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

ढलान स्थिरता: सीमा संतुलन (स्लाइस)

व्याख्यान: सीमा संतुलन स्लाइस विधि; एक सर्पण वृत्त और एक स्लाइस का विस्तृत हस्त-हल, शेष स्लाइस और विषय तालिकाओं के साथ।

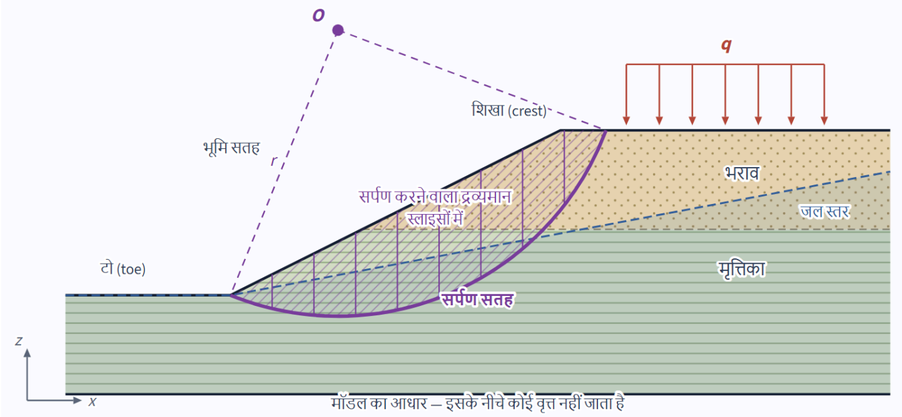
स्लाइस विधि

साधारण · Bishop · Spencer

क्रांतिक वृत्त

जल · भार · भूकंप · दरार

सुदृढ़ीकरण · Hoek–Brown



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

सीमा संतुलन का विचार: सर्पण सतह के ऊपर का द्रव्यमान एक दृढ़ पिंड है जिसमें सामर्थ्य का समान अनुपात में उपयोग किया जाता है; **FS = सामर्थ्य / आवश्यक प्रतिबल**

मृदा पिंड का **स्लाइसों** में विभाजन: प्रत्येक स्लाइस का भार W, आधार झुकाव α, आधार लंबाई L, जल बल U

तीनों विधियों (साधारण/Fellenius, सरलीकृत Bishop, Spencer) को एक ही सर्पण वृत्त पर और **एक ही स्लाइस** पर विस्तार से हल करना

उसी गणना को **शेष 32 स्लाइसों** के लिए कैसे दोहराया जाता है तथा परिणामों की तालिकाएँ; क्रांतिक वृत्त की खोज

जल, भार, भूकंप, तनन दरार, सुदृढ़ीकरण (नेल, एंकर, जियोग्रिड) और चट्टान (Hoek–Brown) के प्रभाव

व्याख्यान प्रवाह

पहले **सिद्धांत**, फिर एकल वृत्त और एकल स्लाइस के साथ **हाथ से हल**:

1 · **सिद्धांत**: FS, स्लाइस, तीन विधियाँ

2 · **प्रश्न**: एकल वृत्त, एकल स्लाइस

3 · **हल**: स्लाइस 22 हाथ से; शेष **तालिका** से

मॉडल: 10 m ऊँचाई की 2:1 ढलान; ऊपर भराव (γ = 18, c′ = 5, φ′ = 30°), नीचे मृत्तिका (γ = 17.5, c′ = 20, φ′ = 18°); कोई जल, भार या भूकंप नहीं। बल काट की प्रति मीटर लंबाई के लिए हैं (kN/m)।

अपवाहित, अनपवाहित, गहराई के साथ बढ़ता हुआ

सिद्धांत

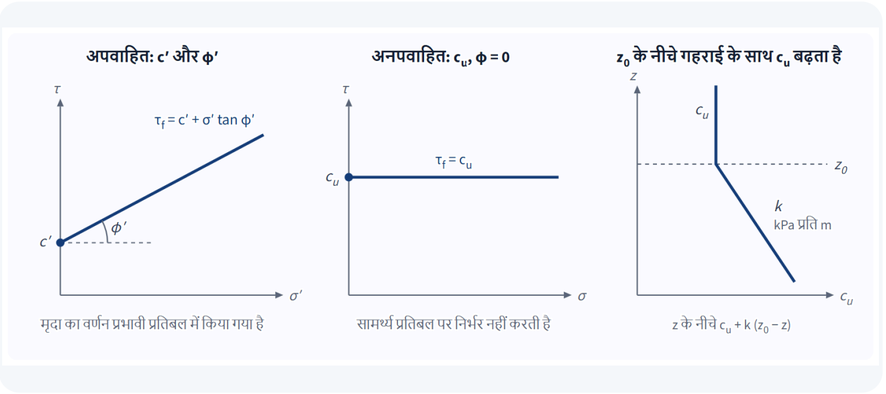
अपवाहित मृदा की अपरूपण सामर्थ्य प्रभावी प्रतिबल $\sigma' = \sigma - u$ के पदों में Mohr–Coulomb एनवेलप द्वारा दी जाती है और c' तथा φ' प्राचलों से परिभाषित होती है।

अपवाह के संभव होने से अधिक तेज़ी से भारित संतृप्त मृत्तिका में सामर्थ्य सामान्य प्रतिबल से स्वतंत्र **अनपवाहित सामर्थ्य** c_u होती है और $\varphi = 0$ लिया जाता है; अनेक प्राकृतिक मृत्तिकाओं में c_u गहराई के साथ रैखिक रूप से बढ़ती है।

स्लाइस की सामर्थ्य आधार के मध्य-बिंदु के स्तर पर पढ़ी जाती है; चट्टान का अपना विशिष्ट मानदंड अलग है, और अपवाहित या अनपवाहित का चयन इंजीनियर का दायित्व है तथा विश्लेषण की पहली मान्यता बनाता है।

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \varphi' \qquad \sigma' = \sigma - u \qquad \text{(अपवाहित)}$$

$$\tau_f = c_u \ (\varphi = 0) \qquad c_u(z) = c_u + k\,(z_0 - z) \ \ (z < z_0) \qquad \text{(अनपवाहित)}$$



सामर्थ्य / अपेक्षित प्रतिबल; वृत्त के केंद्र के सापेक्ष आघूर्ण

सिद्धांत

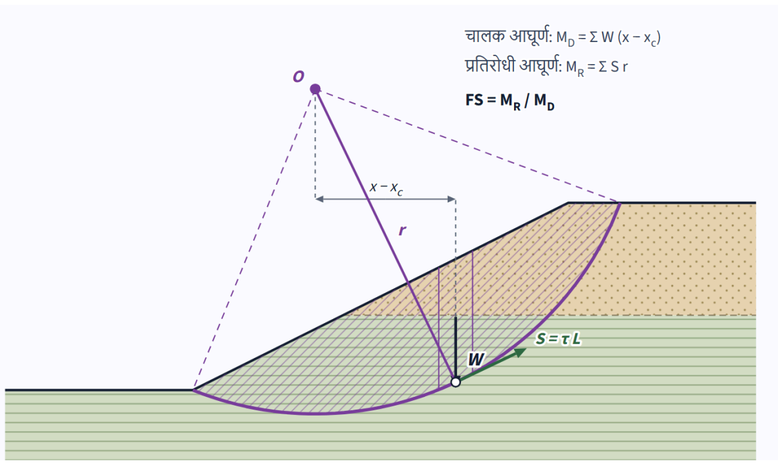
सुरक्षा गुणांक (FS) मृदा में उपलब्ध अपरूपण सामर्थ्य का साम्यावस्था के लिए आवश्यक अपरूपण प्रतिबल से अनुपात है, और इसे सर्पण सतह के प्रत्येक बिंदु पर एक ही मान का माना जाता है।

वृत्ताकार सतह पर निर्णायक साम्य केंद्र O के परितः आघूर्ण साम्य है; आघूर्णों को त्रिज्या से भाग देकर अनुपात FS = ΣR / ΣD के रूप में लिखा जाता है और दोनों योग kN/m में हैं।

तीनों विधियाँ प्रत्येक आधार पर कार्यरत प्रभावी अभिलंब बल (N′) निकालने के ढंग में भिन्न होती हैं: साधारण स्लाइस विधि इसे केवल भार से, Bishop ऊर्ध्वाधर संतुलन से, और Spencer बल तथा आघूर्ण दोनों के संतुलन से प्राप्त करती है।

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

$$FS = \frac{M_R}{M_D} = \frac{\sum R}{\sum D} \qquad R = cL + N' \tan \varphi' \qquad D = \frac{M_D}{r}$$



ज्यामिति, भार, आधार बल

सिद्धांत

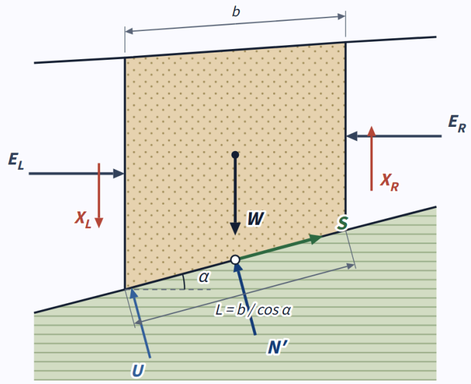
सर्पण सतह और भूमि सतह के बीच के मृदा पिंड को स्लाइस की संख्या या अधिकतम स्लाइस चौड़ाई के अनुसार ऊर्ध्वाधर रेखाओं द्वारा स्लाइसों में विभाजित किया जाता है।

द्रव्यमान के भीतर प्रत्येक महत्त्वपूर्ण प्रतिच्छेद बिंदु एक अनिवार्य स्लाइस किनारा है; इस प्रकार प्रत्येक आधार किसी एक मृदा से गुज़रता है और प्रत्येक स्लाइस एक ही प्रकार का भार वहन करता है।

स्लाइस की मध्य ऊर्ध्वाधर रेखा पर आधार का झुकाव α, केंद्र के ढलान-शीर्ष (क्रेस्ट) की ओर धनात्मक और ढलान के टो की ओर ऋणात्मक लिया जाता है।

प्रभावी अभिलंब बल N′ = N − U; ऋणात्मक N′ तनन में स्थित आधार को दर्शाता है, और सरल स्लाइस तथा Bishop विधियों में N′ को शून्य पर रखा जाता है।

$$\sin\alpha = \frac{x_m - x_c}{r} \qquad L = \frac{b}{\cos\alpha} \qquad W = \sum_i b\, h_i\, \gamma_i \qquad N' = N - U\ ,\ U = uL$$



W	स्लाइस का भार
N′	प्रभावी अभिलंब बल
U = uL	आधार पर रंध्र बल
S	अपरूपण बल (प्रयुक्त सामर्थ्य)
E, X	स्लाइसों के बीच के बल

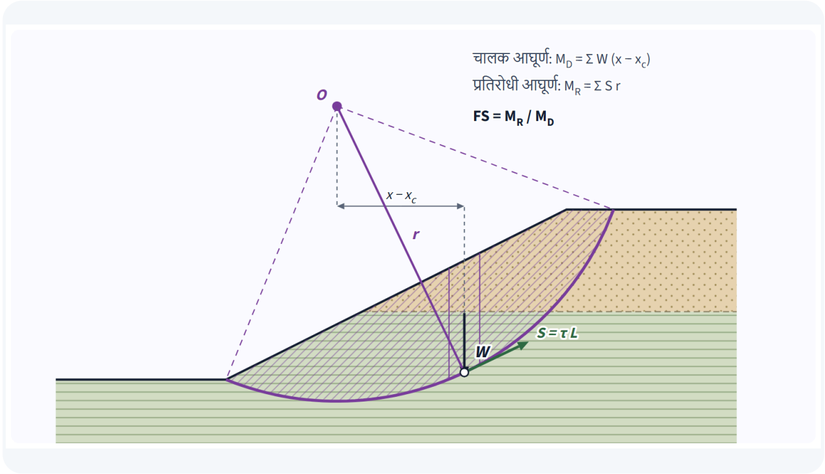
स्लाइसों के बीच कोई बल नहीं

सिद्धांत

Fellenius (स्वीडिश) विधि में स्लाइसों के बीच के बल पूरी तरह उपेक्षित किए जाते हैं और प्रत्येक स्लाइस केवल अपने आधार के लंबवत दिशा में संतुलन में रहता है।

यह संतुलन अभिलंब बल को वज़न और भारों से प्रदान करता है; सुरक्षा गुणांक आघूर्णों के अनुपात से प्राप्त होता है और समांगी मृदा में FS = Σ [c b / cos α + W cos α tan φ] / Σ W sin α संबंध में परिवर्तित हो जाता है।

यह विधि सरल, स्थिर और सुरक्षित पक्ष में है; इसकी त्रुटि वृत्त की गहराई और रंध्र जल दाब के साथ बढ़ती है, गहरे वृत्त में यह अन्य दोनों विधियों से काफ़ी कम परिणाम दे सकती है।



$$N' = W\cos\alpha - uL \qquad R = cL + N'\tan\varphi' \qquad D = W\sin\alpha$$

$$FS = \frac{\sum R}{\sum D} = \frac{\sum \left[cL + (W\cos\alpha - uL)\tan\varphi'\right]}{\sum W\sin\alpha}$$

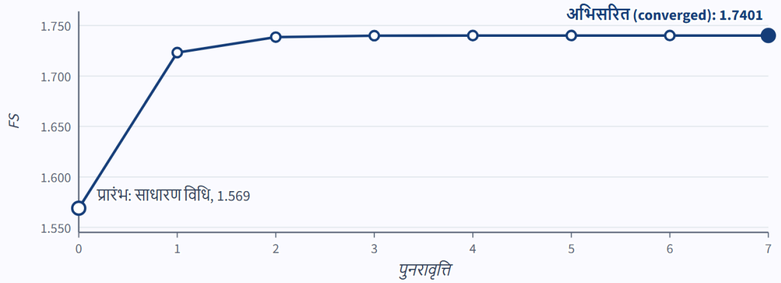
प्रत्येक स्लाइस का ऊर्ध्वाधर संतुलन; पुनरावृत्तीय हल

सिद्धांत

सरलीकृत Bishop विधि में स्लाइसों के बीच के अपरूपण बलों की उपेक्षा की जाती है, परंतु प्रत्येक स्लाइस का ऊर्ध्वाधर साम्य संतुष्ट किया जाता है और आधार पर अपरूपण बल को संघटित सामर्थ्य के बराबर लिया जाता है।

FS समीकरण के दोनों पक्षों में आने के कारण समीकरण को साधारण स्लाइस विधि के मान से आरंभ करके पुनरावृत्ति द्वारा हल किया जाता है; कुछ चरण पर्याप्त होते हैं।

ऋणात्मक **N′** को शून्य पर रखा जाता है और $\mathbf{m_\alpha}$ के 0.2 से नीचे गिरने की अनुमति नहीं दी जाती; यह सीमा गहरे वृत्तों के टो क्षेत्र में महत्त्वपूर्ण है।



$$N' = \frac{W - uL\cos\alpha - cL\sin\alpha/FS}{m_\alpha} \qquad m_\alpha = \cos\alpha + \frac{\sin\alpha\tan\varphi'}{FS}$$

$$FS = \frac{\sum\left[cL + N'\tan\varphi'\right]}{\sum D}$$

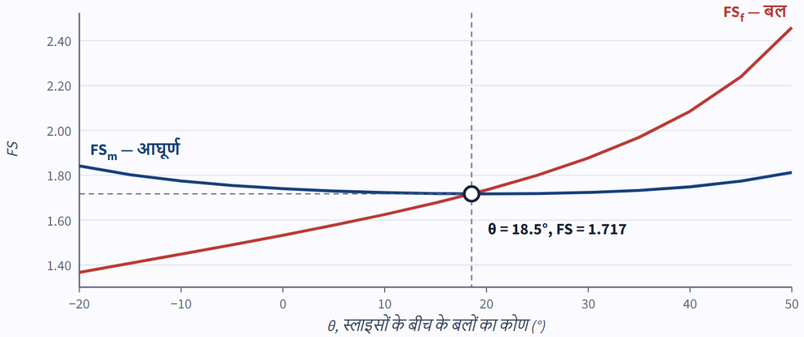
बल और आघूर्ण संतुलन; समानांतर स्लाइसों के बीच के बल

सिद्धांत

Spencer विधि बल और आघूर्ण, दोनों का संतुलन संतुष्ट करती है; स्लाइसों के बीच के बल परस्पर समानांतर होते हैं और अपरूपण बल अभिलंब बल का एक नियत अनुपात होता है।

द्रव्यमान के दोनों सिरों के पार्श्व फलक मुक्त होने के कारण ΣΔE = 0 बल संतुलन देता है और प्रत्येक कोण θ के लिए एक सुरक्षा गुणांक FS_f प्राप्त होता है।

वृत्त के केंद्र के परितः आघूर्ण दूसरा मान देते हैं: $FS_m = \Sigma[c\,L + N' \tan\varphi] / \Sigma\, D$; $FS_f(\theta)$ और $FS_m(\theta)$ एक ही कोण पर प्रतिच्छेद करते हैं और यही हल बनता है।



$$X = E\tan\theta \qquad \Delta E = \frac{cL + \tan\varphi'\,(W\cos\alpha - U) - FS\,W\sin\alpha}{FS(\cos\alpha + \tan\theta\sin\alpha) - \tan\varphi'(\tan\theta\cos\alpha - \sin\alpha)}$$

$$N' = W\cos\alpha - U + \Delta E\,(\tan\theta\cos\alpha - \sin\alpha) \qquad \sum \Delta E = 0 \;\Rightarrow\; FS_f(\theta)$$

यह क्या प्रदान करता है, क्या उपेक्षित करता है

सिद्धांत

विधि	स्लाइसों के बीच का बल	बल संतुलन	आघूर्ण संतुलन	सतह	FS (वही वृत्त)
सामान्य (Fellenius)	कोई नहीं	केवल आधार अभिलंब	✓	वृत्त	**1.569**
सरल Bishop	केवल अभिलंब (अपरूपण नहीं)	प्रति स्लाइस ऊर्ध्वाधर	✓	वृत्त	**1.740**
Spencer	समांतर: X = E tanθ	क्षैतिज + ऊर्ध्वाधर	✓	प्रत्येक सतह	**1.717**

साधारण स्लाइस विधि वह डिफ़ॉल्ट विधि है जिसकी जाँच हाथ की गणना से की जा सकती है और जो सुरक्षित पक्ष की ओर है; इसका परिणाम तीनों विधियों में सबसे कम होता है।

वृत्ताकार सतहों के लिए Bishop विधि सामान्य विकल्प है; वृत्ताकार सतह पर इसका परिणाम Spencer विधि के परिणाम से केवल कुछ प्रतिशत भिन्न होता है।

Spencer विधि संतुलन की पूर्ण शर्तें संतुष्ट करती है और गैर-वृत्ताकार सतहों के लिए प्रयुक्त होती है; गणना की दृष्टि से यह सबसे भारी विधि है और कुछ वृत्तों में इसका हल नहीं मिलता।

प्रश्न

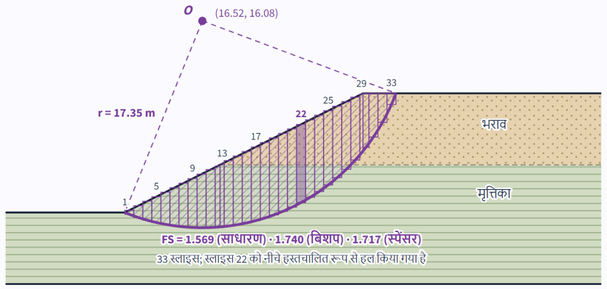
उदाहरण

दिया गया है

काट	**भूमि की सतह** $(0;0)$–$(10;0)$–$(30;10)$–$(50;10)$ **m; आधार** $z=-6$ **m;** $z=4$ **m के ऊपर भराव, नीचे मृत्तिका**
मृदाएँ	**भराव** $\gamma=18$ **kN/m³,** $c'=5$ **kPa,** $\varphi'=30^\circ$**; मृत्तिका** $\gamma=17.5$ **kN/m³,** $c'=20$ **kPa,** $\varphi'=18^\circ$**; जल, भार, भूकंप नहीं**
सर्पण वृत्त	**केंद्र** $x_c=16.52$ **m,** $z_c=16.08$ **m; त्रिज्या** $r=17.35$ **m (क्रांतिक वृत्त, खोज में प्राप्त वृत्त देखें)**

ज्ञात करना है

वृत्त जहाँ मृदा को काटता है वे बिंदु x_a और x_b, उसका निम्नतम बिंदु और **स्लाइसों में विभाजन**।



हल

हल

1 वृत्त और भूमि की सतह का प्रतिच्छेदन: $(x - x_c)^2 + (z - z_c)^2 = r^2$

$$x_a = x_c - \sqrt{r^2 - (z_a - z_c)^2} = 16.518 - \sqrt{301.08 - (0 - 16.080)^2} = \mathbf{10.00}\ \text{m} \quad (z_a = 0)$$

$$x_b = x_c + \sqrt{r^2 - (z_b - z_c)^2} = 16.518 + \sqrt{301.08 - (10 - 16.080)^2} = \mathbf{32.77}\ \text{m} \quad (z_b = 10)$$

2 निम्नतम बिंदु और स्लाइसों में विभाजन

$$z_{min} = z_c - r = 16.080 - 17.352 = -1.27\ \text{m} \ \ (> -6\ \text{m})$$

$$b = \frac{x_b - x_a}{30} = \frac{22.771}{30} = 0.759\ \text{m} \ \Rightarrow\ 30\ \text{स्लाइस}$$

वृत्त x = 10.00 (पाद) और 32.77 m (शीर्ष) के बीच मृदा पिंड को काटता है; x = 10, 18 और 30 m पर स्थित किनारे 3 स्लाइस और विभाजित करते हैं: **33 स्लाइस**।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

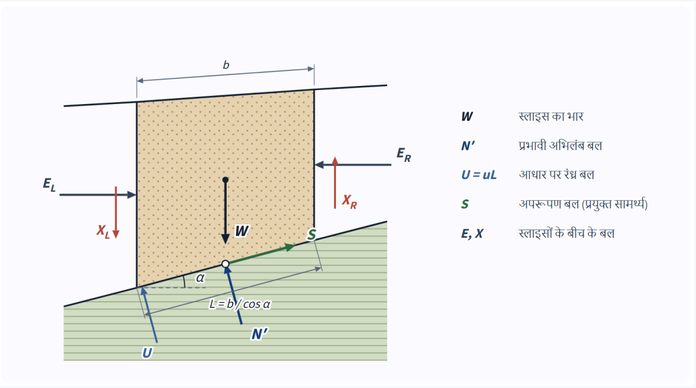
उदाहरण

दिया गया है

स्लाइस	**उदाहरण 1 के वृत्त की 22वीं स्लाइस: मध्य बिंदु** $x_m = 24.800$ **m, चौड़ाई** $b = 0.759$ **m**
मृदा	**भराव** $\gamma = 18$ **kN/m³** ($z > 4$ **m**)**; मृत्तिका** $\gamma = 17.5$ **kN/m³,** $c' = 20$ **kPa,** $\varphi' = 18°$ **(आधार मृत्तिका में);** $u = 0$

ज्ञात करना है

स्लाइस के **α**, **L**, **W** मान; **N′**, **R** और **D** (साधारण विधि)।



हल (1/2)

हल

1 आधार का ढलान और लंबाई

$$\sin\alpha = \frac{x_m - x_c}{r} = \frac{24.800 - 16.518}{17.352} = 0.4773 \;\Rightarrow\; \alpha = \mathbf{28.51}^\circ,\ \cos\alpha = 0.8787$$

$$L = \frac{b}{\cos\alpha} = \frac{0.759}{0.8787} = \mathbf{0.864}\ \text{m}$$

2 स्तंभ की ऊँचाई और भार (भराव + मृत्तिका)

$$z_{surface} = \frac{x_m - 10}{2} = 7.3998\ \text{m};\quad z_{base} = z_c - r\cos\alpha = 0.8327\ \text{m}$$

$$h_1 = 7.3998 - 4 = 3.3998\ \text{m (तटबंध (भराव))};\quad h_2 = 4 - 0.8327 = 3.1673\ \text{m (मृत्तिका)}$$

$$W = b\,(h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2) = 0.7590(3.3998 \cdot 18 + 3.1673 \cdot 17.5) = \mathbf{88.52}\ \text{kN/m}$$

स्लाइस 22 **सबसे भारी स्लाइस है** (W = 88.52 kN/m); इसका आधार 28.5° झुका है और यह मृत्तिका में रहता है (c′ = 20 kPa, φ′ = 18°)।

हल (2/2)

हल

3 अभिलंब बल और प्रतिरोध (u = 0)

$$N' = W\cos\alpha = 88.52 \times 0.8787 = \mathbf{77.79}\ \text{kN/m}$$

$$R = cL + N'\tan\varphi' = 20(0.864) + 77.79(0.3249) = 17.27 + 25.27 = \mathbf{42.55}\ \text{kN/m}$$

4 चालक प्रभाव

$$D = W\sin\alpha = 88.52 \times 0.4773 = \mathbf{42.25}\ \text{kN/m}$$

स्लाइस 22: **R = 42.55** kN/m, **D = 42.25** kN/m। प्रत्येक स्लाइस के R और D मान **इन्हीं तीन चरणों से** ज्ञात किए जाते हैं; सुरक्षा गुणांक सभी के योगों का अनुपात है: **FS = ΣR/ΣD** (तालिका अगले पृष्ठों पर)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

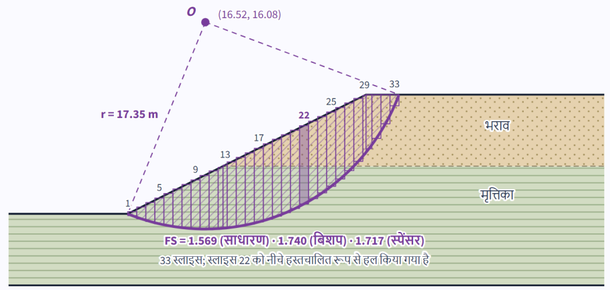
उदाहरण

दिया गया है

स्लाइस	**उदाहरण 1 का वृत्त, 33 स्लाइस; प्रत्येक स्लाइस उदाहरण 2 के तीन चरणों से हल की जाती है**
विधि	**सामान्य (Fellenius): स्लाइसों के बीच कोई बल नहीं**

ज्ञात करना है

सभी स्लाइसों की तालिका: **W, N′, R, D** और उनके योग; **FS = ΣR / ΣD**।



हल (1/3)

हल

No	x_m (m)	b (m)	α (°)	L (m)	W (kN/m)	c′ (kPa)	φ′ (°)	N′ (kN/m)	R (kN/m)	D (kN/m)
1	10.00	0.001	−22.1	0.001	0.00	20	18	0.00	0.03	−0.00
2	10.38	0.758	−20.7	0.810	4.49	20	18	4.20	17.57	−1.59
3	11.14	0.759	−18.1	0.798	13.08	20	18	12.43	20.01	−4.06
4	11.90	0.759	−15.4	0.787	21.15	20	18	20.39	22.37	−5.63
5	12.66	0.759	−12.9	0.779	28.74	20	18	28.02	24.67	−6.40
6	13.41	0.759	−10.3	0.771	35.84	20	18	35.27	26.89	−6.41
7	14.17	0.759	−7.8	0.766	42.49	20	18	42.10	29.00	−5.74
8	14.93	0.759	−5.2	0.762	48.68	20	18	48.47	30.99	−4.45
9	15.69	0.759	−2.7	0.760	54.42	20	18	54.36	32.86	−2.59
10	16.45	0.759	−0.2	0.759	59.72	20	18	59.72	34.59	−0.23
11	17.21	0.759	2.3	0.760	64.58	20	18	64.53	36.16	2.57
12	17.79	0.411	4.2	0.412	36.85	20	18	36.75	20.19	2.71
13	18.17	0.348	5.5	0.349	32.15	20	18	32.01	17.39	3.07
14	18.73	0.759	7.3	0.765	73.11	20	18	72.51	38.87	9.31
15	19.49	0.759	9.9	0.770	76.77	20	18	75.64	39.98	13.13
16	20.25	0.759	12.4	0.777	79.97	20	18	78.11	40.92	17.18
17	21.00	0.759	15.0	0.786	82.70	20	18	79.89	41.67	21.38

हल (2/3)

हल

No	x_m (m)	b (m)	α (°)	L (m)	W (kN/m)	c′ (kPa)	φ′ (°)	N′ (kN/m)	R (kN/m)	D (kN/m)
18	21.76	0.759	17.6	0.796	84.94	20	18	80.97	42.23	25.68
19	22.52	0.759	20.2	0.809	86.67	20	18	81.32	42.60	29.99
20	23.28	0.759	22.9	0.824	87.86	20	18	80.91	42.77	34.25
21	24.04	0.759	25.7	0.842	88.49	20	18	79.74	42.76	38.37
22	**24.80**	**0.759**	**28.5**	**0.864**	**88.52**	**20**	**18**	**77.79**	**42.55**	**42.25**
23	25.56	0.759	31.4	0.889	87.89	20	18	75.02	42.16	45.80
24	26.32	0.759	34.4	0.920	86.56	20	18	71.43	41.60	48.89
25	27.08	0.759	37.5	0.956	84.44	20	18	67.00	40.90	51.38
26	27.84	0.759	40.7	1.001	81.43	20	18	61.72	40.08	53.11
27	28.59	0.758	44.1	1.056	77.34	20	18	55.53	39.17	53.83
28	29.35	0.760	47.7	1.129	72.09	5	30	48.51	33.65	53.33
29	29.87	0.267	50.3	0.418	23.72	5	30	15.15	10.84	18.25
30	30.25	0.492	52.3	0.805	40.15	5	30	24.55	18.20	31.76
31	30.87	0.759	55.8	1.351	50.12	5	30	28.16	23.01	41.46
32	31.63	0.759	60.6	1.545	33.40	5	30	16.41	17.20	29.09
33	32.39	0.759	66.2	1.878	12.72	5	30	5.14	12.36	11.64
Σ					**1,841.11**			**1,613.77**	**1,006.25**	**641.34**

हल (3/3)

हल

1 योग और सुरक्षा गुणांक

$$\sum R = 1{,}006.25 \text{ kN/m} \qquad \sum D = 641.34 \text{ kN/m} \qquad \sum W = 1{,}841.1 \text{ kN/m}$$

$$FS = \frac{\sum R}{\sum D} = \frac{1{,}006.25}{641.34} = \mathbf{1.569}$$

इस वृत्त के लिए साधारण विधि से **FS = 1.569** प्राप्त होता है। टो की ओर के स्लाइसों में (α < 0) आधार सर्पण के विरुद्ध झुका होता है: D ऋणात्मक होता है और ΣD को घटाता है। स्लाइस 22 सारणी की 22वीं पंक्ति है और हाथ से निकाले गए मानों से मेल खाती है।

ΣR/ΣD: **प्रतिरोधी** प्रभावों का चालक प्रभावों से अनुपात; यदि FS > 1 हो, तो इस वृत्त के अनुदिश सर्पण की अपेक्षा नहीं की जाती।

साधारण विधि सबसे कम मान देती है; उसी वृत्त पर Bishop और Spencer अधिक हैं (आगे के उदाहरण)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

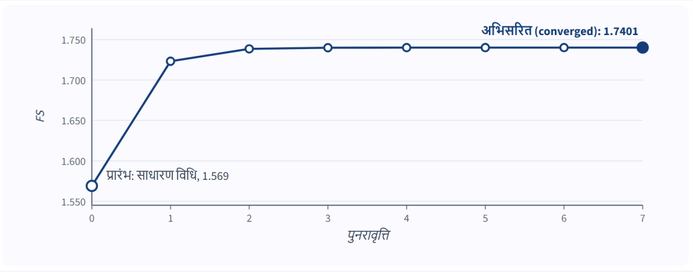
उदाहरण

दिया गया है

स्लाइस और वृत्त	**उदाहरण 2 की स्लाइस 22 और उदाहरण 1 का वृत्त; प्रारंभिक मान उदाहरण 3 का $FS_0 = 1.569$**
विधि	$N' = \dfrac{W - cL\sin\alpha/FS}{m_\alpha}$, $m_\alpha = \cos\alpha + \dfrac{\sin\alpha\tan\varphi'}{FS}$ **(u = 0)**

ज्ञात करना है

स्लाइस 22 के लिए m_α, N', R; पूरे वृत्त के लिए **पुनरावृत्ति** और **FS**।



हल (1/4)

हल

1 प्रथम पुनरावृत्ति (FS_0 = साधारण विधि का मान = 1.5690)

$$m_\alpha = \cos\alpha + \frac{\sin\alpha\tan\varphi'}{FS_0} = 0.8787 + \frac{0.4773(0.3249)}{1.5690} = 0.9776$$

$$N' = \frac{W - cL\sin\alpha/FS_0}{m_\alpha} = \frac{88.52 - 20(0.864)(0.4773)/1.5690}{0.9776} = 85.17\ \text{kN/m}$$

$$R = 20(0.864) + 85.17(0.3249) = 44.95\ \text{kN/m}$$

हल (2/4)

हल

2 अभिसरित मान के साथ (FS = 1.7401)

$$m_\alpha = 0.8787 + \frac{0.4773(0.3249)}{1.7401} = \mathbf{0.9679}$$

$$N' = \frac{88.52 - 20(0.864)(0.4773)/1.7401}{0.9679} = \mathbf{86.56}\ \text{kN/m}$$

$$R = cL + N'\tan\varphi' = 20(0.864) + 86.56(0.3249) = \mathbf{45.40}\ \text{kN/m} \qquad D = 42.25\ \text{kN/m}$$

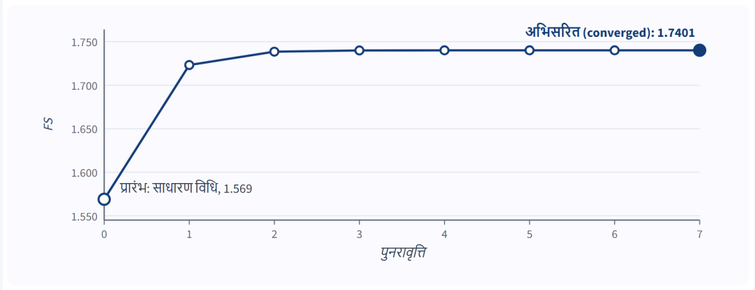
स्लाइस 22 का अभिलंब बल साधारण विधि के 77.79 से बढ़कर **86.56** kN/m हो जाता है (स्लाइसों के बीच ऊर्ध्वाधर साम्य); प्रतिरोध 42.55 → **45.40** kN/m। यही चरण 33 स्लाइसों में दोहराए जाते हैं।

हल (3/4)

हल

2 प्रत्येक पुनरावृत्ति में ΣR पुनः परिकलित किया जाता है, $FS_{k+1} = \Sigma R_k / \Sigma D$

पुनरावृत्ति k	FS_k	अंतर
0 (सामान्य)	1.5690	
1	1.7232	0.1542
2	1.7385	0.0153
3	1.7399	0.0014
4	1.7401	0.0001
5	1.7401	0.0000
6	1.7401	0.0000
7	**1.7401**	0.0000



7 पुनरावृत्तियों में **FS = 1.740**; ΣR = 1,115.97, ΣD = 641.34 kN/m। यह साधारण विधि (1.569) से 10.9% अधिक है।

हल (4/4)

हल

No	α (°)	W	m_α	N′	R
1	−22.1	0.00	0.8566	0.01	0.03
2	−20.7	4.49	0.8693	8.95	19.11
3	−18.1	13.08	0.8928	17.83	21.76
4	−15.4	21.15	0.9141	25.78	24.12
5	−12.9	28.74	0.9333	32.92	26.27
6	−10.3	35.84	0.9505	39.38	28.22
7	−7.8	42.49	0.9656	45.23	30.02
8	−5.2	48.68	0.9788	50.55	31.67
9	−2.7	54.42	0.9900	55.39	33.20
10	−0.2	59.72	0.9993	59.80	34.61
11	2.3	64.58	1.0066	63.81	35.93
12	4.2	36.85	1.0110	36.10	19.98
13	5.5	32.15	1.0133	31.35	17.18
14	7.3	73.11	1.0156	70.88	38.34
15	9.9	76.77	1.0172	73.99	39.45
16	12.4	79.97	1.0168	76.77	40.49
17	15.0	82.70	1.0143	79.24	41.46
18	17.6	84.94	1.0097	81.39	42.37
19	20.2	86.67	1.0028	83.22	43.22
20	22.9	87.86	0.9937	84.71	44.01
21	25.7	88.49	0.9821	85.83	44.74
22	**28.5**	**88.52**	**0.9679**	**86.56**	**45.40**
23	31.4	87.89	0.9508	86.84	46.00
24	34.4	86.56	0.9307	86.59	46.53
25	37.5	84.44	0.9072	85.70	46.98
26	40.7	81.43	0.8798	84.02	47.33
27	44.1	77.34	0.8480	81.24	47.52
28	47.7	72.09	0.9183	75.89	49.46
29	50.3	23.72	0.8941	25.50	16.81
30	52.3	40.15	0.8741	43.83	29.33
31	55.8	50.12	0.8363	56.09	39.14
32	60.6	33.40	0.7803	37.85	29.58
33	66.2	12.72	0.7076	11.00	15.74
Σ		**1,841.11**			**1,115.97**

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

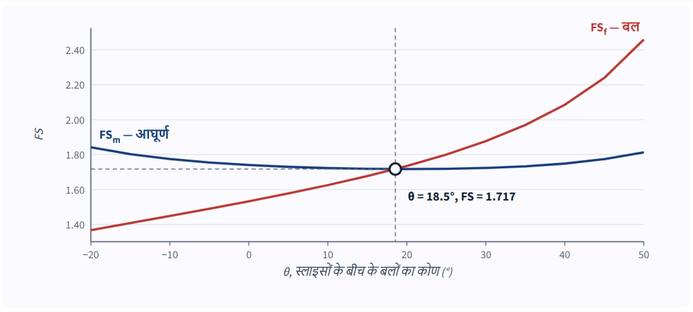
उदाहरण

दिया गया है

स्लाइस और वृत्त	**उदाहरण 2 की स्लाइस 22, उदाहरण 1 का वृत्त; अंतर-स्लाइस बल समानांतर, $X = E\tan\theta$**
हल का कोण	$\theta = 18.54^\circ$ **(नीचे के दो वक्रों के प्रतिच्छेदन का कोण),** $FS = 1.717$

ज्ञात करना है

स्लाइस 22 के लिए **ΔE**, **N′**, **R**, **E** और **X**; θ–FS वक्र और संपूर्ण वृत्त।



हल (1/4)

हल

1 स्लाइस का अभिलंब बल अंतर ΔE (θ = 18.54°, tan θ = 0.3354, FS = 1.717)

$$\text{भत्ता} = cL + \tan\varphi' \, W\cos\alpha - FS\, W\sin\alpha = 17.275 + 25.274 - 72.542 = -29.99$$

$$\text{हर}_1 = FS(\cos\alpha + \tan\theta\sin\alpha) = 1.7837$$

$$\text{हर}_2 = -\tan\varphi'(\tan\theta\cos\alpha - \sin\alpha) = 0.0593$$

$$\Delta E = \frac{\text{भत्ता}}{\text{हर}_1 + \text{हर}_2} = \frac{-29.99}{1.8430} = \mathbf{-16.27}\ \text{kN/m}$$

हल (2/4)

हल

2 अभिलंब बल, प्रतिरोध और स्लाइसों के बीच के बल

$$N' = W\cos\alpha + \Delta E(\tan\theta\cos\alpha - \sin\alpha) = 77.786 + (-16.27)(-0.1826) = \mathbf{80.76}\ \text{kN/m}$$

$$R = cL + N'\tan\varphi' = \mathbf{43.51}\ \text{kN/m}$$

$$E_{foot} = 254.69\ \text{kN/m} \quad \Rightarrow \quad E_{top} = E_{foot} + \Delta E = 238.41\ \text{kN/m}$$

$$X_{foot} = E\tan\theta = \mathbf{85.42}$$

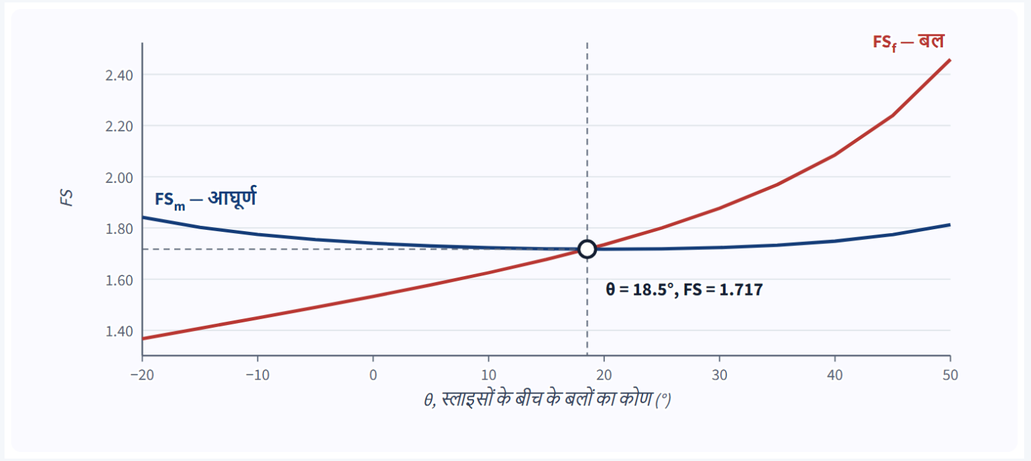
Spencer में स्लाइस 22 का अभिलंब बल **80.76** kN/m है (साधारण 77.79, Bishop 86.56); स्लाइसों के बीच के बल के रूप में टो की ओर E = 254.69 kN/m कार्य करता है।

हल (3/4)

हल

3 प्रत्येक θ के लिए FS_f ($\Sigma\Delta E = 0$) और FS_m (आघूर्ण); प्रतिच्छेदन बिंदु ही हल है

θ (°)	FS_m (आघूर्ण)	FS_f (बल)
-20	1.842	1.367
-15	1.802	1.408
-10	1.774	1.449
-5	1.755	1.490
0	1.740	1.533
5	1.730	1.577
10	1.723	1.625
15	1.718	1.677
20	1.717	1.735
25	1.718	1.800
30	1.723	1.877
35	1.733	1.969
40	1.748	2.085
45	1.774	2.239
50	1.812	2.458
18.54	**1.717**	**1.717**



हल (4/4)

हल

No	ΔE	E (फ़ुट)	N′	R
1	0.02	−0.00	0.02	0.03
2	17.12	0.02	15.62	21.28
3	21.59	17.14	26.01	24.42
4	24.46	38.73	34.81	27.06
5	26.08	63.19	42.35	29.33
6	26.67	89.27	48.84	31.30
7	26.41	115.94	54.44	33.01
8	25.43	142.35	59.29	34.51
9	23.87	167.78	63.49	35.83
10	21.80	191.65	67.12	36.99
11	19.32	213.45	70.24	38.01
12	9.30	232.78	39.17	20.97
13	7.19	242.08	33.72	17.95
14	13.38	249.26	75.26	39.76
15	10.03	262.64	77.24	40.50
16	6.48	272.67	78.84	41.16
17	2.77	279.15	80.07	41.73
18	−1.03	281.92	80.95	42.23
19	−4.89	280.89	81.47	42.65
20	−8.75	276.01	81.62	43.01
21	−12.57	267.25	81.39	43.29
22	**−16.27**	**254.69**	**80.76**	**43.51**
23	−19.80	238.41	79.67	43.67
24	−23.06	218.61	78.07	43.76
25	−25.94	195.55	75.88	43.79
26	−28.29	169.61	72.98	43.74
27	−29.89	141.32	69.14	43.59
28	−30.84	111.42	64.36	42.80
29	−11.02	80.59	21.27	14.37
30	−19.70	69.57	36.10	24.87
31	−26.62	49.87	45.17	32.83
32	−18.69	23.25	29.61	24.82
33	−4.56	4.56	8.70	14.41
Σ	0.00			**1,101.18**

θ = 18.54°; ΣR = 1,101.18, ΣD = 641.34 ⟶ **FS = 1.717**. E_{max} = 281.9 kN/m.

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

भार, रंध्र जल दाब, ढलान में जल

सिद्धांत

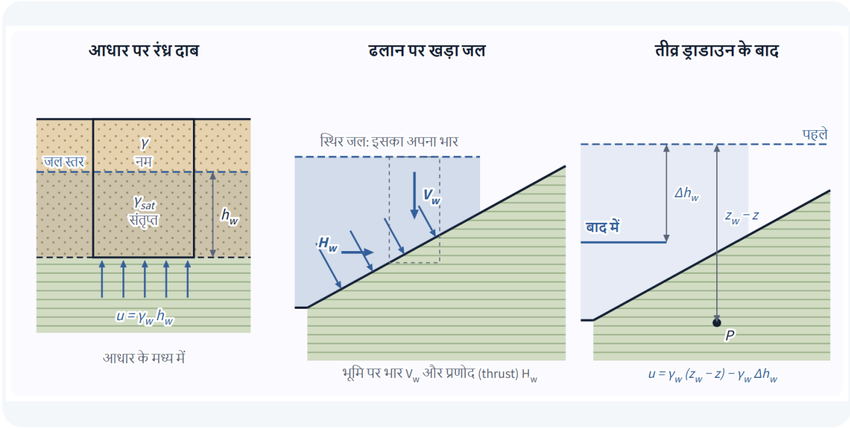
जल विश्लेषण में तीन तरीकों से प्रवेश करता है: संतृप्त मृदा के भार के रूप में, प्रत्येक स्लाइस के आधार पर सामर्थ्य घटाने वाले रंध्र जल दाब के रूप में और ढलान पर जहाँ भी जल स्थित हो वहाँ अपने आप में एक भार के रूप में।

भूजल रेखा के नीचे रंध्र जल दाब द्रवस्थैतिक होता है; रिसाव का विश्लेषण न किए जाने के कारण झुका हुआ भूजल स्तर प्रवाह जाल का एक सन्निकटन है और निमज्जित इकाई भार कभी प्रयोग नहीं किया जाता।

रंध्र जल दाब जब ओवरबर्डन भार के एक अनुपात के रूप में ज्ञात हो, तब मृदा को एक r_u अनुपात दिया जाता है; यह स्थिति निर्माण चरण में किसी तटबंध या मुलायम मृत्तिका पर बने तटबंध के लिए मान्य है।

ढलान के सामने का जल निकल सकता है, इसलिए जब जल-स्तर तेज़ी से गिरता है तो सहारा समाप्त हो जाता है, रंध्र जल दाब बना रहता है और सुरक्षा गुणांक जल-स्तर गिरने के ठीक बाद के निम्नतम मान के अनुरूप होता है।

$$u = \gamma_w h_w \qquad u = r_u \frac{W}{b} \qquad H_w = \frac{\gamma_w}{2}\left[(z_w - z_L)^2 - (z_w - z_R)^2\right]$$



प्रश्न

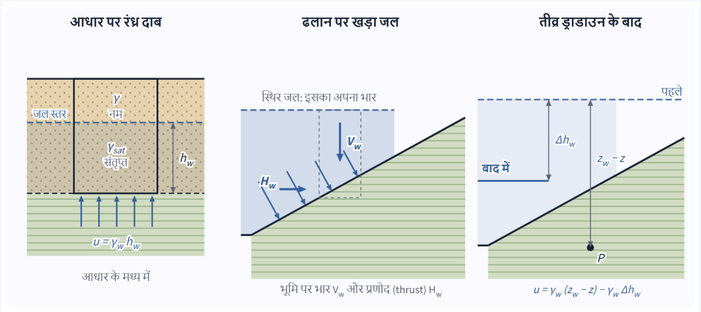
उदाहरण

दिया गया है

जल रेखा	$(0;0)$–$(20;2.5)$–$(50;7)$ **m, द्रवस्थैतिक;** $\gamma_w = 9.81$ **kN/m³; संतृप्त इकाई भार: भराव 20, मृत्तिका 19.5 kN/m³**
स्लाइस	**वही वृत्त;** $x_m = 24.800$ **m पर स्थित स्लाइस (जल के साथ यह 33वीं नहीं, 24वीं स्लाइस हो जाती है)**

ज्ञात करना है

स्लाइस में z_w, h_w, u, U; नए W, N', R, D; पूरे वृत्त के लिए **FS**।



हल (1/2)

हल

1 जल की ऊँचाई और रंध्र जल दाब

$$z_w = 2.5 + \frac{24.800 - 20}{30}(4.5) = 3.2199 \text{ m}$$

$$h_w = z_w - z_{base} = 3.2199 - 0.8327 = \mathbf{2.3872} \text{ m}$$

$$u = \gamma_w h_w = 9.81(2.3872) = \mathbf{23.42} \text{ kPa} \qquad U = uL = 23.42(0.864) = \mathbf{20.23} \text{ kN/m}$$

2 भार: जल के ऊपर नम, नीचे संतृप्त

$$W = b\left[h_1\gamma_1 + h_{dry}\gamma_{moist} + h_w\gamma_{sat}\right]$$

$$W = 0.7590[3.3998(18) + 0.7801(17.5) + 2.3872(19.5)] = \mathbf{92.14} \text{ kN/m}$$

जल भार को शुष्क अवस्था के 88.52 kN/m से बढ़ाकर **92.14** kN/m कर देता है और साथ ही आधार पर **U = 20.23** kN/m का जल बल उत्पन्न करता है।

हल (2/2)

हल

3 प्रभावी अभिलंब बल, प्रतिरोध, चालक प्रभाव (स्लाइस 22)

$$N' = W\cos\alpha - U = 92.14(0.8787) - 20.23 = \mathbf{60.74}\ \text{kN/m}$$

$$R = 20(0.864) + 60.74(0.3249) = \mathbf{37.01}\ \text{kN/m} \qquad D = W\sin\alpha = \mathbf{43.98}\ \text{kN/m}$$

4 पूर्ण वृत्त (36 स्लाइस, उसी वृत्त में) और शुष्क स्थिति से तुलना

विधि	ΣU	ΣR	ΣD	FS (जल)	FS (शुष्क)
सामान्य	476.94	879.96	655.41	**1.343**	1.569
Bishop	476.94	981.07	655.41	**1.497**	1.740
Spencer	476.94	970.22	655.41	**1.480**	1.717

उसी वृत्त के लिए जल FS को 1.569 → **1.343** (साधारण) तक घटा देता है; जल रेखा के साथ क्रांतिक वृत्त को फिर से खोजने पर वह अधिक उथला हो जाता है और **1.255 / 1.568 / 1.564** प्राप्त होता है (साधारण / Bishop / Spencer)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

स्ट्रिप और बिंदु भार; ऊर्ध्वाधर, लंबवत, झुका हुआ

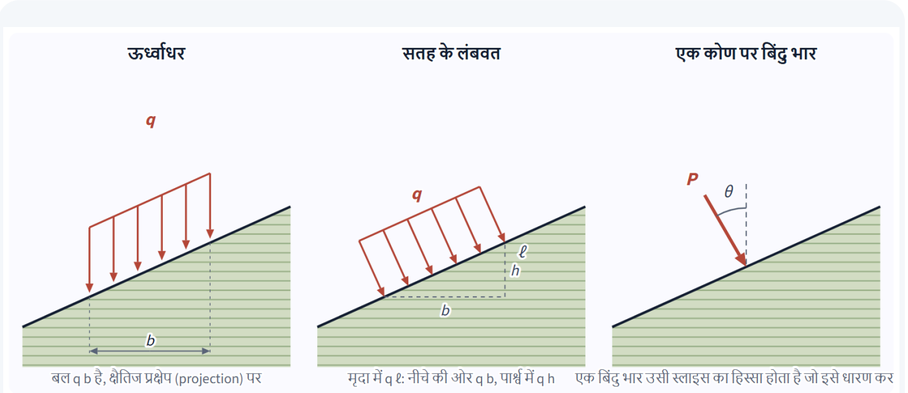
सिद्धांत

ऊर्ध्वाधर या झुका हुआ कार्य करने वाला स्ट्रिप भार क्षैतिज प्रक्षेप पर लिया जाता है, और क्षैतिज चौड़ाई b वाले भाग पर बल q b होता है।

सतह के लंबवत कार्य करने वाला भार सतह की लंबाई पर लिया जाता है; ℓ लंबाई वाले खंड पर बल q ℓ होता है, जिसका ऊर्ध्वाधर घटक q b और क्षैतिज घटक q h है।

प्रत्येक स्लाइस किसी भार के अपने किनारों के बीच पड़ने वाले भाग को क्षैतिज चौड़ाई के अनुपात में वितरित करके वहन करता है, और बिंदु भार उस स्लाइस का माना जाता है जिसमें उसका क्रिया-बिंदु स्थित है।

$$F = q\,b \qquad F_n = q\,\ell \;\Rightarrow\; F_z = q\,b,\; F_x = q\,h \qquad P_x = P\sin\theta,\; P_z = P\cos\theta$$



बल q b है, क्षैतिज प्रक्षेप (projection) पर मृदा में q ℓ: नीचे की ओर q b, पार्श्व में q h एक बिंदु भार उसी स्लाइस का हिस्सा होता है जो इसे धारण कर

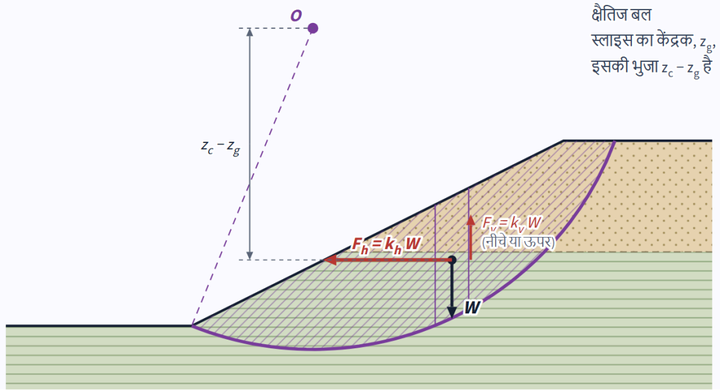
स्लाइस के गुरुत्व केंद्र पर जड़त्व बल

सिद्धांत

छद्म-स्थैतिक दृष्टिकोण में भूकंपीय कंपन को सर्पित हो रहे पिंड पर लगाए गए और g के एक अनुपात के रूप में व्यक्त स्थिर त्वरण से निरूपित किया जाता है।

प्रत्येक स्लाइस में मृदा पिंड (W_{soil}) के जड़त्व बल उस गुरुत्व केंद्र (z_g) पर लगाए जाते हैं, जो स्लाइस के भीतर मृदा के नम और संतृप्त भागों से ज्ञात किया जाता है, क्योंकि स्लाइस के ऊपर जमा जल यह बल वहन नहीं करता।

क्रांतिक स्थिति विकल्प में दोनों क्षैतिज और दोनों ऊर्ध्वाधर दिशाएँ आज़माकर न्यूनतम सुरक्षा गुणांक आधार लिया जाता है; गुणांक उपयोगकर्ता द्वारा दिए जाते हैं और स्थैतिक तथा **छद्म-स्थैतिक** FS साथ-साथ रिपोर्ट किए जाते हैं।



$$F_h = k_h W_{soil} \qquad F_v = k_v W_{soil}$$

$$N = (W + F_v)\cos\alpha \mp F_h \sin\alpha \qquad D = (W + F_v)\sin\alpha + F_h \frac{z_c - z_g}{r}$$

प्रश्न

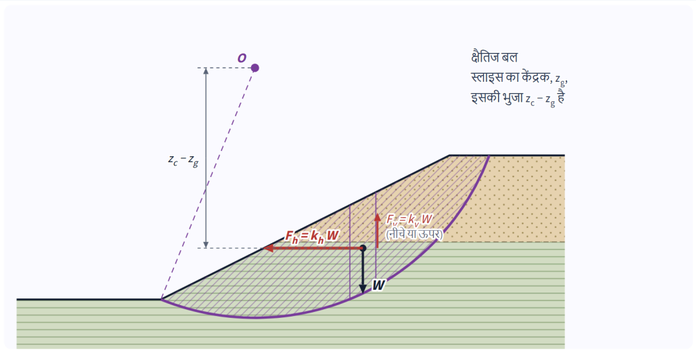
उदाहरण

दिया गया है

भूकंप	$k_h = 0.15$, $k_v = 0$; **क्षैतिज बल टो की दिशा में (क्रांतिक दिशा)**
स्लाइस और वृत्त	**उदाहरण 2 की स्लाइस 22 और वृत्त; आघूर्ण भुजा z_g के लिए केंद्रक की आवश्यकता होती है**

ज्ञात करना है

स्लाइस 22 में **F_h, N′, R, D**; संपूर्ण वृत्त में तीन विधियों से **$FS_{earthquake}$**।



हल (1/2)

हल

1 जड़त्व बल और आघूर्ण भुजा

$$F_h = k_h W = 0.15(88.52) = \mathbf{13.28}\ \text{kN/m}$$

$$z_g = \sum W_i z_{g,i}/W = (46.45(5.700) + 42.07(2.416))/88.52 = 4.139\ \text{m}$$

$$\text{आघूर्ण भुजा} = (z_c - z_g)/r = (16.080 - 4.139)/17.352 = 0.6882$$

2 अभिलंब बल, प्रतिरोध, चालक प्रभाव

$$N' = W\cos\alpha - F_h \sin\alpha = 77.79 - 6.34 = \mathbf{71.45}\ \text{kN/m}$$

$$R = 20(0.864) + 71.45(0.3249) = \mathbf{40.49}\ \text{kN/m}$$

$$D = W\sin\alpha + F_h\,\frac{z_c - z_g}{r} = 42.25 + 13.28(0.6882) = \mathbf{51.39}\ \text{kN/m}$$

चालक प्रभाव 42.25 → **51.39** kN/m (+22%) हो जाता है, प्रतिरोध 42.55 → **40.49** kN/m: क्षैतिज बल अभिलंब बल को घटाता है और सर्पण आघूर्ण जोड़ता है।

हल (2/2)

हल

3 उसी वृत्त पर तीन विधियाँ (k_h = 0.15, k_v = 0)

विधि	ΣR	ΣD	FS (स्थैतिक)	FS (भूकंप)
सामान्य	967.97	840.48	1.569	**1.152**
Bishop	1,083.01	840.48	1.740	**1.289**
Spencer	1,069.09	840.48	1.717	**1.272**

k_h = 0.15 FS को लगभग 27% घटा देता है (साधारण 1.569 → **1.152**)। भूकंप के प्रभाव में क्रांतिक वृत्त भी बदल जाता है: पृष्ठ के मॉडल में (k_h = 0.15, k_v = 0.05, क्रांतिक दिशाएँ) खोज का परिणाम 1.138 / 1.265 / 1.250 आता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

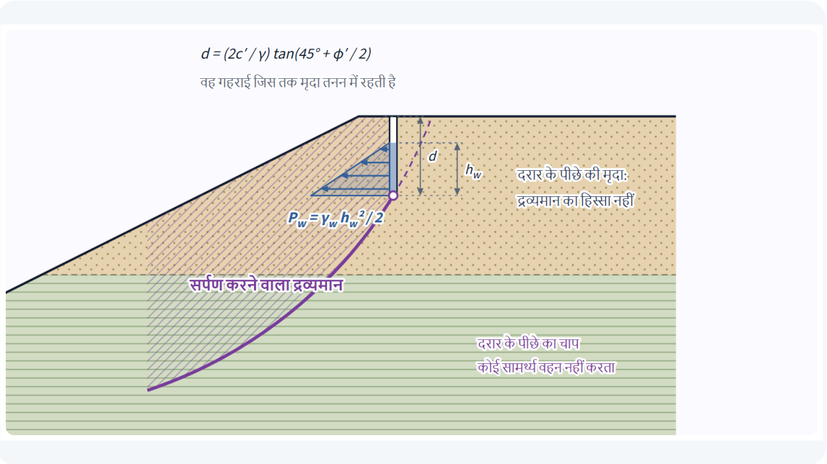
दरार में तथा गहराई पर जल

सिद्धांत

तनन दरार की गहराई d = 2c′/γ·tan(45° + φ′/2) से ज्ञात की जाती है; अनपवाहित स्थिति में यह गहराई $2c_u/\gamma$ हो जाती है।

दरार सक्रिय होने पर सर्पण सतह उस बिंदु पर समाप्त हो जाती है जहाँ सरकने वाले द्रव्यमान की गहराई दरार की गहराई के बराबर होती है; दरार के पीछे की मृदा सरकने वाले द्रव्यमान का भाग नहीं है और चाप का दरार के भीतर रह जाने वाला भाग कोई प्रतिरोध वहन नहीं करता।

दरार में h_w ऊँचाई तक ठहरा जल द्रवस्थैतिक बल के साथ दाब लगाता है; जल से भरी दरार सुरक्षा गुणांक को घटाती है और यह स्थिति अधिक बार अनदेखी रह जाती है।



$$d = \frac{2c'}{\gamma}\tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \qquad d = \frac{2c_u}{\gamma}$$

$$P_w = \frac{\gamma_w h_w^2}{2} \qquad z_f = z_{base} + \frac{h_w}{3} \qquad D_{crack} = \frac{P_w\,(z_c - z_f)}{r}$$

प्रश्न

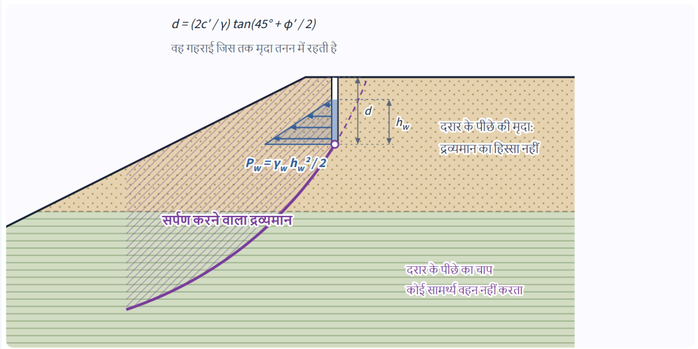
उदाहरण

दिया गया है

दरार	**ऊपर, $d = 2$ m गहराई पर ऊर्ध्वाधर दरार (मॉडल का आरंभिक मान); दो स्थितियाँ – शुष्क और जल से भरी ($h_w = 2$ m)**
वृत्त	**उदाहरण 1 का वृत्त; दरार के तल पर समाप्त होता है**

ज्ञात करना है

दरार की स्थिति **x**; P_w, z_f, D_{crack}; तीन विधियों से **FS**।



हल (1/2)

हल

1 दरार का स्थान: वृत्त z = 10 − 2 = 8 m स्तर पर पहुँचने पर दरार समाप्त होती है

$$x = x_c + \sqrt{r^2 - (8 - z_c)^2} = 16.518 + \sqrt{301.08 - (8 - 16.080)^2} = \mathbf{31.87}\ \text{m}$$

2 दरार में जल (h_w = 2 m): बल और आघूर्ण

$$P_w = \frac{\gamma_w h_w^2}{2} = \frac{9.81(2)^2}{2} = \mathbf{19.62}\ \text{kN/m} \qquad z_f = 8 + \frac{2}{3} = 8.667\ \text{m}$$

$$D_{crack} = \frac{P_w(z_c - z_f)}{r} = \frac{19.62(16.080 - 8.667)}{17.352} = \mathbf{8.38}\ \text{kN/m}$$

Rankine गहराई भराव में 0.96 m और मृत्तिका में 3.15 m है; मॉड्यूल दरार की गहराई इंजीनियर द्वारा दर्ज मान के अनुसार लेता है (यहाँ 2 m)। जल से भरी दरार ΣD में **8.38** kN/m जोड़ती है।

हल (2/2)

हल

3 दरार-रहित, शुष्क दरार और जल से भरी दरार (वही वृत्त; दरार में 34 स्लाइस)

विधि	दरार के बिना FS	ΣR	ΣD (शुष्क)	FS शुष्क दरार	ΣD (जल)	FS भरी दरार
सामान्य	1.569	991.18	625.52	**1.585**	633.91	**1.564**
Bishop	1.740	1,096.39	625.52	**1.753**	633.91	**1.727**
Spencer	1.717	1,083.00	625.52	**1.731**	633.91	**1.702**

सूखी दरार FS को बहुत कम बदलती है (ऊपर का चालक द्रव्यमान और चाप में प्रतिरोध साथ-साथ घटते हैं: 1.569 → 1.585); **जल से भरी दरार** इसे घटाती है (1.564)। दरार में जल सबसे अधिक भुला दी जाने वाली स्थिति है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

केंद्र ग्रिड, त्रिज्याएँ, परिष्करण

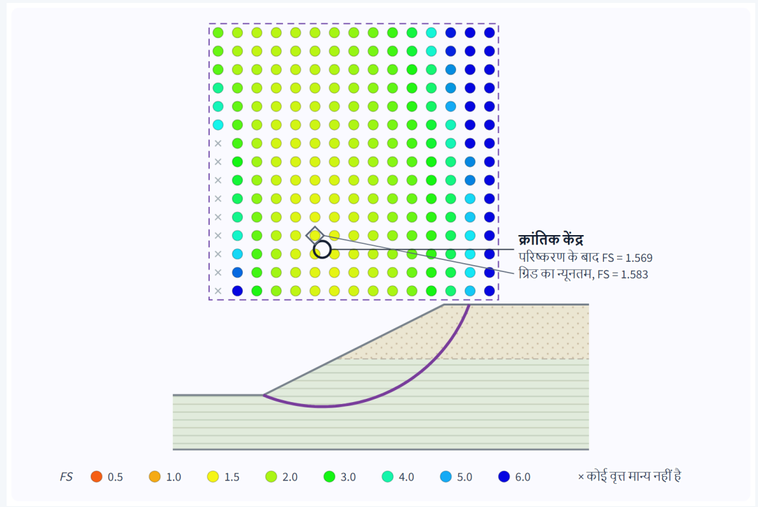
सिद्धांत

क्रांतिक वृत्त की खोज ढलान पर रखे $n_x \times n_z$ बिंदुओं वाले केंद्र-ग्रिड पर की जाती है और प्रत्येक केंद्र पर समान अंतराल वाली त्रिज्याओं का एक समुच्चय आज़माया जाता है।

प्रत्येक वृत्त को स्लाइसों में बाँटकर हल किया जाता है और प्रत्येक केंद्र के लिए प्राप्त न्यूनतम सुरक्षा गुणांक संबंधित त्रिज्या के साथ सहेजा जाता है; हल किए गए मॉडल में 15 × 15 केंद्रों और 12 त्रिज्याओं के साथ 4650 वृत्तों का परीक्षण किया गया है।

$$FS(x_c, z_c) = \min_j FS(x_c, z_c, r_j) \qquad FS_{crit} = \min_{x_c, z_c} FS(x_c, z_c)$$

हल किया गया मॉडल	मान
ग्रिड ($n_x \times n_z \times$ त्रिज्या)	15 × 15 × 12
परीक्षण / स्वीकृत वृत्त	4,650 / 3,487
ग्रिड का न्यूनतम	FS = 1.583
परिष्करण के बाद	**FS = 1.569**
क्रांतिक वृत्त	x_c = 16.52, z_c = 16.08, r = 17.35 m



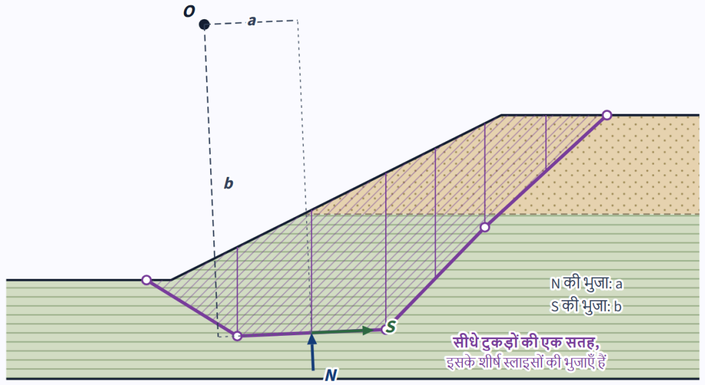
टूटी रेखा, केवल Spencer

सिद्धांत

अवृत्ताकार सतह, ढलान के शीर्ष से उतरने और ढलान के टो की ओर चढ़ने वाले वेजों के साथ किसी दुर्बल परत का अनुसरण कर सकती है और दोनों सिरे भूमि सतह पर रखने वाली बहुभुजीय सतह होती है।

बहु-रेखीय सर्पण सतह पर आघूर्ण समीकरण, मृदा पिंड के टो सिरे के ऊपर चुने गए बिंदु O के सापेक्ष लिखा जाता है; N की भुजा a और S की भुजा b है।

सबसे कम सुरक्षा गुणांक वाली सतह को n खंडों वाली खंडशः रैखिक सतह के रूप में खोजा जाता है; खोज की प्रत्येक चाल तभी रखी जाती है जब सतह स्वीकार्य बनी रहे, और उत्तल बाधा ज़िगज़ैग सतहों की ओर झुकाव को रोकती है।



$$a = (X - X_O)\cos\alpha - (z - z_O)\sin\alpha \qquad b = (X - X_O)\sin\alpha + (z - z_O)\cos\alpha$$

$$\sum [Na + Sb] - \sum V(X - X_O) - \sum A(z_A - z_O) + M_{reinforcement} + M_{crack} = 0$$

FS में निष्क्रिय और सक्रिय तत्व का योगदान

सिद्धांत

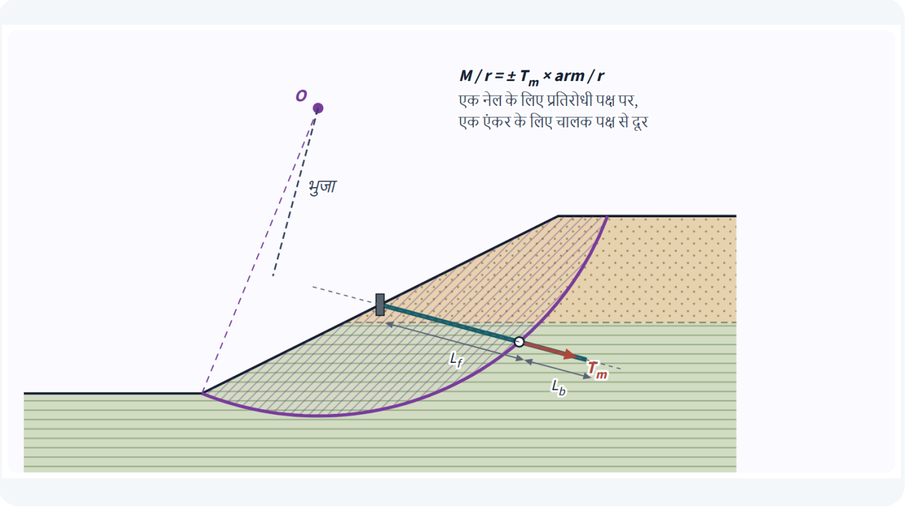
सुदृढ़ीकरण अवयव सर्पण सतह को काटने वाली एक रेखा है; उसका सर्पण सतह के सामने का, चाप को काटने वाले बिंदु तक का, भाग L_f से तथा इस बिंदु के पीछे की बंध लंबाई L_b से दर्शाया जाता है।

निष्क्रिय अवयव (नेल, जियोग्रिड) का आघूर्ण प्रतिरोधी पक्ष में जोड़ा जाता है; सक्रिय अवयव (एंकर) गति से पहले अपना भार वहन करता है, इसलिए उसका आघूर्ण चालक पक्ष से घटाया जाता है।

समान बल के लिए एक सक्रिय अवयव सुरक्षा गुणांक को निष्क्रिय अवयव की तुलना में अधिक बढ़ाता है; बल स्थैतिक और छद्म-स्थैतिक दोनों स्थितियों में समान लिया गया है।

$$\frac{M}{r} = \pm \frac{(x_P - x_c)F_z - (z_P - z_c)F_x}{r}$$

$$FS = \frac{\sum R + \sum M_{passive}/r}{\sum D - \sum M_{active}/r}$$



तीनों मानों में से न्यूनतम

सिद्धांत

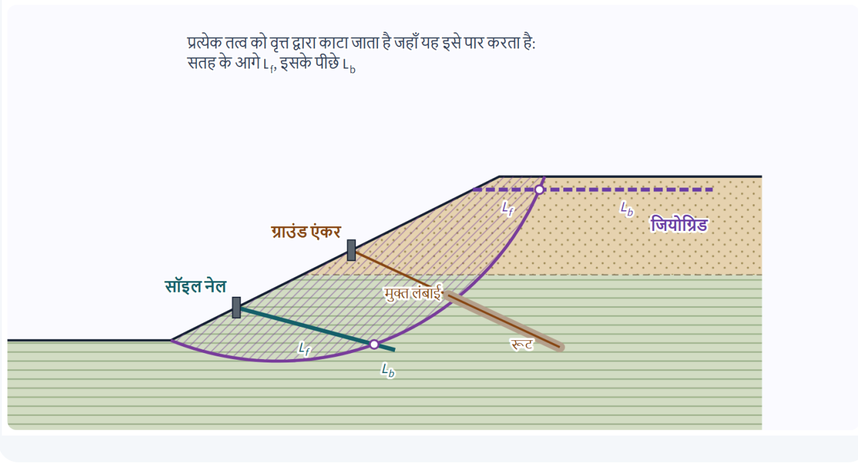
मृदा नेल का तनन बल T = min[T_t, q_u π D_h L_b, q_u π D_h L_f + T_h] के रूप में तीनों मानों में सबसे छोटा है।

नेल एक निष्क्रिय अवयव है: मृदा द्रव्यमान के गतिशील होने पर यह सक्रिय होता है, और अंतराल Sh से विभाजित नेल बल को T_m = T/S_h के रूप में व्यक्त किया जाता है।

जिस नेल का शीर्ष वृत्त के बाहर पड़ता है या जिसका निचला छोर सर्पण पिंड के भीतर है, वह उस वृत्त के लिए कोई बल वहन नहीं करता।

मुक्त लंबाई में बंध नहीं बनता; एंकर को उसका रूट (बंध भाग) थामता है, और एंकर द्वारा किसी सर्पण वृत्त को काटते हुए संचारित बल तीन मानों में सबसे छोटा होता है: **T = min[P, T_t, q_u π D_h L_b]**।

एंकर एक सक्रिय अवयव है: भार, मृदा-पिंड के गति करने से पहले ही टेंडन में मौजूद रहता है और Spencer समीकरणों में एंकर एक दिया गया बल है; वहाँ इसे **FS** से विभाजित नहीं किया जाता।



कील: $$T = \min\left[T_t,\ q_u \pi D_h L_b,\ q_u \pi D_h L_f + T_h\right] \qquad T_m = \frac{T}{S_h}$$

एंकर: $$T = \min\left[P,\ T_t,\ q_u \pi D_h L_b\right] \qquad T_m = \frac{T}{S_h}$$

डिज़ाइन सामर्थ्य, पुलआउट, कनेक्शन

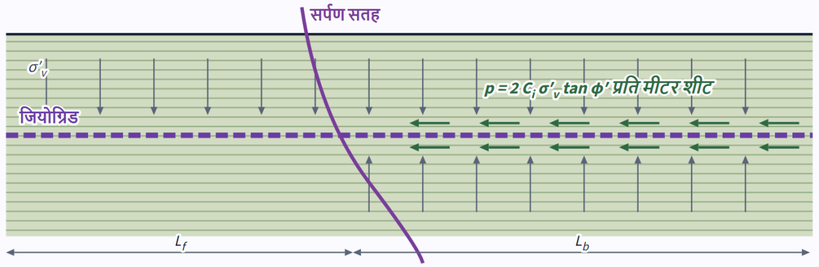
सिद्धांत

जियोग्रिड को उसकी लंबाई L, अनुभाग के प्रति मीटर दीर्घकालीन डिज़ाइन सामर्थ्य T_d, मृदा और जियोग्रिड के बीच अंतःक्रिया गुणांक C_i और फ़ेसिंग से जुड़े होने पर संयोजन सामर्थ्य T_c से परिभाषित किया जाता है।

प्रति मीटर लंबाई पर पुलआउट प्रतिरोध प्रभावी ओवरबर्डन प्रतिबल σ'_v के अंतर्गत दोनों फलकों पर घर्षण से उत्पन्न होता है; जियोग्रिड एक निष्क्रिय अवयव है और शीट के तल में कार्य करता है।

σ'_v प्लेट के ऊपर की मृदा के भार से — भूजल स्तर के नीचे संतृप्त इकाई भार के साथ — रंध्र जल दाब घटाकर प्राप्त किया जाता है; सुरक्षित पक्ष में रहने के लिए सतही भार गणना में सम्मिलित नहीं किए गए हैं।

$$p = 2\,C_i\,\sigma'_v\,\tan\varphi' \qquad T_m = \min\left[T_d,\ \int_{L_b} p\,dl,\ \int_{L_f} p\,dl + T_c\right]$$



प्रश्न

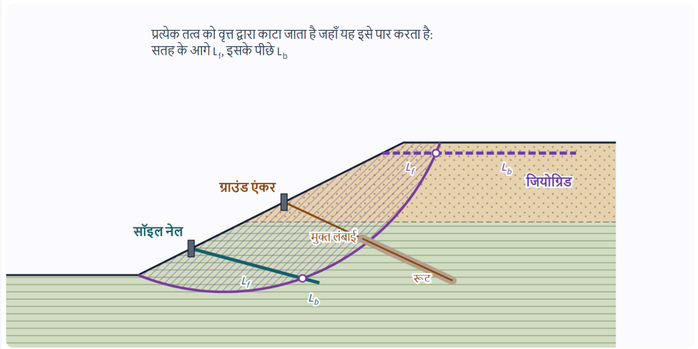
उदाहरण

दिया गया है

नाखून	**चार नेल, शीर्ष** $x = 14, 18, 22, 26$ **m पर (सतह पर),** 15° **झुके हुए,** $L = 14$ **m;** $T_t = 250$ **kN,** $q_u = 120$ **kPa,** $D_h = 120$ **mm,** $S_h = 1.5$ **m**
वृत्त	**नेल-युक्त मॉडल में खोज द्वारा प्राप्त वृत्त: केंद्र** $(18.29;\ 13.90)$**,** $r = 18.18$ **m**

ज्ञात करना है

प्रत्येक नेल के लिए $\mathbf{L_f}$, $\mathbf{L_b}$, **T** और $\mathbf{T_m}$; आघूर्ण योगदान; **FS**।



हल (1/2)

हल

1 बंध सामर्थ्य (प्रति इकाई लंबाई) और नेल N3

$$q_u \pi D_h = 120\pi(0.120) = \mathbf{45.239}\ \text{kN/m}$$

$$L_f = 11.282\ \text{m},\ L_b = 2.718\ \text{m} \qquad P(32.90;\ 3.08)$$

$$T = \min[250,\ 45.239(2.718) = 122.94,\ 45.239(11.282) = 510.4] = \mathbf{122.94}\ \text{kN}$$

$$T_m = \frac{T}{S_h} = \frac{122.94}{1.5} = \mathbf{81.96}\ \text{kN/m}$$

2 बल का वृत्त के केंद्र के सापेक्ष आघूर्ण

$$F_x = T_m \cos 15^\circ = 79.17, \quad F_z = -T_m \sin 15^\circ = -21.21\ \text{kN/m}$$

$$\frac{M}{r} = \frac{(x_P - x_c)F_z - (z_P - z_c)F_x}{r} = \frac{(14.606)(-21.21) - (-10.822)(79.17)}{18.178} = \mathbf{30.09}\ \text{kN/m}$$

नेल N3 मृदा द्रव्यमान को थामने वाला **81.96** kN/m भार वहन करता है; इसका आघूर्ण ΣR में 30.09 kN/m जोड़ता है (निष्क्रिय अवयव)।

हल (2/2)

हल

3 चार नेलों के बल (वही विधि)

नेल	L_f (m)	L_b (m)	T (kN)	निर्णायक	T_m (kN/m)	M/r (kN/m)
N1	–	–	0	सिरा मृदा पिंड के भीतर: भार वहन नहीं करता	0	0
N2	13.13	0.87	39.32	पीछे पुलआउट	26.21	13.90
N3	11.28	2.72	122.94	पीछे पुलआउट	81.96	30.09
N4	8.82	5.18	234.18	पीछे पुलआउट	156.12	31.82

4 नेलयुक्त मॉडल: खोज द्वारा प्राप्त वृत्त पर FS

विधि	बिना नेल (प्रारंभिक)	नेलयुक्त
सामान्य	1.569	**1.753**
Bishop	1.740	**2.018**
Spencer	1.717	**2.031**

सॉइल नेल FS को लगभग 12% बढ़ाते हैं (साधारण विधि 1.569 → 1.753; Bishop 1.740 → 2.018)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

वक्रीय सामर्थ्य एनवेलप और प्रत्येक आधार पर उसकी स्पर्श रेखा

सिद्धांत

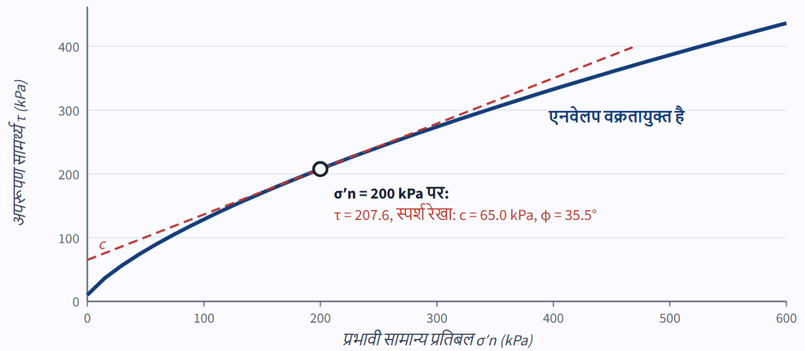
सामान्यीकृत Hoek–Brown मानदंड में चट्टान द्रव्यमान को σ_{ci}, GSI, m_i और D द्वारा परिभाषित किया जाता है; अविक्षुब्ध द्रव्यमान के लिए D = 0, भारी विस्फोटन या ढीलेपन की स्थिति में D = 1 लिया जाता है।

स्लाइस के आधार पर अपरूपण सामर्थ्य अभिलंब प्रतिबल पर निर्भर होने के कारण वक्रीय एनवेलप को Balmer संबंधों से τ–σ'_n तल में रूपांतरित किया जाता है; स्पर्श रेखा आधार पर ci और φi मान देती है।

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s\right)^a$$

$$m_b = m_i\, e^{\frac{GSI-100}{28-14D}} \qquad s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}} \qquad a = \frac{1}{2} + \frac{e^{-GSI/15} - e^{-20/3}}{6}$$

$$d = \frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} \qquad \sin\varphi_i = \frac{d-1}{d+1} \qquad c_i = \tau - \sigma'_n \tan\varphi_i$$



प्रश्न

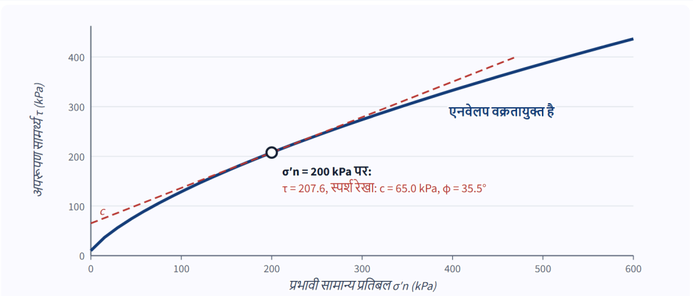
उदाहरण

दिया गया है

चट्टान पिंड	$\sigma_{ci} = 5$ **MPa,** $GSI = 30$**,** $m_i = 8$**,** $D = 0$
आधार	**प्रभावी अभिलंब प्रतिबल** $\sigma'_n = 200$ **kPa**

ज्ञात करना है

m_b, **s, a**; इस प्रतिबल पर **τ**, φ_i और c_i।



हल (1/2)

हल

1 चट्टान पिंड स्थिरांक

$$m_b = 8\,e^{(30-100)/28} = 0.6567 \qquad s = e^{(30-100)/9} = 0.000419$$

$$a = 0.5 + \frac{e^{-2} - e^{-20/3}}{6} = 0.5223$$

2 σ'_n = 200 kPa के लिए σ'_3 = 93.05 kPa (पुनरावृत्ति से प्राप्त)

$$d = 1 + a\,m_b \left(\frac{m_b \sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s\right)^{a-1} = 3.767$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(\frac{m_b \sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s\right)^{a} = 602.9 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}\,\frac{d-1}{d+1} = 200.0 \text{ kPa} \ \checkmark$$

हल (2/2)

हल

3 अपरूपण सामर्थ्य और समतुल्य Mohr–Coulomb पैरामीटर

$$\tau = (\sigma_1' - \sigma_3')\frac{\sqrt{d}}{d+1} = \mathbf{207.6}\ \text{kPa}$$

$$\varphi_i = \arcsin\frac{d-1}{d+1} = \mathbf{35.48^\circ} \qquad c_i = \tau - \sigma_n' \tan\varphi_i = 207.6 - 200(0.7128) = \mathbf{65.0}\ \text{kPa}$$

इस आधार पर चट्टान, Mohr–Coulomb की भाँति **c_i = 65.0 kPa, φ_i = 35.5°** के साथ व्यवहार करती है (τ = 207.6 kPa); प्रतिबल बदलने पर ये मान भी बदलते हैं: प्रत्येक स्लाइस अपने c और φ का उपयोग करती है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

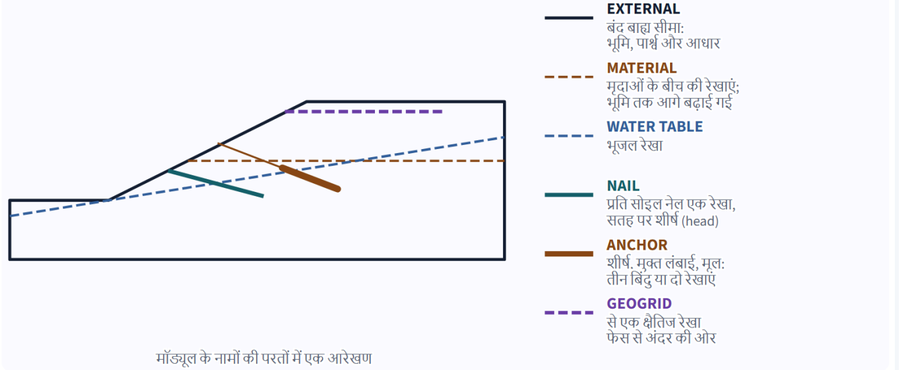
परत नामों के अनुसार पठन

सिद्धांत

DXF काट के लेयर नामों को बड़े-छोटे अक्षर, रिक्त स्थान, हाइफ़न और अंडरस्कोर के भेद का ध्यान रखे बिना पढ़ा जाता है; **EXTERNAL** भूमि सतह, दोनों पार्श्व और आधार को एक ही बंद पॉलीलाइन के रूप में देता है।

MATERIAL रेखाएँ मृदाओं के बीच की रेखाएँ हैं; काट के भीतर समाप्त होने वाली रेखा भूमि की सतह के अनुदिश बढ़ाई जाती है और दो सीमाओं के बीच के प्रत्येक क्षेत्र को अलग मृदा निर्धारित की जाती है।

WATER TABLE भूजल रेखा है; **NAIL**, **ANCHOR** और **GEOGRID** सुदृढ़ीकरण हैं, और चित्र में न दिखाए गए इकाई भार, सामर्थ्य, क्षमता, भार तथा भूकंप मॉडल टैब में दर्ज किए जाते हैं।

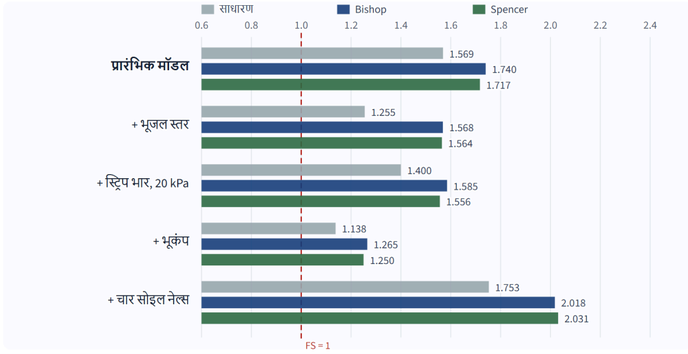


मॉड्यूल के नामों की परतों में एक आरेखण

परिणाम तालिका

वही काट, पाँच मॉडल, तीन विधियाँ

मॉडल (कुछ जोड़ा जाता है, वृत्त की खोज पुनः की जाती है)	केंद्र (x_c; z_c)	r (m)	स्लाइस	सामान्य	Bishop	Spencer
प्रारंभिक मॉडल (स्थैतिक)	16.52; 16.08	17.35	33	**1.569**	**1.740**	**1.717**
+ ढलान के भीतर की ओर ऊपर उठता भूजल स्तर	17.12; 11.45	16.85	36	**1.255**	**1.568**	**1.564**
+ 20 kPa स्ट्रिप भार, x = 25 – 32 m	16.25; 15.44	16.66	35	**1.400**	**1.585**	**1.556**
+ भूकंप, kh 0.15, kv 0.05 (क्रांतिक)	16.72; 17.45	18.70	34	**1.138**	**1.265**	**1.250**
+ चार मृदा नेल, 14 m लंबाई के	18.29; 13.90	18.18	34	**1.753**	**2.018**	**2.031**



साधारण विधि सदैव सबसे कम मान देती है; Bishop और Spencer एक-दूसरे के निकट हैं (वृत्त के लिए अंतर कुछ प्रतिशत)।

जल और भूकंप FS को सबसे अधिक घटाते हैं (1.255 और 1.138, साधारण विधि); चार नेल FS को 1.753 तक बढ़ा देते हैं। नेल के साथ Bishop और Spencer 2.0 से ऊपर चले जाते हैं।

मान्यताएं

मॉडल क्या मानता है और क्या नहीं करता

मॉडल समतल विकृति मानता है: अनंत लंबाई की ढलान का एक मीटर, प्रत्येक दिशा में समान सामर्थ्य (समदैशिक चट्टान मानदंड को छोड़कर) और गति आरंभ होने तक दृढ़ मृदा पिंड माना जाता है।

जल के लिए किसी रेखा के नीचे द्रवस्थैतिक दाब या ओवरबर्डन का r_u अनुपात प्रयोग किया जाता है; रिसाव विश्लेषण नहीं किया जाता और तीव्र अवनमन में $\bar{B} = 1$ के साथ तात्क्षणिक अवनमन माना जाता है।

स्लाइसों के लिए सभी राशियाँ स्लाइस की मध्य ऊर्ध्वाधर रेखा पर ली जाती हैं, ऋणात्मक प्रभावी अभिलंब बल को शून्य पर रखा जाता है; भूकंप को छद्म-स्थैतिक गुणांकों से लिया जाता है और सतह पर एकत्र जल की जड़ता की उपेक्षा की जाती है।

Spencer विधि स्लाइसों के बीच के बलों को पूरे द्रव्यमान के लिए एक ही कोण पर परस्पर समानांतर मानती है; आघूर्ण संतुलन तीनों विधियों में संतुष्ट होता है, बल संतुलन केवल Spencer में।

खोज आरंभिक सतहों के निकट सबसे कम सुरक्षा गुणांक वाली सतह ज्ञात करती है; यह सिद्ध नहीं है कि सभी सतहों में यही सबसे कम है।

जो नहीं किया जाता

- त्रि-आयामी प्रभाव (सर्पण का सिरा, ढलान की चौड़ाई)
- विरूपण, प्रगामी विफलता, विकृति मृदुलन
- रिसाव और समेकन: रंध्र जल दाब दिया जाता है, परिकलित नहीं किया जाता
- गतिक विश्लेषण (Newmark): छद्म-स्थैतिक गणना एक जाँच है
- प्रावधान: FS दिया जाता है; पर्याप्त मान अभियंता और विनिर्देश निर्धारित करते हैं

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

FS = ΣR/ΣD; R = cL + N′ tan φ′, D = W sin α (वृत्त के केंद्र के सापेक्ष आघूर्ण)। तीनों विधियाँ केवल इस बात में भिन्न हैं कि वे **N′** कैसे ज्ञात करती हैं

स्लाइस 22 (उदाहरण): α = 28.51°, L = 0.864, W = 88.52 → साधारण विधि N′ = 77.79, R = 42.55, D = 42.25; Bishop N′ = 86.56, R = 45.40; Spencer N′ = 80.76, R = 43.51 kN/m

वही वृत्त: **1.569 (साधारण) · 1.740 (Bishop) · 1.717 (Spencer)**; क्रांतिक वृत्त 15 × 15 × 12 ग्रिड पर 4650 वृत्तों को आज़माकर प्राप्त किया गया

जल: u = $\gamma_w h_w$ से N′ घटता है; **भूकंप**: F_h अभिलंब को घटाता है, आघूर्ण जोड़ता है; **दरार में जल** ΣD में P_w का आघूर्ण जोड़ता है

सुदृढ़ीकरण: निष्क्रिय (नेल, जियोग्रिड) प्रतिरोध पक्ष में लिया जाता है, सक्रिय (एंकर) चालक पक्ष से घटाया जाता है; **Hoek–Brown**: प्रत्येक आधार पर स्पर्शरेखीय c_i, φ_i

संदर्भ

Fellenius, W. (1936). Calculation of the stability of earth dams. Transactions of the 2nd Congress on Large Dams, Washington, 4, 445–463.

Bishop, A.W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Géotechnique, 5(1), 7–17.

Spencer, E. (1967). A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. Géotechnique, 17(1), 11–26.

Morgenstern, N.R. and Price, V.E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique, 15(1), 79–93.

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

Terzaghi, K. (1950). Mechanism of landslides. In Application of Geology to Engineering Practice (Berkey Volume), Geological Society of America, 83–123.

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

Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B. (2002). Hoek–Brown failure criterion — 2002 edition. Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, 1, 267–273.

Balmer, G. (1952). A general analytical solution for Mohr's envelope. Proceedings ASTM, 52, 1260–1271.

Lazarte, C.A., Robinson, H., Gómez, J.E., Baxter, A., Cadden, A. and Berg, R. (2015). Soil Nail Walls — Reference Manual. Geotechnical Engineering Circular No. 7, FHWA-NHI-14-007.

Sabatini, P.J., Pass, D.G. and Bachus, R.C. (1999). Ground Anchors and Anchored Systems. Geotechnical Engineering Circular No. 4, FHWA-IF-99-015.

Berg, R.R., Christopher, B.R. and Samtani, N.C. (2009). Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes. Geotechnical Engineering Circular No. 11, FHWA-NHI-10-024.

टिप्पणी

सभी संख्यात्मक उदाहरण मॉड्यूल की अपनी गणना लाइब्रेरियों से तैयार किए गए हैं; मॉड्यूल वही मान देता है। मॉड्यूल पृष्ठ का हल किया गया मॉडल भी यही काट है (10 m ऊँची 2:1 ढलान, भराव के ऊपर मृत्तिका)।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

अपना काट बनाएँ या DXF से आयात करें; मृदाएँ, जल, भार, भूकंप और सुदृढ़ीकरण दर्ज करें। मॉड्यूल क्रांतिक वृत्त खोजता है और तीनों विधियों के सुरक्षा गुणांक, स्लाइस तालिकाएँ, चरण-दर-चरण हल और रिपोर्ट 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