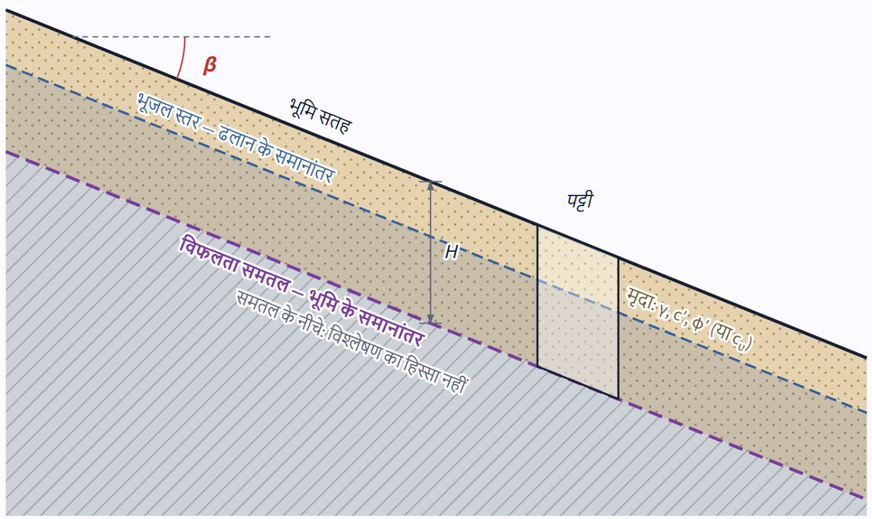
भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · ढलान स्थायित्व (Slope Stability)

अनंत ढलान स्थिरता

व्याख्यान: अनंत ढलान (सर्पण सतह भूमि की सतह के समानांतर) मॉडल; प्रतिबल, सुरक्षा गुणांक, अनपवाहित मृत्तिका, जल, भूकंप में यील्ड गुणांक, क्रांतिक गहराई और आवश्यक कोण; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

अनंत ढलान · अपरूपण सामर्थ्य और FS · जल · भूकंप · क्रांतिक गहराई · आवश्यक कोण · हाथ से हल योग्य



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

उथले सर्पणों में **अनंत ढलान** मॉडल का उपयोग क्यों किया जाता है: सतह के समांतर एक तल पर सरकने वाली मृदा की पतली परत

एक अकेली **स्ट्रिप** से किसी तल पर प्रतिबल ($\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta$) और **$\tau/\sigma = \tan\beta$** संबंध

Mohr–Coulomb से सुरक्षा गुणांक: $FS = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta$; क्रांतिक गहराई H_{cr}, आवश्यक गहराई H_{req}, आवश्यक कोण β_{req}

अनपवाहित मृत्तिका (c_u, $\varphi = 0$) और **जल** का प्रभाव: भूजल स्तर (ढलान के समांतर रिसाव), रंध्र दाब अनुपात r_u

छद्म-स्थैतिक भूकंप में सुरक्षा गुणांक और **यील्ड गुणांक k_y** (वह क्षैतिज त्वरण जिस पर पिंड सरकना शुरू करता है)

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 ढलान: $\beta = 15°$, सर्पण तल ऊर्ध्वाधर रूप से 6 m गहराई पर; मृदा $\gamma = 17.8$ kN/m³ (संतृप्त 19.5), $c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$; आरंभ में रंध्र जल दाब नहीं है। प्रतिबल सतह के समानांतर तल के इकाई क्षेत्रफल के लिए हैं।

पिंड से एक स्लाइस

सिद्धांत

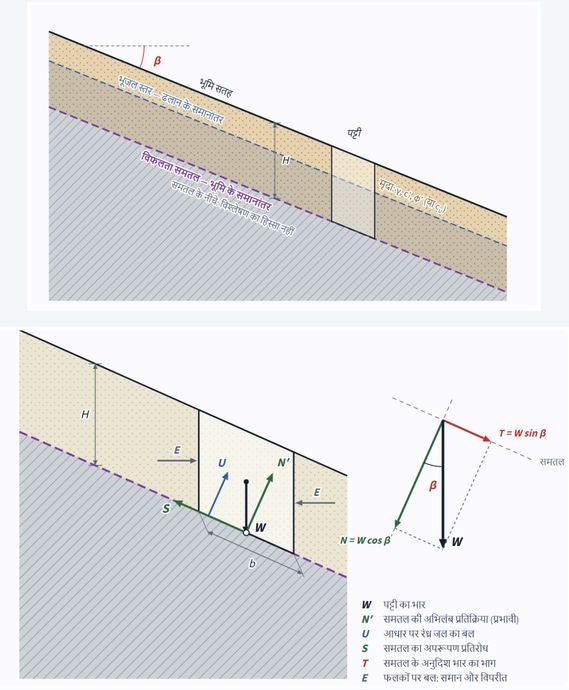
अनेक ढलान विफलताएँ उथली होती हैं: सतह के समानांतर, कुछ मीटर गहरी एक सतह पर मृदा की एक पतली परत सरकती है; ढलान इतना लंबा होता है कि उसके सिरों का विशेष महत्व नहीं रहता (वर्षा के मौसम के बाद कट या भराव की ढलान, प्राकृतिक मृत्तिका की ढलान)। **अनंत ढलान** इसी स्थिति के लिए बनाया गया मॉडल है: सर्पण तल का प्रत्येक स्थान एक जैसी स्थिति में होता है, इसलिए मृदा पिंड की एक स्लाइस पूरे का प्रतिनिधित्व करती है और उसका संतुलन कुछ ही पंक्तियों में निकल आता है।

स्लाइस: सर्पण तल के अनुदिश लंबाई b, ढलान के अनुदिश 1 m चौड़ाई; तल सतह से H ऊर्ध्वाधर गहराई पर है; पार्श्व फलक ऊर्ध्वाधर हैं और **एक-दूसरे को निरस्त कर देते हैं** (ढलान अनंत लंबा है, मृदा हर जगह समान है)।

$$W = \gamma H b \cos\beta \qquad N = W\cos\beta \quad T = W\sin\beta$$

$$\sigma = \frac{N}{b} = \sigma_v \cos^2\beta \qquad \tau = \frac{T}{b} = \sigma_v \sin\beta\cos\beta \qquad \frac{\tau}{\sigma} = \tan\beta$$

जिस स्लाइस के पार्श्व फलक हटा दिए गए हों, उसमें तल पर प्रतिबल ढलान कोण जितने झुके होते हैं: τ/σ = tan β। यदि तल के ऊपर दो इकाई भार हों (भूजल स्तर), तो $\sigma_v = \gamma(H - h_w) + \gamma_{sat} h_w$ होता है; समीकरण वही रहते हैं।



प्रश्न

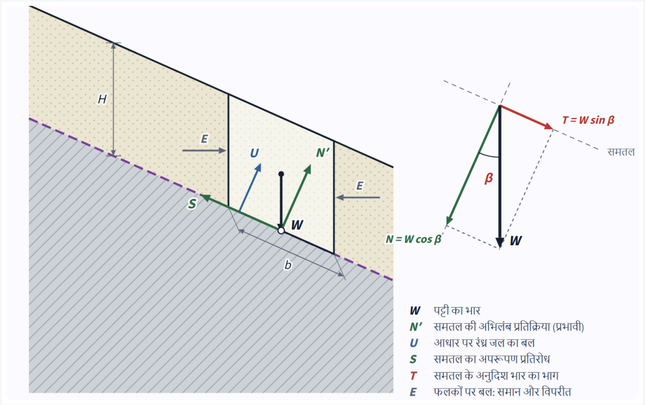
उदाहरण

दिया गया है

ढलान	$\beta = 15^\circ$; **सर्पण समतल ऊर्ध्वाधर,** $H = 6$ **m गहराई पर**
मृदा	$\gamma = 17.8$ **kN/m³; कोई रंध्र दाब नहीं**

ज्ञात करना है

ऊर्ध्वाधर प्रतिबल σ_v, समतल के अभिलंबवत् σ और स्पर्शीय τ।



हल

हल

1 ऊर्ध्वाधर प्रतिबल

$$\sigma_v = \gamma H = 17.8 \times 6 = \mathbf{106.80}\ \text{kPa}$$

2 तल के अभिलंब और स्पर्शरेखीय प्रतिबल

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 106.80 \times 0.93301 = \mathbf{99.65}\ \text{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 106.80 \times 0.25000 = \mathbf{26.70}\ \text{kPa} \qquad \frac{\tau}{\sigma} = 0.2679 = \tan 15^\circ\ \checkmark$$

समतल की प्रति इकाई क्षेत्रफल पर **σ = 99.65 kPa** अभिलंब और **τ = 26.70 kPa** अपरूपण प्रतिबल कार्य करता है; अनुपात τ/σ = 0.2679 = tan 15° है, अर्थात प्रतिबल ढलान जितना ही झुका है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

Mohr–Coulomb, संवृत-रूप हल, क्रांतिक गहराई

सिद्धांत

समतल पर मृदा अपरूपण सामर्थ्य τ_f वहन करती है: अपवाहित विश्लेषण में प्रभावी अभिलंब प्रतिबल पर निर्भर Mohr–Coulomb सामर्थ्य ($\sigma' = \sigma - u$)। सुरक्षा गुणांक सामर्थ्य और प्रतिबल का अनुपात है: संसंजन और घर्षण को उसी गुणांक से घटाया जाता है, जब तक पट्टी ठीक-ठीक स्थिर न रह जाए:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan\varphi' \qquad FS = \frac{\tau_f}{\tau} \qquad \sigma' = \sigma - u$$

रंध्र दाब न होने पर $\sigma' = \sigma$ और प्रतिबलों से **संवृत हल** प्राप्त होता है:

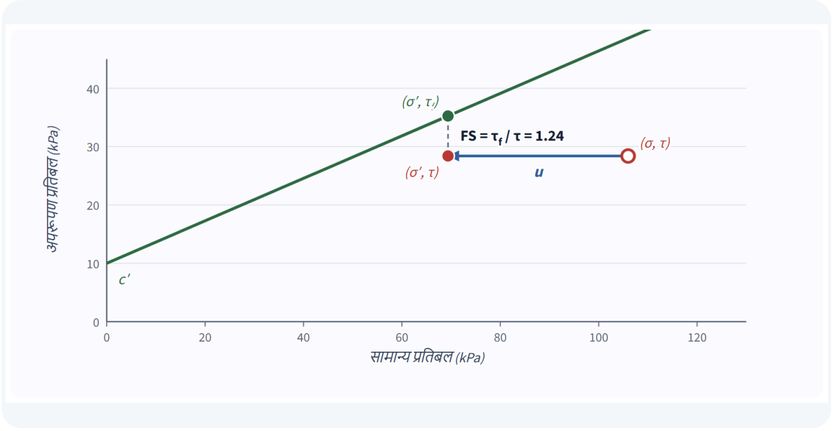
$$FS = \frac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \, \tan\beta} + \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

संसंजनहीन मृदा ($c' = 0$): FS = $\tan\varphi'/\tan\beta$; यदि ढलान का कोण φ' से कम है, तो यह प्रत्येक गहराई पर सुरक्षित है।

संसंजक मृदा: सतह के निकट के तल को संसंजन थामे रखता है (FS अधिक), गहराई बढ़ने पर FS घटता है और केवल घर्षण तक सिमट जाता है।

यदि $\beta > \varphi'$ हो तो FS = 1 वाली **क्रांतिक गहराई** और FS = FS_{req} वाली **आवश्यक गहराई** होती है; संसंजनहीन मृदा में β_{req}: $\tan\beta_{req} = \tan\varphi'/FS_{req}$:

$$H_{cr} = \frac{c'}{\gamma} \frac{1}{\cos^2\beta(\tan\beta - \tan\varphi')} \qquad H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta \, (FS_{req}\tan\beta - \tan\varphi')}$$



प्रश्न

उदाहरण

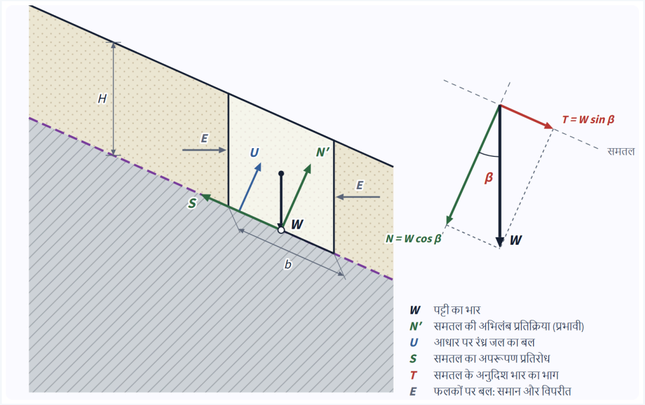
ज्ञात करना है

समतल का τ_f और **FS**; संवृत हल से सत्यापन।

दिया गया है

ढलान और मृदा

उदाहरण 1: $\beta = 15^\circ$, $H = 6$ **m,** $\gamma = 17.8$ **kN/m³;** $c' = 10$ **kPa,** $\varphi' = 20^\circ$**; रंध्र दाब नहीं**



हल

हल

1 सामर्थ्य और सुरक्षा गुणांक (उदाहरण 1 के प्रतिबलों के साथ)

$$\tau_f = c' + \sigma \tan \varphi' = 10 + 99.65 \times 0.36397 = \mathbf{46.27}\ \text{kPa}$$

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{46.27}{26.70} = \mathbf{1.733}$$

2 संवृत रूप हल (जाँच)

$$FS = \frac{10}{17.8(6)(0.93301)(0.26795)} + \frac{0.36397}{0.26795} = 0.3745 + 1.3584 = \mathbf{1.7329}$$

सुरक्षा गुणांक **1.733**। संसंजन पद 0.3745 है, घर्षण पद tan 20°/tan 15° = 1.3584: कुल वही संख्या देता है। ढलान (15°) घर्षण कोण (20°) से कम तीव्र होने के कारण अकेला घर्षण ही उसे थामे रखता है; संसंजन मार्जिन बढ़ाता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

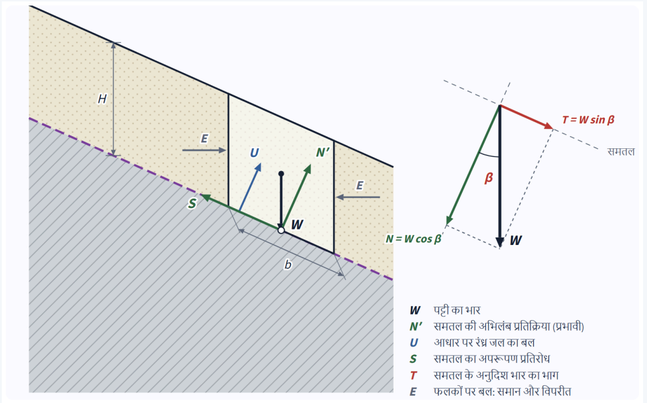
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	**उदाहरण 2 की मृदा ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20^\circ$, $\gamma = 17.8$ kN/m³)**
ज्ञात करना है	**आवश्यक सुरक्षा गुणांक $FS_{req} = 2.0$; साथ ही अधिक तीव्र ढलान $\beta = 25^\circ$ के लिए क्रांतिक गहराई**

ज्ञात करना है

H_{req} (β = 15°); β_{req} (H = 6 m); β = 25° के लिए H_{cr}।



हल

हल

1 आवश्यक गहराई ($\beta = 15°$; $FS_{req} = 2$)

$$H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta(FS_{req}\tan\beta - \tan\varphi')} = \frac{10}{17.8(0.93301)(2(0.26795) - 0.36397)} = \mathbf{3.50}\ \text{m}$$

2 आवश्यक कोण ($H = 6$ m): $FS(\beta) = 2$ समीकरण का मूल; क्रांतिक गहराई ($\beta = 25°$)

$$FS(\beta) = \frac{10}{106.8\cos^2\beta\tan\beta} + \frac{0.36397}{\tan\beta} = 2 \Rightarrow \beta_{req} = \mathbf{13.02}^\circ$$

$$H_{cr}(25^\circ) = \frac{10}{17.8(0.8214)(0.4663 - 0.3640)} = \mathbf{6.68}\ \text{m}$$

FS = 2 के लिए समतल अधिकतम **3.50 m** गहराई पर हो सकता है; 6 m पर उसी सुरक्षा के लिए ढलान **13.0°** से अधिक तीव्र नहीं होना चाहिए। $\beta = 25° > \varphi'$ होने के कारण एक क्रांतिक गहराई है जहाँ FS घटकर 1 हो जाता है: **6.68 m**। वर्तमान ढलान ($\beta < \varphi'$) के लिए कोई क्रांतिक गहराई नहीं है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

कुल प्रतिबल: c_u और $\varphi = 0$

सिद्धांत

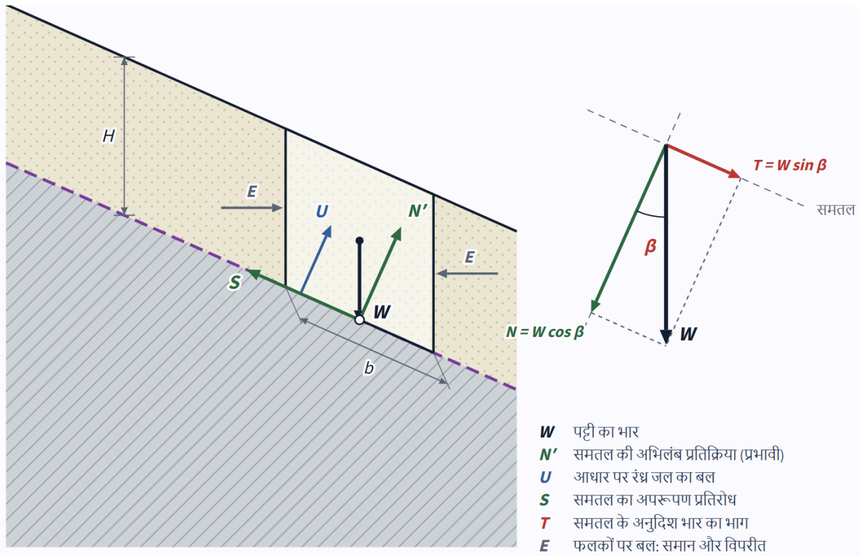
अपवाह के लिए बहुत तेज़ी से भारित या काटी गई संतृप्त मृत्तिका (कोमल मृत्तिका में कटान की अल्पकालीन स्थिति) **कुल प्रतिबल में** c_u और $\varphi = 0$ के साथ हल की जाती है। सामर्थ्य सामान्य प्रतिबल पर निर्भर नहीं करती; रंध्र दाब इनपुट नहीं किया जाता:

$$FS = \frac{c_u}{\tau} = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{2c_u}{\gamma H \sin 2\beta}$$

τ = (γH/2)sin 2β 45° की ढलान पर सबसे अधिक होता है; FS गहराई के **व्युत्क्रमानुपाती** है: दुगुनी गहराई वाले तल का FS आधा होता है।

अल्पकाल में अनपवाहित स्थिति में स्थिर मृत्तिका, अपवाहित होने पर स्थिर न रहे, ऐसा हो सकता है: दीर्घकाल, भूजल के रंध्र जल दाब तथा अपवाहित c′, φ′ के साथ **अपवाहित विश्लेषण** है।

$H_{cr} = c_u/(\gamma \sin\beta \cos\beta)$; $H_{req} = c_u/(FS_{req}\, \gamma \sin\beta \cos\beta)$; $\sin 2\beta_{req} = 2c_u/(FS_{req}\, \gamma H)$.



प्रश्न

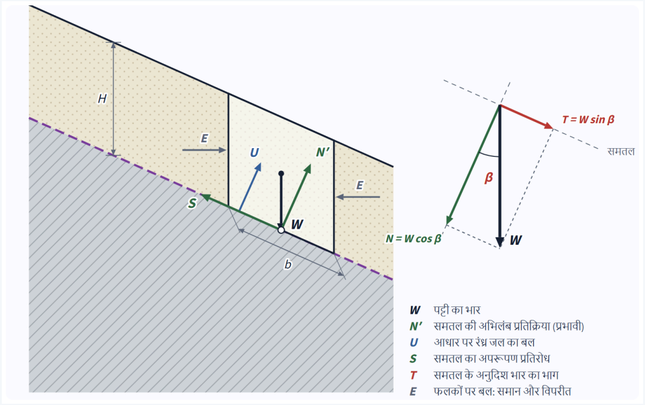
उदाहरण

दिया गया है

ढलान	$\beta = 15^\circ$, $H = 6$ m, $\gamma = 17.8$ kN/m³; **अनपवाहित मृत्तिका** $c_u = 40$ kPa ($\varphi = 0$)
ज्ञात करना है	$FS_{req} = 2.0$

ज्ञात करना है

FS, H_{cr}, H_{req}, β_{req}.



हल

हल

1 सुरक्षा गुणांक और क्रांतिक गहराई

$$FS = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(6)(0.2500)} = \frac{40}{26.70} = \mathbf{1.498}$$

$$H_{cr} = \frac{c_u}{\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(0.2500)} = \mathbf{8.99}\ \text{m}$$

2 आवश्यक गहराई और कोण ($FS_{req} = 2$)

$$H_{req} = \frac{c_u}{FS_{req}\,\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{8.99}{2} = \mathbf{4.49}\ \text{m}$$

$$\sin 2\beta_{req} = \frac{2c_u}{FS_{req}\gamma H} = \frac{80}{2(106.8)} = 0.3745 \Rightarrow \beta_{req} = \mathbf{11.00}^\circ$$

c_u = 40 kPa के साथ **FS = 1.50** (अपवाहित स्थिति में 1.73)। FS = 2 के लिए ढलान अधिकतम **11.0°** हो सकती है; H_{cr} = 8.99 m।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

ढलान के समानांतर रिसाव; रंध्र दाब अनुपात r_u

सिद्धांत

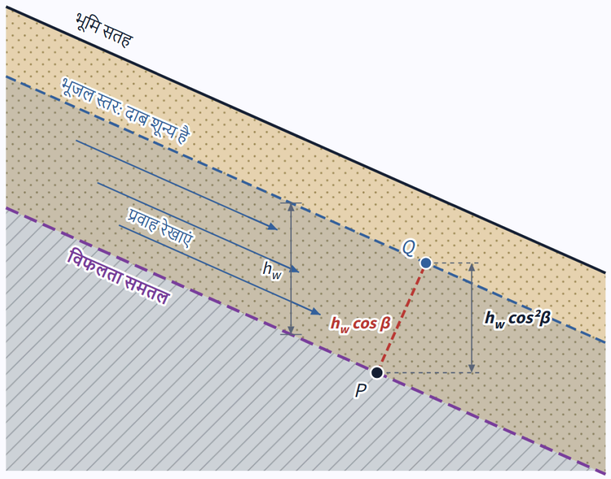
जल रंध्र जल दाब u के द्वारा प्रभावी प्रतिबल को घटाकर सामर्थ्य को समाप्त कर देता है। यदि भूजल स्तर सतह से z_w नीचे (ऊर्ध्वाधर) है, तो उसके ऊपर की मृदा का इकाई भार γ तथा नीचे की मृदा का γ_{sat} लिया जाता है; तल के ऊपर जल की ऊँचाई $h_w = H - z_w$ होती है। यदि जल सतह के समानांतर प्रवाहित होता है, तो बिंदु P से गुज़रने वाली समविभव रेखा ढलान के लंबवत होती है; दाब शीर्ष $h_w\cos^2\beta$ होता है:

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta \qquad \sigma' = \sigma - u \qquad FS = \frac{c' + \sigma' \tan\varphi'}{\tau}$$

जल पृष्ठ पर: $FS = \dfrac{c'}{\gamma_{sat} H \cos^2\beta \tan\beta} + \dfrac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$ $\qquad r_u = \dfrac{u}{\gamma H}$: $FS = \dfrac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \tan\beta} + \left(1 - \dfrac{r_u}{\cos^2\beta}\right) \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$

संसंजनहीन मृदा में जल के सतह पर होने पर FS = (γ′/γ_{sat}) tan φ′/tan β: चूँकि γ′/γ_{sat} ≈ ½ है, शुष्क अवस्था में φ′ के निकट टिकी रहने वाली रेत की ढलान को रिसाव की स्थिति में ऐसी ढलान चाहिए जिसकी स्पर्शज्या आधी रह जाए।

यदि रंध्र दाब पीज़ोमीटर या प्रवाह जाल से आता है तो मृदा के भार का अनुपात r_u के रूप में दिया जाता है। यदि σ′ ≤ 0 आए (जल मृदा को उस तल से उठा देता है) तो घर्षण शून्य कर दिया जाता है, केवल संसंजन शेष रहता है और इसका उल्लेख किया जाता है।



प्रश्न

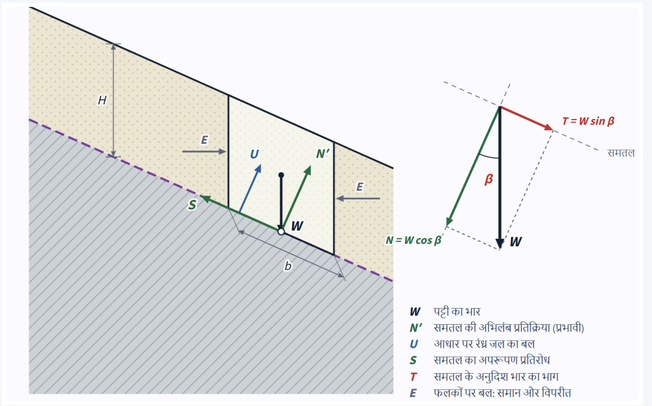
उदाहरण

दिया गया है

ढलान और मृदा	**उदाहरण 2 की ढलान;** $\gamma = 17.8$ **(शुष्क),** $\gamma_{sat} = 19.5$ **kN/m³**
जल स्थितियाँ	**(a) जल स्तर** $z_w = 2$ **m पर, ढलान के समानांतर रिसाव; (b) जल सतह पर** ($z_w = 0$)**; (c)** $r_u = 0.25$

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति में **u**, **σ′**, τ_f और **FS**; शुष्क FS से तुलना।



हल (1/2)

हल

1 (a) भूजल स्तर 2 m पर: $h_w = 6 - 2 = 4$ m

$$\sigma_v = 17.8(2) + 19.5(4) = 113.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 105.99 \text{ kPa} \quad \tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 28.40 \text{ kPa}$$

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta = 9.81(4)(0.9330) = 36.61 \text{ kPa} \quad \sigma' = \sigma - u = 69.38 \text{ kPa}$$

$$FS = \frac{10 + 69.38(0.36397)}{28.40} = \frac{35.25}{28.40} = \mathbf{1.241}$$

भूजल स्तर 2 m पर होने से FS शुष्क स्थिति के 1.73 से घटकर **1.24** रह जाता है: जल मृदा के भार (σ_v) और रंध्र दाब (36.6 kPa) दोनों को बढ़ाता है।

हल (2/2)

हल

2 तीन जल स्थितियों का सारांश (वही समीकरण)

स्थिति	σ_v (kPa)	σ (kPa)	τ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	τ_f (kPa)	FS
शुष्क	106.8	99.65	26.70	0.00	99.65	46.27	**1.733**
(a) z_w = 2 m	113.6	105.99	28.40	36.61	69.38	35.25	**1.241**
(b) जल पृष्ठ पर	117.0	109.16	29.25	54.92	54.25	29.74	**1.017**
(c) r_u = 0.25	106.8	99.65	26.70	26.70	72.95	36.55	**1.369**

जल के सतह पर होने पर FS = **1.02** है, सीमा मान से बस ऊपर; r_u = 0.25 के लिए **1.37**। शुष्क अवस्था में पर्याप्त सुरक्षित ढलान का गीली अवस्था में कोई मार्जिन नहीं रहता: मॉड्यूल परिणाम के साथ शुष्क और जल-सतह पर की FS को एक साथ दिखाता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

क्षैतिज और ऊर्ध्वाधर बल; यील्ड गुणांक k_y

सिद्धांत

कंपन को तल के ऊपर के द्रव्यमान पर लगाए गए एक स्थिर त्वरण (g के एक अंश) से प्रतिस्थापित किया जाता है। स्लाइस, भार W के अतिरिक्त, ढलान के नीचे की ओर क्षैतिज $k_h W$ और ऊपर/नीचे की ओर ऊर्ध्वाधर $k_v W$ बल वहन करती है; k_h और k_v इंजीनियर द्वारा निर्धारित गुणांक हैं (मॉड्यूल इन्हें किसी मानक (कोड) से नहीं लेता)। प्रति इकाई क्षेत्रफल $W/A = \sigma_v \cos\beta$:

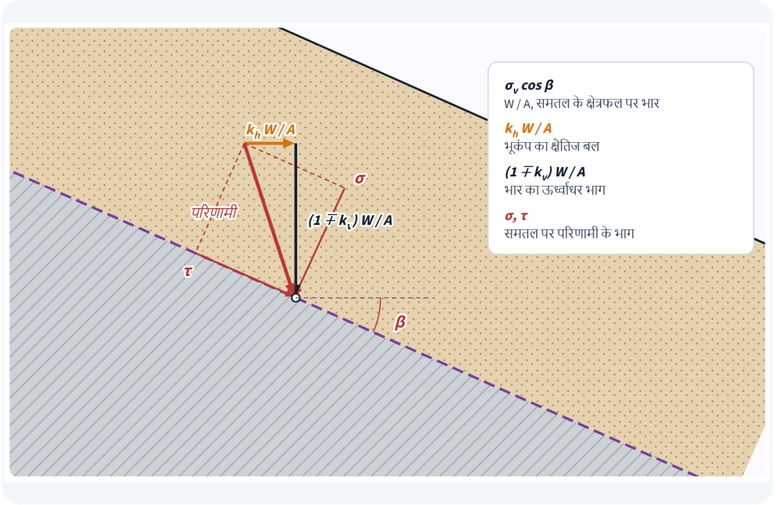
$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\cos\beta - k_h \sin\beta] \qquad \tau = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\sin\beta + k_h \cos\beta]$$

रंध्र दाब स्थैतिक मान है (कंपन का समावेश नहीं): $\sigma' = \sigma - u$; $FS_{eq} = \tau_f/\tau$ नए σ और τ के साथ। क्षैतिज बल अभिलंब प्रतिबल को घटाता है और अपरूपण प्रतिबल को बढ़ाता है।

ऊर्ध्वाधर बल की दोनों दिशाएँ आज़माई जाती हैं, और जो दिशा **कम FS** देती है उसे लिया जाता है: घर्षणयुक्त मृदा में प्रायः ऊपर की ओर वाली (यह द्रव्यमान को हल्का करती है, अभिलंब प्रतिबल घटाती है); कुल प्रतिबल में मृत्तिका में, चूँकि c_u अभिलंब प्रतिबल पर निर्भर नहीं करता, नीचे की ओर वाली दिशा, जो अपरूपण प्रतिबल बढ़ाती है।

यील्ड गुणांक k_y: वह क्षैतिज गुणांक जो $FS_{eq} = 1$ बनाता है। शुष्क, संसंजनहीन, $k_v = 0$ के लिए: $k_y = \tan(\varphi' - \beta)$; अन्य स्थितियों में k_h को शून्य से बढ़ाते हुए ज्ञात किया जाता है। $k_y g$ से अधिक न होने वाला कंपन द्रव्यमान को गति में नहीं लाता; इससे अधिक होने पर गति आरंभ हो जाती है (वह कितना खिसकता है, यह सरकते ब्लॉक (स्लाइडिंग ब्लॉक) विश्लेषण का विषय है और मॉड्यूल में नहीं है)।

$$k_y = \frac{\tan\varphi' - \tan\beta}{1 + \tan\varphi'\tan\beta} = \tan(\varphi' - \beta)$$



प्रश्न

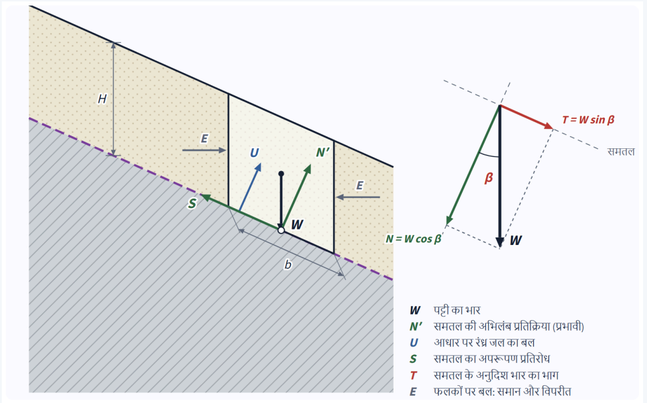
उदाहरण

दिया गया है

ढलान और मृदा	**उदाहरण 2 की शुष्क ढलान** ($c' = 10$ **kPa,** $\varphi' = 20^\circ$**,** $\beta = 15^\circ$**,** $H = 6$ **m)**
भूकंप	$k_h = 0.15$**,** $k_v = 0.05$ **(दो दिशाएँ आज़माई जाती हैं); इसके अतिरिक्त शुष्क रेत के लिए** $\varphi' = 32^\circ$**,** $\beta = 25^\circ$

ज्ञात करना है

σ, **τ**, **FS_{eq}** (क्रांतिक दिशा); FS(k_h) तालिका और **k_y**; सूखी रेत में k_y।



हल (1/2)

हल

1 क्रांतिक दिशा: ऊर्ध्वाधर बल ऊपर की ओर (k_v = +0.05 भार घटाता है)

$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\cos\beta - 0.15\sin\beta] = 103.16\,[0.8788] = 90.66 \text{ kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\sin\beta + 0.15\cos\beta] = 103.16\,[0.3908] = 40.31 \text{ kPa}$$

$$FS_{eq} = \frac{10 + 90.66(0.36397)}{40.31} = \frac{43.00}{40.31} = \mathbf{1.067} \qquad (k_v \text{ नीचे: } 1.085)$$

ऊपर की ओर का ऊर्ध्वाधर बल नियंत्रक है: FS_{eq} = **1.067** (नीचे की दिशा में 1.085)।

हल (2/2)

हल

2 FS(k_h) और यील्ड गुणांक (जहाँ FS = 1)

k_h	σ (kPa)	τ (kPa)	τ_f (kPa)	FS_{eq}
0.00	94.66	25.36	44.45	**1.753**
0.05	93.33	30.35	43.97	**1.449**
0.10	91.99	35.33	43.48	**1.231**
0.15	90.66	40.31	43.00	**1.067**
0.1746	90.00	42.76	42.76	**1.000**
0.20	89.32	45.29	42.51	**0.939**

भूकंप FS को 1.73 से घटाकर **1.07** कर देता है (ऊपर की ओर ऊर्ध्वाधर बल निर्णायक है)। **k_y = 0.175**: यदि k_h इसे पार कर जाए तो मृदा द्रव्यमान सर्पण करने लगता है। शुष्क रेत में ($\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$) $k_y = \tan 7° = 0.1228$।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

FS; H_{req}, β_{req}, H_{cr}

सिद्धांत

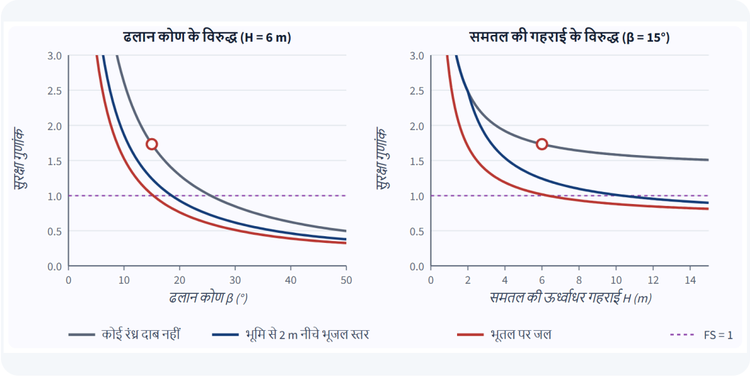
ढलान के विरुद्ध FS: FS, β के साथ नियमित रूप से घटता है; वक्रों के बीच का अंतर दर्शाता है कि जल मार्जिन का कितना भाग ले जाता है; वक्र जिस कोण पर FS_{req} को काटता है वह β_{req} है।

गहराई के सापेक्ष FS: संसंजक मृदा का वक्र सतह पर बड़े मान से घटकर उस स्तर तक आता है जो घर्षण से निर्धारित होता है; जहाँ वह FS = 1 को काटता है, वही क्रांतिक गहराई है। भूजल स्तर उस गहराई पर चिह्न छोड़ता है जहाँ जल पहली बार तल तक पहुँचता है; उसके ऊपर शुष्क वक्र का अनुसरण किया जाता है।

जल के विरुद्ध FS: भूजल स्तर के गहरा होने पर बढ़ता है, r_u के बढ़ने पर घटता है; यह दर्शाता है कि अपवाहित ढलान ज्ञात करने में कठिन रंध्र जल दाब पर कितनी अधिक निर्भर करती है।

भूकंपीय स्थिति में प्रत्येक ग्राफ़ में एक दूसरी (नारंगी) रेखा होती है; FS बनाम k_h का पाँचवाँ ग्राफ़ k_y को उस बिंदु पर देता है जहाँ वह FS = 1 को काटता है।

परिणाम टैब FS तथा आवश्यक मान से तुलना के साथ ये भी देता है: **H_{req}** (वह प्रथम गहराई जहाँ FS घटकर FS_{req} तक आ जाता है; न आने पर “कोई सीमा नहीं”), **β_{req}** (सपाट कोण से ऊपर बढ़ते हुए वह सबसे तीव्र कोण जिस पर FS_{req} अब भी संतुष्ट रहता है), **H_{cr}**, जल की दो चरम स्थितियाँ (रंध्र दाब शून्य / जल सतह पर) तथा भूकंप की स्थिति में FS_{eq}, k_y।



प्रश्न

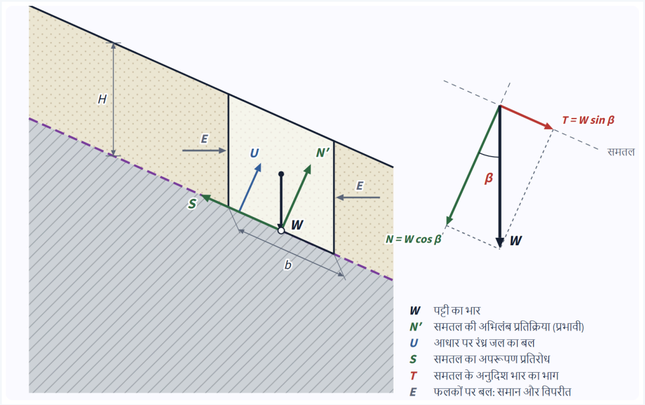
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	**उदाहरण 2 की मृदा ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20^\circ$, $\gamma = 17.8$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³)**
सारणी	**$\beta = 10, 15, 20, 25, 30^\circ$ और $H = 2, 4, 6, 8$ m के लिए शुष्क अवस्था में तथा भूजल स्तर $z_w = 2$ m होने की स्थिति में FS के मान (संवृत रूप हल से)**

ज्ञात करना है

$FS_{dry}(\beta, H)$ तालिका; भूजल स्तर H = 6 m पर होने पर; किस कोण के बाद FS < 1 हो जाता है?



हल

हल

1 FS = c′/(γH cos²β tan β) + tan φ′/tan β (शुष्क); भूजल स्तर की स्थिति में प्रतिबलों से (बोल्ड: FS < 1)

β (°)	H = 2 m	H = 4 m	H = 6 m	H = 8 m	H = 6, जल स्तर z_w = 2 m
10	3.707	2.885	2.612	2.475	1.866
15	2.482	1.920	1.733	1.639	1.241
20	1.874	1.437	1.291	1.219	**0.928**
25	1.514	1.147	1.025	**0.964**	**0.741**
30	1.279	**0.955**	**0.847**	**0.793**	**0.616**

FS कोण के साथ नियमित रूप से घटता है और गहराई के साथ घटता है (संसंजन का अंश)। β = 20° और H = 8 m से आगे सूखा ढलान भी सीमा के निकट पहुँच जाता है; भूजल स्तर z_w = 2 m, H = 6 m पर 20° से आगे FS को **1 से नीचे** ला देता है (30° पर 0.62)। इसलिए β_{req} और H_{req} की खोज की जाती है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

मॉडल क्या मानता है

सिद्धांत

मॉडल: अनंत लंबी ढलान: भूमि समतल, सर्पण सतह उसके समानांतर H ऊर्ध्वाधर गहराई पर; पिंड के सिरों की कोई भूमिका नहीं; हर स्थान पर स्थिति समान; द्विविमीय, ढलान के अनुदिश 1 m।

मृदा: समतल के ऊपर एकल मृदा (दिया गया सामर्थ्य और इकाई भार); परतें, ढलान के साथ या गहराई के साथ बदलने वाली मृदा, गहराई के साथ बढ़ने वाला सामर्थ्य इस मॉडल में नहीं हैं; कमज़ोर परत के संपर्क के लिए उस परत के गुणों का उपयोग किया जा सकता है या ढलान स्थिरता मॉड्यूल का।

जल: ढलान के समानांतर बहता भूजल स्तर ($u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$) या r_u; वर्षा या पारगम्यता से रंध्र दाब की गणना नहीं की जाती। **सामर्थ्य**: प्रभावी प्रतिबल में Mohr–Coulomb या c_u; $\sigma' \le 0$ होने पर घर्षण शून्य। अवशिष्ट सामर्थ्य, प्रगामी विफलता और जड़ों का प्रभाव नहीं लिया गया है।

भूकंप: केवल छद्म-स्थैतिक; कंपन रंध्र दाब नहीं जोड़ता; प्रवर्धन, अवधि, ढीली संतृप्त मृदा का अवशिष्ट रंध्र दाब और स्थायी विस्थापन का विश्लेषण नहीं किया जाता; गुणांक इंजीनियर द्वारा निर्धारित किए जाते हैं।

सम्मिलित नहीं: अधिभार, तनन दरार, सुदृढ़ीकरण, टो दीवार। FS एकल समतल की एकल गहराई का मान है; सतह के समानांतर न होने वाला कोई अधिक कमज़ोर समतल नहीं खोजा जाता। यदि गहराई की तुलना में ढलान छोटा है या मृदा/जल ढलान के साथ बदलता है, तो सिरे महत्वपूर्ण होते हैं: ढलान स्थिरता मॉड्यूल का उपयोग किया जाता है।

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

स्ट्रिप: $\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$, $\tau/\sigma = \tan\beta$ (उदाहरण में $\sigma = 99.65$, $\tau = 26.70$ kPa)

FS = $(c' + \sigma' \tan\varphi')/\tau = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta$ = **1.733**; $H_{req} = 3.50$ m ($FS_{req} = 2$), $\beta_{req} = 13.0°$; यदि $\beta > \varphi'$ तो H_{cr}

अनपवाहित मृत्तिका: $FS = c_u/(\gamma H \sin\beta \cos\beta) = 1.50$; गहराई के व्युत्क्रमानुपाती

जल: $u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$; FS 1.73 → 1.24 ($z_w = 2$ m) → 1.02 (सतह पर); $r_u = 0.25$ → 1.37

भूकंप: क्षैतिज $k_h W$ और ऊर्ध्वाधर $k_v W$; क्रांतिक दिशा ली जाती है (ऊपर की ओर); FS 1.73 → 1.07; **$k_y = 0.175$**; शुष्क संसंजनहीन मृदा में $\tan(\varphi' - \beta)$

सीमा: एकल समतल, अनंत ढलान; यदि सिरे (छोर) या परतें महत्त्वपूर्ण हैं तो ढलान स्थिरता (स्लाइस) का उपयोग करें

संदर्भ

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning, Boston. Chapter 15, Slope Stability: the infinite slope in Sections 15.2–15.4.

Skempton, A.W. and DeLory, F.A. (1957). Stability of natural slopes in London Clay. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 2, 378–381.

Bishop, A.W. and Morgenstern, N.R. (1960). Stability coefficients for earth slopes. Géotechnique, 10(4), 129–150.

Duncan, J.M., Wright, S.G. and Brandon, T.L. (2014). Soil Strength and Slope Stability, 2nd ed. Wiley, Hoboken.

Newmark, N.M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. Géotechnique, 15(2), 139–160.

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 ढलान है ($\beta = 15°$, $H = 6$ m, $\gamma = 17.8$, $c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$)।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

अपने ढलान का कोण, समतल की गहराई, मृदा सामर्थ्य (अपवाहित या अनपवाहित), जल और भूकंप गुणांक GeoTerva में दर्ज करें; मॉड्यूल प्रतिबल, सुरक्षा गुणांक, क्रांतिक और आवश्यक गहराई, आवश्यक कोण, यील्ड गुणांक और आलेख एक साथ प्रदान करता है।

मॉड्यूल खोलें →

सिद्धांत पृष्ठ →

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