

दिया गया है

दीवार	**उदाहरण 1–5 की दीवार ($L = 5$ m, $\gamma = 18$, $c_u = 30/70$ kPa)**
स्थितियाँ	**(a) दरार सूखी; (b) दरार जल से भरी (डिफ़ॉल्ट); (c) पीछे जल 2 m पर, उत्खनन की ओर 6 m पर (शुद्ध जल दाब)**

ज्ञात करना है

(b) के लिए $\mathbf{P_1}$ और $\bar{\mathbf{z}}_\mathbf{1}$ (हाथ से); तीनों स्थितियों के $\mathbf{D_{theoretical}}$ और $\mathbf{M_{max}}$ मान।



हल

हल

1 (b) दरार में जल दाब जोड़ा जाता है (दरार की गहराई z_c = 3.333 m)

$$P_w = \tfrac{1}{2}\gamma_w z_c^2 = \tfrac{1}{2}(9.81)(3.333)^2 = 54.50 \text{ kN/m} \quad (\text{भुजा } 5 - \tfrac{2}{3}z_c = 2.778 \text{ m})$$

$$P_1 = 54.50 + 25.00 = \mathbf{79.50} \text{ kN/m} \qquad \bar{z}_1 = \frac{54.50(2.778) + 25.00(0.5556)}{79.50} = \mathbf{2.0790} \text{ m}$$

2 तीन स्थितियों का सारांश (वही समीकरण; D और M के लिए द्विघात समीकरण हल किया जाता है)

स्थिति	P_1 (kN/m)	$\bar{z}_1$ (m)	σ_6 (kPa)	$D_{theoretical}$ (m)	M_{max} (kN·m/m)
(a) दरार शुष्क	25.00	0.556	190	0.678	15.53
(b) दरार जल से भरी	79.50	2.079	190	2.288	181.91
(c) भिन्न जल स्तर	115.70	1.754	187	2.765	238.79

जल से भरी दरार P_1 को 25.0 से **79.5 kN/m** कर देती है: भेदन 0.68 → **2.29 m**, आघूर्ण 15.5 → **181.9 kN·m/m**। भिन्न जल स्तर (शुद्ध जल दाब) P_1 = 115.7 kN/m, D = 2.77 m, M = 238.8 kN·m/m देता है। तनन दरार में जल की उपेक्षा करना असुरक्षित पक्ष में पड़ता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

EN 1993-1-1 और AISC 360-22

सिद्धांत

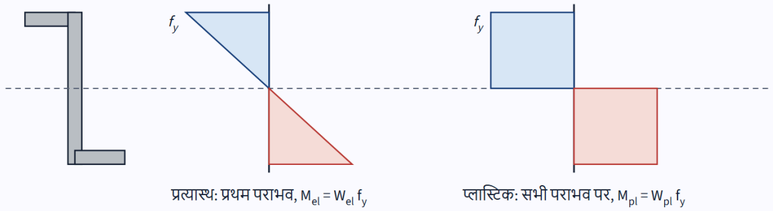
पारंपरिक विधि: S = M_{max}/σ_{allow}। मॉड्यूल सीमा-अवस्था सत्यापन करता है: शुद्ध दाब आरेख का आघूर्ण एक अभिलाक्षणिक क्रिया है; आंशिक गुणांक उसे डिज़ाइन मान तक बढ़ा देता है:

$$M_{Ed} = \gamma_F M_{max} \quad W_{req} = \frac{M_{Ed}\gamma_{M0}}{f_y} \quad M_{c,Rd} = \frac{W f_y}{\gamma_{M0}} \quad \eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \le 1$$

सारणी में **W_{el}** (प्रथम पराभव, श्रेणी 3 तक) और **W_{pl}** (पूर्ण प्लास्टिक, श्रेणी 1–2) दिए गए हैं। भेदन गहराई का अंश स्टील कोड के साथ अलग से नहीं गुणा किया जाता।

$$\text{LRFD: } M_u = \gamma_H M_{max} \le \phi_b M_n,\ \phi_b = 0.90 \qquad \text{ASD: } M_a = M_{max} \le \frac{M_n}{\Omega_b},\ \Omega_b = 1.67$$

$M_n = F_y Z$ (कॉम्पैक्ट) या प्रथम यील्ड पर $F_y S$; मृदा दाब को पार्श्व मृदा दाब H माना जाता है: LRFD में $\gamma_H = 1.6$, ASD में 1.0।



प्रश्न

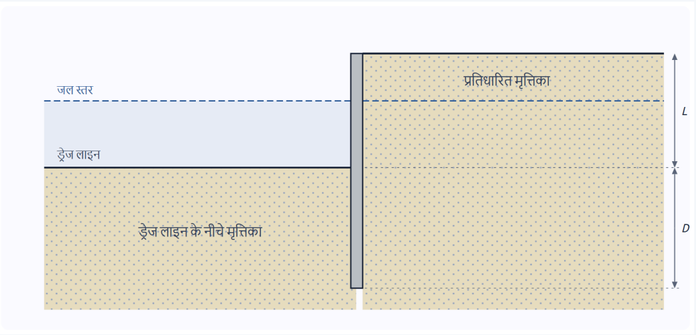
उदाहरण

दिया गया है

काट	**S275 ($f_y = 275$ MPa); $W_{el} = 1\,400$ cm³/m**
आघूर्ण	**जल से भरी दरार वाली दीवार: $M_{max} = 181.91$ kN·m/m; EN: $\gamma_F = 1.35$, $\gamma_{M0} = 1.00$; AISC: $\gamma_H = 1.6$, $\Omega_b = 1.67$ ($M_n = F_y S$)**

ज्ञात करना है

EN 1993-1-1 के लिए **M_{Ed}**, **W_{req}**, $M_{c,Rd}$, **η**; AISC LRFD और ASD के लिए η।



हल (1/2)

हल

1 EN 1993-1-1

$$M_{Ed} = 1.35(181.91) = \mathbf{245.58}\ \text{kN·m/m}$$

$$W_{req} = \frac{M_{Ed}\gamma_{M0}}{f_y} = \frac{245.58(1.00)}{275\,000} = \mathbf{893.0}\ \text{cm}^3\text{/m}$$

$$M_{c,Rd} = 1\,400 \cdot 10^{-6}(275\,000) = 385.00\ \text{kN·m/m} \qquad \eta = \frac{245.58}{385.00} = \mathbf{0.638} \le 1\ \checkmark$$

चुनी गई शीट-पाइल पर्याप्त है: η = **0.638**; आवश्यक W = 893 cm³/m < 1 400 cm³/m।

हल (2/2)

हल

1 AISC 360-22: $M_n = F_y S = 275\,000\,(1\,400 \cdot 10^{-6}) = 385.0$ kN·m/m

LRFD: $M_u = 1.6(181.91) = 291.06$ kN·m/m $\leq \phi_b M_n = 0.90(385.0) = 346.5 \quad \eta = \mathbf{0.840}$

ASD: $M_a = 181.91$ kN·m/m $\leq \dfrac{M_n}{\Omega_b} = \dfrac{385.0}{1.67} = 230.5 \quad \eta = \mathbf{0.789}$

AISC से भी पर्याप्त: LRFD η = **0.840**, ASD η = **0.789**; EN 1993-1-1 में 0.638। संहिताओं के सुरक्षा दर्शन भिन्न होने के कारण अनुपात भिन्न हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

अर्ध-स्थैतिक अनपवाहित वेज

सिद्धांत

भूकंप, मृदा वेजों में स्थिर जड़त्व बल ($k_h W$ क्षैतिज, $k_v W$ ऊर्ध्वाधर) जोड़कर स्थैतिक सीमा-संतुलन ढाँचे को बनाए रखता है। मृत्तिका में Mononobe–Okabe लागू नहीं किया जा सकता ($\varphi = 0$); मॉड्यूल **45° क्रांतिक समतल वाला अनपवाहित वेज** लेता है (GeoTerva की मान्यता):

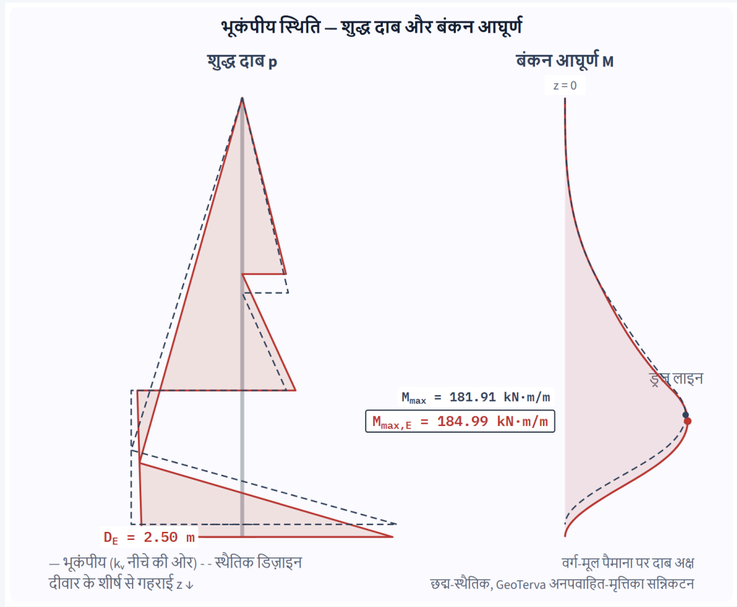
$$\tan\theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v} \qquad K_{AE}^{c} = 1 + \tan\theta \qquad K_{PE}^{c} = 1 - \tan\theta$$

दाब: $(1 \mp k_v)\,(1 \pm \tan\theta)\,\sigma_v \;\mp\; 2c_u = [(1 \mp k_v) \pm k_h]\,\sigma_v \;\mp\; 2c_u$

मृत्तिका का रंध्र जल सदैव मृदा के साथ गति करता है (प्रतिबंधित); मुक्त जल केवल अत्यधिक पारगम्य मृदा में होता है। **k_v की दोनों दिशाओं** की भी जाँच की जाती है।

जाँच: शुद्ध दाब आरेख स्थैतिक की तरह बनाया जाता है; दो संतुलन समीकरण **D_E** देते हैं। भूकंप एक आकस्मिक स्थिति है, इसलिए निष्क्रिय दाब पर गुणांक नहीं लगाया जाता: दीवार **$D_E \le D_{design}$** होने पर सहन कर लेती है। कैंटिलीवर में भूकंपीय दाब स्थैतिक दाबों की तरह प्रभावी प्रतिबल के अनुपात में वितरित किए जाते हैं।

भूकंपीय संयोजन में प्रभाव 1.0 के साथ लिए जाते हैं: $M_{Ed,E} = M_{max,E}$।



प्रश्न

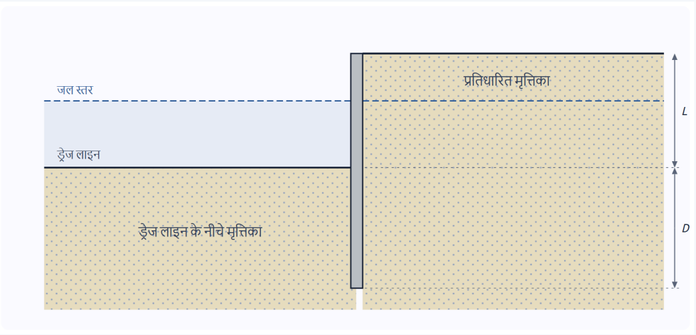
उदाहरण

दिया गया है

दीवार	**उदाहरण 6(b): जल से भरी दरार वाली दीवार,** $D_{design} = 3.43$ **m,** $M_{max} = 181.91$ **kN·m/m;** $W_{el} = 1\,400$ **cm³/m**
भूकंप	$k_h = 0.15$, $k_v = \pm 0.075$ **(दो दिशाएँ)**

ज्ञात करना है

भूकंपीय गुणांक; $\mathbf{D_E}$ (k_V की दो दिशाएँ), $\mathbf{M_{max,E}}$; क्या स्थैतिक दीवार इस भूकंप को सह लेती है?



हल

हल

1 भूकंपीय गुणांक (स्थैतिक: सक्रिय = निष्क्रिय = 1) और दोनों दिशाओं के लिए परिणाम

k_v	f_v	tan θ	सक्रिय: $f_v + k_h$	निष्क्रिय: $f_v - k_h$	D_E (m)	$M_{max,E}$ (kN·m/m)
+0.075	0.925	0.1622	1.075	0.775	2.391	181.39
−0.075	1.075	0.1395	1.225	0.925	**2.503**	184.99

2 जाँच और काट

$$D_E = 2.50 \text{ m} \;\le\; D_{design} = 3.43 \text{ m} \;\checkmark$$

$$M_{Ed,E} = M_{max,E} = 184.99 \text{ kN·m/m} \qquad \eta_E = \frac{184.99}{385.00} = \mathbf{0.481} \;\le 1 \;\checkmark$$

स्थैतिक डिज़ाइन इस भूकंप को **सह लेता है**: भूकंपीय आरेख के लिए भेदन गहराई केवल **2.50 m** चाहिए (डिज़ाइन 3.43 m); आघूर्ण 185.0 kN·m/m (स्थैतिक 181.9) लगभग समान है और शीट-पाइल पर्याप्त है। मृत्तिका में शुद्ध दाब स्थिर होने के कारण भूकंप आरेख को बहुत कम बदलता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सबग्रेड प्रतिक्रिया गुणांक विधि

सिद्धांत

सीमा संतुलन भेदन गहराई और आघूर्ण देता है, परंतु यह नहीं बताता कि दीवार **कितना विस्थापित होती है**। कार्य अवस्था में विस्थापन के लिए दीवार को प्रत्यास्थ बीम (EI) तथा प्रत्येक फलक पर मृदा को स्वतंत्र स्प्रिंगों के रूप में लिया जाता है (Winkler):

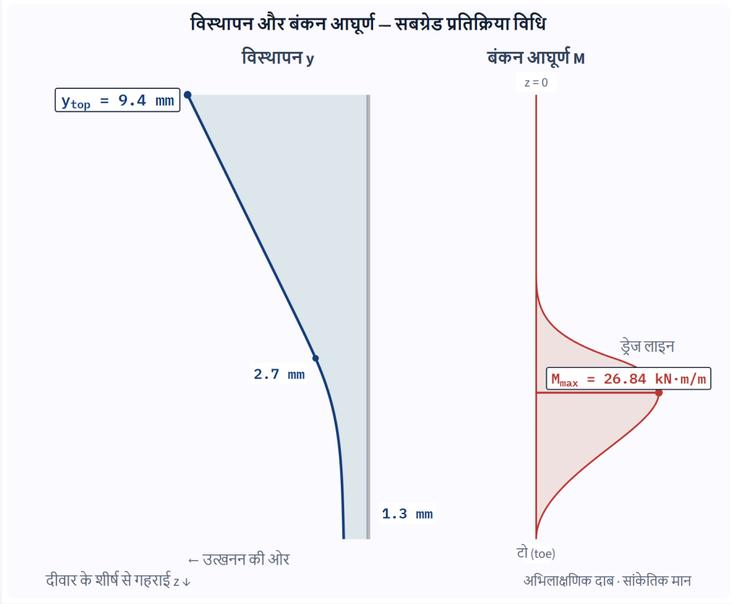
$$EI\frac{d^4y}{dz^4} = p_R(z) - p_E(z) + u_{net}(z)$$

$$p_R = K_0\sigma_{v,r} - k_h y \;\; (\sigma_a \le p_R \le \sigma_p) \qquad p_E = K_0\sigma_{v,e} + k_h y \;\; (\ldots) \qquad K_0 = 1 - \sin\varphi'$$

स्प्रिंग विराम दाब से आरंभ होते हैं, विस्थापन के अनुपात में बदलते हैं और सक्रिय तथा निष्क्रिय सीमा को पार नहीं करते। k_h मृदा का गुण होने की अपेक्षा एक **मॉडल प्राचल** है। मृत्तिका में φ = 0 होने के कारण K_0 = 1 है।

दीवार डिज़ाइन लंबाई (L + D_{design}) की है, दोनों सिरे मुक्त हैं; दाब अभिलाक्षणिक हैं, सुरक्षा गुणांक नहीं है। उत्खनन एक ही चरण में है, दीवार पहले से स्थान पर है।

हल परिमित अवयव विधि से, स्प्रिंगों के प्रत्यास्थ/सक्रिय/निष्क्रिय अवस्था में पहुँचने तक पुनरावृत्ति करके निकाला जाता है; परिणाम एक **सीमा-रहित अनुमान** के रूप में दिया जाता है।



प्रश्न

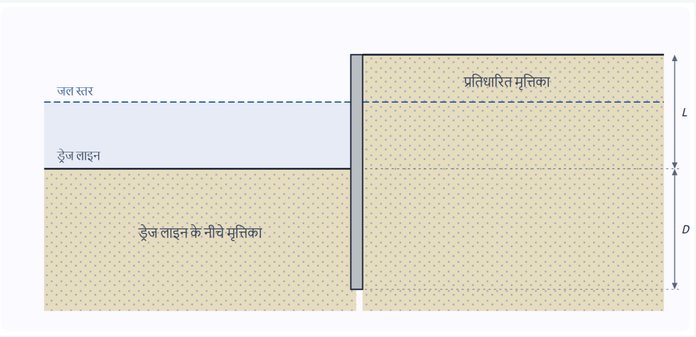
उदाहरण

दिया गया है

दीवार	**उदाहरण 6(b): डिज़ाइन लंबाई** $L + D = 8.43$ **m**
शीट-पाइल	$I = 21\,000$ **cm⁴/m,** $E = 210\,000$ **MPa (**$EI = 44\,100$ **kN·m²/m)**
मृदा	$k_h = 15$ **MN/m³ (ऊपरी मृत्तिका),** 30 **MN/m³ (निचली मृत्तिका)**

ज्ञात करना है

दीवार के शीर्ष पर, उत्खनन तल पर और निचले सिरे पर **विस्थापन**; क्या मॉडल का अधिकतम आघूर्ण सीमा संतुलन आघूर्ण के बराबर है?



हल

हल

1 मॉडल

$$EI = 210\,000\,000(21\,000 \cdot 10^{-8}) = 44{,}100\ \text{kN·m}^2/\text{m} \qquad K_0 = 1 - \sin 0^\circ = 1$$

$$EI\,y^{IV} = p_R - p_E \ \text{(परिमित अवयव, स्प्रिंग प्रत्यास्थ/सक्रिय/निष्क्रिय)}$$

2 परिणाम (उत्खनन की ओर)

$$y_{üst} = \mathbf{9.4}\ \text{mm} \qquad y_{excavation\ base} = \mathbf{2.7}\ \text{mm} \qquad y_{tip} = 1.3\ \text{mm}$$

$$M_{max}^{model} = 26.84\ \text{kN·m/m}\ \ (z = 5.65\ \text{m}) \qquad M_{max}^{limit\ equilibrium} = 181.91$$

दीवार का शीर्ष उत्खनन की ओर **9.4 mm**, उत्खनन तल 2.7 mm और सिरा 1.3 mm खिसकता है। कार्य अवस्था के मॉडल का आघूर्ण (26.8 kN·m/m) सीमा संतुलन आघूर्ण (181.9) से **बहुत छोटा है**: स्प्रिंग निष्क्रिय सीमा का केवल 48% उपयोग करते हैं; सीमा संतुलन दीवार की विफलता की अवस्था को बताता है और **डिज़ाइन आघूर्ण** वही है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

उत्खनन तल का उत्थान

सिद्धांत

पार्श्व संतुलन चाहे कितनी भी कम भेदन गहराई दे, वह उत्खनन तल के विषय में कुछ नहीं बताता। मृत्तिका में तल **ऊपर की ओर उभर सकता है**: उत्खनन के नीचे की मृत्तिका बगल की मृदा के भार से भीतर की ओर दब जाती है (उलटी धारण क्षमता विफलता)। उत्खनन के लिए सामान्य जाँच विफलता सतह पर अपरूपण प्रतिरोध की तुलना इस भार से करती है:

$$FS = \frac{5.14\, c_u \left(1 + 0.2\,\dfrac{B''}{L_{exc}}\right) + \dfrac{c_{side} H}{B'}}{\sigma_v(H) + q} \qquad B' = \min\left(T, \frac{B}{\sqrt{2}}\right),\ B'' = \sqrt{2}\, B'$$

B उत्खनन की चौड़ाई, L_{exc} प्लान में लंबाई (लंबे उत्खनन में आकृति पद लुप्त हो जाता है), T तल के नीचे स्थित कठोर परत की गहराई (न दिए जाने पर सतह केवल चौड़ाई से सीमित होती है); c_u तल के नीचे की मृत्तिका का मान, c_{side} प्रतिधारित ऊँचाई पर औसत संसंजन, $\sigma_v(H)$ तल स्तर पर बगल का कुल प्रतिबल।

आधार के नीचे दीवार का भेदन (गाड़ा गया भाग) नहीं गिना जाता (सुरक्षित पक्ष)। अधिभार तथा स्ट्रिप/बिंदु भार B′ के भीतर तुल्य एकसमान भार के रूप में q में जोड़े जाते हैं। बहु-परत स्थिति में सूत्र का उपयोग GeoTerva के परतदार विस्तार के साथ किया जाता है।

$$FS_{req} = 1.5$$

आवश्यक सुरक्षा गुणांक एक इनपुट है; यह जाँच केवल संसंजक उत्खननों के लिए है।

प्रश्न

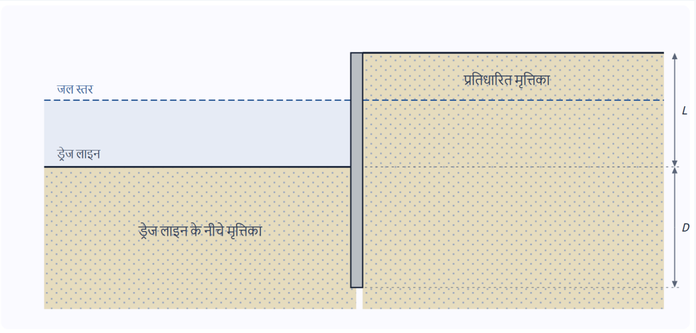
उदाहरण

दिया गया है

उत्खनन	**चौड़ाई $B = 10$ m (लंबा उत्खनन, कठोर परत दर्ज नहीं की गई); दीवार उदाहरण 6 वाली ($H = 5$ m)**
मृदा	**आधार के नीचे की मृत्तिका $c_u = 70$ kPa; धारित ऊँचाई पर औसत $c_{side} = 30$ kPa; $\sigma_v(H) = 90$ kPa; अधिभार नहीं**

ज्ञात करना है

B′, **FS** (≥ 1.5?); यदि उत्खनन चौड़ाई B = 5 m और 20 m होती तो?



हल

हल

1 प्रभावी चौड़ाई (L_{exc} दर्ज नहीं किया गया: आकृति पद नहीं)

$$B' = \frac{B}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = \mathbf{7.071}\ \text{m}$$

2 सुरक्षा गुणांक

$$FS = \frac{5.14(70) + 30(5)/7.071}{90} = \frac{359.8 + 21.2}{90} = \mathbf{4.23} \ \geq 1.5\ \checkmark$$

$$B = 5\ \text{m}: \ FS = 4.47 \qquad B = 20\ \text{m}: \ FS = 4.12$$

आधार उत्थान के विरुद्ध सुरक्षा गुणांक **4.23** है (अपेक्षित 1.5): आधार सुरक्षित है। चौड़ाई बढ़ने पर पार्श्व सर्पण का योगदान घटता है (B = 20 m के लिए 4.12); नीचे की मृत्तिका का c_u मान निर्णायक है।

हल का दायरा

सिद्धांत

प्रत्येक परत मृत्तिका है और **अनपवाहित कुल प्रतिबल में** ($\varphi = 0$) हल की जाती है: **अल्पकालीन स्थिति**। दीर्घकालीन अपवाहित स्थिति (c', φ') की जाँच नहीं की जाती; स्थायी दीवारों में यह निर्णायक हो सकती है। रेत भराव वाली दीवार रेत मॉड्यूल से डिज़ाइन की जाती है।

Rankine दाब दीवार आसंजन के बिना: $K_a = K_p = 1$; सक्रिय $\sigma_v - 2c_u$, निष्क्रिय $\sigma_v + 2c_u$; उत्खनन तल के ऊपर चूषण नहीं (तनन दरार, डिफ़ॉल्ट रूप से जल से भरी, या सूखी; भूजल स्तर के नीचे दरार भूजल को रोके रखती है)।

स्रोत का सरलीकृत शुद्ध दाब आरेख: प्रत्येक गहराई पर दोनों फलकों के दाब, क्षैतिज संतुलन से सिरे का ब्लॉक, आघूर्णों से गहराई। जल दोनों फलकों पर समान या भिन्न (रिसाव रहित); रिसाव का मॉडल नहीं बनाया जाता।

भूकंप में मृत्तिका को 45° क्रांतिक समतल वाले छद्म-स्थैतिक अनपवाहित वेज के रूप में लिया जाता है (GeoTerva की मान्यता)। शीट-पाइल की बंकन में जाँच की जाती है; अपरूपण, स्थानीय बकलिंग और संक्षारण की जाँच नहीं की जाती। विस्थापन सबग्रेड प्रतिक्रिया गुणांक विधि से, बिना किसी सीमा के दिया जाता है।

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

अनपवाहित मृत्तिका ($\varphi = 0$, c_u): सक्रिय $\sigma_v - 2c_u$, निष्क्रिय $\sigma_v + 2c_u$; सतह के निकट चूषण नहीं गिना जाता: **तनन दरार $z_c = (2c_u - q)/\gamma$**; $P_1 = \tfrac{1}{2}\sigma_a(L)(L - z_c)$, $\bar{z}_1 = (L - z_c)/3$

उत्खनन आधार के नीचे शुद्ध दाब स्थिर है: $\sigma_6 = 4c_u - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$, सिरे पर $\sigma_7 = 4c_u + (\ldots)$; यदि $\sigma_6 > 0$ नहीं है, तो मृत्तिका दीवार को धारण नहीं कर सकती

संतुलन: $L_4 = (\sigma_6 D - P_1)/(4c_u)$; D के लिए द्विघात समीकरण (उदाहरण: 0.678 m; जल से भरी दरार के साथ 2.288 m); $z' = P_1/\sigma_6$, $M_{max} = P_1(z' + \bar{z}_1) - \sigma_6 z'^2/2$

जल से भरी दरार P_1, D और M को बहुत बढ़ा देती है (25 → 79.5 kN/m; 15.5 → 181.9 kN·m/m); इसे सूखा मान लेना असुरक्षित है

डिज़ाइन गहराई: f = 1.4–1.6 (आघूर्ण समान) अथवा σ_p/FS_p; दी गई गहराई पर दोनों स्थितियों का बड़ा आघूर्ण

काट: EN 1993-1-1 η = 0.638; AISC LRFD/ASD 0.840 / 0.789 l **भूकंप**: D_E = 2.50 m ≤ 3.43 m; सबग्रेड प्रतिक्रिया गुणांक विधि से शीर्ष ≈ 9 mm

आधार उत्थान: $FS = (5.14c_u(1 + 0.2B''/L_{exc}) + c_{side}H/B')/(\sigma_v(H) + q)$; उदाहरण में 4.23 ≥ 1.5

संदर्भ

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning.

EN 1993-1-1:2005 — Design of steel structures, general rules.

ANSI/AISC 360-22 — Specification for Structural Steel Buildings.

Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design, 5th ed. McGraw-Hill.

Jaky, J. (1944). The coefficient of earth pressure at rest. Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers, 7, 355–358.

Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929). On the determination of earth pressure during earthquakes. World Engineering Congress, Tokyo. Okabe, S. (1926). General theory of earth pressure. Journal of the Japan Society of Civil Engineering, 12(1).

Westergaard, H.M. (1933). Water pressures on dams during earthquakes. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 98, 418–433.

टिप्पणी

सभी संख्यात्मक उदाहरण मॉड्यूल के अपने गणना इंजन से तैयार किए गए हैं; मॉड्यूल वही मान देता है। मॉड्यूल पृष्ठ का हल किया गया उदाहरण भी यही दीवार है (L = 5 m, γ = 18 kN/m³, c_u = 30 / 70 kPa)।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

अपनी दीवार की ऊँचाई, परतदार मृत्तिका प्रोफ़ाइल, जल, तनन दरार, शीट-पाइल काट और भूकंप गुणांक GeoTerva में दर्ज करें; मॉड्यूल दाब आरेख, भेदन गहराई, आघूर्ण, काट की जाँच, विस्थापन और आधार उत्थान एक साथ प्रदान करता है।

मॉड्यूल खोलें →

सिद्धांत पृष्ठ →

फ़ोन पर खोलें
नमूना मॉड्यूल के लिए पंजीकरण आवश्यक नहीं है।

यदि आप इन्हें अपने व्याख्यानों में उपयोग करना चाहें: info@geoterva.com