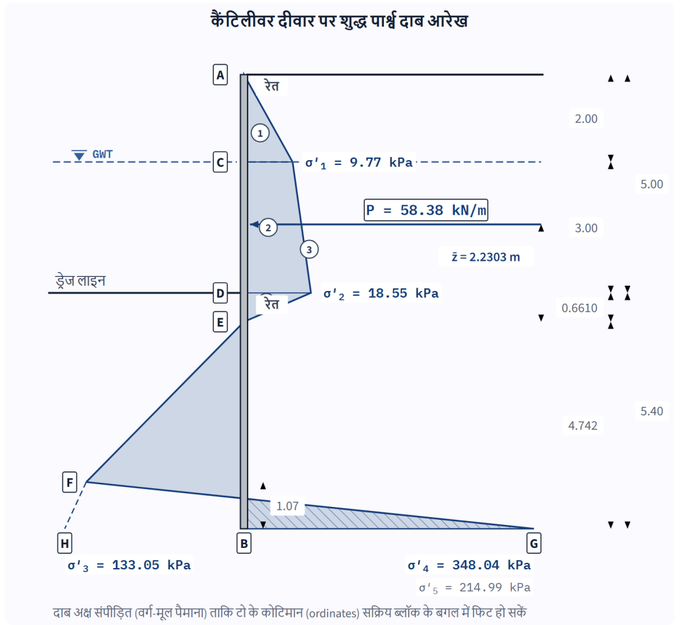
भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · शीट-पाइल दीवारें और ब्रेस किए गए उत्खनन

रेत में कैंटिलीवर शीट-पाइल दीवार

व्याख्यान: रेत में कैंटिलीवर शीट-पाइल दीवार का डिज़ाइन; उत्खनन तल के ऊपर और नीचे के दाब, भेदन गहराई, अधिकतम आघूर्ण, काट की जाँच, भूकंप और विस्थापन; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

कैंटिलीवर शीट-पाइल दीवार · शुद्ध दाब आरेख · भेदन गहराई · अधिकतम आघूर्ण · EN 1993 · AISC 360 · भूकंप · विस्थापन



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

कैंटिलीवर शीट-पाइल **कैसे घूमती है** और उत्खनन तल के ऊपर, नीचे तथा सिरे पर कौन-से दाब उत्पन्न होते हैं

उत्खनन तल के ऊपर **सक्रिय दाब** (जल, अधिभार) और उसके नीचे **नेट दाब की सरल रेखा**; शून्य बिंदु E

क्षैतिज और आघूर्ण संतुलन से **भेदन गहराई**: L_4 के लिए चतुर्थ घात समीकरण, $D_{theoretical}$

डिज़ाइन गहराई में **सुरक्षा मार्जिन** जोड़ने के तरीके (गुणांक f, K_p/FS_p, निर्दिष्ट गहराई)

अधिकतम आघूर्ण (जहाँ अपरूपण बल शून्य होता है) और शीट-पाइल का **EN 1993-1-1 / AISC 360-22** से सत्यापन

जल, अधिभार, ढालू सतह और **भूकंप** का प्रभाव; सबग्रेड प्रतिक्रिया गुणांक विधि से **विस्थापन**

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 रेत (γ = 15.9; γ_{sat} = 19.33 kN/m³; φ' = 32°), भूजल शीर्ष से 2 m नीचे और दोनों पार्श्वों पर एक ही स्तर पर; शीट-पाइल उसी रेत में चालित है। बल दीवार के प्रति मीटर के लिए हैं।

यह कैसे कार्य करता है, कैसे घूमता है?

सिद्धांत

शीट-पाइल दीवार आपस में फँसने वाली इस्पात पाइलों की पंक्ति होती है; यह उत्खनन तल (L) के ऊपर की मृदा को रोकती है और **भेदन गहराई D** के सहारे खड़ी रहती है। **कैंटिलीवर** दीवार का कोई अन्य आलंब नहीं होता: बाड़ के खंभे की तरह वह केवल जिस मृदा में ठोकी गई है उसके **निष्क्रिय प्रतिरोध** द्वारा थामी जाती है; इसलिए यह सामान्यतः उत्खनन तल से लगभग 6 m तक ही किफ़ायती होती है।

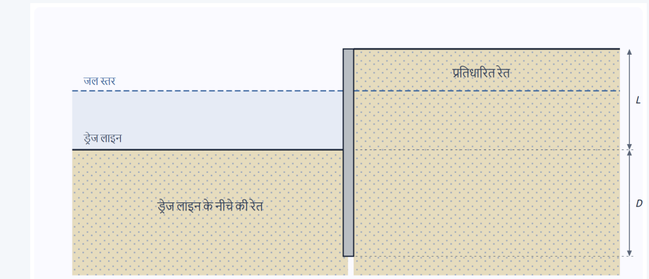
दीवार बिंदु O (सिरे के निकट) के परितः कठोरता से घूमती है। **क्षेत्र A** (उत्खनन तल के ऊपर): केवल प्रतिधारित मृदा, सक्रिय दाब।

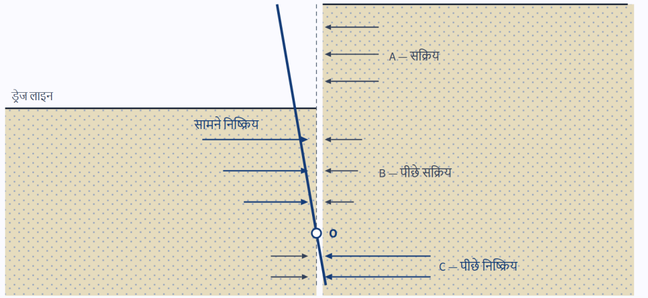
क्षेत्र B (उत्खनन तल–O): पीछे सक्रिय, आगे (धकेला गया) निष्क्रिय दाब।

क्षेत्र C (O के नीचे): पक्ष भूमिकाएँ बदलते हैं; पीछे निष्क्रिय, आगे सक्रिय।

वास्तविक वितरण वक्र है; स्रोत उसे **रैखिक सन्निकटन** से बदल देता है: उत्खनन तल के नीचे का शुद्ध दाब, शून्य बिंदु E से गुजरने वाली एकल सरल रेखा है; सिरे पर लौटाव L_5 ऊँचाई का एक ब्लॉक है।

Rankine दाब, **दीवार घर्षण को न गिनते हुए**, प्रभावी ऊर्ध्वाधर प्रतिबल के आधार पर निकाले जाते हैं; यदि दोनों तलों पर जल एक ही स्तर पर हो, तो जलस्थैतिक दाब एक-दूसरे को निरस्त कर देते हैं।





σ'_1 और σ'_2

सिद्धांत

उत्खनन तल के ऊपर केवल धारित रेत है; Rankine सक्रिय दाब = प्रभावी ऊर्ध्वाधर प्रतिबल × K_a। जल दीवार के शीर्ष से L_1 नीचे है, शेष $L_2 = L - L_1$ जल के नीचे है ($\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$):

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) \qquad K_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

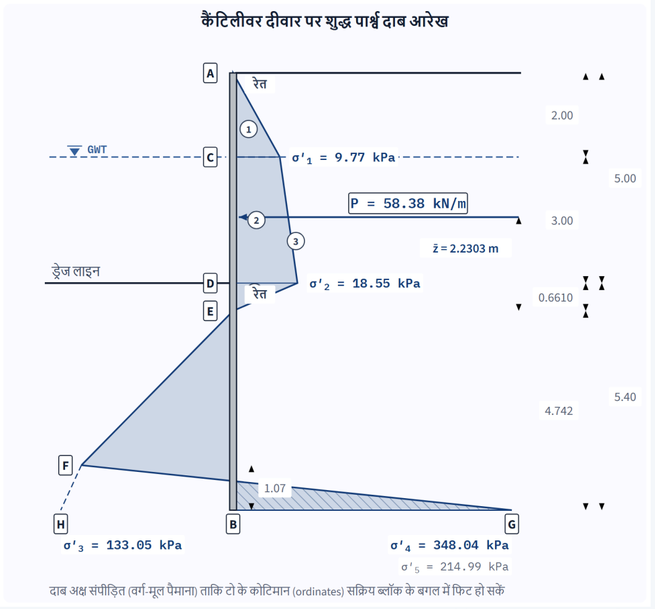
$$\sigma'_1 = \gamma L_1 K_a \qquad \sigma'_2 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2)\, K_a$$

यदि दोनों ओर जल एक ही स्तर पर है, तो द्रवस्थैतिक दाब **निरस्त हो जाते हैं**; दीवार पर केवल ये प्रभावी दाब ही भार डालते हैं।

एकसमान अधिभार q (यातायात, भंडारण) प्रत्येक गहराई पर प्रभावी प्रतिबल में q जोड़ता है: आरेख $\sigma'_0 = qK_a$ से आरंभ होता है, और प्रत्येक कोटि qK_a से बढ़ जाती है: $\sigma'_2 = (q + \gamma L_1 + \gamma' L_2)K_a$।

उत्खनन तल के नीचे अधिभार q धारित पक्ष के ऊर्ध्वाधर प्रतिबल में बना रहता है: शुद्ध दाब की सरल रेखा अधिक बड़े σ'_2 से आरंभ होती है और सिरे पर निष्क्रिय दाब qK_p से बढ़ जाता है; उत्खनन मुख अधिभार वहन नहीं करता।

सीमित भार (स्ट्रिप, बिंदु) कोई स्थिर $K_a q$ नहीं जोड़ता: पार्श्व दाब अर्ध-अनंत माध्यम से लिया जाता है और दृढ़ दीवार के लिए **दर्पण विधि से दोगुना** कर दिया जाता है; मॉड्यूल शुद्ध आरेख का संख्यात्मक समाकलन करता है।



हल किए गए उदाहरण का शुद्ध दाब आरेख (मॉड्यूल द्वारा खींचा गया रूप)।

प्रश्न

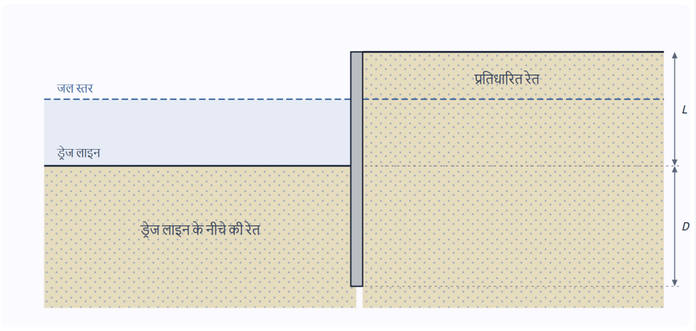
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	**रेत:** $\gamma = 15.9$, $\gamma_{sat} = 19.33$ **kN/m³**, $\varphi' = 32^\circ$ **(प्रतिधारित तथा अंतःस्थापित भाग में एक ही रेत है)**
दीवार	$L = 5$ **m; भूजल शीर्ष से** $L_1 = 2$ **m नीचे, दोनों ओर समान स्तर पर; अधिभार नहीं**

ज्ञात करना है

K_a, K_p, γ'; σ'_1 और σ'_2 (उत्खनन तल पर)।



हल

हल

1 दाब गुणांक और निमज्जित इकाई भार

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 16^\circ) = \mathbf{0.3073} \qquad K_p = \tan^2(45^\circ + 16^\circ) = \mathbf{3.2546}$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 19.33 - 9.81 = 9.52 \text{ kN/m}^3$$

2 जल स्तर पर और उत्खनन तल पर सक्रिय दाब

$$\sigma'_1 = \gamma L_1 K_a = 15.9(2)(0.3073) = \mathbf{9.77} \text{ kPa}$$

$$\sigma'_2 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2)\, K_a = (15.9(2) + 9.52(3))\,(0.3073)$$

$$\sigma'_v(L) = 60.36 \text{ kPa} \;\Rightarrow\; \sigma'_2 = \mathbf{18.55} \text{ kPa}$$

सक्रिय दाब जल स्तर पर **9.77 kPa** और उत्खनन तल पर **18.55 kPa** है; निष्क्रिय गुणांक K_p = 3.2546। जल के नीचे निमज्जित इकाई भार (γ' = 9.52 kN/m³) लिए जाने के कारण दाब वृद्धि की गति धीमी हो जाती है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

शून्य बिंदु E, P और $\bar{z}$, चतुर्थ घात का समीकरण

सिद्धांत

उत्खनन आधार के नीचे दोनों ओर मृदा है; पीछे सक्रिय, आगे निष्क्रिय दाब है और निष्क्रिय अधिक तेज़ी से बढ़ता है: शुद्ध दाब σ'_2 से आरंभ होता है, गहराई के साथ रैखिक रूप से घटता है और बिंदु E पर शून्य हो जाता है:

$$L_3 = \frac{\sigma'_2}{\gamma'\,(K_p - K_a)} \qquad \sigma'_5 = \sigma'_v(L)K_p + \gamma' L_3(K_p - K_a)$$

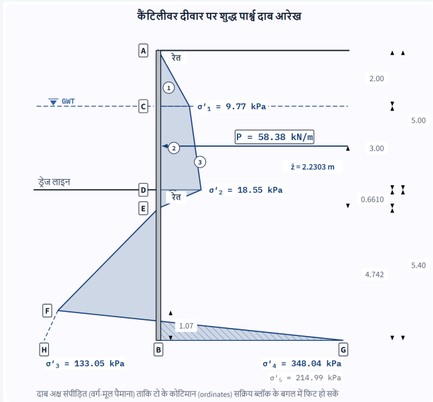
E के ऊपर आरेख का परिणामी **P** (क्षेत्रफल) E से **$\bar{z}$** ऊपर कार्य करता है। L_4 = सिरे की E से नीचे की गहराई; $\Sigma F_H = 0$ और सिरे के सापेक्ष $\Sigma M = 0$ शर्तों से:

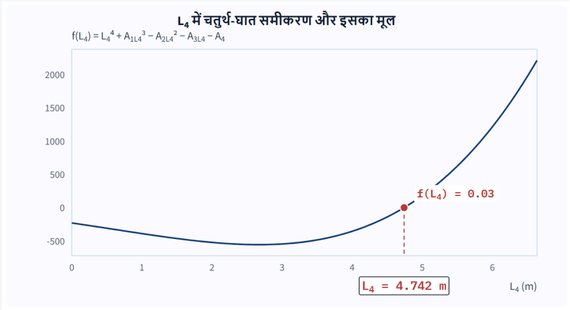
$$\sigma'_3 = L_4(K_p - K_a)\gamma' \quad \sigma'_4 = \sigma'_5 + \gamma' L_4(K_p - K_a) \quad L_5 = \frac{\sigma'_3 L_4 - 2P}{\sigma'_3 + \sigma'_4}$$

$$L_4^4 + A_1 L_4^3 - A_2 L_4^2 - A_3 L_4 - A_4 = 0$$

$$A_1 = \frac{\sigma'_5}{m} \quad A_2 = \frac{8P}{m} \quad A_3 = \frac{6P\,(2\bar{z}m + \sigma'_5)}{m^2} \quad A_4 = \frac{P\,(6\bar{z}\sigma'_5 + 4P)}{m^2} \quad (m = \gamma'(K_p - K_a))$$

सैद्धांतिक भेदन गहराई **$D_{theoretical} = L_3 + L_4$**: वह गहराई जिस पर निष्क्रिय प्रतिरोध पूर्णतः सक्रिय हो जाता है और कोई अतिरिक्त सुरक्षा शेष नहीं रहती।





प्रश्न

उदाहरण

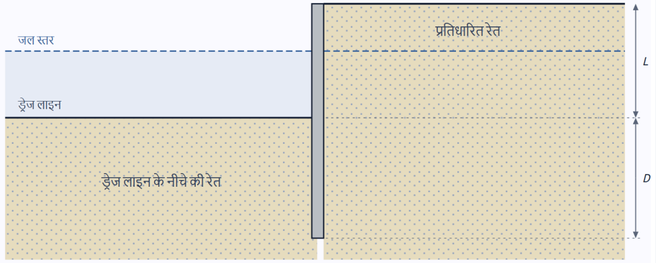
दिया गया है

दिया गया है

उदाहरण 1 की दीवार: $\sigma_1' = 9.77$, $\sigma_2' = 18.55$ kPa; $K_a = 0.3073$, $K_p = 3.2546$, $\gamma' = 9.52$ kN/m³

ज्ञात करना है

नेट दाब का शून्य बिंदु L_3; E के ऊपर के आरेख का परिणामी **P** और उसकी भुजा **z̄**।



हल

हल

1 शून्य बिंदु

$$L_3 = \frac{\sigma_2'}{\gamma'(K_p - K_a)} = \frac{18.55}{9.52(3.2546 - 0.3073)} = \frac{18.55}{28.059} = \mathbf{0.6610}\ \text{m}$$

2 सक्रिय आरेख के भाग (ऊपर से E तक): P = Σ क्षेत्रफल, z̄ = Σ(क्षेत्रफल × भुजा)/P

खंड	चित्र	क्षेत्रफल (kN/m)	E तक भुजा (m)	क्षेत्रफल × भुजा
1	त्रिभुज: 0–2 m	9.77	4.328	42.28
2	आयताकार: 2–5 m	29.31	2.161	63.34
3	त्रिभुज: 2–5 m	13.16	1.661	21.86
4	त्रिभुज: 5 m–E	6.13	0.441	2.70
कुल		**58.38**		**130.19**

P = 58.38 kN/m; z̄ = 130.19 / 58.38 = **2.2303 m** (E के ऊपर)। उत्खनन तल से 0.661 m नीचे शुद्ध दाब शून्य हो जाता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

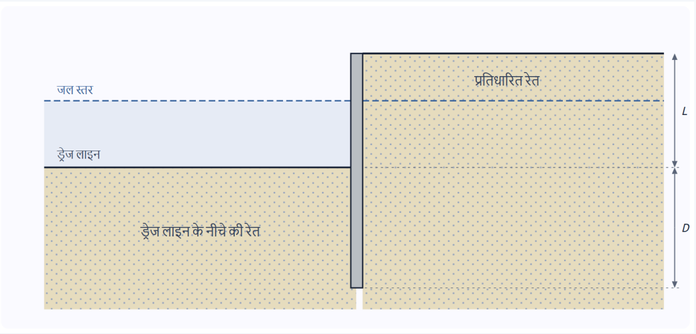
उदाहरण

दिया गया है

दिया गया है	**उदाहरण 2:** $L_3 = 0.661$ **m,** $P = 58.38$ **kN/m,** $\bar{z} = 2.2303$ **m;** $\sigma'_v(L) = 60.36$ **kPa**
गुणांक	$K_a = 0.3073$, $K_p = 3.2546$, $m = \gamma'(K_p - K_a) = 28.06$ **kN/m³**

ज्ञात करना है

σ′5, $A_1 \ldots A_4$; मूल **L4**; **Dtheoretical**; σ'_3, σ'_4, **L5**।



हल (1/2)

हल

1 सिरे पर कोटि σ'_5 (प्रतिधारित पक्ष का निष्क्रिय + शुद्ध सरल रेखा)

$$\sigma'_5 = \sigma'_v(L)K_p + \gamma' L_3(K_p - K_a) = 60.36(3.2546) + 28.059(0.6610) = \mathbf{214.99}\ \text{kPa}$$

2 समीकरण के गुणांक

$$A_1 = \sigma'_5/m = 214.99/28.059 = 7.6623 \qquad A_2 = 8P/m = 8(58.38)/28.059 = 16.6439$$

$$A_3 = 6P\left(2\bar{z}m + \sigma'_5\right)/m^2 = 151.328 \qquad A_4 = P\left(6\bar{z}\sigma'_5 + 4P\right)/m^2 = 230.633$$

3 धनात्मक मूल (समीकरण संख्यात्मक रूप से हल किया जाता है; f = 0 को संतुष्ट करता है)

$$L_4^4 + 7.662L_4^3 - 16.644L_4^2 - 151.33L_4 - 230.63 = 0$$

$$L_4 = \mathbf{4.742}\ \text{m} \qquad D_{theoretical} = L_3 + L_4 = 0.6610 + 4.742 = \mathbf{5.40}\ \text{m}$$

सैद्धांतिक भेदन गहराई **D = 5.40 m** (उत्खनन तल से); L_4 = 4.742 m। इस गहराई पर निष्क्रिय प्रतिरोध पूरी तरह मोबिलाइज़ हो चुका है और **कोई मार्जिन शेष नहीं है**।

हल (2/2)

हल

4 सिरे पर दाब खंड

$$\sigma'_3 = L_4\, m = 4.742(28.059) = \mathbf{133.05}\ \text{kPa}$$

$$\sigma'_4 = \sigma'_5 + L_4 m = 214.99 + 133.05 = \mathbf{348.04}\ \text{kPa}$$

$$L_5 = \frac{\sigma'_3 L_4 - 2P}{\sigma'_3 + \sigma'_4} = \frac{133.05(4.742) - 2(58.38)}{133.05 + 348.04} = \mathbf{1.0686}\ \text{m}$$

आरेख पूर्ण हुआ: E से गुज़रने वाली नेट सरल रेखा, सिरे से **L_5 = 1.069 m** ऊपर σ'_3 = 133.0 kPa से σ'_4 = 348.0 kPa में बदलने वाला ब्लॉक। जाँच: चतुर्थ घात समीकरण का बायाँ पक्ष मूल पर केवल 0.03 है (पैमाने के सापेक्ष शून्य)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सुरक्षा मार्जिन जोड़ने के तरीके

सिद्धांत

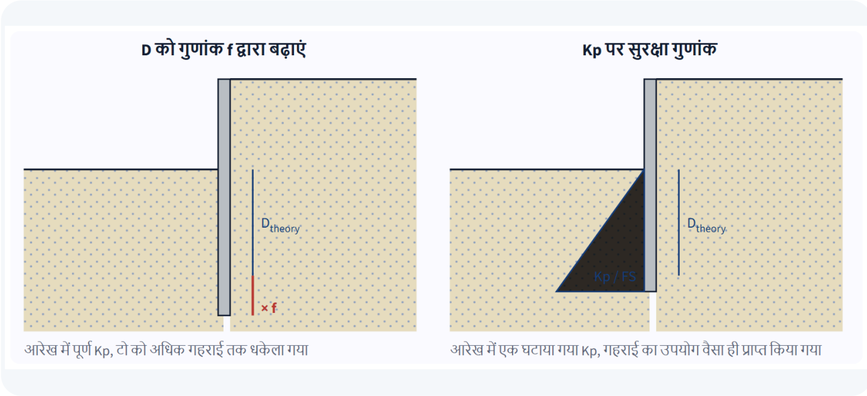
सैद्धांतिक गहराई में कोई अतिरिक्त मान नहीं है। स्रोत दो मार्ग सुझाता है (बगल की आकृति):

गहराई बढ़ाना: आरेख पूर्ण K_p से बनाया जाता है, गहराई 20–30% बढ़ाई जाती है: $D_{design} = f \cdot D_{theoretical}$, f = 1.2–1.3। दाब और आघूर्ण सैद्धांतिक दीवार के ही हैं।

K_p पर सुरक्षा गुणांक: आरेख आरंभ से ही K_p/FS_p (FS_p = 1.5–2) से बनाया जाता है, प्राप्त गहराई ज्यों की त्यों उपयोग की जाती है। उत्खनन तल के नीचे प्रत्येक कोटि बदलती है, **आघूर्ण भी बढ़ता है**।

दी गई गहराई: यदि गहराई विश्लेषण से नहीं बल्कि इंजीनियर से आती है, तो उसे चुनी गई विधि द्वारा अपेक्षित गहराई से सत्यापित किया जाता है ($D_{given} \geq D_{design,required}$) और मोबिलाइज़्ड सुरक्षा गुणांक $FS_{p,mob}$ ज्ञात किया जाता है: K_p को इस संख्या से भाग देने पर आरेख दी गई गहराई पर ठीक संतुलन में रहता है।

$$D_{given} \geq D_{design,req} \qquad D(K_p/FS_{p,mob}) = D_{given}$$



दी गई गहराई पर **आंतरिक बल** दो स्थितियों के लिए निकाले जाते हैं: अपेक्षित गहराई की स्थिति तथा $K_p/FS_{p,mob}$ के साथ दी गई गहराई का संतुलन। दी गई स्थिति का आघूर्ण दूसरी से बड़ा हो सकता है (लंबी दीवार आंशिक रूप से मोबिलाइज़्ड निष्क्रिय दाब के साथ अधिक झुकती है); शीट-पाइल का चयन **दोनों में से बड़े** के अनुसार किया जाता है।

प्रश्न

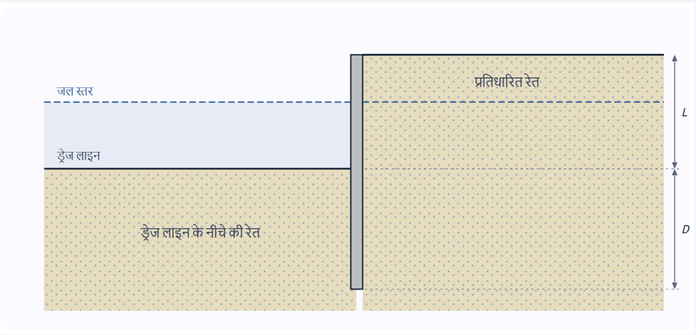
उदाहरण

दिया गया है

दीवार	**उदाहरण 1–3 की दीवार** ($D_{theoretical} = 5.40$ **m**, $M_{max} = 209.58$ **kN·m/m**)
सड़कें	$f = 1.3$; $FS_p = 1.5$ **और** 2.0; **दी गई गहराई** 6.0 **और** 8.0 **m**; **शीट-पाइल:** $W_{el} = 1\,400$ **cm³/m, S275 (EN 1993-1-1,** $\gamma_F = 1.35$**)**

ज्ञात करना है

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



हल

हल

1 f मार्ग: $D_{design} = 1.3 \times 5.403 = 7.023$ m (आघूर्ण वही)

सड़क	D_{design} (m)	L + D (m)	M_{max} (kN·m/m)	η (EN 1993)	टिप्पणी
f = 1.3 ($D = f \cdot D_{theoretical}$)	7.02	12.02	209.58	0.735	दीवार का सैद्धांतिक आघूर्ण
$FS_p = 1.5$ ($K_p/1.5$)	7.10	12.10	263.53	0.924	$K_p = 2.170$
$FS_p = 2.0$ ($K_p/2$)	8.84	13.84	325.91	1.143	**η > 1**
दिया गया है D = 6.0 m	6.00	11.00	227.74	0.799	D < 7.02: अपर्याप्त; $FS_{p,mob} = 1.18$
दिया गया है D = 8.0 m	8.00	13.00	294.92	1.034	D ≥ 7.02; $FS_{p,mob} = 1.76$; **η > 1**

K_p/FS_p वाले मार्ग में आरेख को आरंभ से ही कमज़ोर कर दिए जाने के कारण गहराई (7.10 m) और आघूर्ण (263.5 kN·m/m) साथ-साथ बढ़ते हैं; $FS_p = 2$ के साथ आघूर्ण 325.9 kN·m/m हो जाता है और शीट-पाइल अपर्याप्त रहती है। यद्यपि **दी गई D = 8 m** डिज़ाइन गहराई से अधिक है, फिर भी आंशिक रूप से मोबिलाइज़्ड निष्क्रिय दाब के साथ आघूर्ण (294.9) **बढ़ जाता है**: गहराई बढ़ाने से आघूर्ण सदैव कम नहीं होता।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

अपरूपण बल के शून्य होने का स्थान

सिद्धांत

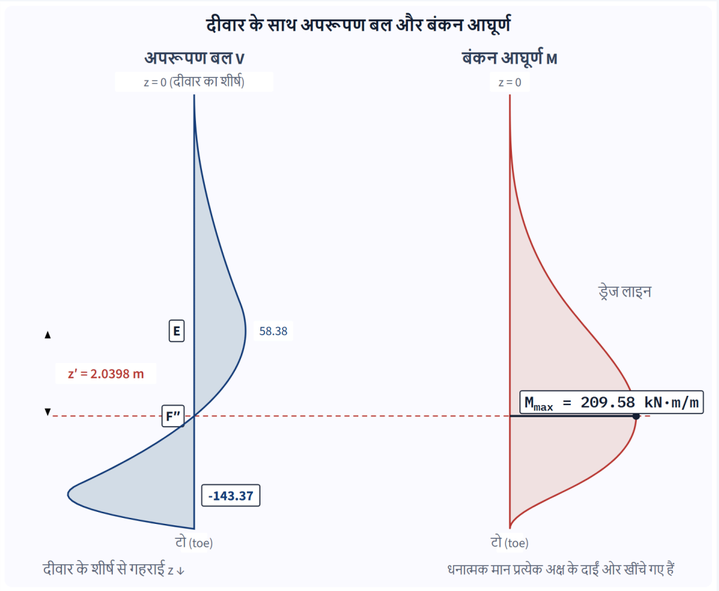
बंकन आघूर्ण वहाँ अधिकतम होता है जहाँ अपरूपण बल शून्य होता है। E के नीचे शुद्ध निष्क्रिय त्रिभुज $\frac{1}{2}\gamma'(K_p - K_a)z'^2$ बढ़ता है; यह P को E से **z′** नीचे संतुलित करता है:

$$z' = \sqrt{\frac{2P}{\gamma'(K_p - K_a)}} \qquad M_{max} = P\,(\bar{z} + z') - \tfrac{1}{2}\gamma' z'^2\,(K_p - K_a)\,\frac{z'}{3}$$

अपरूपण बल E पर (शुद्ध दाब शून्य) अपने अधिकतम मान पर पहुँचता है, गहराई z′ पर शून्य होता है; आघूर्ण यहाँ सर्वाधिक होता है और सिरे पर शून्य हो जाता है।

M_{max} सैद्धांतिक दीवार का आघूर्ण है (f मार्ग में); K_p/FS_p मार्ग में आरेख घटाए गए K_p से बनाया जाता है, इसलिए M_{max} अधिक होता है।

शीट-पाइल का चयन **$S = M_{max}/\sigma_{allow}$** (पारंपरिक) द्वारा या सीमा अवस्था सत्यापन (नीचे EN 1993-1-1, AISC 360-22) द्वारा किया जाता है।



प्रश्न

उदाहरण

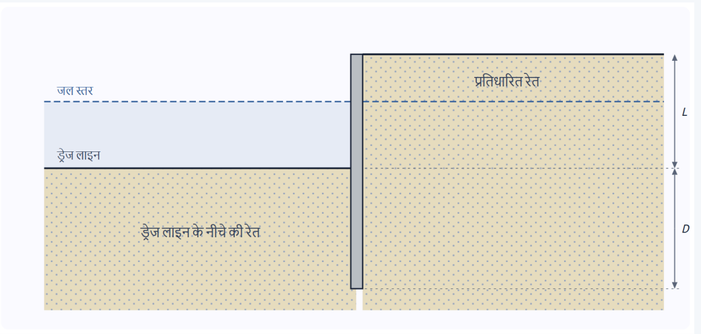
दिया गया है

दिया गया है

उदाहरण 2–3: $P = 58.38$ **kN/m,** $\bar{z} = 2.2303$ **m;** $m = \gamma'(K_p - K_a) = 28.06$ **kN/m³**

ज्ञात करना है

अपरूपण बल के शून्य होने की गहराई **z′** (E के नीचे) और $\mathbf{M_{max}}$; दीवार के शीर्ष से इसकी गहराई।



हल

हल

1 जहाँ अपरूपण बल शून्य है (E के नीचे)

$$z' = \sqrt{\frac{2P}{m}} = \sqrt{\frac{2(58.38)}{28.059}} = \mathbf{2.0398}\ \text{m}$$

2 अधिकतम आघूर्ण

$$M_{max} = P(\bar{z} + z') - \tfrac{1}{6}\, m\, z'^3$$

$$= 58.38(2.2303 + 2.0398) - \tfrac{1}{6}(28.059)(2.0398)^3 = \mathbf{209.58}\ \text{kN·m/m}$$

M_{max} = 209.58 kN·m/m, दीवार के शीर्ष से L + L_3 + z′ = 5 + 0.661 + 2.040 = **7.70 m** गहराई पर। शीट-पाइल का चयन इसी आघूर्ण के आधार पर किया जाता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

वही विन्यास, भिन्न इनपुट

सिद्धांत

जल नहीं: वही व्यवस्था प्राकृतिक इकाई भार के साथ; $\sigma'_2 = \gamma L K_a$, $L_3 = \sigma'_2/(\gamma(K_p - K_a))$; समीकरणों में प्रत्येक γ' के स्थान पर γ आता है, अंतःस्थापन समीकरण वही रूप बनाए रखता है।

एकसमान अधिभार q: प्रत्येक कोटि qK_a से बढ़ती है; शुद्ध सरल रेखा बड़े σ'_2 से आरंभ होती है, और सिरे पर निष्क्रिय qK_p के बराबर बढ़ जाती है (पिछला खंड)।

दोनों फलकों पर भिन्न जल स्तर (स्रोत के परे): द्रवस्थैतिक दाब घटाए नहीं जाते; रिसाव न होने की स्थिति में शुद्ध जल दाब जोड़ा जाता है। शुद्ध आरेख खंडशः रैखिक है, E तथा संतुलन समीकरण आरेख पर संख्यात्मक रूप से हल किए जाते हैं।

झुकी हुई धारित सतह (β, अनंत): धारित पक्ष पर Rankine के झुके हुए पश्चभराव के सक्रिय गुणांक का क्षैतिज घटक लिया जाता है; उत्खनन पक्ष तथा सिरे का निष्क्रिय दाब समतल सतह पर ही बना रहता है (सुरक्षित पक्ष)। $\beta \geq \varphi'$ के लिए कोई हल नहीं है।

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

$$p(z) = K_a \sigma'_{v,r}(z) - K_p \sigma'_{v,e}(z) + u_{net}(z)$$

$$K_{a,\beta} = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi'}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi'}} \qquad K_{a,h} = K_{a,\beta}\cos\beta$$

प्रश्न

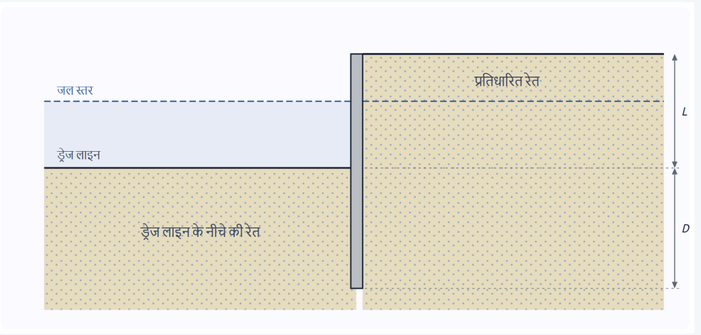
उदाहरण

दिया गया है

दीवार	**उदाहरण 1–5 की दीवार (f = 1.3; S275, $W_{el} = 1\,400$ cm³/m)**
परिवर्तन	**(a) जल नहीं; (b) एकसमान अधिभार $q = 10$ kPa; (c) सामने की सतह पर जल $z = 6$ m पर (उत्खनन सूखा, पीछे 2 m); (d) प्रतिधारित सतह $\beta = 15°$ पर झुकी हुई**

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति के लिए **L_3**, P, **$D_{theoretical}$**, D_{design}, **M_{max}**, η; जल न होने पर हाथ से सत्यापन।



हल

हल

1 जल नहीं (हाथ से): $\sigma'_2 = \gamma L K_a$, $L_3 = \sigma'_2/(\gamma(K_p - K_a))$

$$\sigma'_2 = 15.9(5)(0.3073) = 24.43 \text{ kPa} \qquad L_3 = \frac{24.43}{15.9(3.2546 - 0.3073)} = \mathbf{0.521} \text{ m}$$

2 पाँच स्थितियों का सारांश (शेष स्थितियाँ मॉड्यूल द्वारा उसी विधि से हल की जाती हैं)

स्थिति	L_3 (m)	P (kN/m)	$D_{theoretical}$ (m)	D_{design} (m)	M_{max} (kN·m/m)	η (EN 1993)
प्रारंभिक उत्खनन (जल 2 m, दोनों ओर समान)	0.661	58.38	5.40	7.02	209.6	0.735
(a) जल नहीं	0.521	67.43	4.53	5.89	212.1	0.744
(b) अधिभार q = 10 kPa	0.770	75.94	6.15	7.99	305.5	**1.071**
(c) अग्र पृष्ठ पर जल z = 6 m	1.319	126.29	8.00	10.39	543.8	**1.907**
(d) झुका हुआ पृष्ठ β = 15°	0.713	63.00	5.64	7.33	232.1	0.814

यदि जल नहीं है तो γ′ के स्थान पर γ आता है: शून्य बिंदु निकट आ जाता है, भेदन गहराई **घटकर** 4.53 m रह जाती है। **अधिभार** D को 6.15 m तक और आघूर्ण को 306 kN·m/m तक बढ़ा देता है (η > 1); **भिन्न जल स्तर** सबसे प्रतिकूल है: M = 544 kN·m/m (P = 126 kN/m)। ढलान β = 15°: $K_{a,h}$ = 0.3289 (समतल: 0.3073)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

EN 1993-1-1 और AISC 360-22

सिद्धांत

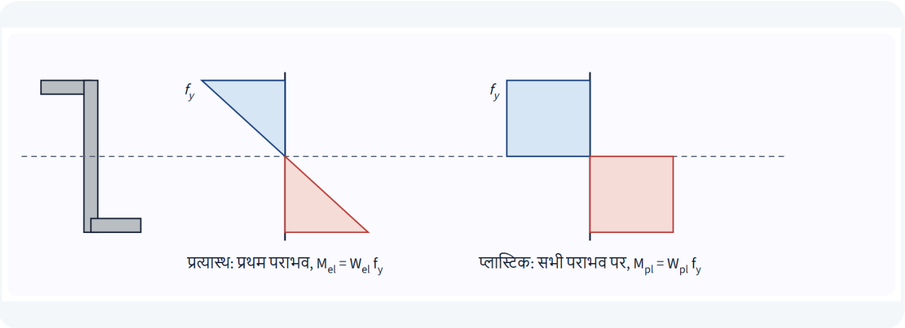
पारंपरिक विधि: S = M_{max}/σ_{allow}। मॉड्यूल इसके स्थान पर सीमा-अवस्था सत्यापन का उपयोग करता है; शुद्ध दाब आरेख का आघूर्ण एक अभिलाक्षणिक क्रिया है, आंशिक गुणांक उसे डिज़ाइन मान तक बढ़ा देता है:

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

सारणी में दो काट मापांक हैं: **W_{el}** प्रथम पराभव तक (श्रेणी 3 तक मान्य), **W_{pl}** पूर्ण प्लास्टिक आघूर्ण तक (श्रेणी 1–2)। भेदन गहराई के भत्ते को इस्पात कोड से अलग से गुणा नहीं किया जाता।

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

$M_n = F_y Z$ (संहत काट) या प्रथम पराभव पर $F_y S$। मृदा दाब को पार्श्व मृदा दाब H माना जाता है: LRFD संयोजन में γ_H = 1.6, ASD में 1.0।



प्रश्न

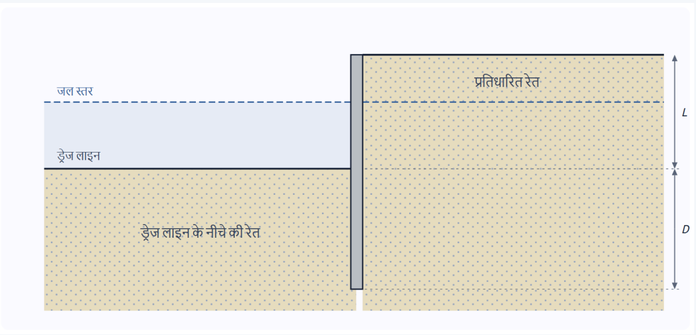
उदाहरण

दिया गया है

काट	**S275 ($f_y = 275$ MPa); प्रत्यास्थ काट मापांक** $W_{el} = 1\,400$ **cm³/m**
आघूर्ण	**उदाहरण 5:** $M_{max} = 209.58$ **kN·m/m; EN 1993-1-1:** $\gamma_F = 1.35$, $\gamma_{M0} = 1.00$; **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

$$M_{Ed} = \gamma_F M_{max} = 1.35(209.58) = \mathbf{282.93}\ \text{kN·m/m}$$

$$W_{req} = \frac{M_{Ed}\gamma_{M0}}{f_y} = \frac{282.93(1.00)}{275\,000} = \mathbf{1{,}028.8}\ \text{cm}^3\text{/m}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{M0}} = 1\,400 \cdot 10^{-6}(275\,000) = 385.00\ \text{kN·m/m} \qquad \eta = \frac{282.93}{385.00} = \mathbf{0.735} \le 1\ \checkmark$$

चयनित शीट-पाइल EN 1993-1-1 के अनुसार पर्याप्त है: η = **0.735**; आवश्यक W = 1,029 cm³/m < 1 400 cm³/m। यदि तालिका में W_{pl} दिया गया हो और काट क्लास 1–2 हो, तो प्लास्टिक आघूर्ण का उपयोग किया जा सकता है (W_{pl} = 1 650 cm³/m मानने पर η = 0.624)।

हल (2/2)

हल

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

LRFD: $M_u = 1.6(209.58) = 335.32$ kN·m/m $\leq \phi_b M_n = 0.90(385.0) = 346.5 \quad \eta = \mathbf{0.968}$

ASD: $M_a = 209.58$ kN·m/m $\leq \dfrac{M_n}{\Omega_b} = \dfrac{385.0}{1.67} = 230.5 \quad \eta = \mathbf{0.909}$

AISC के साथ भी पर्याप्त: LRFD η = **0.968** (प्रथम पराभव), ASD η = **0.909**। वही आघूर्ण EN 1993-1-1 में 0.735 और LRFD में 0.968 उपयोग अनुपात देता है: कोड भिन्न सुरक्षा दर्शन का उपयोग करते हैं, इसलिए अनुपात भिन्न हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

छद्म-स्थैतिक Mononobe–Okabe ढाँचा

सिद्धांत

भूकंप, मृदा वेजों में नियत जड़त्व बल ($k_h W$ क्षैतिज, $k_v W$ ऊर्ध्वाधर) जोड़कर स्थैतिक सीमा-साम्य की रूपरेखा को बनाए रखता है। दीवार ऊर्ध्वाधर, सतह क्षैतिज, दीवार घर्षण नहीं (स्थैतिक Rankine डिज़ाइन के समान आदर्शीकरण):

$$\tan\theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v} \qquad K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta\left[1 + \sqrt{\frac{\sin\varphi'\sin(\varphi'-\theta)}{\cos\theta}}\right]^2} \qquad K_{PE} = \ldots\left[1 - \sqrt{\cdots}\right]^2$$

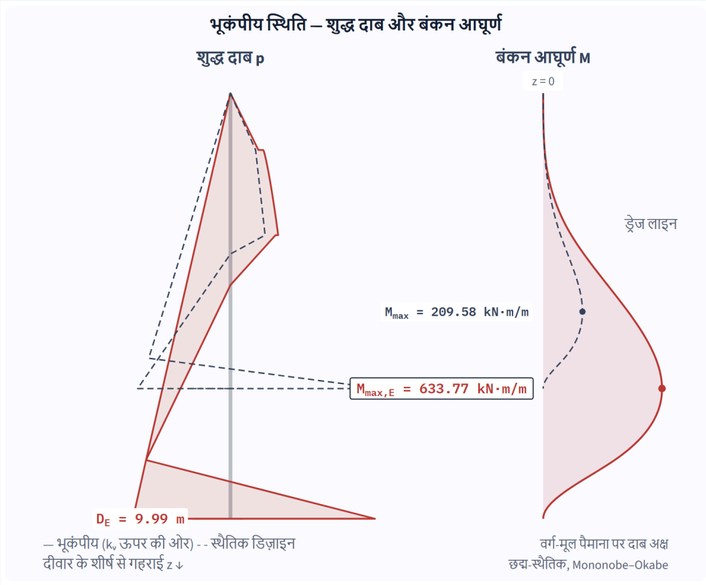
जल के नीचे: $\tan\theta_w = \dfrac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \cdot \dfrac{k_h}{1 \mp k_v}$

दाब $(1 \mp k_v)K_{AE}\sigma'_v$ और $(1 \mp k_v)K_{PE}\sigma'_v$ हैं; **k_v की दोनों दिशाओं** की जाँच की जाती है। $\theta = 0$ पर K_a और K_p प्राप्त होते हैं; $\theta > \varphi'$ होने पर साम्य वेज नहीं होता।

मध्यम पारगम्यता वाली रेत में रंध्र जल मृदा के साथ गति करता है (**प्रतिबंधित**): जड़त्व संतृप्त द्रव्यमान में होता है, कोण बढ़ जाता है। उत्खनन में मुक्त जल हो तो Westergaard हाइड्रोडायनामिक दाब (विपरीत दिशा में) जोड़ा जाता है।

जाँच: शुद्ध दाब आरेख स्थैतिक की तरह बनाया जाता है; दो संतुलन समीकरण D_E देते हैं। भूकंप एक आकस्मिक स्थिति है, इसलिए K_{PE} 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

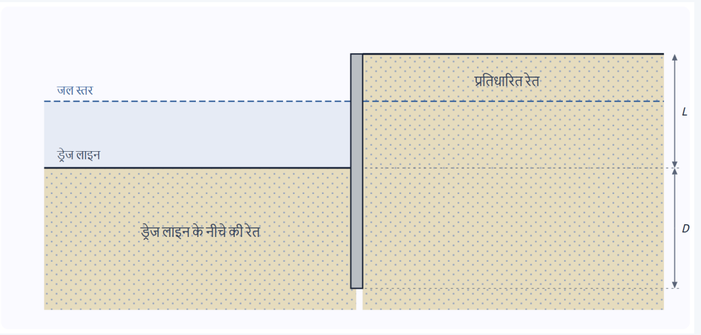
उदाहरण

दिया गया है

दीवार	**उदाहरण 1–5 की दीवार:** $D_{design} = 7.02$ **m,** $M_{max} = 209.58$ **kN·m/m; S275,** $W_{el} = 1\,400$ **cm³/m**
भूकंप	$k_h = 0.15$**,** $k_v = \pm 0.075$ **(दो दिशाएँ); रंध्र जल प्रतिबंधित; उत्खनन में 3 m मुक्त जल**

ज्ञात करना है

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



हल (1/2)

हल

1 भूकंपीय कोण और गुणांक ($\varphi' = 32°$; स्थैतिक $K_a = 0.3073$, $K_p = 3.2546$)

$$\tan\theta = 0.15/(1 - 0.075) = 0.1622 \;\Rightarrow\; \theta = 9.21^\circ$$

$$\tan\theta_w = \frac{19.33}{19.33 - 9.81}(0.1622) = 0.3293 \;\Rightarrow\; \theta_w = 18.22^\circ$$

k_v	$f_v = 1 - k_v$	θ (शीर्ष पर)	θ_w (जल में)	K_{AE} / K_{PE} (ऊपर)	K_{AE} / K_{PE} (जल में)
+0.075	0.925	9.21°	18.22°	0.411 / 2.948	0.562 / 2.589
−0.075	1.075	7.94°	15.82°	0.395 / 2.992	0.514 / 2.693

जल के नीचे कोण अधिक होता है (संतृप्त द्रव्यमान में जड़त्व): K_{AE} 0.411 से बढ़कर 0.562 हो जाता है, K_{PE} 2.948 से घटकर 2.589 रह जाता है; सक्रिय दाब बढ़ता है, निष्क्रिय प्रतिरोध घटता है।

हल (2/2)

हल

2 भूकंपीय शुद्ध दाब आरेख और भेदन गहराई D_E

स्थिति	L_3 (m)	D_E / $D_{theoretical}$ (m)	M_{max} (kN·m/m)	D ≤ 7.02?
स्थैतिक (f = 1.3)	0.661	— / 5.40	209.58	D_{design} = 7.02
भूकंप, k_v = +0.075	1.756	9.987	**633.77**	**नहीं**
भूकंप, k_v = −0.075	1.497	8.988	603.87	**नहीं**

3 काट और परिणाम

$$W_{req,E} = \frac{M_{Ed,E}}{f_y} = \frac{633.77}{275\,000} = 2{,}305\ \text{cm}^3/\text{m} \ > \ 1\,400 \qquad \eta_E = \mathbf{1.646} \ > 1 \ \text{✗}$$

स्थैतिक स्थिति के लिए बनी दीवार इस भूकंप को **सहन नहीं कर पाती**: भूकंपीय आरेख के अनुसार सिरा **2.96 m** और गहरा होना चाहिए (D_E = 9.99 > 7.02 m) तथा आघूर्ण स्थैतिक आघूर्ण का **3.0 गुना** (633.8 kN·m/m) चाहिए; शीट-पाइल भी अपर्याप्त है (η_E = 1.65)। भूकंप संयोजन के लिए भेदन लंबाई और काट दोनों को एक साथ बढ़ाना चाहिए।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सबग्रेड प्रतिक्रिया गुणांक विधि: स्प्रिंग आधार पर प्रत्यास्थ बीम

सिद्धांत

सीमा संतुलन भेदन गहराई और आघूर्ण देता है, किंतु दीवार **कितनी विस्थापित होती है** यह नहीं देता (यह उस विफलता क्षण का वर्णन करता है जब निष्क्रिय प्रतिरोध पूर्णतः सक्रिय हो जाता है)। कार्यकारी अवस्था में विस्थापन के लिए दीवार को प्रत्यास्थ बीम (EI) और प्रत्येक पक्ष की मृदा को स्वतंत्र स्प्रिंग (Winkler) माना जाता है:

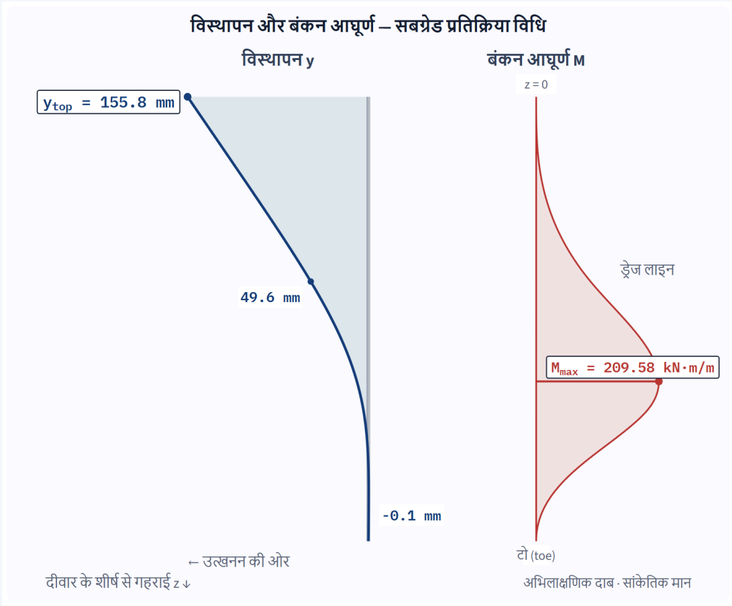
$$EI\frac{d^4y}{dz^4} = p_R(z) - p_E(z) + u_{net}(z)$$

$$p_R = K_0\sigma'_{v,r} - k_h y \;\; (K_a\sigma'_{v,r} \le p_R \le K_p\sigma'_{v,r}) \qquad p_E = K_0\sigma'_{v,e} + k_h y \;\; (\dots) \qquad K_0 = 1 - \sin\varphi'$$

स्प्रिंग विरामावस्था दाब से आरंभ होती हैं, विस्थापन के अनुपात में बदलती हैं और सक्रिय तथा निष्क्रिय सीमा को पार नहीं करतीं। k_h मृदा के गुण से अधिक एक **मॉडल पैरामीटर** है; रेत के लिए संकेतक मान: ढीली 4.8–16, मध्यम सघन 9.6–80, सघन 64–128 MN/m³।

दीवार डिज़ाइन लंबाई (L + D_{design}) की है, दोनों सिरे मुक्त; दाब अभिलक्षणिक हैं: पूर्ण Rankine K_p, कोई सुरक्षा गुणांक नहीं; K_0 Jaky (1944)। दीवार उत्खनन से पहले अपनी जगह पर है, उत्खनन एकल चरण है।

समीकरण को बीम परिमित तत्वों से, स्प्रिंगों के प्रत्यास्थ/सक्रिय/निष्क्रिय अवस्था में आने तक पुनरावृत्ति करते हुए हल किया जाता है; परिणाम **सीमा-रहित अनुमान** के रूप में दिया जाता है।



प्रश्न

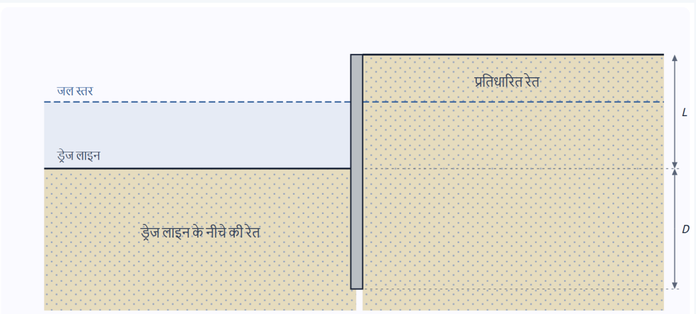
उदाहरण

दिया गया है

दीवार	**उदाहरण 1–5 की दीवार, डिज़ाइन लंबाई** $L + D = 12.02$ **m**
शीट-पाइल	$I = 21\,000$ **cm⁴/m,** $E = 210\,000$ **MPa (**$EI = 44\,100$ **kN·m²/m)**
मृदा	$k_h = 20$ **MN/m³ (दोनों सतहों पर);** $K_0 = 1 - \sin 32°$**; उत्खनन एक ही चरण में**

ज्ञात करना है

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



हल

हल

1 विराम मृदा दाब गुणांक और मॉडल

$$K_0 = 1 - \sin 32^\circ = 0.4701 \qquad EI = 210\,000\,000(21\,000 \cdot 10^{-8}) = 44{,}100 \text{ kN}\cdot\text{m}^2/\text{m}$$

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

2 परिणाम (उत्खनन की ओर, mm)

$$y_{üst} = \mathbf{155.8} \text{ mm} \qquad y_{excavation\ base} = \mathbf{49.6} \text{ mm} \qquad y_{tip} = -0.1 \text{ mm}$$

$$M_{max}^{model} = 209.58 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \ (z = 7.70 \text{ m}) \approx M_{max}^{limit\ equilibrium} = 209.58$$

दीवार का शीर्ष उत्खनन की ओर **155.8 mm** और उत्खनन तल पर 49.6 mm खिसकता है; सिरा लगभग अपनी जगह पर रहता है (-0.1 mm) — दीवार सिरे के निकट के किसी बिंदु के परितः घूमती है। मॉडल का आघूर्ण (209.58) सीमा संतुलन आघूर्ण (209.58) के समान है: पीछे सक्रिय और आगे निष्क्रिय दाब, आघूर्ण बनने वाली पूरी ऊँचाई पर अपनी सीमाओं पर हैं। स्प्रिंगों में निष्क्रिय प्रतिरोध का लगभग 40% उपयोग हुआ है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

हल का दायरा

सिद्धांत

Rankine दाब, दीवार घर्षण के बिना, प्रभावी ऊर्ध्वाधर प्रतिबल के आधार पर; प्रोफ़ाइल आदि से अंत तक रेत है (परतों की संख्या कितनी भी हो सकती है); मृत्तिका में भेदन एक अलग मॉड्यूल है। भूमि में गड़े भाग में एकल रेत के लिए स्रोत का संवृत-रूप हल, एकाधिक रेत के लिए उसी आरेख को संख्यात्मक रूप से हल किया जाता है।

स्रोत का सरलीकृत शुद्ध दाब आरेख: E से गुजरने वाली एक सरल रेखा और सिरे का ब्लॉक; घूर्णन बिंदु O को अधिक सटीक रूप से नहीं खोजा जाता। जल दोनों पार्श्वों पर एक ही स्तर पर या भिन्न स्तरों पर होता है (रिसाव रहित); रिसाव और निष्क्रिय प्रतिरोध पर उसके प्रभाव का मॉडल नहीं बनाया जाता।

अंतःस्थापन गहराई अपने मार्ग का मार्जिन वहन करती है (f या FS_p), स्टील कोड से दोबारा गुणित नहीं की जाती। शीट-पाइल की बंकन में दिए गए काट मापांक से जाँच की जाती है; अपरूपण, स्थानीय बकलिंग और संक्षारण हानि की जाँच नहीं की जाती।

विस्थापन सबग्रेड प्रतिक्रिया गुणांक विधि से, अभिलाक्षणिक दाबों के साथ, बिना सीमा के दिया जाता है; दीवार के पीछे के सेटलमेंट की गणना नहीं की जाती।

कैंटिलीवर दीवार D ≈ 1.5–2 L से आगे विरले ही किफ़ायती होती है; सैद्धांतिक भेदन गहराई 3L से अधिक हो तो मॉड्यूल चेतावनी देता है। एंकरित दीवार अलग मॉड्यूल में (अलग व्याख्यान) निपटाई जाती है।

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

कैंटिलीवर शीट-पाइल उत्खनन तल के नीचे निष्क्रिय प्रतिरोध पर खड़ी रहती है; उत्खनन तल के ऊपर सक्रिय, नीचे शुद्ध दाब: σ'_2 से आरंभ होकर E पर शून्य होने वाली रेखा ($L_3 = \sigma'_2/(\gamma'(K_p - K_a))$) और सिरे पर L_5 खंड

संतुलन: P, $\bar{z}$ और $\Sigma F_H = 0$, $\Sigma M = 0 \rightarrow L_4$ के लिए चतुर्थ घात समीकरण; $\mathbf{D_{theoretical} = L_3 + L_4}$ (उदाहरण: 5.40 m)

अंश: f = 1.2–1.3 के साथ D (उदाहरण: 7.02 m, आघूर्ण वही) या K_p/FS_p (गहराई और आघूर्ण बढ़ते हैं); दी गई गहराई पर $FS_{p,mob}$ और **दोनों बल स्थितियों में से बड़ा**

$\mathbf{M_{max}}$ वहाँ जहाँ अपरूपण बल शून्य है: $z' = \sqrt{(2P/m)}$, $M_{max} = P(\bar{z} + z') - m\,z'^3/6$ (उदाहरण: 209.58 kN·m/m)

जल, अधिभार, ढलान: जल न होने पर $\gamma' \rightarrow \gamma$; q प्रत्येक कोटि को qK_a से बढ़ा देता है; भिन्न जल स्तर और अधिभार D और M को बहुत बढ़ा देते हैं

काट: EN 1993-1-1 $M_{Ed} = \gamma_F M_{max} \le W f_y/\gamma_{M0}$ ($\eta = 0.735$); AISC LRFD/ASD (0.968 / 0.909)

भूकंप: K_{AE}, K_{PE}, θ_w; $D_E \le D_{design}$ की खोज की जाती है: उदाहरण की दीवार टिक नहीं पाती (D_E = 9.99 m, M = 634 kN·m/m)

विस्थापन: स्प्रिंग-आधारित मृदा पर प्रत्यास्थ बीम; उदाहरण में शीर्ष ≈ 156 mm, सिरा ≈ 0

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 पर चरण-दर-चरण उदाहरण भी यही दीवार है (L = 5 m, γ = 15.9; γ_{sat} = 19.33 kN/m³, φ′ = 32°, जल 2 m पर)।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

अपनी दीवार की ऊँचाई, परतदार रेत प्रोफ़ाइल, जल, अधिभार, शीट-पाइल काट और भूकंप गुणांक GeoTerva में दर्ज करें; मॉड्यूल दाब आरेख, भेदन गहराई, आघूर्ण, काट की जाँच और विस्थापन एक साथ देता 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