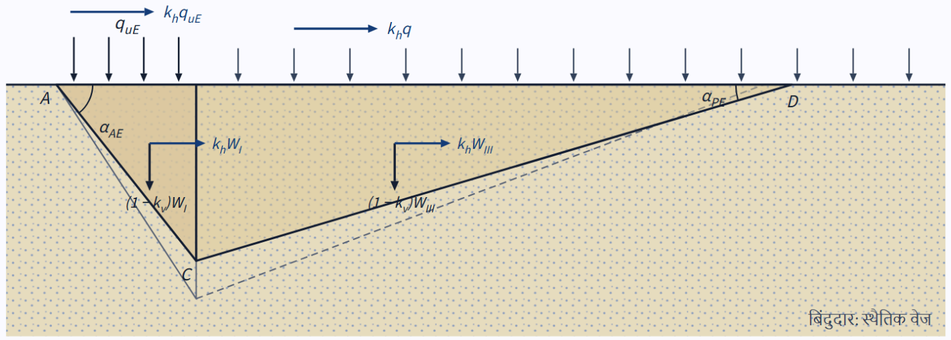
GeoTerva

भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · नींव

भूकंप के दौरान स्ट्रिप फ़ुटिंग की धारण क्षमता

व्याख्यान: Richards, Elms और Budhu के दो Coulomb वेजों से स्थैतिक धारण क्षमता गुणांकों, भूकंप में Mononobe–Okabe गुणांकों और इस बात तक कि भूकंप उन्हें कितना घटाता है; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

- दो Coulomb वेज
- $K_A \cdot K_P \cdot \alpha_A$
- Mononobe–Okabe
- $\theta = \tan^{-1} k_h/(1-k_v)$
- भूकंप का प्रभाव
- हल किए गए उदाहरण



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

- सतत फ़ुटिंग की **दो Coulomb वेज** (सक्रिय ABC, निष्क्रिय BCD) से धारण क्षमता क्रियाविधि स्थापित करना
- K_A, K_P, α_A, α_P मानों को और उनसे N_q, N_γ, N_c गुणांकों को संवृत रूप के सूत्रों से ज्ञात करना
- भूकंप को **छद्म-स्थैतिक** बल के रूप में लेना: $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$ और **Mononobe–Okabe** गुणांक K_{AE}, K_{PE}
- **भूकंपीय धारण क्षमता q_{uE}** और स्थैतिक मान से उसके अनुपात की गणना करना
- k_h और k_v की संवेदनशीलता तथा **$\theta \geq \varphi$ सीमा** की व्याख्या करना
- q_{uE} से अनुमेय धारण दाब लेना और फ़ुटिंग की **जाँच** करना

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 फ़ुटिंग, वह मॉडल जिसके साथ मॉड्यूल खुलता है: 1.5 m चौड़ाई की स्ट्रिप फ़ुटिंग, $D_f = 1$ m, $c = 30$ kPa, $\varphi' = 25°$, $\gamma = 17$ kN/m³, $k_h = 0.25$ l

लघुगणकीय सर्पिल के स्थान पर दो Coulomb वेज

सिद्धांत

Richards, Elms और Budhu (1993) ने सतत नींव के लिए एक सिद्धांत प्रस्तावित किया जो **भूकंपीय भारण पर भी लागू किया जा सकता है**। यह Terzaghi या Meyerhof के लघुगणकीय सर्पिल के स्थान पर **दो Coulomb वेजों** से बनी एक सरल विफलता सतह का उपयोग करता है; इसलिए प्रत्येक गुणांक **संवृत-रूप में** प्राप्त होता है।

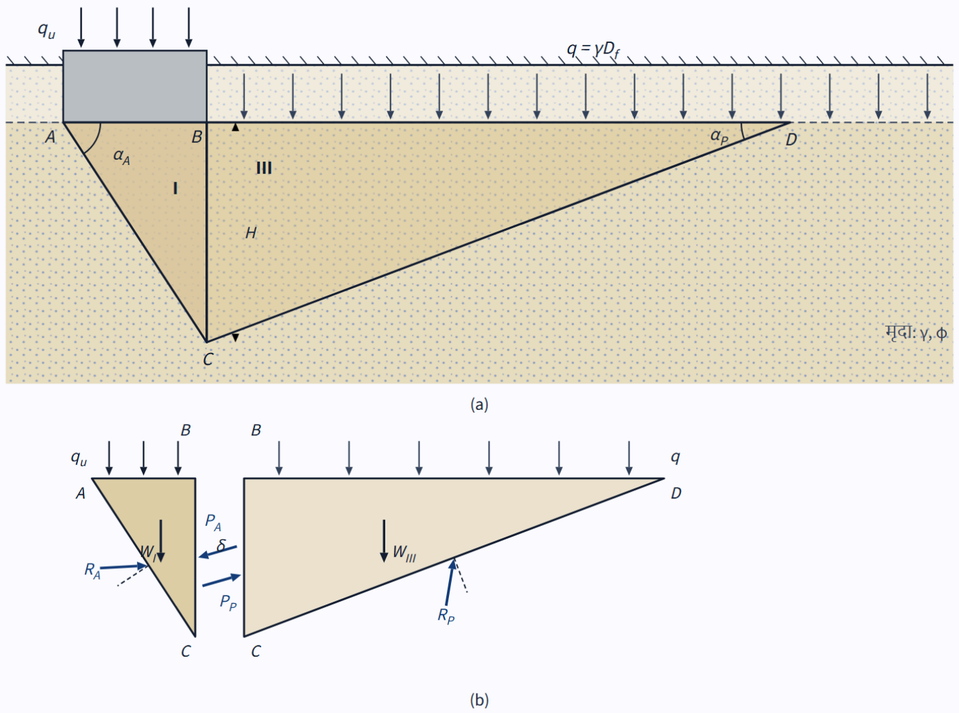
सतत फ़ुटिंग, चौड़ाई B, गहराई D_f; आधार के ऊपर की मृदा केवल अधिभार $q = \gamma D_f$ के रूप में कार्य करती है।

c–φ मृदा, $\varphi > 0$; विफलता क्षेत्र में भूजल नहीं है।

भूकंप **छद्म-स्थैतिक पिंड बल**: क्षैतिज और ऊर्ध्वाधर गुणांक k_h, k_v वेज और भारों पर कार्य करते हैं।

दोनों वेजों के बीच के ऊर्ध्वाधर फलक पर **दीवार घर्षण $\delta = \varphi/2$** (लेखकों की अनुशंसा)।

फ़ुटिंग के नीचे का वेज **सक्रिय** (ABC) है और उसके बगल का **निष्क्रिय** (BCD); दोनों फलक BC पर मिलते हैं (ऊँचाई H)।



वेज कोण और Coulomb गुणांक

सिद्धांत

वेज झुकाव αA और αP **क्रांतिक Coulomb वेजों** के कोण हैं (क्षैतिज से मापे जाते हैं):

$$\alpha_A = \varphi + \tan^{-1}\left\{\frac{[\tan\varphi(\tan\varphi+\cot\varphi)(1+\tan\delta\cot\varphi)]^{0.5}-\tan\varphi}{1+\tan\delta(\tan\varphi+\cot\varphi)}\right\}$$

$$\alpha_P = -\varphi + \tan^{-1}\left\{\frac{[\tan\varphi(\tan\varphi+\cot\varphi)(1+\tan\delta\cot\varphi)]^{0.5}+\tan\varphi}{1+\tan\delta(\tan\varphi+\cot\varphi)}\right\}$$

Coulomb बलों के क्षैतिज घटक निम्न गुणांकों के साथ लिखे जाते हैं:

$$K_A = \frac{\cos^2\varphi}{\cos\delta\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\varphi}{\cos\delta}}\right]^2} \qquad K_P = \frac{\cos^2\varphi}{\cos\delta\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\varphi}{\cos\delta}}\right]^2}$$

संकेतन

δ = φ/2: वेजों के बीच दीवार घर्षण

α_A: आनत तल AC का क्षैतिज से कोण

α_P: आनत तल CD का क्षैतिज से कोण

P_A, P_P: फलक BC पर Coulomb बल

R_A, R_P: आनत तलों पर परिणामी बल

W_I, W_{III}: वेजों के भार

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\varphi' = 25^\circ$ **(वह मॉडल जिसके साथ मॉड्यूल खुलता है)**
दीवार घर्षण	$\delta = \varphi/2 = 12.5^\circ$

ज्ञात करना है

गुणांक K_A, K_P और वेज कोण α_A, α_P ज्ञात कीजिए।

हल (1/2)

हल

1 उभयनिष्ठ मूल पद (sin 37.5° = 0.6088; sin 25° = 0.4226; cos 12.5° = 0.9763)

$$\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\varphi}{\cos\delta}} = \sqrt{\frac{0.6088\cdot 0.4226}{0.9763}} = \mathbf{0.5133}$$

2 K_A और K_P ($\cos^2 25° = 0.8214$)

$$K_A = \frac{0.8214}{0.9763(1+0.5133)^2} = \mathbf{0.3674} \qquad K_P = \frac{0.8214}{0.9763(1-0.5133)^2} = \mathbf{3.5524}$$

हल (2/2)

हल

3 करणी व्यंजक (tan φ = 0.4663; cot φ = 2.1445; tan δ = 0.2217)

$$[\tan\varphi(\tan\varphi+\cot\varphi)(1+\tan\delta\cot\varphi)]^{0.5}=[0.4663(2.6108)(1.4754)]^{0.5}=1.3402$$

$$1+\tan\delta(\tan\varphi+\cot\varphi)=1.5788$$

4 वेज कोण

$$\alpha_A=25^\circ+\tan^{-1}\frac{1.3402-0.4663}{1.5788}=25^\circ+28.97^\circ=\mathbf{53.97}^\circ$$

$$\alpha_P=-25^\circ+\tan^{-1}\frac{1.3402+0.4663}{1.5788}=-25^\circ+48.85^\circ=\mathbf{23.85}^\circ$$

सक्रिय वेज तीखा (खड़ा) है (α_A = 53.97°), निष्क्रिय वेज चपटा है (α_P = 23.85°)। वेज की ऊँचाई H = B tan α_A = 1.5 × 1.375 = **2.06 m**।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

BC फलक पर क्षैतिज संतुलन

सिद्धांत

केवल अधिभार लें (φ ≠ 0, γ = 0, q ≠ 0); फ़ुटिंग दाब q'_u मानें। फलक BC पर क्षैतिज बल संतुलन में हैं:

$$P_A \cos\delta = P_P \cos\delta$$

एकसमान अधिभार के साथ प्रत्येक बल = दाब गुणांक × अधिभार × H होता है: सक्रिय पक्ष पर q'_u, निष्क्रिय पक्ष पर q:

$$P_A \cos\delta = q'_u K_A H \qquad P_P \cos\delta = q\, K_P H$$

दोनों को बराबर करने पर H कट जाता है और **N_q** दो Coulomb गुणांकों का अनुपात बन जाता है:

$$q'_u = q\,\frac{K_P}{K_A} = q\,N_q \qquad N_q = \frac{K_P}{K_A}$$

NEDEN ORAN?

फ़ुटिंग के नीचे का सक्रिय वेज अपने बगल के निष्क्रिय वेज को बगल की ओर धकेलता है। दोनों पक्ष समान ऊँचाई H पर, समान δ के साथ एक-दूसरे पर टिकते हैं; इसलिए संतुलन केवल दो मृदा प्रतिरोधों के **अनुपात** से निर्धारित होता है।

वेजों का भार $H = B \tan \alpha_A$ के माध्यम से आता है

सिद्धांत

अब केवल भार पर विचार करें ($\varphi \neq 0$, $\gamma \neq 0$, $q = 0$); धारण दाब q''_u है। सक्रिय पक्ष में यह भार के ऊपर अधिभार की तरह आरोपित होता है, निष्क्रिय पक्ष में केवल भार कार्य करता है:

$$P_A \cos\delta = q''_u H K_A + \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_A \qquad P_P \cos\delta = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_P$$

बराबर करने पर:

$$q''_u = \tfrac{1}{2}\gamma H \left(\frac{K_P}{K_A} - 1\right)$$

फलक की ऊँचाई सक्रिय वेज से आती है, $H = B \tan \alpha_A$; इस प्रकार **N_γ** प्राप्त होता है:

$$q''_u = \tfrac{1}{2}\gamma B\, N_\gamma \qquad N_\gamma = \tan\alpha_A \left(\frac{K_P}{K_A} - 1\right)$$

टिप्पणी

N_γ वेज की गहराई पर निर्भर करता है: गुणक **$\tan \alpha_A$** बताता है कि वेज कितना खड़ा है। खड़ा वेज (बड़ा α_A) अधिक गहराई तक जाता है और स्व-भार पद बढ़ जाता है।

अध्यारोपण और N_c

सिद्धांत

अधिभार और भार के पद जोड़े जाते हैं (अध्यारोपण):

$$q_u = q'_u + q''_u = q\,N_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$$

संसंजन के लिए φ = 0 पर Coulomb वेज विश्लेषण $N_c = 6$ देता है; संक्षिप्तता के लिए लेखक ज्ञात संबंध का उपयोग करते हैं:

$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi \qquad q_u = c\,N_c + q\,N_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$$

यह **स्थैतिक** मान इन दो वेजों की धारण क्षमता है; यह Terzaghi, Meyerhof, Hansen या Vesic के Prandtl-प्रकार के गुणांकों से **भिन्न** है (φ = 25°: N_q = 9.67; Prandtl–Reissner 10.66)।

भूकंपीय धारण क्षमता इस मान को **घटाकर** प्राप्त की जाती है; मॉड्यूल दोनों को साथ-साथ देता है।

स्थैतिक गुणांक (δ = φ/2)

φ′	δ	α_A	N_q	N_γ	N_c
5	2.5	42.22	1.53	0.49	6.11
10	5.0	45.19	2.37	1.38	7.77
15	7.5	48.13	3.70	3.02	10.09
20	10.0	51.06	5.90	6.06	13.46
25	12.5	53.97	9.67	11.92	18.59
30	15.0	56.86	16.51	23.76	26.86
35	17.5	59.74	29.89	49.52	41.26
40	20.0	62.60	59.03	111.96	69.16
45	22.5	65.45	133.87	290.89	132.87

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

नींव	**स्ट्रिप (सतत), B = 1.5 m, तल की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17$ kN/m^3**; भूजल स्तर विफलता क्षेत्र में नहीं है**
पिछला उदाहरण	$K_A = 0.3674$, $K_P = 3.5524$, $\alpha_A = 53.97^\circ$

ज्ञात करना है

N_q, N_γ, N_c और स्थैतिक q_u के मान ज्ञात कीजिए।

हल

हल

1 धारण क्षमता गुणांक (tan 53.97° = 1.3748)

$$N_q = \frac{K_P}{K_A} = \frac{3.5524}{0.3674} = \mathbf{9.67} \qquad N_c = \frac{9.67 - 1}{0.4663} = \mathbf{18.59}$$

$$N_\gamma = 1.3748(9.67 - 1) = \mathbf{11.92}$$

2 स्थैतिक धारण क्षमता ($q = \gamma D_f = 17$ kPa)

$$q_u = 30(18.59) + 17(9.67) + \tfrac{1}{2}(17)(1.5)(11.92)$$

$$= 557.8 + 164.4 + 152.0 = \mathbf{874.14}\ \text{kPa}$$

स्थैतिक धारण क्षमता **874.14 kPa**; संसंजन पद 64%, अधिभार 19%, स्व-भार 17%। भूकंप इस मान को घटाएगा (अगला खंड)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

कोण θ और Mononobe–Okabe गुणांक

सिद्धांत

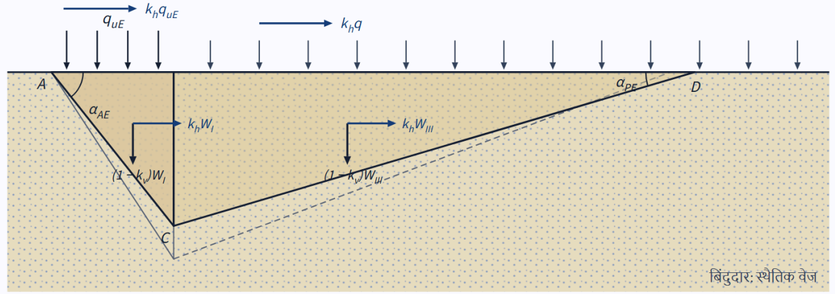
भूकंप के अधीन वही दो वेज **छद्म-स्थैतिक जड़त्व बलों** से हल किए जाते हैं। भार और जड़त्व बल का परिणामी ऊर्ध्वाधर से θ झुकता है; वेजों की गणना φ के स्थान पर α = φ − θ से की जाती है:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v} \qquad \alpha = \varphi - \theta$$

Coulomb गुणांक **Mononobe–Okabe** गुणांक बन जाते हैं:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi-\theta)}{\cos\theta\cos(\delta+\theta)\left[1+\sqrt{\dfrac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\theta)}{\cos(\delta+\theta)}}\right]^2}$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\varphi-\theta)}{\cos\theta\cos(\delta+\theta)\left[1-\sqrt{\dfrac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\theta)}{\cos(\delta+\theta)}}\right]^2}$$



θ = 0 होने पर प्रत्येक भूकंप व्यंजक अपने स्थैतिक रूप में लौट आता है: $K_{AE} = K_A$, $K_{PE} = K_P$।

क्षैतिज त्वरण बढ़ने पर α घटता है: वेज चपटे हो जाते हैं, क्रियाविधि उथली हो जाती है।

प्रश्न

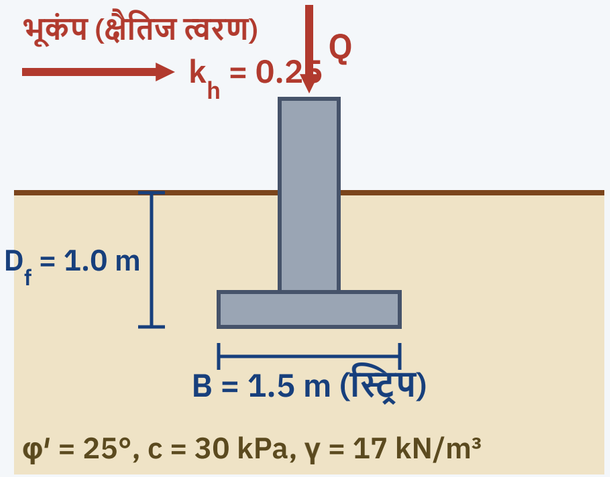
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**स्ट्रिप (सतत), B = 1.5 m, तल की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17$ kN/m^3; **भूजल स्तर विफलता क्षेत्र में नहीं है**
भूकंप	**k_h = 0.25; k_v = 0**
दीवार घर्षण	$\delta = 12.5^\circ$

ज्ञात करना है

θ, α = φ − θ और **K_{AE}, K_{PE}** के मान ज्ञात कीजिए।



हल

हल

1 झुकाव कोण और वर्गमूल पद (sin 37.5° = 0.6088; sin α = 0.1901; cos(δ + θ) = cos 26.54° = 0.8945)

$$\theta = \tan^{-1}\frac{0.25}{1-0} = \mathbf{14.04}^\circ \qquad \alpha = \varphi - \theta = 10.96^\circ$$

$$\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\alpha}{\cos(\delta+\theta)}} = \sqrt{\frac{0.6088\cdot 0.1902}{0.8947}} = \mathbf{0.3597}$$

2 K_{AE} और K_{PE} ($\cos^2\alpha = 0.9638$; $\cos\theta = 0.9701$)

$$K_{AE} = \frac{0.9638}{0.9701(0.8947)(1+0.3597)^2} = \mathbf{0.6006}$$

$$K_{PE} = \frac{0.9638}{0.9701(0.8947)(1-0.3597)^2} = \mathbf{2.7089}$$

भूकंप K_A को 0.367 → 0.601 तक **बढ़ाता** है और K_P को 3.552 → 2.709 तक **घटाता** है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

वेज कोण, गुणांक और q_{uE}

सिद्धांत

$$\alpha_{AE} = \alpha + \tan^{-1}\left\{\frac{\sqrt{(1+\tan^2\alpha)\,[1+\tan(\delta+\theta)\cot\alpha]} - \tan\alpha}{1+\tan(\delta+\theta)(\tan\alpha+\cot\alpha)}\right\}$$

$$\alpha_{PE} = -\alpha + \tan^{-1}\left\{\frac{\sqrt{(1+\tan^2\alpha)\,[1+\tan(\delta-\theta)\cot\alpha]} + \tan\alpha}{1+\tan(\delta+\theta)(\tan\alpha+\cot\alpha)}\right\}$$

संतुलन समान होने के कारण गुणांक वही रूप बनाए रखते हैं:

$$N_{qE} = \frac{K_{PE}}{K_{AE}} \qquad N_{\gamma E} = \tan\alpha_{AE}\left(\frac{K_{PE}}{K_{AE}} - 1\right) \qquad N_{cE} \approx (N_{qE}-1)\cot\varphi$$

$$q_{uE} = c\,N_{cE} + q\,N_{qE} + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_{\gamma E}$$

टिप्पणी

N_{cE} के लिए स्थैतिक संबंध को भूकंप की स्थिति में **आगे ले जाया जाता है** (लेखक सिद्धांत को कणिकीय मृदा के लिए लिखते हैं)। c > 0 होने पर मॉड्यूल इसे एक मान्यता के रूप में सूचित करता है और c = 0 के लिए संवेदनशीलता देता है।

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

नींव	**स्ट्रिप (सतत), B = 1.5 m, तल की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17$ kN/m^3**; भूजल स्तर विफलता क्षेत्र में नहीं है**
भूकंप	**k_h = 0.25; k_v = 0**
पिछला उदाहरण	$\theta = 14.04^\circ,\ K_{AE} = 0.6006,\ K_{PE} = 2.7089$

ज्ञात करना है

α_{AE}, N_{qE}, $N_{\gamma E}$, N_{cE} और उनके स्थैतिक गुणांकों से अनुपात ज्ञात कीजिए।

हल (1/2)

हल

1 α = 10.96°: tan α = 0.1937, cot α = 5.1620, tan(δ + θ) = tan 26.54° = 0.4994

$$\sqrt{(1+\tan^2\alpha)(1+\tan(\delta+\theta)\cot\alpha)} = \sqrt{1.0375(3.5777)} = 1.9267$$

$$1+\tan(\delta+\theta)(\tan\alpha+\cot\alpha) = 3.6745$$

2 भूकंपीय वेज कोण (स्थैतिक α_A = 53.97°)

$$\alpha_{AE} = 10.96^\circ + \tan^{-1}\frac{1.9267-0.1937}{3.6745} = 10.96^\circ + 25.25^\circ = \mathbf{36.21}^\circ$$

हल (2/2)

हल

3 भूकंपीय धारण क्षमता गुणांक (tan α_{AE} = 0.7322)

$$N_{qE} = \frac{2.7089}{0.6006} = \mathbf{4.51} \qquad N_{\gamma E} = 0.7322(4.51 - 1) = \mathbf{2.57} \qquad N_{cE} = \frac{4.51 - 1}{0.4663} = \mathbf{7.53}$$

	N_q	N_γ	N_c
स्थैतिक	9.67	11.92	18.59
भूकंप (k_h = 0.25)	4.51	2.57	7.53
अनुपात	**0.466**	**0.216**	**0.405**

भूकंप **सबसे अधिक** स्व-भार पद को घटाता है ($N_{\gamma E}$ स्थैतिक मान का केवल 22% है); N_{qE} और N_{cE} लगभग आधा बनाए रखते हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

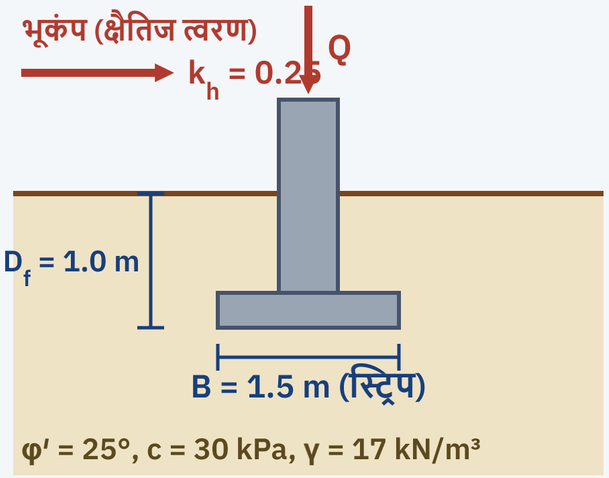
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**स्ट्रिप (सतत), B = 1.5 m, तल की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17$ kN/m^3; **भूजल स्तर विफलता क्षेत्र में नहीं है**
भूकंप	**k_h = 0.25; k_v = 0**
सुरक्षा	**FS = 3**

ज्ञात करना है

q_{uE}, इसका स्थैतिक q_u से अनुपात, सकल और शुद्ध q_{all} तथा अनुमेय भार Q_{all} (प्रति इकाई लंबाई)।



हल

हल

1 भूकंपीय धारण क्षमता (q = 17 kPa)

$$q_{uE} = 30(7.53) + 17(4.51) + \tfrac{1}{2}(17)(1.5)(2.57)$$
$$= 225.83 + 76.67 + 32.77 = \mathbf{335.28}\ \text{kPa}$$

2 अनुमेय दाब और भार

$$q_{all,g} = \frac{335.28}{3} = \mathbf{111.76}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{335.28 - 17}{3} = 106.09\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = q_{all,g}\, B = 111.76(1.5) = \mathbf{167.6}\ \text{kN/m}$$

भूकंप धारण क्षमता को **874.14 kPa** से घटाकर **335.28 kPa** कर देता है, अर्थात् स्थैतिक मान के **38%** तक (मॉड्यूल स्थैतिक q_u भी साथ में देता है)। अनुमेय दाब q_{uE} से लिए जाते हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

भूकंप इसे कितना घटाता है, और सीमा कहाँ है?

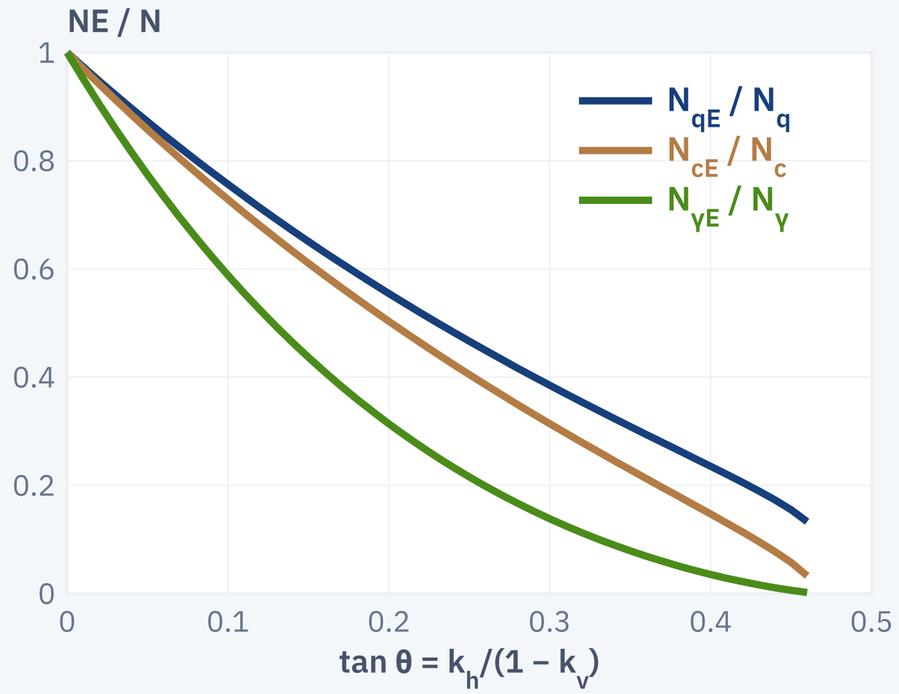
सिद्धांत

स्रोत कटौतियाँ Richards एवं अन्य (1993) के चार्टों से देता है; पृष्ठ उन्हें संवृत-रूप व्यंजकों से आलेखित करता है (बगल में)। **स्व-भार पद सबसे अधिक घटता है**: tan θ = 0.2 पर $N_{\gamma E}$ स्थैतिक मान का लगभग एक-तिहाई रह जाता है; N_{qE} और N_{cE} लगभग आधे रह जाते हैं।

जब θ → φ, तब α = φ − θ → 0: सक्रिय वेज चपटा हो जाता है और तीनों गुणांक शून्य की ओर जाते हैं; घर्षणशील मृदा में क्षैतिज त्वरण के विरुद्ध प्रतिरोध का कोई आरक्षित भंडार नहीं रहता।

सिद्धांत केवल तभी मान्य है जब $k_h/(1 - k_v) < \tan \varphi$ हो; θ ≥ φ होते ही मॉड्यूल **रुक जाता है**। यह अनुपात वही है जिस पर सिद्धांत भूकंपीय सेटलमेंट के आरंभ होने का पूर्वानुमान देता है।

जब θ, φ के निकट पहुँचता है (θ > 0.85φ), मॉड्यूल चेतावनी देता है: यह डिज़ाइन क्षमता नहीं, विधि की सीमा है।



φ′ = 25°, δ = φ/2 के लिए संवृत-रूप व्यंजकों से आरेखित किया गया है।

प्रश्न

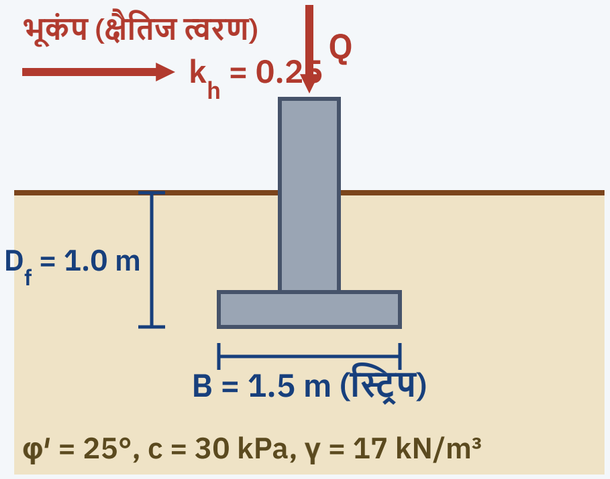
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**स्ट्रिप (सतत), B = 1.5 m, तल की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17$ kN/m^3; **भूजल स्तर विफलता क्षेत्र में नहीं है**
भूकंप	**k_v = 0; k_h = 0, 0.05, … 0.45**

ज्ञात करना है

प्रत्येक k_h के लिए **θ, N_{qE}, $N_{\gamma E}$, N_{cE}, q_{uE}** और q_{uE}/q_u के मान ज्ञात कीजिए; k_h की वह सीमा निकालिए जिस पर मॉड्यूल रुक जाता है।



हल (1/2)

हल

k_h	θ (°)	N_{qE}	$N_{\gamma E}$	N_{cE}	q_{uE} (kPa)	q_{uE}/q_u
0.00	0.0	9.67	11.92	18.59	**874**	%100
0.05	2.9	8.44	9.23	15.94	**739**	%85
0.10	5.7	7.31	7.01	13.54	**620**	%71
0.15	8.5	6.29	5.20	11.35	**514**	%59
0.20	11.3	5.36	3.74	9.36	**420**	%48
0.25	14.0	4.51	2.57	7.53	**335**	%38
0.30	16.7	3.72	1.65	5.84	**260**	%30
0.35	19.3	2.99	0.94	4.26	**191**	%22
0.40	21.8	2.28	0.42	2.74	**126**	%14
0.45	24.2	1.50	0.07	1.07	**59**	%7

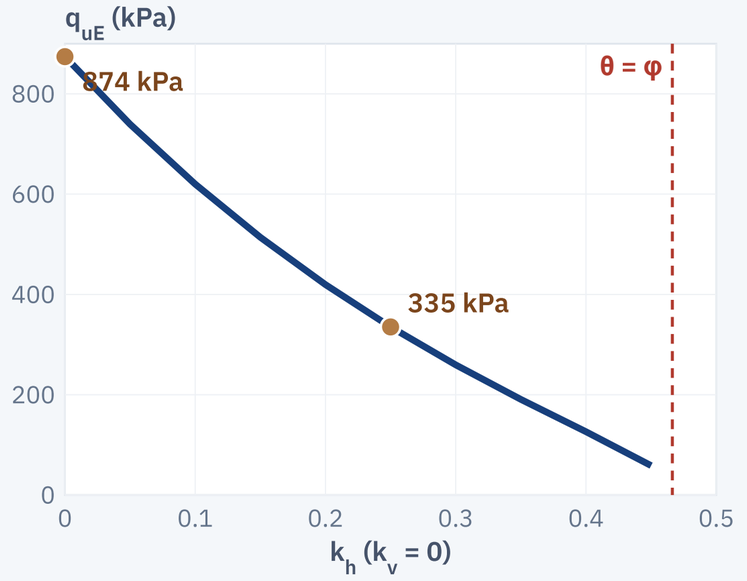
हल (2/2)

हल

1 वैधता सीमा: θ < φ

$$\frac{k_h}{1-k_v} < \tan\varphi \;\Rightarrow\; k_{h,\max} = (1-k_v)\tan 25^\circ = \mathbf{0.4663}$$

k_h = 0.25 पर q_{uE} स्थैतिक मान का 38% रह जाता है; **k_h = 0.45 पर केवल 7%**। यदि k_h = 0.47 दर्ज किया जाए, तो मॉड्यूल रुक जाता है (θ ≥ φ)। वक्र आरंभ में तीव्रता से गिरता है: **छोटे त्वरण भी** बड़ी हानि पैदा करते हैं (k_h = 0.05 → 85%)।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

नींव	**स्ट्रिप (सतत), B = 1.5 m, तल की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17$ kN/m^3**; भूजल स्तर विफलता क्षेत्र में नहीं है**
भूकंप	**k_h = 0.25; k_v = 0, 0.1, 0.2, 0.3**

ज्ञात करना है

प्रत्येक k_v के लिए **θ** और **q_{uE}** के मान ज्ञात करें।

हल

हल

1 $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$; उदाहरण के लिए $k_v = 0.2$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{0.25}{1-0.2} = \tan^{-1}(0.3125) = \mathbf{17.35}^\circ$$

k_v	θ (°)	N_{qE}	$N_{\gamma E}$	N_{cE}	q_{uE} (kPa)	q_{uE}/q_u
0.0	14.04	4.51	2.57	7.53	**335**	%38
0.1	15.52	4.07	2.03	6.57	**292**	%33
0.2	17.35	3.54	1.45	5.44	**242**	%28
0.3	19.65	2.88	0.86	4.04	**181**	%21

k_v bढ़ने पर $(1 - k_v)$ घटता है, θ बढ़ता है और q_{uE} घटता है: $k_v = 0.2$ होने पर q_{uE} 335 से घटकर 242 kPa रह जाता है (28% की कमी)। ऊर्ध्वाधर त्वरण की उपेक्षा करना **असुरक्षित पक्ष** में रहना है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

भूकंपीय धारण क्षमता से अनुमेय दाब

सिद्धांत

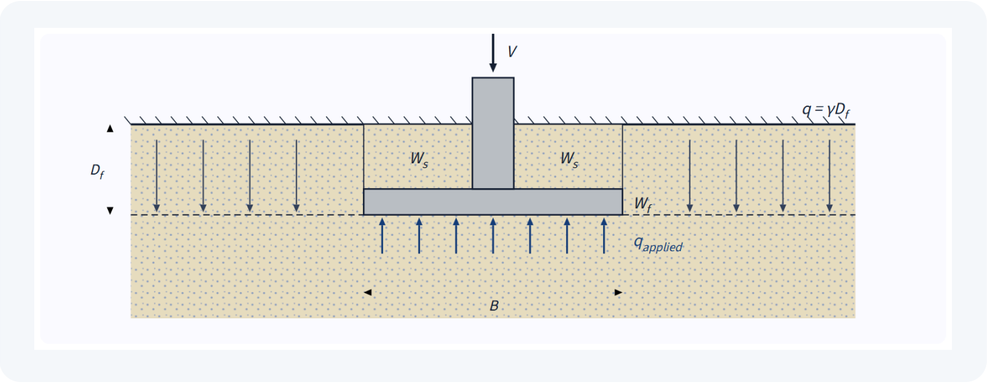
मॉड्यूल अनुमेय दाब **भूकंपीय धारण क्षमता q_{uE}** से लेता है; सकल और शुद्ध दाब को अलग रखता है और साथ में स्थैतिक q_u भी देता है:

$$q_{u,net} = q_{uE} - q \qquad q_{all,g} = \frac{q_{uE}}{FS} \qquad q_{all,n} = \frac{q_{u,net}}{FS}$$

प्रयुक्त दाब q_{app} भूकंप भार स्थिति में आधार पर **ऊर्ध्वाधर सकल दाब** है (V/B; स्तंभ भार + फ़ुटिंग + मृदा भार)। फ़ुटिंग निम्न शर्तों पर स्वीकार्य है:

$$q_{apply} \le q_{all,g} \quad (FS_{\text{वास्तविक}} = q_{uE}/q_{apply}) \qquad q_{apply} - q \le q_{all,n}$$

अनुमेय भार प्रति इकाई लंबाई $Q_{all} = q_{all,g}\, B$। भूकंप की क्षैतिज जड़ता k_h के माध्यम से पहले ही गणना में आ जाती है; स्वतंत्र क्षैतिज बल, आघूर्ण या उत्केंद्रता इस गणना के **दायरे से बाहर** हैं।



प्रश्न

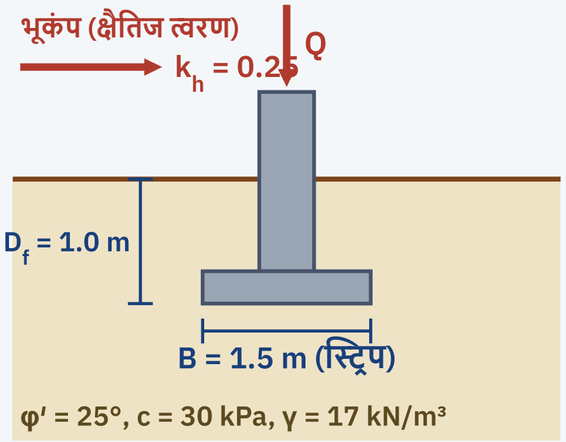
उदाहरण

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति में तीन शर्तों (सकल, FS_{actual}, शुद्ध) की जाँच करें।

दिया गया है

परिणाम (उदाहरण 5)	**q_{uE} = 335.28 kPa; q = 17 kPa; FS = 3**
आरोपित दाब	**भूकंप भार स्थिति में (a) q_{app} = 100 kPa · (b) q_{app} = 150 kPa**



हल

हल

1 (a) q_{app} = 100 kPa

$$100 \le q_{all,g} = 111.76 \;\Rightarrow\; \textbf{मान्य} \qquad FS_{\text{वास्तविक}} = \frac{335.28}{100} = \mathbf{3.35} \ge 3$$

$$100 - 17 = 83 \le q_{all,n} = 106.09 \;\Rightarrow\; \textbf{मान्य}$$

2 (b) q_{app} = 150 kPa

$$150 > q_{all,g} = 111.76 \;\Rightarrow\; \textbf{पूरा नहीं होता} \qquad FS_{\text{वास्तविक}} = \frac{335.28}{150} = \mathbf{2.24} < 3$$

$$150 - 17 = 133 > q_{all,n} = 106.09 \;\Rightarrow\; \textbf{पूरा नहीं होता}$$

भूकंप भार के अंतर्गत केवल **$q_{app} \le 111.8$ kPa** वाली फ़ुटिंग स्वीकार्य है। वही फ़ुटिंग स्थैतिक स्थिति में 291 kPa तक भार वहन करती ($q_{all,g}$ = 291.4)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

नींव	**स्ट्रिप (सतत), B = 1.5 m, तल की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 17$ kN/m^3**; भूजल स्तर विफलता क्षेत्र में नहीं है**
भूकंप	**k_h = 0.25; k_v = 0**
तुलना	**c = 30 kPa और c = 0**

ज्ञात करना है

स्थैतिक और भूकंपीय धारण क्षमता c = 30 और c = 0 के लिए ज्ञात कीजिए; संसंजन पदों के अंश की व्याख्या कीजिए।

हल

हल

	$c\,N_c$	$q\,N_q$	$\frac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$	कुल
स्थैतिक, c = 30	557.8	164.4	152.0	**874.1**
भूकंप, c = 30	225.8	76.7	32.8	**335.3**
स्थैतिक, c = 0	0	164.4	152.0	**316.4**
भूकंप, c = 0	0	76.7	32.8	**109.4**

भूकंप की स्थिति में संसंजन पद q_{uE} का **67%** है; $N_{cE} = (N_{qE} - 1)\cot\varphi$ की मान्यता परिणाम को स्पष्ट रूप से प्रभावित करती है। सुरक्षित पक्ष की ओर रखी गई संवेदनशीलता के रूप में c = 0 के लिए q_{uE} = **109.4 kPa** है (c = 30 के साथ 335.3 kPa)।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

दो Coulomb वेज (सक्रिय ABC, निष्क्रिय BCD), बीच में दीवार घर्षण $\delta = \varphi/2$; $H = B \tan \alpha_A$; प्रत्येक गुणांक बंद रूप में

स्थैतिक: $N_q = K_P/K_A$, $N_\gamma = \tan \alpha_A(K_P/K_A - 1)$, $N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$; $q_u = cN_c + qN_q + \tfrac{1}{2}\gamma B N_\gamma$ (उदाहरण: 874.14 kPa)

भूकंप: $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$, $\alpha = \varphi - \theta$; K_{AE}, K_{PE} Mononobe–Okabe से; N_{qE}, $N_{\gamma E}$, N_{cE} उसी रूप में; q_{uE} = 335.28 kPa (स्थैतिक का 38%)

स्व-भार पद सबसे अधिक घटता है ($N_{\gamma E}/N_\gamma = 0.22$); N_{qE} और N_{cE} लगभग आधा बनाए रखते हैं

सीमा: $k_h/(1 - k_v) < \tan \varphi$; $\theta \geq \varphi$ होने पर मॉड्यूल रुक जाता है, $\theta > 0.85\varphi$ चेतावनी देता है; k_v की उपेक्षा करने पर परिणाम असुरक्षित पक्ष में रहता है

जाँच: अनुमेय दाब q_{uE} से; $q_{appl} \leq q_{all,g}$, FS_{actual} और शुद्ध; $Q_{all} = q_{all,g} B$

संदर्भ

Richards, R., Elms, D.G. and Budhu, M. (1993). Seismic bearing capacity and settlements of foundations. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 119(4), 662–674.

Das, B.M. (2017). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement, 3rd ed. CRC Press — अनुभाग 6.3.1; यह पृष्ठ इसके व्युत्पत्ति के क्रम का अनुसरण करता है।

Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929). On the determination of earth pressures during earthquakes. Proc. 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).

चित्र इस पृष्ठ के समीकरणों के अनुसार पैमाने पर खींचे गए हैं।

टिप्पणी

कुछ चित्र GeoTerva के सिद्धांत पृष्ठ से लिए गए हैं; सभी संख्यात्मक उदाहरण मॉड्यूल की अपनी गणना लाइब्रेरी से तैयार किए गए हैं, मॉड्यूल वही मान देता है।

GeoTerva

ऑनलाइन भू-तकनीकी गणनाएँ

सिद्धांत से अनुप्रयोग तक

इस व्याख्यान के उदाहरण फ़ुटिंग की गणना GeoTerva में चरण-दर-चरण करें: मॉड्यूल इसी मॉडल के साथ खुलता है।

मॉड्यूल खोलें →

सिद्धांत पृष्ठ →

फ़ोन पर खोलें

नमूना मॉड्यूल के लिए पंजीकरण आवश्यक नहीं है।