GeoTerva

भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · प्रतिधारक दीवारें

गुरुत्वीय प्रतिधारक दीवार

व्याख्यान: पत्थर या कंक्रीट की गुरुत्वीय प्रतिधारक दीवार की बाह्य स्थिरता; दीवार और उसके साथ गति करने वाली मृदा, सक्रिय और निष्क्रिय मृदा दाब, जल, उत्थापन और भूकंप; सर्पण, उलटाव और धारण क्षमता की जाँच; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

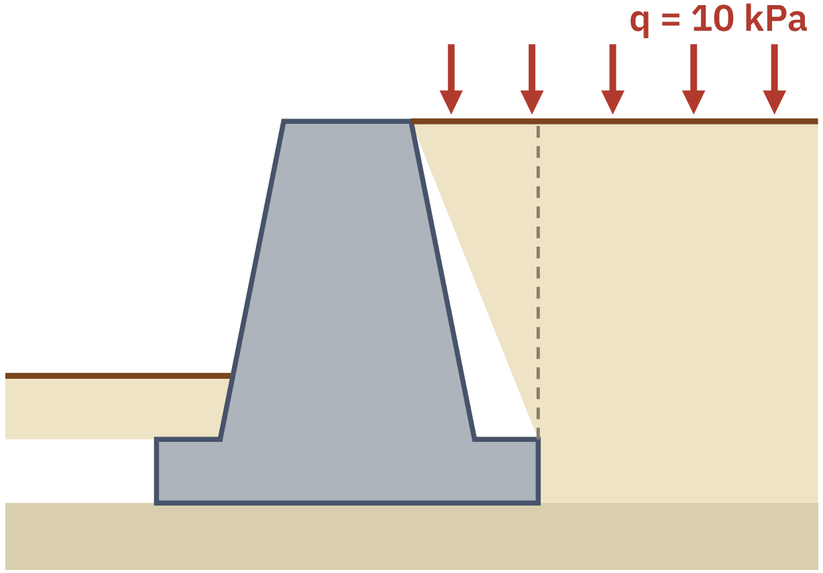
सर्पण · उलटाव · धारण क्षमता

Rankine · Coulomb · Mononobe–Okabe

जल और उत्थापन

भूकंप में जड़त्व

बल तालिका



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

- गुरुत्वीय दीवार की **ज्यामिति** और भार की गणना उसे खंडों में विभाजित करके (क्षेत्रफल, गुरुत्व केंद्र, आघूर्ण भुजा) करना
- दीवार के साथ गति करने वाला **मृदा ब्लॉक** और फ़ुटिंग के पिछले किनारे से गुज़रने वाला **ऊर्ध्वाधर दाब तल**
- **सक्रिय** (Rankine = Coulomb, ऊर्ध्वाधर तल पर), अधिभार, **निष्क्रिय अग्र प्रतिरोध** (K_{mob}) और **जल + उत्थापन** बल
- **बल तालिका** और एकल चिह्न-परिपाटी ($M = x \cdot F_z - z \cdot F_x$) का उपयोग करते हुए **सर्पण, उलटाव और धारण क्षमता** की जाँचें
- भूकंप में **Mononobe–Okabe** थ्रस्ट, भूकंपीय वृद्धि और दीवार की जड़ता को शामिल करना
- परिणाम को पढ़ना: सुरक्षा गुणांक, उत्केंद्रता, तल प्रतिबल

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

सब कुछ दीवार की 1.00 m लंबाई के लिए है (kN/m, kN·m/m); दाब kPa में। उदाहरण दीवार: H = 3 m की पत्थर की चिनाई की दीवार (22 kN/m³)।

क्या हल किया जाता है, कैसे आरेखित किया जाता है?

सिद्धांत

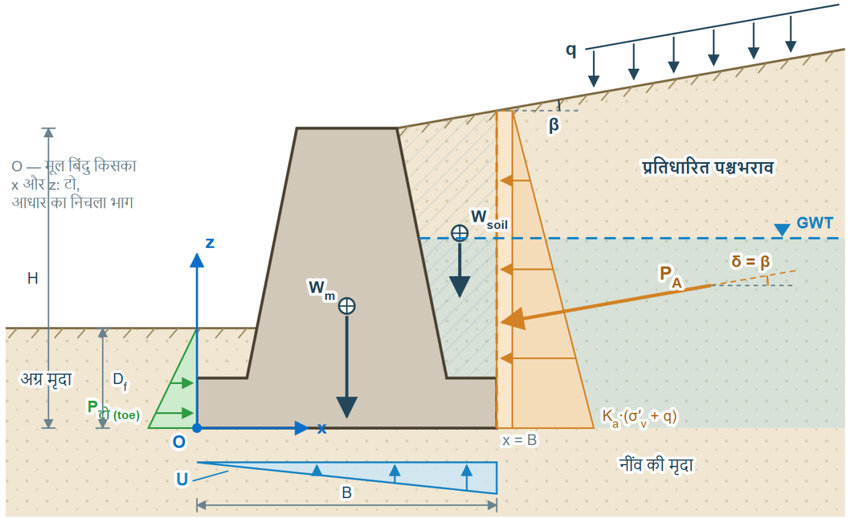
गुरुत्वीय दीवार सर्पण और उलटाव का प्रतिरोध **अपने भार से** करती है। मॉड्यूल झुके हुए समलंबाकार स्टेम और दोनों ओर सीढ़ीदार फ़ुटिंग वाली पत्थर या मास कंक्रीट की दीवार का अध्ययन करता है:

$$B = W_{bl} + W_{dl} + W_u + W_{dr} + W_{br}$$

दीवार: H कुल ऊँचाई, W_u शीर्ष चौड़ाई, W_{dl}, W_{dr} सामने और पीछे के ढलान ऑफ़सेट, W_{bl}, W_{br} टो के उभार, H_{fl}, H_{fr} टो की ऊँचाइयाँ; इकाई भार पत्थर में 22, कंक्रीट में 24 kN/m³।

मृदा: संसंजनहीन भराव (c′ = 0), झुकी हुई सतह β, अधिभार q, भूजल, सामने D_f ऊँचाई तक मृदा और जल।

तीन सिद्धांत: Rankine, Coulomb (स्थैतिक), Mononobe–Okabe (भूकंप)। **जाँचें**: सर्पण, उलटाव, उत्केंद्रता, धारण क्षमता।



मुक्त पिंड, बल तालिका, एकल चिह्न परिपाटी

सिद्धांत

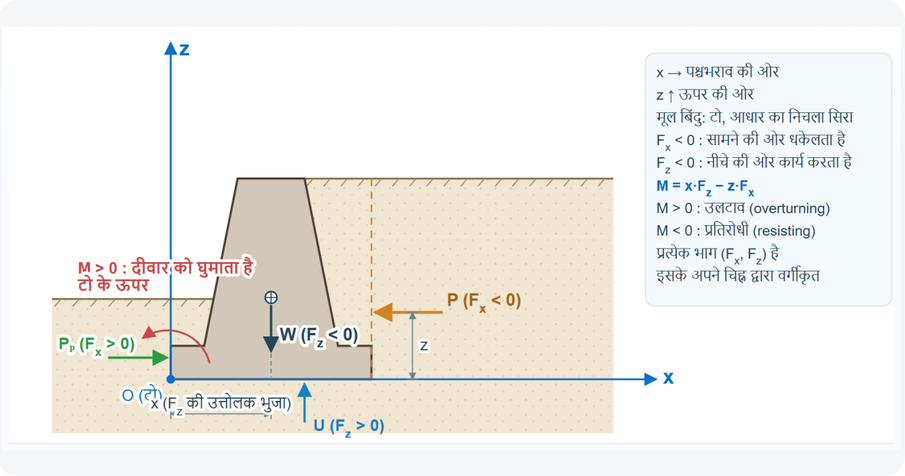
स्थिरता एक **संतुलन** समस्या है: पहले यह तय किया जाता है कि किसका संतुलन देखा जा रहा है और बलों के चिह्न कैसे निर्धारित होंगे। मूल बिंदु O **टो पर** (सामने का निचला कोना) है, x भराव की ओर, z ऊपर की ओर है। एक बल को उसके घटकों (F_x, F_z) और क्रिया बिंदु से लिखा जाता है; O के सापेक्ष आघूर्ण:

$$M = x\,F_z - z\,F_x \qquad M > 0:\ \text{उलटाव}, \quad M < 0:\ \text{बंध}$$

भार ($F_z = -W$, $x > 0$) के लिए $M = -xW < 0$: यह दीवार को थामे रखता है। आगे की ओर थ्रस्ट ($F_x < 0$) के लिए $M = -zF_x > 0$: यह दीवार को उलट देता है। उत्थापन ($F_z > 0$) उलट देता है, सामने का प्रतिरोध ($F_x > 0$) थामे रखता है।

किसी भी बल को पहले से “प्रतिरोधी” के रूप में वर्गीकृत नहीं किया जाता; प्रत्येक घटक अपने चिह्न के साथ गिना जाता है (झुके हुए प्रणोद का ऊर्ध्वाधर घटक सही रूप से प्रतिरोधी होता है)।

मुक्त पिंड = दीवार + उसके साथ गतिशील मृदा; **बल तालिका** की प्रत्येक मद तीनों जाँचों में एक ही प्रकार से पढ़ी जाती है: कोई भी बल एक में छूटकर दूसरी में गिना नहीं जा सकता।



भागों में विभाजन, गुरुत्व केंद्र और भुजाएँ

सिद्धांत

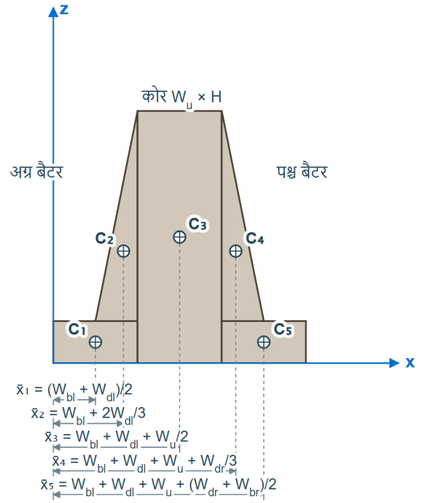
दीवार का भार और टो के परितः उसका आघूर्ण दोनों स्थिरता जाँचों का आधार हैं। अनुप्रस्थ काट को ज्ञात क्षेत्रफल और गुरुत्व केंद्र वाली सरल आकृतियों (टो, सामने की ढलान, कोर, पीछे की ढलान, हील) में विभाजित किया जाता है:

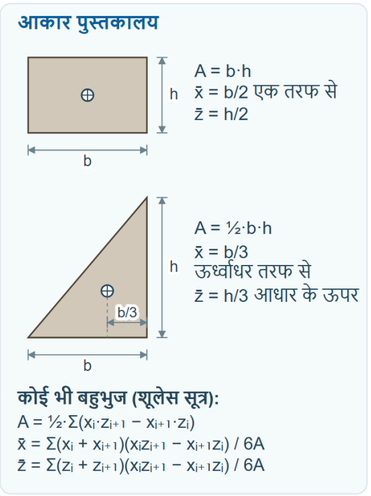
$$W_i = \gamma_m A_i \qquad W_m = \sum W_i \qquad \bar{x}_m = \frac{\sum W_i\,\bar{x}_i}{W_m} \qquad \bar{z}_m = \frac{\sum W_i\,\bar{z}_i}{W_m}$$

बल तालिका में दीवार एकल प्रविष्टि है: $F_z = -W_m$, $\bar{x}_m$ पर; इसका आघूर्ण $M = -W_m\bar{x}_m = -\Sigma M_i$ है।

ऊँचाई $\bar{z}_m$ केवल क्षैतिज जड़त्व बल $k_h W_m$ (भूकंप) के लिए आवश्यक है।

मॉड्यूल संपूर्ण काट की गणना एकल बहुभुज के रूप में भी करता है; दोनों परिणाम 10^{-9} के भीतर मेल खाते हैं।





प्रश्न

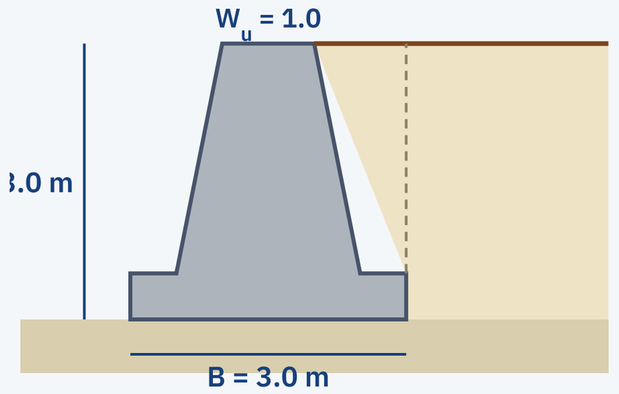
उदाहरण

ज्ञात करना है

पाँच भागों का क्षेत्रफल और भार; W_m, $\bar{x}_m$, $\bar{z}_m$।

दिया गया है

काट	$H = 3.0$ m; $W_u = 1.0$ m; $W_{dl} = W_{dr} = 0.5$ m; $W_{bl} = W_{br} = 0.5$ m; $H_{fl} = H_{fr} = 0.5$ m (B = 3.0 m)
सामग्री	**पत्थर की दीवार:** $\gamma_m = 22$ kN/m^3



हल

हल

1 भाग (जैसे सामने का ढलान: $A = \frac{1}{2}(0.5)(3.0 - 0.5) = 0.625$; $\bar{x} = W_{bl} + 2W_{dl}/3 = 0.833$; $\bar{z} = H_{fl} + (H - H_{fl})/3 = 1.333$)

खंड	A (m²)	$\bar{x}$ (m)	$\bar{z}$ (m)	W = 22A (kN/m)	W·$\bar{x}$	W·$\bar{z}$
टो	0.500	0.500	0.250	11.00	5.50	2.75
अग्र ढलान	0.625	0.833	1.333	13.75	11.46	18.33
मुख्य भाग (क्रोड)	3.000	1.500	1.500	66.00	99.00	99.00
पश्च ढलान	0.625	2.167	1.333	13.75	29.79	18.33
हील	0.500	2.500	0.250	11.00	27.50	2.75
कुल	**5.250**			**115.50**	**173.25**	**141.17**

2 दीवार का गुरुत्व केंद्र

$$\bar{x}_m = \frac{173.25}{115.50} = \mathbf{1.500}\ \text{m} \qquad \bar{z}_m = \frac{141.17}{115.50} = \mathbf{1.222}\ \text{m}$$

दीवार का भार **W_m = 115.50 kN/m** है; यह टो से $\bar{x}_m$ = 1.50 m और आधार से $\bar{z}_m$ = 1.22 m पर है; इसका आघूर्ण M = −173.25 kN·m/m है (प्रतिरोधी)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

ऊर्ध्वाधर दाब तल और मृदा ब्लॉक

सिद्धांत

मृदा दाब दीवार के पिछले ढलान पर नहीं, बल्कि **आधार के पिछले किनारे** पर क्यों कार्य करता है? हील के ऊपर की मृदा दीवार के सापेक्ष नहीं खिसक सकती: दीवार गति करे तो वह उसके साथ चलती है। पश्चभराव में विफलता तल पिछले ढलान से नहीं, बल्कि **हील के पिछले किनारे से** आरंभ होते हैं। संगत मुक्त पिंड: दीवार + यह मृदा ब्लॉक; उसके बाहरी फलक पर **बाह्य दाब तल** x = B पर ऊर्ध्वाधर है:

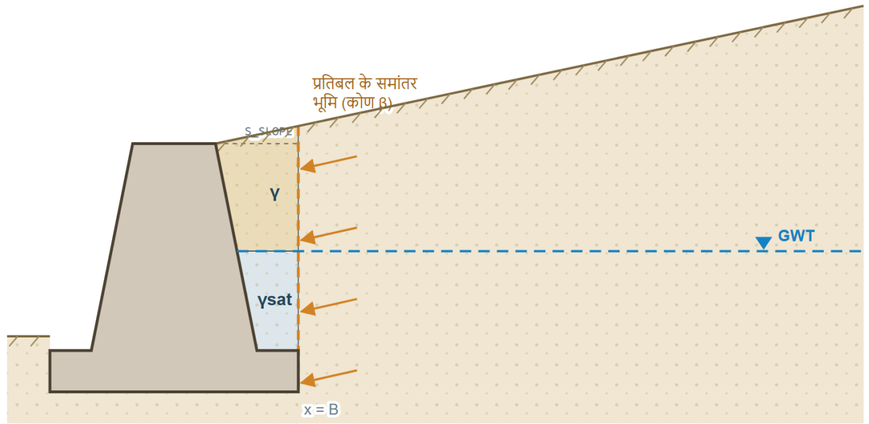
तल पिछले किनारे के ऊपर की सतह से आधार के नीचे तक जाता है; ढलानयुक्त भराव में यह सतह के उठाव को भी समाहित करता है। तल और दीवार के पृष्ठ के बीच का सब कुछ **भार** है; तल पर मृदा मृदा के विरुद्ध है: दीवार घर्षण की गणना नहीं की जाती, थ्रस्ट δ = β के साथ कार्य करता है।

सामने टो के ऊपर का भराव भी दीवार के साथ गति करता है: ऊर्ध्वाधर भार W_{toe}; यदि $D_f = 0$ दर्ज किया जाए तो इसका अर्थ है कि अग्र मृदा को गिना जा सकता है।

हील के ऊपर **अधिभार** का ऊर्ध्वाधर भाग (Q_{heel}) अनुकूल है, परंतु उसे ऐसा भार माना जाता है जो हो भी सकता है और नहीं भी, इसलिए वह **किसी भी जाँच में प्रवेश नहीं करता**; जबकि उसका पार्श्व प्रभाव सदैव गिना जाता है।

कुल प्रतिबल के साथ कार्य किया जाता है: जल के नीचे की मृदा का भार γ_{sat} से लिया जाता है, और जल को स्वयं अलग बल के रूप में (U_{rear}, उत्थापन) जोड़ा जाता है; γ′ और उत्थापन एक साथ नहीं लिए जाते।

फ़ुटिंग के पिछले किनारे से होकर गुजरने वाला ऊर्ध्वाधर समतल (सभी विधियाँ)



प्रश्न

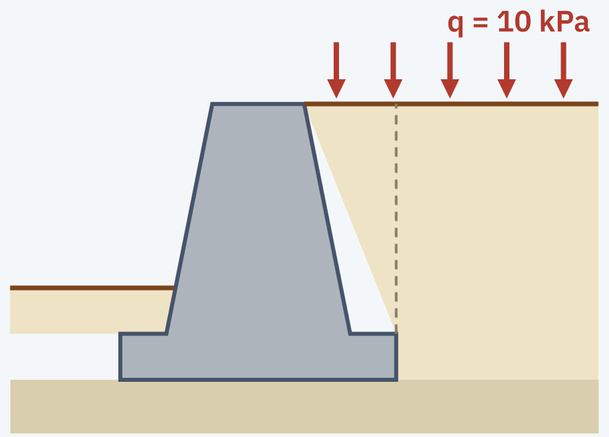
उदाहरण

दिया गया है

दीवार	**उदाहरण 1 की काट; सामने की मृदा की ऊँचाई** $D_f = 1.0$ **m**
मृदा	**शुष्क भराव:** $\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$**; क्षैतिज सतह**
अधिभार	$q = 10$ **kPa (सतह पर)**

ज्ञात करना है

दीवार के साथ गति करने वाले **मृदा ब्लॉक** का भार और स्थिति; **अग्र भराव**; Q_{heel} जाँचों में क्यों शामिल नहीं होता?



हल (1/2)

हल

1 हील के ऊपर का आयत + पिछली ढलान के बगल का त्रिभुज (समतल x = B = 3.0 तक)

$$A_r = W_{br}(H - H_{fr}) = 0.5(2.5) = 1.250\ \text{m}^2\ (\bar{x} = 2.75,\ \bar{z} = 1.75)$$

$$A_t = \tfrac{1}{2} W_{dr}(H - H_{fr}) = 0.625\ \text{m}^2\ (\bar{x} = 2.333,\ \bar{z} = 2.167)$$

$$W_s = \gamma(A_r + A_t) = 18(1.875) = \mathbf{33.75}\ \text{kN/m}$$

2 स्थान

$$\bar{x}_s = \frac{1.250(2.75) + 0.625(2.333)}{1.875} = \mathbf{2.611}\ \text{m} \qquad \bar{z}_s = \mathbf{1.889}\ \text{m}$$

हल (2/2)

हल

3 सामने का भराव (टो के ऊपर, D_f = 1.0 m) और अधिभार

$$A_{toe} = \tfrac{1}{2}(0.5 + 0.60)(0.5) = 0.275 \text{ m}^2 \quad W_{toe} = 18(0.275) = \mathbf{4.95} \text{ kN/m } (\bar{x} = 0.276)$$

$$Q_{heel} = q(B - x_{BT}) = 10(3 - 2) = \mathbf{10.0} \text{ kN/m (किसी भी जाँच में शामिल नहीं)}$$

कुल ऊर्ध्वाधर भार N = W_m + W_s + W_{toe} = 115.50 + 33.75 + 4.95 = **154.20 kN/m** । Q_{heel} = 10.00 kN/m तालिका में “अप्रयुक्त” मद है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

ऊर्ध्वाधर तल पर Rankine और Coulomb

सिद्धांत

यदि पश्चभराव की सतह β से झुकी हो, तो Rankine के अर्ध-अनंत ढलान हल में ऊर्ध्वाधर तल पर प्रतिबल **सतह के समानांतर** होता है: $\sigma'_a = K_{a\beta}\sigma'_v$:

$$K_{a\beta} = \cos\beta\,\frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi'}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi'}} \qquad K_a = \frac{1-\sin\varphi'}{1+\sin\varphi'}\ (\beta = 0)$$

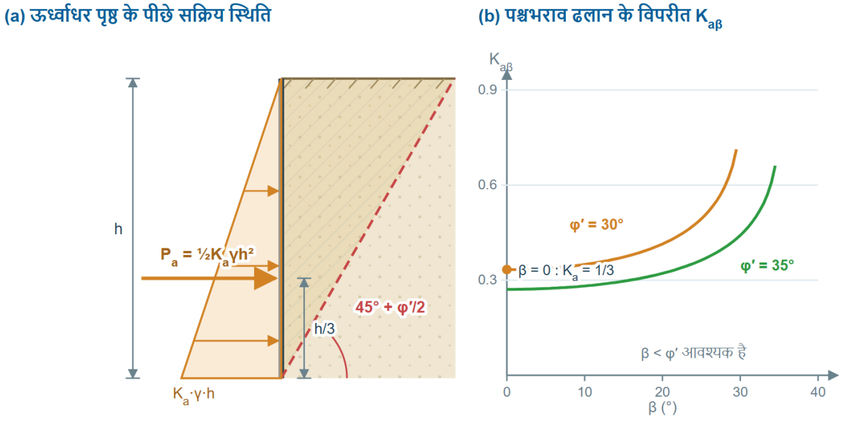
$$P_A = \tfrac{1}{2}K_a\gamma h^2\ \ (h/3) \qquad P_Q = K_a q h\ \ (h/2)$$

वर्गमूल के लिए $\beta < \varphi'$ आवश्यक है; यदि $\beta \geq \varphi'$ हो, तो ढलान स्वयं स्थिर नहीं है और गणना रोक दी जाती है।

Coulomb: ऊर्ध्वाधर समतल (α = 90°) और δ = β के लिए K_a, Rankine $K_{a\beta}$ के **प्रत्येक β के लिए ठीक बराबर** है; दोनों विधियाँ इस समतल पर समान दाब देती हैं। h = समतल की ऊँचाई (सतह के उठाव सहित)।

क्षैतिज घटक P cos β, ऊर्ध्वाधर घटक P sin β (ऊपर चढ़ती ढलान पर नीचे की ओर: प्रतिरोधी)।

अधिभार की गणना दो बार की जाती है (q के साथ और q के बिना); P_Q अंतर है।



प्रश्न

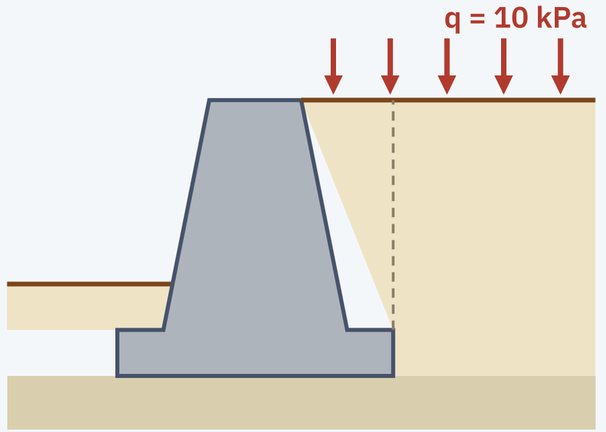
उदाहरण

ज्ञात करना है

K_a, मृदा प्रणोद P_A और अधिभार प्रणोद P_Q तथा उनके आघूर्ण।

दिया गया है

दीवार और मृदा	**उदाहरण 2 की दीवार और भराव:** $h = H = 3.0$ **m;** $\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$**; क्षैतिज सतह**
अधिभार	$q = 10$ **kPa**



हल

हल

1 $K_a = (1 - \sin30°)/(1 + \sin30°) = 0.3333$; प्रस्ट (ऊर्ध्वाधर तल में, क्षैतिज)

$$P_A = \tfrac{1}{2} K_a \gamma h^2 = \tfrac{1}{2}(0.3333)(18)(9) = \mathbf{27.00}\ \text{kN/m} \quad (z = 1.00\ \text{m})$$

$$P_Q = K_a q h = 0.3333(10)(3) = \mathbf{10.00}\ \text{kN/m} \quad (z = 1.50\ \text{m})$$

2 कुल क्षैतिज प्रणोद और उलटाव आघूर्ण (टो के सापेक्ष)

$$\Sigma H_{drive} = 27.0 + 10.0 = \mathbf{37.0}\ \text{kN/m}$$

$$M_o = 27.0(1.00) + 10.0(1.50) = 27.0 + 15.0 = \mathbf{42.0}\ \text{kN·m/m}$$

मृदा प्रस्ट 27.00, अधिभार प्रस्ट 10.00 kN/m: कुल **37.00 kN/m**, टो के सापेक्ष **42.00 kN·m/m**।

प्रश्न

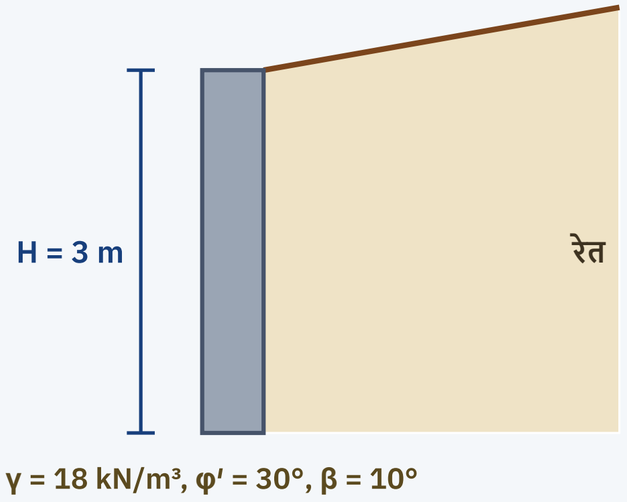
उदाहरण

ज्ञात करना है

$K_{a\beta}$, प्रणोद के घटक; क्षैतिज भराव की तुलना में परिणाम में परिवर्तन (सर्पण, उलटाव, उत्केंद्रता)।

दिया गया है

दीवार और मृदा	**उदाहरण 2 की दीवार; वही पश्चभराव परंतु सतह $\beta = 10^\circ$ ऊपर उठती हुई (दीवार से दूर जाने पर)**
अधिभार	$q = 10$ **kPa**



हल (1/2)

हल

1 गुणांक $K_{a\beta}$ ($\cos\beta = 0.9848$, $\sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\varphi'} = 0.4689$)

$$K_{a\beta} = \cos\beta\,\frac{\cos\beta - r}{\cos\beta + r} = 0.9848\,\frac{0.5159}{1.4537} = \mathbf{0.3495} \;\; (\text{क्षैतिज रूप से } 0.3333)$$

2 प्रणोद (h = तल की ऊँचाई = H + सतह का उठाव; इंजन)

$$P_A:\; F_x = 31.25,\; F_z = 5.51 \text{ kN/m} \;\; (\text{क्षैतिज और ऊर्ध्वाधर})$$

$$P_Q:\; F_x = 10.93,\; F_z = 1.93 \text{ kN/m}$$

हल (2/2)

हल

3 जाँच (इंजन)

$$\Sigma F_z = -N = -163.23 \text{ kN/m} \quad (\text{मृदा ब्लॉक } 35.34)$$

$$FS_s = 2.412 \qquad FS_o = 5.734 \qquad e = 0.037 \text{ m} \qquad q_{max} = 58.4 \text{ kPa}$$

पश्चभराव ढलान ऊपर उठाने पर थ्रस्ट बढ़ता है ($K_{a\beta}$ 0.333 → 0.350), परंतु **थ्रस्ट का ऊर्ध्वाधर घटक** और भारी मृदा खंड स्थिरता बढ़ाने वाले हैं: सर्पण FS 2.62 → 2.41, उलटाव FS 6.26 → 5.73; उत्केंद्रता 0.068 → 0.037 m।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

विराम और निष्क्रिय के बीच मिश्रित गुणांक

सिद्धांत

दीवार के सामने की मृदा (c′ = 0) को Rankine निष्क्रिय और Jaky विराम गुणांकों के **मिश्रण** से परिभाषित किया जाता है; क्योंकि पूर्ण निष्क्रिय प्रतिरोध के लिए इतने बड़े विस्थापन की आवश्यकता होती है जितना कार्यात्मक दीवार अनुमति नहीं देगी:

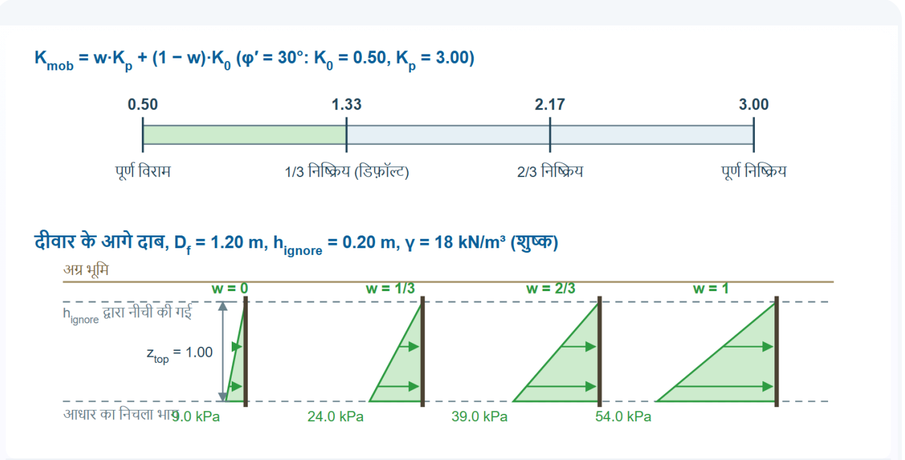
$$K_{mob} = w\,K_p + (1-w)\,K_0 \qquad K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi'/2) \qquad K_0 = 1 - \sin\varphi'$$

$$p(z) = K_{mob}\,\sigma'_v(z) \qquad P_P = \tfrac{1}{2}K_{mob}\gamma D_f^2 \;\; (D_f/3)$$

w = 0 पूर्ण विराम अवस्था, 1/3 (डिफ़ॉल्ट), 2/3, 1 पूर्ण निष्क्रिय। सामने की मृदा की ऊपरी h_{ignore} मोटाई (उत्खनन योग्य, नरम हो सकने वाली) को गणना में नहीं लिया जाता।

सामने का प्रतिरोध केवल **सर्पण में** गिना जाता है (स्थैतिक में पूर्ण, भूकंप में $\eta_{p,E}$ के साथ); **उलटाव और धारण क्षमता में बिल्कुल प्रयोग नहीं** किया जाता।

सामने के जल (h_{wf}) का प्रणोद पीछे की ओर होता है और शुद्ध प्रणोद को घटाता है।



प्रश्न

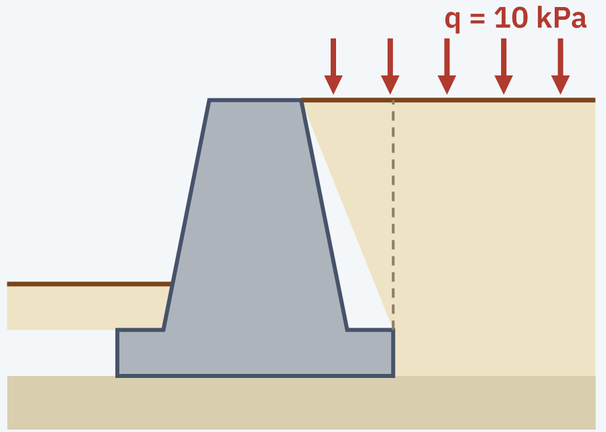
उदाहरण

ज्ञात करना है

K_{mob}, P_P और सर्पण सुरक्षा गुणांक FS_s (उदाहरण 2 की दीवार के लिए)।

दिया गया है

अग्र भूमि	$D_f = 1.0$ **m;** $\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$**;** $h_{ignore} = 0$
स्थितियाँ	**पूर्ण विराम अवस्था, 1/3, 2/3, पूर्ण निष्क्रिय; और यदि सामने के प्रतिरोध को बिल्कुल भी न गिना जाए**



हल

हल

1 K_{mob} और प्रणोद (डिफ़ॉल्ट w = 1/3)

$$K_{mob} = \tfrac{1}{3}(3.000) + \tfrac{2}{3}(0.500) = \mathbf{1.333}$$

$$P_P = \tfrac{1}{2}K_{mob}\gamma D_f^2 = \tfrac{1}{2}(1.333)(18)(1)^2 = \mathbf{12.0}\ \text{kN/m} \quad (z = D_f/3 = 0.333\ \text{m})$$

2 चार स्थितियाँ ($FS_s = (\mu_b N + P_P)/\Sigma H_{drive} = (84.81 + P_P)/37.0$)

स्थिति	w	K_{mob}	P_P (kN/m)	FS_s
पूर्ण विराम अवस्था	0	0.500	4.50	2.414
1/3 निष्क्रिय + 2/3 विराम (डिफ़ॉल्ट)	1/3	1.333	12.00	2.616
2/3 निष्क्रिय + 1/3 विरामावस्था	2/3	2.167	19.50	2.819
पूर्ण निष्क्रिय	1	3.000	27.00	3.022
सिरा धारण को गणना में नहीं लिया जाता	–	–	0	2.292

सामने के प्रतिरोध का क्रेडिट FS_s को 2.29 और 3.02 के बीच बदल देता है (डिफ़ॉल्ट **2.62**); सामने की मृदा को खोदकर हटाया जा सकता हो तो क्रेडिट शून्य कर दिया जाता है: D_f और h_{ignore} का चयन सोच-समझकर किया जाना चाहिए।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

एक ही बल तालिका से तीन जाँचें

सिद्धांत

सर्पण: आधार घर्षण से रोका जाता है; आवश्यक अपरूपण $\Sigma H_{drive} - \Sigma P_{resist}$, उपलब्ध अपरूपण $\mu_b N$ (आसंजन नहीं; N प्रभावी अभिलंब बल है, उत्थापन सहित)। प्रतिरोध हर में जोड़ा जाता है:

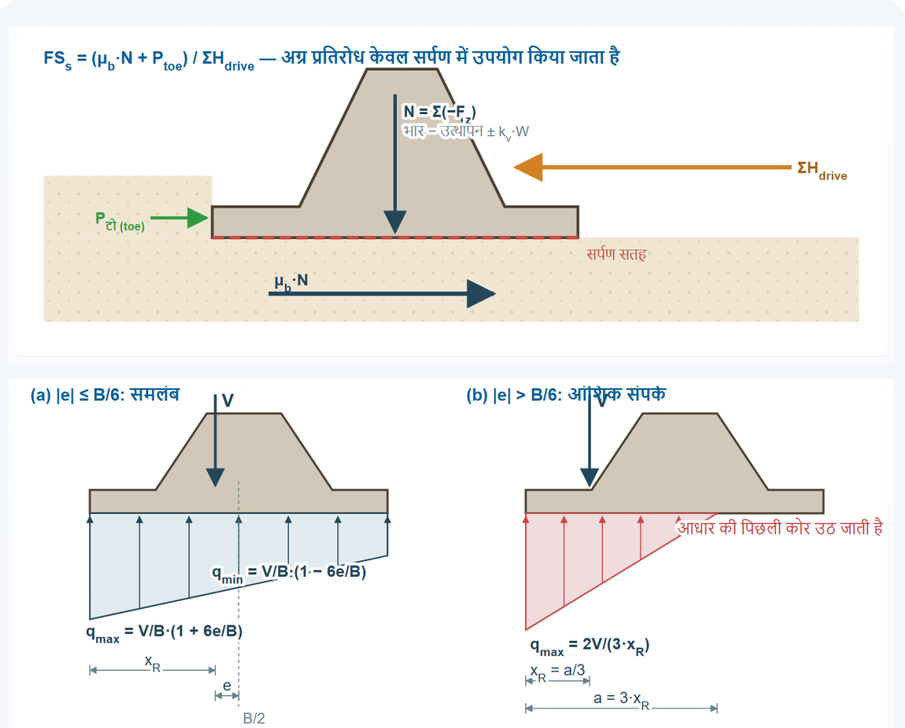
$$FS_s = \frac{\mu_b N + P_{toe}}{\Sigma H_{drive}} \qquad \mu_b = \tan \delta_b$$

उलटाव टो के परितः होता है: प्रत्येक मद के $-zF_x$ और xF_z घटक अपने चिह्न के अनुसार $\Sigma M_{overturning}$ या $\Sigma M_{resisting}$ में जाते हैं; सामने का प्रतिरोध शामिल नहीं किया जाता:

$$FS_o = \frac{\Sigma M_{res}}{\Sigma M_{ov}} \qquad x_R = -\frac{\Sigma M}{V} \qquad e = \frac{B}{2} - x_R$$

धारण क्षमता: यदि $|e| \le B/6$ है तो आधार पूर्णतः संपर्क में रहता है; अन्यथा मृदा तनन वहन नहीं कर सकती और केवल उसका एक भाग संपर्क में रहता है:

$$q_{max,min} = \frac{V}{B}\left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \qquad |e| > \frac{B}{6}: \quad q_{max} = \frac{2V}{3x_R}$$



प्रश्न

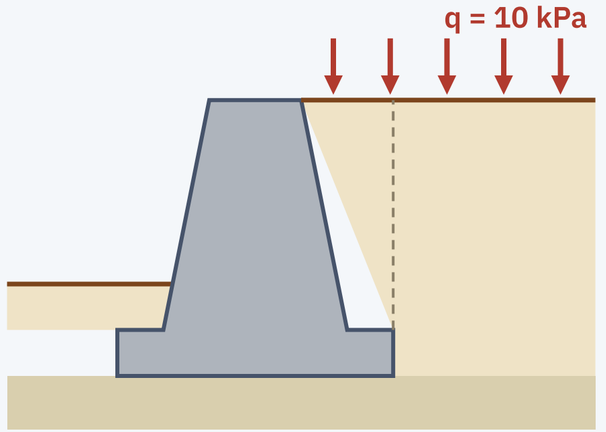
उदाहरण

दिया गया है

दीवार और भार	**उदाहरण 1–5 की दीवार:** $B = 3.0$ **m;** $W_m = 115.5,\ W_s = 33.75,\ W_{toe} = 4.95$ kN/m; $P_A = 27.0,\ P_Q = 10.0$ kN/m
प्रतिरोध	$\mu_b = 0.55$**; सामने का प्रतिरोध** $P_P = 12.0$ **kN/m (w = 1/3);** $q_{all} = 200$ **kPa**
आवश्यक	$FS_s \geq 1.5,\ \ FS_o \geq 2.0$**; आधार पूर्णतः संपर्क में होना चाहिए**

ज्ञात करना है

FS_s, FS_o, x_R, e, q_{max}, q_{min} और प्रत्येक जाँच का परिणाम।



हल (1/3)

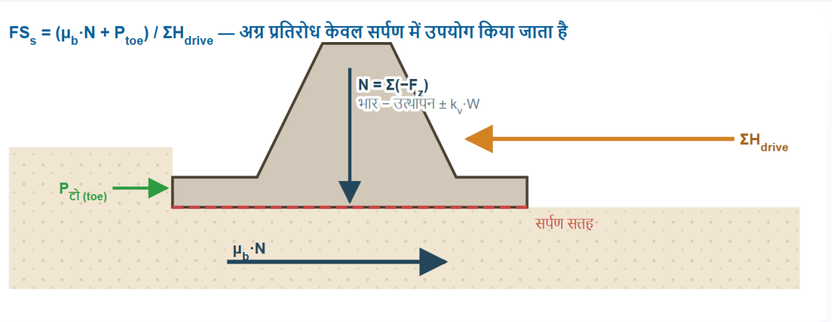
हल

1 आधार घर्षण: N = W_m + W_s + W_{toe} (Q_{heel} को छोड़कर)

$$N = 115.50 + 33.75 + 4.95 = \mathbf{154.20}\ \text{kN/m}$$

$$\mu_b N = 0.55(154.20) = 84.81\ \text{kN/m}$$

$$FS_s = \frac{84.81 + 12.0}{37.0} = \mathbf{2.616}\ \geq 1.5\ \checkmark$$



हल (2/3)

हल

2 उलटाव आघूर्ण (टो के सापेक्ष; केवल प्रणोद)

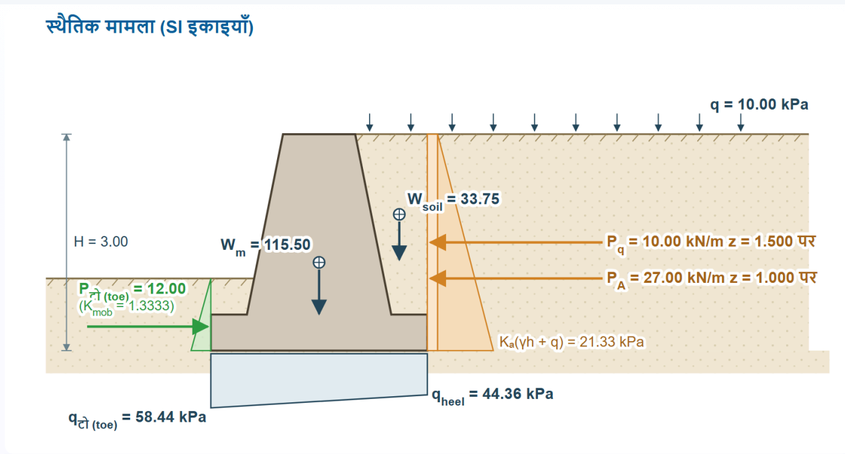
$$M_o = P_A(1.00) + P_Q(1.50) = 27.0 + 15.0 = \mathbf{42.0}\ \text{kN·m/m}$$

3 प्रतिरोधी आघूर्ण: दीवार + मृदा ब्लॉक + सामने का भराव

$$M_r = W_m\bar{x}_m + W_s\bar{x}_s + W_{toe}\bar{x}_{toe}$$

$$= 173.25 + 88.13 + 1.36 = \mathbf{262.74}$$

$$FS_o = \frac{262.74}{42.0} = \mathbf{6.256}\ \geq 2.0\ \checkmark$$



हल (3/3)

हल

4 परिणामी बल की स्थिति और उत्केंद्रता

$$\Sigma M = M_o - M_r = 42.00 - 262.74 = -220.74$$

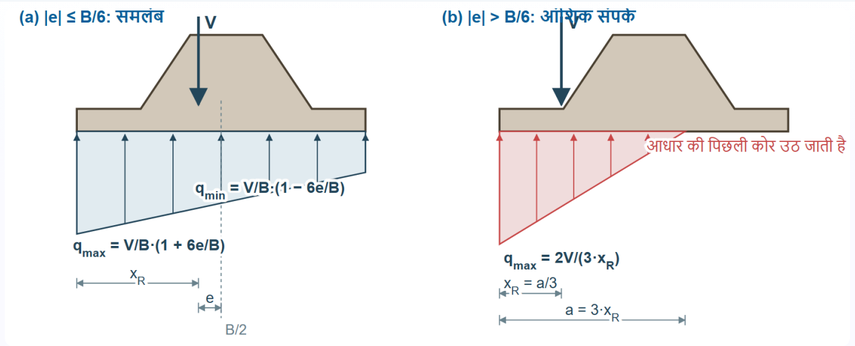
$$x_R = -\frac{\Sigma M}{V} = \frac{220.74}{154.2} = \mathbf{1.4315}\ \text{m}$$

$$e = \frac{B}{2} - x_R = \mathbf{0.0685}\ \text{m} \ \le\ \frac{B}{6} = 0.500\ \checkmark$$

5 आधार प्रतिबल (पूर्ण संपर्क)

$$q_{max} = \frac{154.2}{3}\left(1 + \frac{6(0.0685)}{3}\right) = \mathbf{58.44}\ \text{kPa}$$

$$q_{min} = \mathbf{44.36}\ \text{kPa}$$



FS_s = **2.62**, FS_o = **6.26**, e = 0.068 m, q_{max} = **58.4 kPa** ≤ 200, q_{min} = 44.4 kPa > 0: **स्थैतिक स्थिति में सभी जाँचें संतुष्ट होती हैं।**

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

दोनों ओर द्रवस्थैतिक जल, आधार पर रैखिक उत्थापन

सिद्धांत

जल दाब समदैशिक है और जिस भी सतह को छूता है उस पर लंबवत कार्य करता है। मुक्त पिंड अपनी तीन सीमाओं पर जल से घिरा है: पिछला दाब तल, दीवार का अगला फलक और आधार का निचला फलक। इनमें से प्रत्येक बल तालिका में अलग मद है:

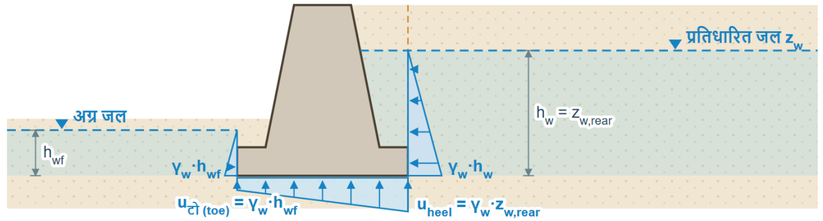
$$U_{rear} = \tfrac{1}{2}\gamma_w h_w^2 \;\; (h_w/3) \qquad U_{front} = \tfrac{1}{2}\gamma_w h_{wf}^2 \;\; (h_{wf}/3,\ \text{पीछे})$$

आधार के नीचे रंध्र जल दाब टो पर के हेड से हील के किनारे के हेड तक **रैखिक रूप से** बदलता है (सरल रेखा के अनुसार हेड हानि):

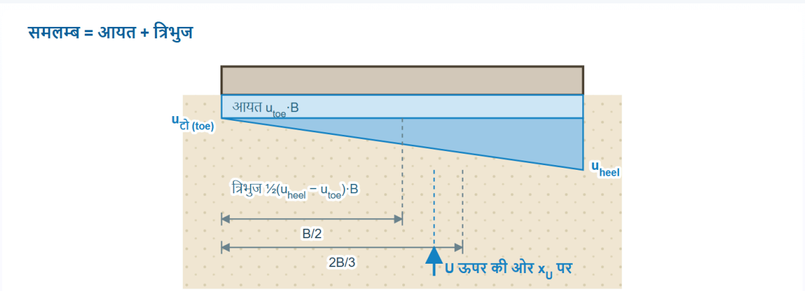
$$U = \frac{B\,(u_{toe} + u_{heel})}{2} \qquad x_U = \frac{B\,(u_{toe} + 2u_{heel})}{3\,(u_{toe} + u_{heel})}$$

उत्थापन ऊपर की ओर कार्य करता है (F_z = +U): यह N को और इसलिए आधार घर्षण को घटाता है तथा उलटाव आघूर्ण $U \cdot x_U$ जोड़ता है।

$h_W = H - z_W$ (z_W: दीवार के शीर्ष से भूजल की गहराई); सामने की जल ऊँचाई h_{wf} पीछे की ओर कार्य करती है और नेट थ्रस्ट को घटाती है। यदि जल स्तर भिन्न हों, तो हाइड्रोलिक स्थिरता (रिसाव) पर अलग से विचार किया जाना चाहिए।



U = B·(u_{toe} + u_{heel})/2 x = B·(u_{toe} + 2u_{heel}) / (3(u_{toe} + u_{heel})) पर



प्रश्न

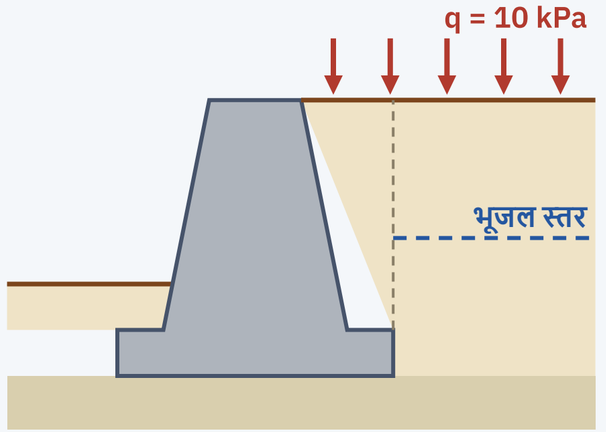
उदाहरण

ज्ञात करना है

मृदा प्रणोद और जल में परिवर्तन; **उत्थापन** और **N**; FS_s, FS_o, e, q_{max} I

दिया गया है

दीवार और मृदा	**उदाहरण 1–5 की दीवार और भराव ($\gamma = 18$, $\gamma_{sat} = 20$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$, $q = 10$ kPa); स्थैतिक स्थिति**
जल	**भराव में भूजल स्तर दीवार के शीर्ष से 1.5 m नीचे ($h_w = 1.5$ m); सामने जल नहीं; आधार के नीचे रैखिक उत्थापन**



हल (1/2)

हल

1 मृदा प्रणोद (ऊपर γ, नीचे γ′ = 20 − 9.81 = 10.19) और जल प्रणोद

$$P_A = \tfrac{1}{2}K_a\gamma d_1^2 + K_a\gamma d_1 d_2 + \tfrac{1}{2}K_a\gamma' d_2^2$$

$$= 6.75 + 13.50 + 3.82 = \mathbf{24.07}\ \text{kN/m}\ \ (z = 1.061\ \text{m})$$

$$U_{rear} = \tfrac{1}{2}(9.81)(1.5)^2 = \mathbf{11.04}\ \text{kN/m}\ \ (z = 0.50\ \text{m}) \qquad P_Q = 10.0$$

2 उत्थापन (टो पर u = 0, हील पर u = 9.81·1.5 = 14.72 kPa; त्रिभुजाकार)

$$U = \tfrac{1}{2}(14.72)(3.0) = \mathbf{22.07}\ \text{kN/m}\ \text{(ऊपर की ओर)}\ \ \text{at}\ x_U = \tfrac{2B}{3} = 2.00\ \text{m}$$

हल (2/2)

हल

3 प्रभावी अभिलंब बल और घर्षण (मृदा ब्लॉक को γ_{sat} के साथ लेने पर: $W_s = 34.95$)

$$N = W_m + W_s + W_{toe} - U = 115.50 + 34.95 + 4.95 - 22.07 = \mathbf{133.33}\ \text{kN/m}$$

$$FS_s = \frac{0.55(133.33) + 12.0}{24.07 + 10.0 + 11.04} = \frac{85.33}{45.11} = \mathbf{1.892}$$

4 उलटाव और आधार

$$M_o = 25.54 + 15.00 + 5.52 + 44.14 = 90.20 \ \ (P_A,\ P_Q,\ U_{rear},\ \text{उत्थापन}) \qquad M_r = 265.98$$

$$FS_o = \frac{265.98}{90.20} = \mathbf{2.949} \qquad x_R = \frac{175.78}{133.33} = 1.318\ \text{m} \quad e = 0.182\ \text{m}$$

$$q_{max} = \mathbf{60.58} \qquad q_{min} = \mathbf{28.30}\ \text{kPa}$$

जल ने FS_s को 2.62 से घटाकर **1.89**, FS_o को 6.26 से **2.95** तथा q_{min} को 44.4 से 28.3 kPa कर दिया (उत्थापन ने N को 22.1 kN/m घटाया और 44.1 kN·m/m उलटाव आघूर्ण जोड़ा); जाँचें अब भी संतुष्ट होती हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

Mononobe–Okabe प्रणोद और दीवार की जड़ता

सिद्धांत

छद्म-स्थैतिक विधि में प्रत्येक द्रव्यमान पर क्षैतिज $k_h mg$ और ऊर्ध्वाधर $\pm k_v mg$ बल लगता है; क्रांतिक दिशा वह है जिसमें जड़त्व आगे की ओर (प्रणोद की दिशा में) धकेलता है। गुरुत्व और जड़त्व मिलकर θ कोण से घूमे हुए गुरुत्व क्षेत्र की तरह होते हैं; Coulomb वेज को जड़त्वीय बलों के साथ हल किया जाता है (Mononobe–Okabe)। ऊर्ध्वाधर तल में, क्षैतिज पश्चभराव के लिए (δ = β = 0):

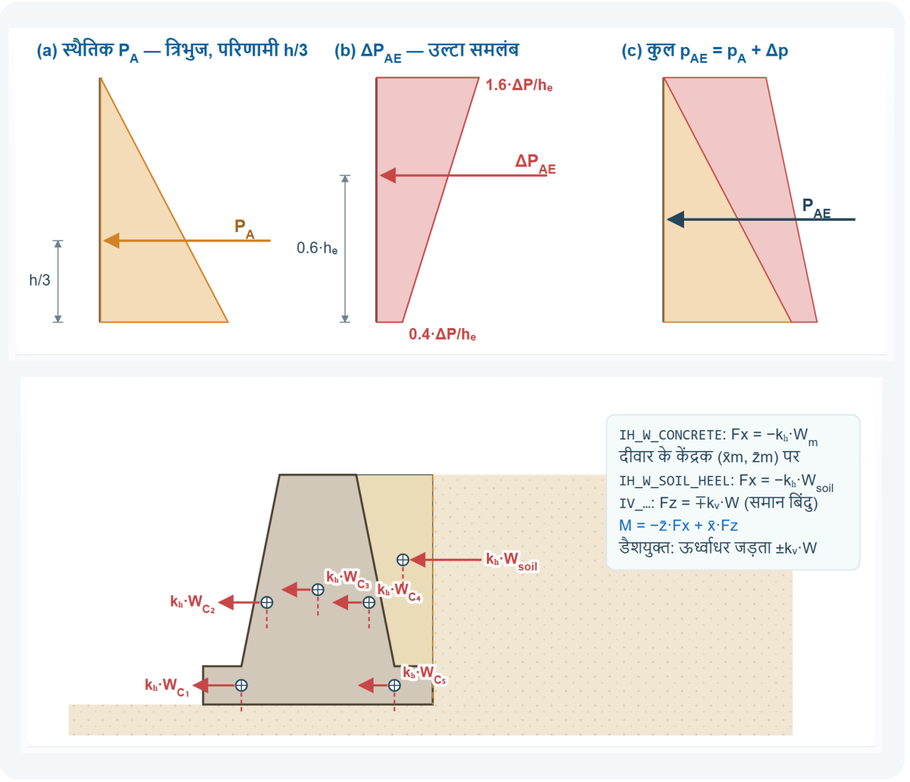
$$\theta = \tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v} \qquad K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta\left[1+\sqrt{\dfrac{\sin\varphi'\sin(\varphi'-\theta)}{\cos\theta}}\right]^2} \qquad P_{AE} = \left(\tfrac{1}{2}\gamma h^2 + qh\right)K_{AE}$$

यदि $\varphi' - \theta < 0$ हो, तो कोई भी वेज साम्यावस्था में नहीं रह सकता: “कोई हल नहीं”, जाँचें पूरी नहीं मानी जातीं।

वितरण: P_{AE} परिमाण देता है, स्थिति नहीं। $\Delta P_{AE} = P_{AE} - P_{A,static}$ उलटे समलंब के रूप में (शीर्ष पर 1.6ΔP/h, तल पर 0.4ΔP/h; परिणामी बल **0.6h** पर); स्थैतिक भाग अपना स्थैतिक आकार बनाए रखता है।

जड़त्व: दीवार, मृदा खंड और सामने का भराव $k_h W$ बल के साथ अपने गुरुत्व केंद्र पर आगे की ओर धकेलते हैं; यदि $k_v > 0$ हो तो $(1 \pm k_v)$ के साथ दोनों स्थितियों का अध्ययन किया जाता है, न्यूनतम FS निर्णायक होता है। जल का हाइड्रोडायनामिक दाब $(7/12)k_h\gamma_w h_w^2$ ($0.4h_w$ पर) जोड़ा जाता है।

सामने का निष्क्रिय प्रतिरोध भूकंप में $\eta_{p,E}$ से गुणा किया जाता है; डिफ़ॉल्ट **0** (कोई क्रेडिट नहीं)।



प्रश्न

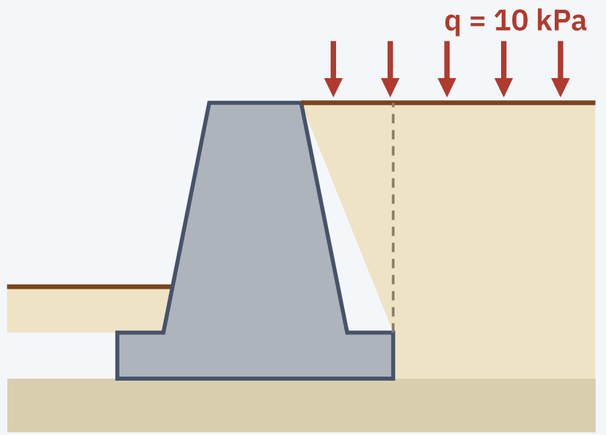
उदाहरण

दिया गया है

दीवार और मृदा	**उदाहरण 1–6 की दीवार और पश्चभराव (स्थैतिक $FS_s = 2.62$; $FS_o = 6.26$)**
भूकंप	$k_h = 0.15$, $k_v = 0$; **सामने के प्रतिरोध का क्रेडिट** $\eta_{p,E} = 0$; **आवश्यक** $FS_s,\ FS_o \geq 1.1$

ज्ञात करना है

θ, K_{AE}, P_{AE}, ΔP_{AE}, $\bar{z}$; जड़त्वीय बल; FS_s, FS_o, e, q_{max} I



हल (1/3)

हल

1 भूकंपीय कोण और गुणांक

$$\theta = \tan^{-1} 0.15 = 8.53^\circ$$

$$\sqrt{\sin 30^\circ \sin(30^\circ - 8.53^\circ)/\cos 8.53^\circ} = 0.4302$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(21.47^\circ)}{\cos^2 8.53^\circ\,(1+0.4302)^2} = \mathbf{0.4329}$$

2 गतिक प्रणोद और भूकंपीय वृद्धि (स्थैतिक $P_A + P_Q$ = 37.0 kN/m)

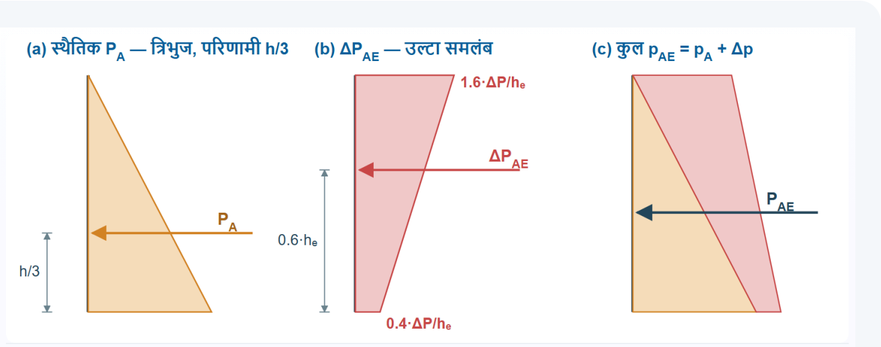
$$P_{AE} = (81+30)(0.4329) = \mathbf{48.06}\ \text{kN/m}$$

$$\Delta P_{AE} = 48.06 - 37.0 = \mathbf{11.06}\ \text{kN/m}\ \ (0.6h)$$

3 भार लगने की ऊँचाई

$$\bar{z}_{AE} = [27.0(1.00) + 10.0(1.50) + 11.06(1.80)]/48.06$$

$$= 61.90/48.06 = \mathbf{1.288}\ \text{m}$$



हल (2/3)

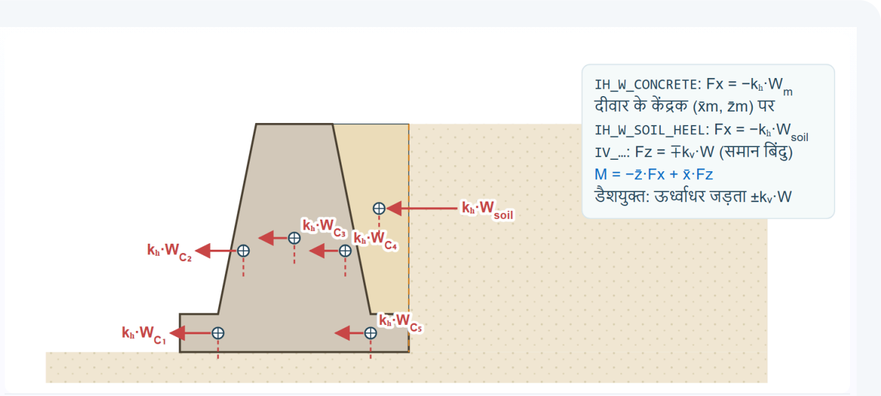
हल

4 जड़त्व बल $k_h W$ (गुरुत्व केंद्रों पर, आगे की ओर)

$$IH_m = 0.15(115.50) = 17.325 \;\; (z = 1.222 \text{ m})$$
$$IH_s = 0.15(33.75) = 5.062 \;\; (z = 1.889 \text{ m})$$
$$IH_{toe} = 0.15(4.95) = 0.743 \;\; (z = 0.758 \text{ m})$$

5 सर्पण (अग्र प्रतिरोध का कोई श्रेय नहीं)

$$\Sigma H_{drive} = 48.06 + 17.32 + 5.06 + 0.74 = 71.19$$
$$FS_{s,E} = \frac{\mu_b N}{\Sigma H_{drive}} = \frac{84.81}{71.19} = \mathbf{1.191} \;\geq 1.1 \;\checkmark$$



हल (3/3)

हल

6 उलटाव और परिणामी की स्थिति

$$M_{o,E} = P_{AE}\bar{z} + \Sigma IH\, z = 61.90 + 21.18 + 9.56 + 0.56 = 93.20$$

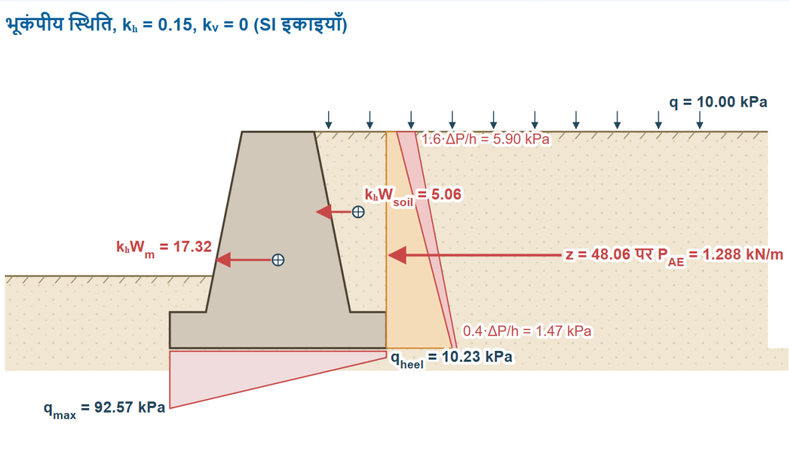
$$FS_{o,E} = \frac{262.74}{93.20} = \mathbf{2.819} \;\geq 1.1$$

$$x_R = \frac{262.74 - 93.20}{154.2} = 1.099 \text{ m} \qquad e = \mathbf{0.401} \text{ m}$$

7 आधार प्रतिबल (|e| = 0.401 m ≤ B/6 = 0.50 m: पूर्ण संपर्क)

$$q_{max} = \frac{154.2}{3}\left(1 + \frac{6(0.401)}{3}\right) = \mathbf{92.57} \text{ kPa}$$

$$q_{min} = \mathbf{10.23} \text{ kPa}$$



भूकंप में FS_s = **1.19**, FS_o = **2.82**, e = **0.401 m**, q_{max} = **92.6 kPa** है; भूकंप ने FS_s को 2.62 → 1.19 और e को 0.068 → 0.401 m में बदल दिया: **सर्पण** और **उत्केंद्रता** निर्णायक जाँचें हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

जहाँ जाँचें समाप्त होती हैं

सिद्धांत

ये जाँचें दीवार को उसकी नींव पर **एक एकल दृढ़ ब्लॉक** मानती हैं: यह दीवार की **बाह्य स्थिरता** है। पत्थर या मास कंक्रीट की गुरुत्वीय दीवार अपने **भीतर** भी विफल हो सकती है (विशेषकर ऊँची या पतली काट में, शुष्क पत्थर की चिनाई में, कमज़ोर गारे में और भूकंप में); इनकी जाँचें इस मॉड्यूल द्वारा दिए गए प्रभावों से की जाती हैं।

संसंजनहीन भराव ($c' = 0$); दो मृदाओं वाला या परतदार भराव इस मॉड्यूल में नहीं है। भराव की सतह समतल या एकल ढलान वाली होती है।

आधार घर्षण $\mu_b = \tan \delta_b$ (चिनाई/कंक्रीट के लिए सामान्यतः $2/3\varphi' – \varphi'$); आसंजन का उपयोग नहीं किया जाता। सामने का संपूर्ण निष्क्रिय प्रतिरोध घर्षण अंश में जोड़ा जाता है, उलटाव और धारण क्षमता में प्रयोग नहीं किया जाता।

गणना दीवार की प्रति 1.00 m लंबाई के लिए है; स्ट्रिप और बिंदु अधिभार के पार्श्व दाब Boussinesq (कठोर दीवार) से जोड़े जाते हैं।

खिसकाने वाले प्रभाव (हाइड्रॉलिक स्थिरता, रिसाव, समग्र स्थिरता, सेटलमेंट) इस मॉड्यूल के दायरे से बाहर हैं।

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

मुक्त पिंड = दीवार + उसके साथ गतिशील मृदा; दाब **आधार के पिछले किनारे के ऊर्ध्वाधर तल पर** कार्य करता है (δ = β); एकल चिह्न-परिपाटी: $M = x \cdot F_z - z \cdot F_x$, उलटाव +

भार: $W_i = \gamma_m A_i$, $\bar{x} = \Sigma W_i \bar{x}_i / \Sigma W_i$; मृदा ब्लॉक और सामने का भराव भी दीवार के साथ गति करते हैं; पीछे की हील के ऊपर का अधिभार (Q_{heel}) किसी भी जाँच में शामिल नहीं होता

सक्रिय: $P_A = \frac{1}{2} K_a \gamma h^2$ (h/3), $P_Q = K_a q h$ (h/2); ढलानयुक्त भराव में $K_{a\beta}$ (ऊर्ध्वाधर तल पर Rankine = Coulomb); **निष्क्रिय**: $K_{mob} = wK_p + (1 - w)K_0$, केवल सर्पण में

सर्पण $FS_s = (\mu_b N + P_P)/\Sigma H_{drive}$; **उलटाव** $FS_o = \Sigma M_{res}/\Sigma M_{ov}$ (टो); **धारण**: $x_R = -\Sigma M/V$, $e = B/2 - x_R$, $q = V/B(1 \pm 6e/B)$, यदि $|e| > B/6$ हो तो $q_{max} = 2V/(3x_R)$

जल: γ_{sat} के साथ भार + U_{rear} अलग मद के रूप में; उत्थापन टो पर u_{toe} – पीछे हील पर u_{heel}, रैखिक: N' को घटाता है, उलटाव जोड़ता है

भूकंप: $\theta = \tan^{-1} k_h/(1 - k_v)$; $P_{AE} = (\frac{1}{2}\gamma h^2 + qh)K_{AE}$; ΔP_{AE} 0.6h पर; $k_h W$ जड़त्व बल; सामने का निष्क्रिय क्रेडिट $\eta_{p,E}$ (डिफ़ॉल्ट 0)

संदर्भ

टूल के तीन सिद्धांत और स्रोत जिनके बंद रूपों (Ka, Kp, KAE) की प्रस्तुति का मैनुअल पालन करता है। जो कुछ भी उनसे व्युत्पन्न नहीं है, वह इस मॉड्यूल की एक मान्यता है और पाठ में इस रूप में चिह्नित है।

Coulomb C.A. (1776) Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences 7, Paris.

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

Mononobe N., Matsuo H. (1929) On the determination of earth pressures during earthquakes. Proceedings of the World Engineering Congress, Tokyo, 9:177–185.

Okabe S. (1926) General theory of earth pressure. Journal of the Japanese Society of Civil Engineers 12(1).

Rankine W.J.M. (1857) On the stability of loose earth. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 147:9–27.

टिप्पणी

सभी संख्यात्मक उदाहरण मॉड्यूल के अपने गणना इंजन से तैयार किए गए हैं; मॉड्यूल वही मान देता है। मॉड्यूल पृष्ठ का चरण-दर-चरण उदाहरण भी यही दीवार है (H = 3 m पत्थर की दीवार, q = 10 kPa, k_h = 0.15)।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

अपनी दीवार का काट, भराव, अधिभार, जल और भूकंप गुणांक GeoTerva में दर्ज करें; मॉड्यूल बल तालिका, तीनों जाँचें और आधार प्रतिबल 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