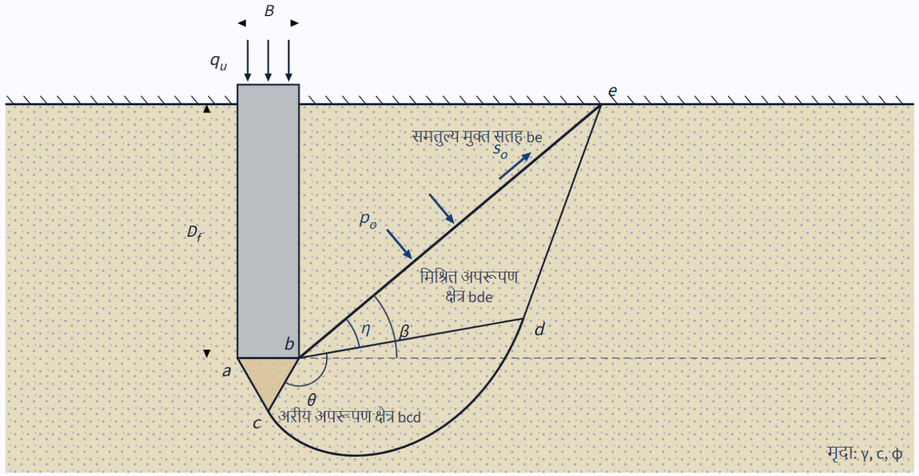
GeoTerva

भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · नींव

Meyerhof धारण क्षमता: सामान्य समीकरण

व्याख्यान: Meyerhof के सर्पण-रेखा जाल से धारण क्षमता गुणांकों तक, आकृति, गहराई और झुकाव सुधारों से भूजल तक; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।

सर्पण रेखा जाल | $N_c \cdot N_q \cdot N_\gamma$ | आकृति · गहराई · झुकाव | भूजल | हल किए गए उदाहरण



परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

- **सामान्य धारण क्षमता समीकरण** के तीन पदों को और प्रत्येक पद के आकृति, गहराई और झुकाव गुणांकों को पहचानना
- Meyerhof के **सर्पण रेखा जाल**, समतुल्य मुक्त सतह तथा N_c, N_q गुणांकों की व्युत्पत्ति का अनुसरण करना
- सतही फ़ुटिंग के लिए **Reissner (N_q), Prandtl (N_c)** और Vesic (N_γ) गुणांकों की गणना करना
- **De Beer आकृति**, **Hansen गहराई** और **Meyerhof झुकाव** गुणांकों को लागू करना
- अनपवाहित ($\varphi = 0$) स्थिति और **भूजल** की तीन स्थितियों को संभालना
- सकल और शुद्ध अनुमेय दाब ज्ञात करना और उसकी **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, मॉड्यूल का प्रारंभिक मॉडल: रेत में 1.2 m × 1.2 m वर्गाकार फ़ुटिंग, D_f = 1 m, भूजल 0.5 m पर, भार ऊर्ध्वाधर से 10° झुका हुआ।

तीन पद, प्रत्येक अपने गुणांकों के साथ

सिद्धांत

मॉड्यूल **सामान्य धारण क्षमता समीकरण** की गणना करता है: Terzaghi समीकरण के तीन पद (संसंजन, अधिभार, स्व-भार) और प्रत्येक पद के लिए **फ़ुटिंग की आकृति**, **गहराई** तथा **भार के झुकाव** का गुणांक:

$$q_u = c\,N_c\,F_{cs}F_{cd}F_{ci} + q\,N_q\,F_{qs}F_{qd}F_{qi} + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma\,F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

N_c, N_q Meyerhof (1951) के सिद्धांत से आते हैं; यह पृष्ठ उसे **चरण-दर-चरण** व्युत्पन्न करता है। N_γ के लिए ट्रायल विधि बताई गई है, जबकि मॉड्यूल Vesic का संवृत-रूप प्रयोग करता है।

फ़ुटिंग का आधार **खुरदरा** है; उसके नीचे की मृदा समांग और बहुत गहरी है; सामर्थ्य $s = c + \sigma' \tan\varphi$। भार केंद्रीय है; झुके हुए भार को भार-झुकाव गुणांकों से सँभाला जाता है।

Terzaghi से अंतर: यह केवल उथली नींवों के लिए नहीं है; आधार स्तर के ऊपर की मृदा विफलता क्रियाविधि में **तुल्य मुक्त सतह** के माध्यम से सम्मिलित होती है। समीकरण में यह **गहराई गुणांकों** के रूप में दिखाई देता है: मॉड्यूल D_f/B के लिए कोई सीमा नहीं लगाता।

संकेतन

c: संसंजन, φ′: आंतरिक घर्षण कोण

$q = \gamma D_f$: आधार स्तर पर अधिभार

γ: आधार के नीचे मृदा का इकाई भार

B: फ़ुटिंग की छोटी भुजा, L: लंबी भुजा

$F_{\cdot s}$ आकृति, $F_{\cdot d}$ गहराई, $F_{\cdot i}$ झुकाव

वेज 45° + φ/2, रेडियल क्षेत्र और मिश्रित क्षेत्र

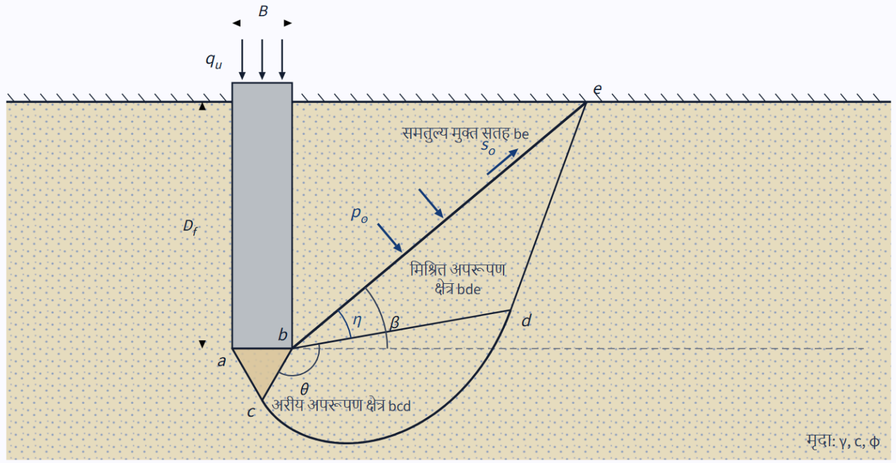
सिद्धांत

Meyerhof (1951) ने चित्र में दिखाई गई विफलता सतह को अपनाया। फ़ुटिंग के नीचे, जैसा प्रयोग भी दर्शाते हैं, एक **प्रत्यास्थ वेज abc** होता है; इसकी भुजाएँ φ से नहीं, बल्कि **45° + φ/2** से झुकी होती हैं (Terzaghi ने φ लिया था)। इसके साथ लगा हुआ **त्रिज्यीय क्षेत्र bcd** है, जो लघुगणकीय सर्पिल $r = r_0 e^{\theta \tan\varphi}$ के चाप से घिरा है; उसके आगे Terzaghi के निष्क्रिय Rankine क्षेत्र के स्थान पर **मिश्रित क्षेत्र bde** आता है, जिसमें सर्पण त्रिज्यीय और समतलीय के बीच की प्रकृति का होता है।

bde क्षेत्र के ऊपर की मृदा की उपेक्षा नहीं की जाती: उसका प्रभाव be समतल पर **समतुल्य मुक्त सतह** प्रतिबलों p_o (अभिलंब) और s_o (अपरूपण) द्वारा दर्शाया जाता है। समतल क्षैतिज से β कोण पर झुका है; bd उससे η कोण नीचे है।

धारण क्षमता फिर **अध्यारोपण** से निर्मित की जाती है: c और p_o का योगदान (N_c, N_q) तथा γ का योगदान (N_γ):

$$q_u = c\,N_c + p_o\,N_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$$



आंशिक गतिशीलन m और मोर वृत्त

सिद्धांत

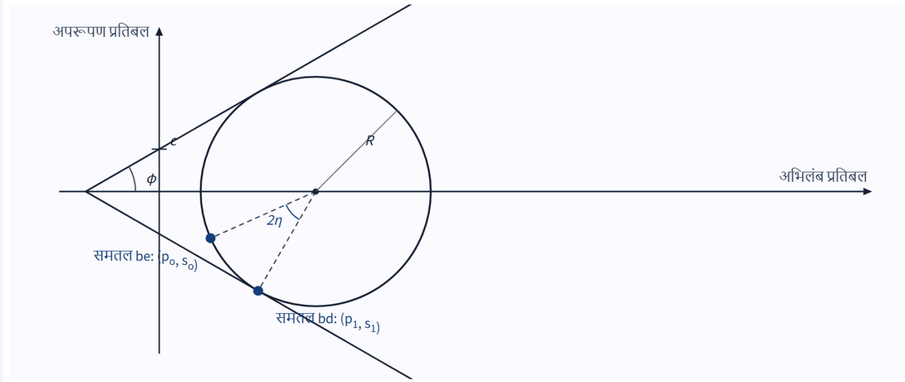
तुल्य मुक्त सतह पर अपरूपण सामर्थ्य केवल **आंशिक रूप से** संघटित होती है: Meyerhof ने अपरूपण प्रतिबल को सामर्थ्य के एक अंश के रूप में लिखा। रैखिक bde क्षेत्र में, हालाँकि, मृदा प्लास्टिक साम्य में होती है: तल bd पर पूरी सामर्थ्य संघटित हो जाती है:

$$0 \le m \le 1: \quad s_o = m\,(c + p_o \tan\varphi) \qquad s_1 = c + p_1 \tan\varphi$$

$$R = \frac{c + p_1 \tan\varphi}{\cos\varphi} \qquad \cos(2\eta + \varphi) = \frac{m\,(c + p_o \tan\varphi)\cos\varphi}{c + p_1 \tan\varphi}$$

bde क्षेत्र में प्रतिबल स्थिति **एकल Mohr वृत्त** है (बगल में): बिंदु bd आवरण पर है, और बिंदु be वृत्त पर 2η आगे है। यह कोण η को m से जोड़ता है।

दो सीमाएँ: **m = 0** ⇒ cos(2η + φ) = 0, **η = 45° − φ/2**; **m = 1** ⇒ cos(2η + φ) = cosφ, **η = 0**।



N_c और N_q कैसे प्राप्त होते हैं?

सिद्धांत

फलक bc पर त्रिज्य क्षेत्र भी विफलता की अवस्था में है: $s'_p = c + p'_p \tan\varphi$। ध्रुव b के परितः आघूर्णों से (केवल सर्पिल पर अभिलंब प्रतिबल और संसंजन शेष रहते हैं):

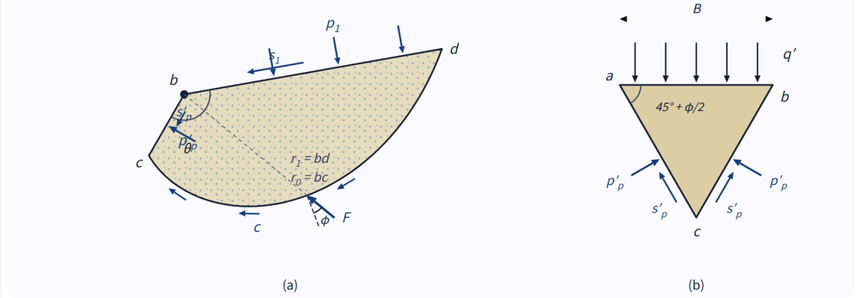
$$p'_p = p_1\, e^{2\theta \tan\varphi} + c \cot\varphi \left(e^{2\theta \tan\varphi} - 1\right)$$
$$s'_p = \left(c + p_1 \tan\varphi\right) e^{2\theta \tan\varphi}$$

फिर वेज abc का ऊर्ध्वाधर संतुलन (प्रत्येक फलक की लंबाई B/2 / cos(45° + φ/2)):

$$q' = p'_p + s'_p \cot\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

सभी पदों को मिलाने पर c तथा p_o के पद पृथक हो जाते हैं:

$$q' = c\, N_c + p_o\, N_q$$
$$N_q = \frac{(1 + \sin\varphi)\, e^{2\theta \tan\varphi}}{1 - \sin\varphi\, \sin(2\eta + \varphi)} \qquad N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$



β और m गुणांक इसे कैसे बढ़ाते हैं?

सिद्धांत

गुणांक φ′ पर, m के माध्यम से η पर, और समतुल्य मुक्त सतह के ढाल β के माध्यम से सर्पिल द्वारा घेरे गए **कोण θ** पर निर्भर करते हैं (चित्र 1 की ज्यामिति):

$$\theta = 135^\circ + \beta - \eta - \frac{\varphi}{2}$$

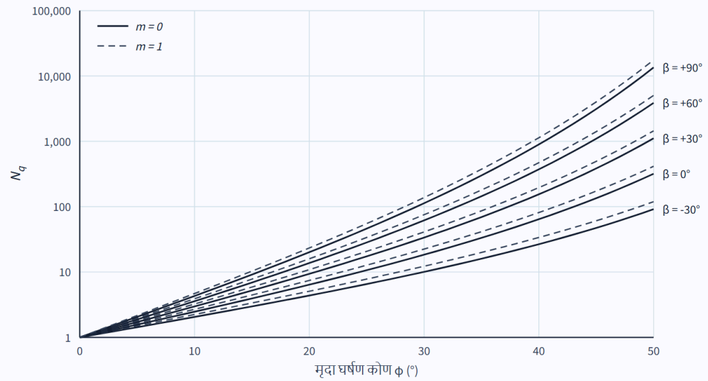
$$m = 0:\ \theta = 90^\circ + \beta \qquad m = 1:\ \theta = 135^\circ + \beta - \tfrac{\varphi}{2}$$

गहरी नींव की समतुल्य मुक्त सतह अधिक तीव्र है, β अधिक बड़ा है; गुणांक इसके साथ तेज़ी से बढ़ते हैं (बगल में)।

सतही फ़ुटिंग (Terzaghi की व्युत्पत्ति की शर्त): β = 0, m = 0 ⇒ θ = π/2 और sin(2η + φ) = 1:

$$N_q = e^{\pi \tan\varphi} \tan^2\left(45^\circ + \tfrac{\varphi}{2}\right) \qquad N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$

ये **Reissner का (1924) N_q** और **Prandtl का (1921) N_c** हैं; मॉड्यूल इन्हीं का उपयोग करता है। $p_o = \gamma D_f = q$ लेने पर c और q पद $cN_c + qN_q$ बन जाते हैं; तल के ऊपर की मृदा β और m के स्थान पर **गहराई गुणांकों** के माध्यम से गणना में आती है। $\varphi \to 0$ पर $N_c \to \pi + 2 = 5.14$।



प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\varphi' = 30^\circ,\ c = 0$
स्थितियाँ	**(a) सतही फ़ुटिंग: β = 0, m = 0 · (b) β = 15°, m = 0 · (c) β = 15°, m = 1**
सूत्र	$\theta = 135^\circ + \beta - \eta - \varphi/2,\quad N_q = \frac{(1+\sin\varphi)e^{2\theta\tan\varphi}}{1-\sin\varphi\sin(2\eta+\varphi)}$

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति के लिए **η, θ, N_q** और N_c के मान ज्ञात कीजिए। क्या सतही फ़ुटिंग में N_q Reissner के संवृत रूप से मेल खाता है?

हल (1/2)

हल

1 (a) सतही फ़ुटिंग: m = 0 ⇒ η = 45° − φ/2 = 30°; θ = 135° + 0 − 30° − 15° = 90° (Reissner के $e^{\pi \tan\varphi}\tan^2(45° + \varphi/2)$ मान के समान)

$$N_q = \frac{1.5\, e^{2(\pi/2)(0.5774)}}{1 - 0.5 \sin 90^\circ} = \frac{1.5(6.134)}{0.5} = \mathbf{18.40}$$

2 (b) β = 15°, m = 0: η = 30°; θ = 135° + 15° − 30° − 15° = 105°; sin(2η + φ) = 1

$$N_q = \frac{1.5\, e^{2(1.8326)(0.5774)}}{0.5} = \mathbf{24.90} \qquad N_c = (24.90 - 1)\cot 30^\circ = \mathbf{41.39}$$

3 (c) β = 15°, m = 1: η = 0; θ = 135° + 15° − 0 − 15° = 135°; sin(2η + φ) = sin30° = 0.5

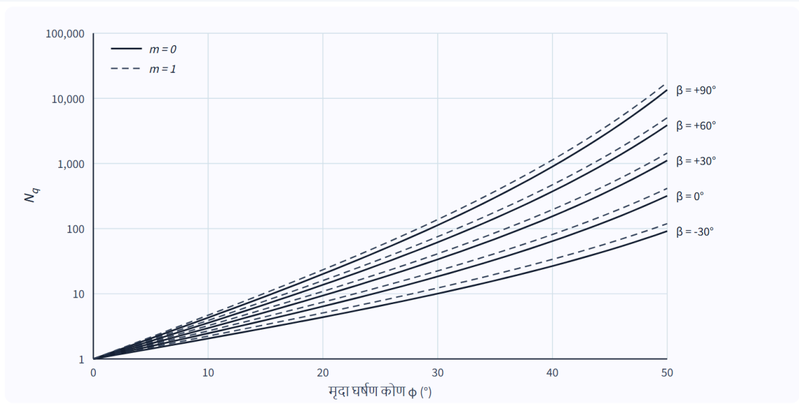
$$N_q = \frac{1.5\, e^{2(2.3562)(0.5774)}}{1 - 0.5(0.5)} = \frac{1.5(15.19)}{0.75} = \mathbf{30.38} \qquad N_c = \mathbf{50.89}$$

हल (2/2)

हल

स्थिति	η (°)	θ (°)	N_q	N_c
(a) β = 0, m = 0 (Reissner/Prandtl)	30	90	18.40	30.14
(b) β = 15°, m = 0	30	105	24.90	41.39
(c) β = 15°, m = 1	0	135	30.38	50.89

सतही फ़ुटिंग संवृत-रूप के **समान** है (18.40)। β बढ़ने और संघटन बढ़ने पर गुणांक **तेज़ी से बढ़ते हैं**: (a) → (c) में N_q 1.65 गुना हो जाता है। मॉड्यूल इस वृद्धि को विफलता क्रियाविधि से नहीं, बल्कि **गहराई गुणांकों** से ध्यान में लेता है (आगे के खंड)।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

N_γ: परीक्षण विधि, Meyerhof 1963 और Vesic

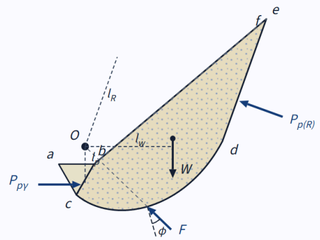
सिद्धांत

Terzaghi की तरह N_γ का कोई संवृत रूप नहीं है; इसे **ट्रायल (परीक्षण)** द्वारा ज्ञात किया जाता है: φ, β और m चुने जाते हैं; θ ज्ञात किया जाता है; परीक्षण केंद्र O से लॉग स्पाइरल खींची जाती है; पिंड bcdf के लिए भार W और df पर Rankine निष्क्रिय बल $P_{p(R)}$ लिया जाता है; O के परितः आघूर्णों से bc पर निष्क्रिय बल:

$$P_{p\gamma} = \frac{W\, l_w + P_{p(R)}\, l_R}{l_p}$$

O को बदलते हुए सबसे छोटा $P_{p\gamma}$ प्राप्त किया जाता है; वेज abc के स्वयं के भार के साथ:

$$q'' = \frac{\gamma B}{2}\left[\frac{4P_{p\gamma}\sin(45^\circ+\varphi/2)}{\gamma B^2} - \tfrac{1}{2}\tan\left(45^\circ+\tfrac{\varphi}{2}\right)\right] = \tfrac{1}{2}\gamma B\, N_\gamma$$



$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1.4\varphi)$$ (Meyerhof 1963)

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$$ (Vesic 1973, **यहाँ**)

N_c, N_q, N_γ केवल φ′ पर निर्भर करते हैं

सिद्धांत

दोनों स्रोत N_c और N_q के लिए **समान** हैं; N_γ के लिए भिन्न हैं: N_γ वह गुणांक है जो वेज के आकार की धारणा पर सर्वाधिक निर्भर करता है। φ = 30° पर Vesic का मान 22.40 और Meyerhof (1963) का 15.67 है। Meyerhof के N_γ के साथ स्व-भार पद, और इस कारण घर्षणयुक्त मृदा का q_u, कम आता।

$$N_q = e^{\pi \tan\varphi} \tan^2\left(45^\circ + \tfrac{\varphi}{2}\right) \qquad N_c = (N_q - 1)\cot\varphi \qquad N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$$

गुणांक

φ (°)	N_c	N_q	N_γ	N_γ (M63)
0	5.14	1.00	0.00	0.00
10	8.34	2.47	1.22	0.37
20	14.83	6.40	5.39	2.87
26	22.25	11.85	12.54	8.00
30	30.14	18.40	22.40	15.67
32	35.49	23.18	30.21	22.02
35	46.12	33.30	48.03	37.15
40	75.31	64.20	109.41	93.69

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\varphi' = 32^\circ$ **(tan 32° = 0.6249)**
विधि	**Reissner, Prandtl, Vesic; तुलना के लिए Meyerhof (1963)**

ज्ञात करना है

N_q, N_c, N_γ के मान संवृत रूप सूत्रों से ज्ञात कीजिए; Vesic के N_γ की Meyerhof (1963) से तुलना कीजिए।

हल

हल

1 Reissner N_q

$$N_q = e^{\pi \tan 32^\circ} \tan^2(61^\circ) = e^{1.9631}(3.2546) = \mathbf{23.18}$$

2 Prandtl N_c

$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi = \frac{23.18 - 1}{0.6249} = \mathbf{35.49}$$

3 Vesic N_γ (मॉड्यूल द्वारा प्रयुक्त) और Meyerhof (1963)

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi = 2(23.18 + 1)(0.6249) = \mathbf{30.21}$$

$$N_\gamma^{M63} = (N_q - 1)\tan(1.4\varphi) = (23.18 - 1)\tan 44.8^\circ = 22.02$$

Vesic का N_γ Meyerhof के मान से **37%** अधिक है (φ′ = 32°)। सारणी के मानों से मेल खाता है: N_c = 35.49, N_q = 23.18, N_γ = 30.21।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

De Beer: गैर-स्ट्रिप फ़ुटिंग

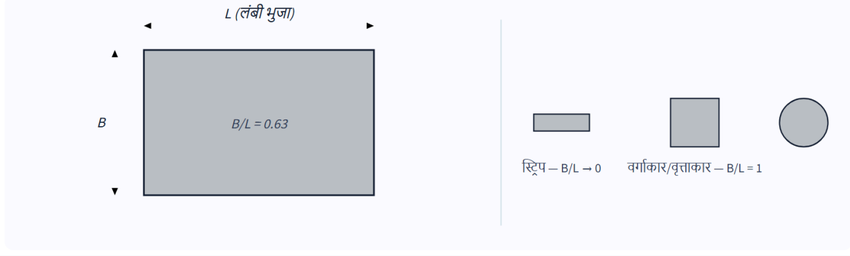
सिद्धांत

व्युत्पत्ति सतत (स्ट्रिप) फ़ुटिंग के लिए है (समतल विकृति)। आयताकार फ़ुटिंग में विफलता त्रि-आयामी होती है: मृदा वेज के सिरों से और पार्श्वों से भी गति कर सकती है। **De Beer** (1970) द्वारा प्रत्येक पद को छोटी भुजा और लंबी भुजा के अनुपात B/L से संशोधित किया जाता है:

$$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L}\frac{N_q}{N_c} \qquad F_{qs} = 1 + \frac{B}{L}\tan\varphi \qquad F_{\gamma s} = 1 - 0.4\,\frac{B}{L}$$

स्ट्रिप फ़ुटिंग में (B/L → 0) तीनों गुणांक 1 होते हैं; समीकरण समतल विकृति रूप में लौट आता है।

वर्गाकार फ़ुटिंग में B/L = 1: N_γ पद 40% घटता है ($F_{\gamma s}$ = 0.6), जबकि q और c पद बढ़ते हैं।



प्रश्न

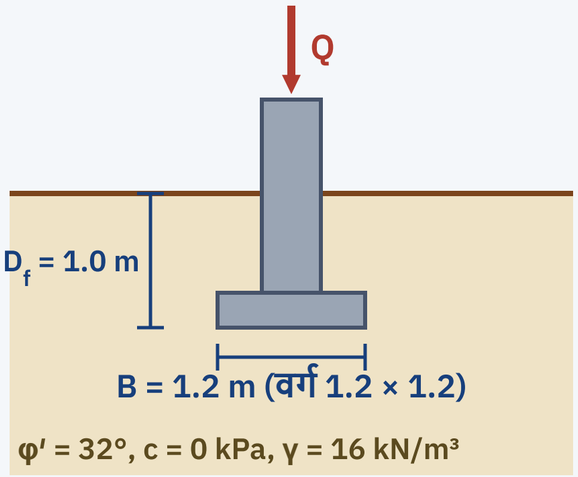
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\varphi' = 32^\circ$: $N_c = 35.49,\ N_q = 23.18$ **(उदाहरण 2)**
नींव	**वर्गाकार B = L = 1.2 m; तुलना: B/L = 0.5 और स्ट्रिप**

ज्ञात करना है

वर्गाकार फ़ुटिंग के लिए F_{cs}, F_{qs}, $F_{\gamma s}$ के मान ज्ञात कीजिए; B/L = 0.5 के लिए भी यही गुणांक ज्ञात कीजिए।



हल

हल

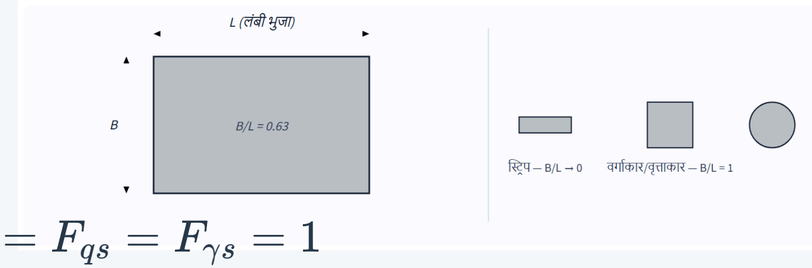
1 वर्गाकार फ़ुटिंग (B/L = 1)

$$F_{cs} = 1 + (1)\frac{23.18}{35.49} = \mathbf{1.653}$$
$$F_{qs} = 1 + (1)\tan 32^\circ = \mathbf{1.625}$$
$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4(1) = \mathbf{0.600}$$

2 B/L = 0.5 और स्ट्रिप

$$B/L = 0.5: \; F_{cs} = 1.327,\; F_{qs} = 1.312,\; F_{\gamma s} = 0.800$$

स्ट्रिप : $F_{cs} = F_{qs} = F_{\gamma s} = 1$



वर्गाकार फ़ुटिंग में q पद **62%** बढ़ता है, स्व-भार पद 40% घटता है। B/L घटने पर गुणांक स्ट्रिप मान (1) की ओर जाते हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

Hansen: आधार के ऊपर की मृदा का योगदान

सिद्धांत

Terzaghi के सिद्धांत में नींव-तल के ऊपर की मृदा केवल **मृत भार** मानी जाती है। Meyerhof के सिद्धांत में, इसके विपरीत, यह समतुल्य मुक्त सतह के माध्यम से **प्रतिरोध भी प्रदान करती है**; सामान्य समीकरण में इसे D_f/B के साथ बढ़ने वाले **Hansen (1970) गहराई गुणांकों** द्वारा ध्यान में लिया जाता है:

$$D_f/B \le 1:\ F_{qd} = 1 + 2\tan\varphi(1-\sin\varphi)^2\frac{D_f}{B} \qquad D_f/B > 1:\ F_{qd} = 1 + 2\tan\varphi(1-\sin\varphi)^2\tan^{-1}\frac{D_f}{B}$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1-F_{qd}}{N_c\tan\varphi}\ (\varphi>0) \qquad F_{cd} = 1 + 0.4\,k\ (\varphi=0) \qquad F_{\gamma d} = 1$$

k = D_f/B (≤ 1) या $\tan^{-1}(D_f/B)$ (> 1, रेडियन)। D_f/B = 1 के आगे आर्कटैन्जेंट गुणांकों को धीरे-धीरे बढ़ाता रहता है: **Terzaghi के विपरीत इस समीकरण को गहराई सीमा की आवश्यकता नहीं है।**

प्रश्न

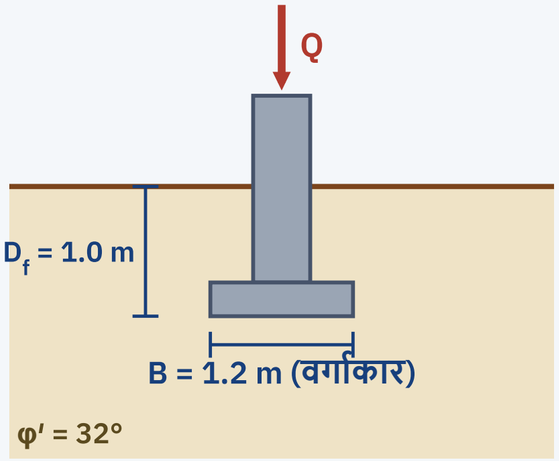
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\varphi' = 32^\circ$: $N_c = 35.49$, $\tan\varphi' = 0.6249$, $(1 - \sin 32^\circ)^2 = 0.2210$
नींव	**B = 1.2 m; D_f = 1.0 m (उदाहरण) और तुलना के लिए D_f = 2.4 m**
अनपवाहित	**φ = 0: B = 2 m, D_f = 1.5 m**

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति के लिए **F_{qd}**, **F_{cd}** और $F_{\gamma d}$ के मान ज्ञात कीजिए।



हल

हल

1 $D_f/B = 1.0/1.2 = 0.833 \le 1$ (रैखिक रूप)

$$F_{qd} = 1 + 2(0.6249)(0.2210)(0.833) = \mathbf{1.230}$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan\varphi} = 1.230 + \frac{0.230}{(35.49)(0.6249)} = \mathbf{1.241}$$

2 $D_f/B = 2.4/1.2 = 2 > 1$ (आर्कटैन्जेंट: $\tan^{-1} 2 = 1.1071$ rad)

$$F_{qd} = 1 + 2(0.6249)(0.2210)(1.1071) = \mathbf{1.306} \qquad F_{cd} = 1.306 + \frac{0.306}{22.18} = \mathbf{1.320}$$

3 अनपवाहित ($\varphi = 0$): $F_{qd} = 1$; $D_f/B = 1.5/2 = 0.75$

$$F_{cd} = 1 + 0.4(0.75) = \mathbf{1.300} \qquad F_{qd} = 1$$

D_f/B 0.83 → 2: F_{qd} 1.230 → 1.306; गहराई का योगदान बढ़ता है, परंतु **क्रमशः मंद पड़ता जाता है**।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

Meyerhof: झुकावयुक्त भार

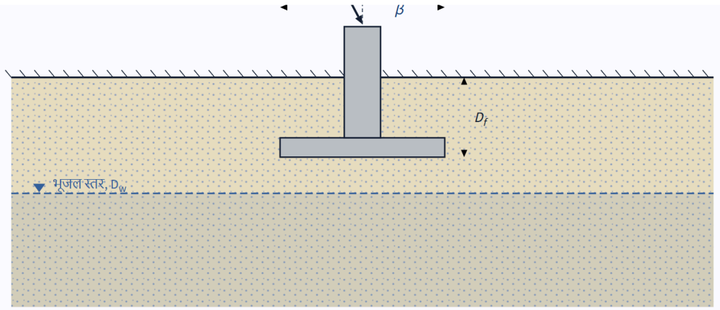
सिद्धांत

ऊर्ध्वाधर से β कोण बनाने वाला भार, ऊर्ध्वाधर भार की तुलना में कम ऊर्ध्वाधर प्रतिरोध संघटित करता है: भार का एक भाग फ़ुटिंग को बगल की ओर धकेलता है। समीकरण केवल भार के **ऊर्ध्वाधर घटक** के लिए धारण क्षमता देता है। **Meyerhof** (1963) के झुकाव गुणांक प्रत्येक पद को घटाते हैं:

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2 \qquad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\varphi}\right)^2 \ (\beta < \varphi) \ ; \ F_{\gamma i} = 0 \ (\beta \geq \varphi)$$

β = 0 पर तीनों 1 हैं। $F_{\gamma i}$ β = φ पर शून्य तक पहुँचता है और वहीं **बना रहता है**: मॉड्यूल $(1 - \beta/\varphi)^2$ को दोबारा बढ़ने नहीं देता। β को, उस बिंदु के नीचे जहाँ $(1 - \beta/90°)^2$ फिर बढ़ने लगेगा, **89° तक** स्वीकार किया जाता है।

झुका हुआ भार धारण क्षमता को, विशेष रूप से स्वयं-भार पद के माध्यम से, घटाता है।



समीकरण केवल एक झुके हुए भार के ऊर्ध्वाधर (VERTICAL) घटक के लिए चरम क्षमता लौटाता है।

प्रश्न

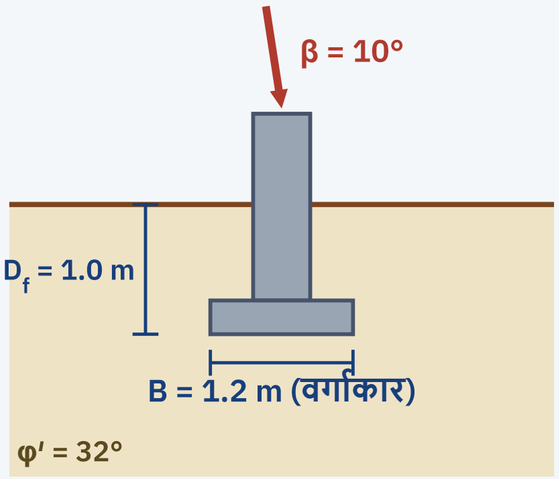
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**वर्गाकार, B = L = 1.2 m, आधार की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	**रेत:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
इकाई भार	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(ऊपर),** $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 **(भूजल स्तर के नीचे)**
भार	**ऊर्ध्वाधर से β = 10° (अनुपूरक: 20°, 30°, 32°)**

ज्ञात करना है

β = 10° के लिए F_{ci}, F_{qi}, $F_{\gamma i}$ के मान ज्ञात कीजिए; β बढ़ने पर क्या होता है?



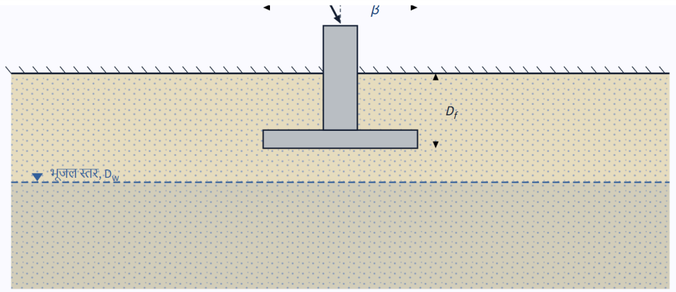
हल

हल

1 β = 10°, φ′ = 32° (β < φ)

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{10}{90}\right)^2 = \mathbf{0.790}\ ; \quad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{10}{32}\right)^2 = \mathbf{0.473}$$

β (°)	$F_{ci} = F_{qi}$	$F_{\gamma i}$
0	1.000	1.000
10	0.790	0.473
20	0.605	0.141
30	0.444	0.004



समीकरण केवल एक झुके हुए भार के ऊर्ध्वाधर (VERTICAL) घटक के लिए चरम क्षमता लौटाता है।

10° झुका हुआ भार q और c पदों को **21%** तथा स्व-भार पद को **53%** घटा देता है; β = φ′ = 32° पर स्व-भार पद पूरी तरह लुप्त हो जाता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सामान्य समीकरण और अनपवाहित स्थिति

सिद्धांत

§5–10 के गुणांकों से सामान्य समीकरण पूर्ण होता है। ऊर्ध्वाधर भार के अंतर्गत, आधार स्तर पर स्थित **स्ट्रिप फ़ुटिंग** में सभी सुधार गुणांक 1 होते हैं और समीकरण Terzaghi का रूप ले लेता है: अंतर केवल इतना है कि Terzaghi के गुणांकों के स्थान पर Reissner का N_q, Prandtl का N_c और Vesic का N_γ आते हैं।

अनपवाहित भारण ($\varphi = 0$, $c = c_u$): $N_c = 5.14$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$:

$$q_u = 5.14\, c_u\, F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q\, F_{qs} F_{qd} F_{qi}$$

भूजल समीकरण में Terzaghi की भाँति प्रवेश करता है (§12): q और तीसरे पद के इकाई भार के माध्यम से, **गुणांकों के माध्यम से कभी नहीं**।

प्रश्न

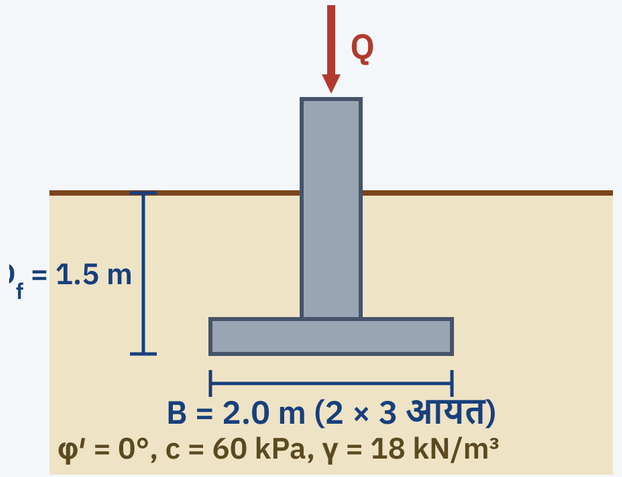
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**आयताकार 2 m × 3 m, D_f = 1.5 m, केंद्रीय ऊर्ध्वाधर भार**
मृदा	**मृत्तिका,** $\varphi = 0,\ c_u = 60$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3**; भूजल नहीं**
सुरक्षा	**FS = 3**

ज्ञात करना है

q_u, सकल q_{all} और शुद्ध धारण क्षमता ज्ञात कीजिए।



हल

हल

1 अधिभार और गुणांक ($\varphi = 0$: $N_c = 5.14$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$)

$$q = \gamma D_f = 18(1.5) = 27 \text{ kPa} \qquad F_{cs} = 1 + \frac{2}{3}\cdot\frac{1}{5.14} = 1.130 \qquad F_{cd} = 1 + 0.4\frac{1.5}{2} = 1.300$$

2 धारण क्षमता ($F_{ci} = F_{qi} = 1$; $F_{qs} = F_{qd} = 1$)

$$q_u = 5.14(60)(1.130)(1.300) + 27(1) = 452.9 + 27 = \mathbf{479.9} \text{ kPa}$$

3 सकल और शुद्ध अनुमेय दाब

$$q_{all,g} = \frac{479.9}{3} = \mathbf{160.0} \text{ kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{q_u - q}{3} = \frac{452.9}{3} = 151.0 \text{ kPa}$$

अनपवाहित मृत्तिका में धारण क्षमता लगभग पूरी तरह **संसंजन पद से** आती है (453 / 480 kPa): आकृति (1.13) और गहराई (1.30) गुणांक इसे लगभग 47% बढ़ा देते हैं; $\varphi = 0$ पर $N_\gamma = 0$ होने के कारण स्वभार पद नहीं है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

गुणांक अपरिवर्तित रहते हैं; q और γ बदलते हैं

सिद्धांत

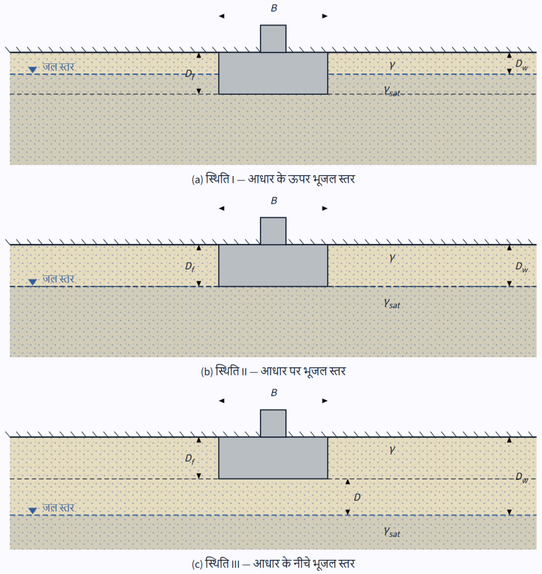
भूजल स्तर के नीचे प्रभावी इकाई भार $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ ($\gamma_w = 9.81$) कार्य करता है। मॉड्यूल तीन स्थितियों को अलग करता है; D_w सतह से भूजल की गहराई है:

I ($D_w \le D_f$): $q = \gamma D_w + \gamma'(D_f - D_w)$, $\gamma \to \gamma'$ (तीसरा पद)

III ($D_f < D_w \le D_f + B$): $q = \gamma D_f$, $\bar{\gamma} = \frac{1}{B}\left[\gamma D + \gamma'(B - D)\right]$, $D = D_w - D_f$

स्थिति II ($D_w = D_f$), स्थिति I का विशेष रूप है: $q = \gamma D_f$, तीसरे पद में γ'।

आधार से एक B से अधिक गहराई पर जल **प्रभावहीन** है।



(a) स्थिति I — आधार के ऊपर भूजल स्तर

(b) स्थिति II — आधार पर भूजल स्तर

(c) स्थिति III — आधार के नीचे भूजल स्तर

प्रश्न

उदाहरण

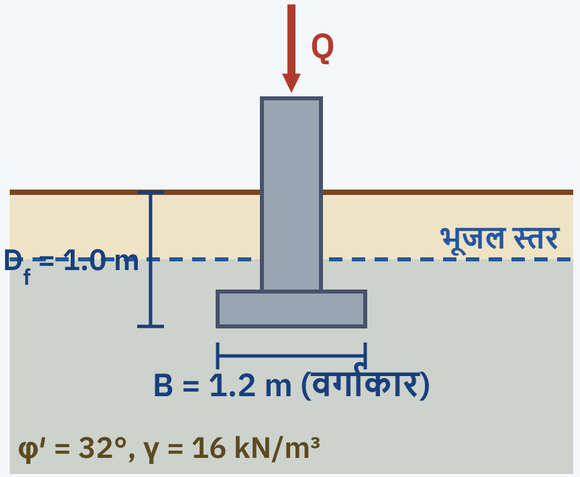
दिया गया है

नींव	**वर्गाकार, B = L = 1.2 m, आधार की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	**रेत:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
इकाई भार	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(ऊपर),** $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 **(भूजल स्तर के नीचे)**
भार	**ऊर्ध्वाधर, केंद्रीय; ε नहीं**

ज्ञात करना है

भूजल स्तर D_W = 0.5; 1.0; 1.5 और 2.6 m के लिए **q**, तीसरे पद में इकाई भार और $\mathbf{q_u}$ के मान ज्ञात कीजिए।

(F_{qs} = 1.625; F_{qd} = 1.230; $F_{\gamma s}$ = 0.6; N_q = 23.18; N_γ = 30.21; झुकाव नहीं)



हल (1/2)

हल

1 स्थिति I ($D_W = 0.5 < D_f$) और $D_W = D_f$

$$D_w = 0.5: \;\; q = 16(0.5) + 9.69(0.5) = 12.845 \text{ kPa}, \;\; \gamma' = 9.69$$

$$D_w = 1.0: \;\; q = 16(1.0) = 16.0 \text{ kPa}, \;\; \gamma' = 9.69$$

2 स्थिति III ($D_W = 1.5 \Rightarrow D = 0.5 \text{ m} \le B$) और जल का कोई प्रभाव नहीं ($D_W = 2.6 \Rightarrow D = 1.6 > B$)

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{1.2}\left[16(0.5) + 9.69(0.7)\right] = 12.319 \text{ kN/m}^3 \; ; \;\; q = 16 \text{ kPa}$$

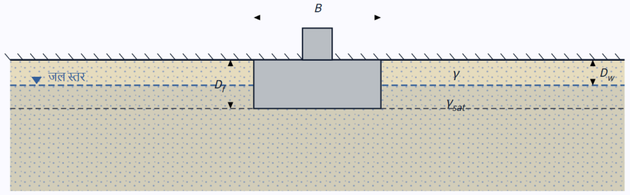
$$D_w = 2.6: \;\; q = 16, \;\; \gamma = 16$$

हल (2/2)

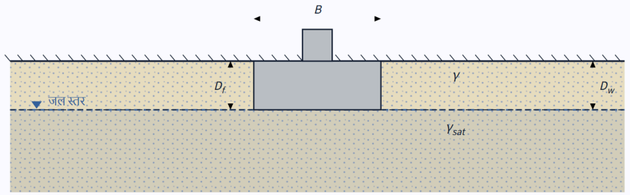
हल

D_w (m)	स्थिति	q (kPa)	γ तीसरा पद	q_u (kPa)
0.5	I	12.84	9.69	**520.0**
1.0	I	16.00	9.69	**635.5**
1.5	III	16.00	12.32	**649.0**
2.6	उपेक्षणीय	16.00	16.00	**667.9**

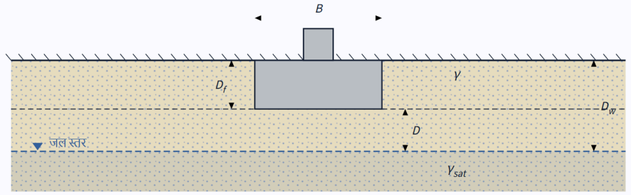
भूजल धारण क्षमता को दो प्रकार से घटाता है: अधिभार q घटता है और स्व-भार पद की गणना γ′ से की जाती है। जल 0.5 m पर होने पर q_u = 520, जल गहरा होने पर 668 kPa (22% अंतर)। गुणांक बिल्कुल नहीं बदलते: **जल केवल q और γ के माध्यम से प्रवेश करता है**।



(a) स्थिति I — आधार के ऊपर भूजल स्तर



(b) स्थिति II — आधार पर भूजल स्तर



(c) स्थिति III — आधार के नीचे भूजल स्तर

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

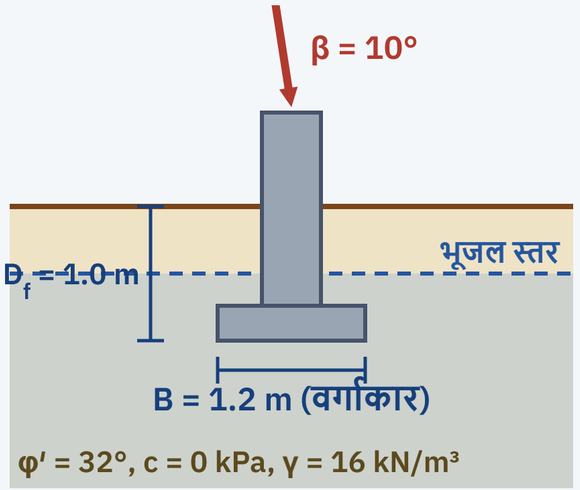
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**वर्गाकार, B = L = 1.2 m, आधार की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	**रेत:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
इकाई भार	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(ऊपर),** $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 **(भूजल स्तर के नीचे)**
भूजल	**D_w = 0.5 m (स्थिति I)**
भार	**ऊर्ध्वाधर से β = 10° झुका हुआ**
सुरक्षा	**FS = 3**

ज्ञात करना है

q_u, सकल **q_{all}**, अनुमेय ऊर्ध्वाधर भार और **अनुमेय परिणामी** भार; फिर c = 5 kPa के लिए q_u।



हल (1/2)

हल

1 गुणांक ($\varphi' = 32°$; $B/L = 1$; $D_f/B = 0.833$; $\beta = 10° < \varphi'$)

$$N_c = 35.49,\ N_q = 23.18,\ N_\gamma = 30.21$$

$$F_{qs} = 1.625,\ F_{\gamma s} = 0.600,\ F_{qd} = 1.230,\ F_{qi} = 0.790,\ F_{\gamma i} = 0.473$$

2 स्थिति I: $q = 16(0.5) + (19.5 - 9.81)(0.5)$; $\gamma' = 9.69$ kN/m³ (तीसरे पद में)

$$q = \mathbf{12.845}\ \text{kPa} \qquad \gamma' = \mathbf{9.69}\ \text{kN/m}^3$$

हल (2/2)

हल

3 धारण क्षमता (c = 0: संसंजन पद नहीं)

$$q_u = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230)(0.790) + \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.600)(1)(0.473)$$
$$= 470.17 + 49.82 = \mathbf{519.99}\ \text{kPa}$$

4 अनुमेय दाब और भार (A = 1.2² = 1.44 m²)

$$q_{all,g} = \frac{519.99}{3} = 173.33\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 173.33(1.44) = \mathbf{249.59}\ \text{kN} \qquad \frac{Q_{all}}{\cos 10^\circ} = \mathbf{253.44}\ \text{kN}$$

5 c = 5 kPa: संसंजन पद (F_{cd} = 1.241, F_{cs} = 1.653, F_{ci} = 0.790)

$$c\,N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} = 5(35.49)(1.653)(1.241)(0.790) = 287.51 \Rightarrow q_u = \mathbf{807.50}\ \text{kPa}$$

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सकल और शुद्ध, ऊर्ध्वाधर और परिणामी

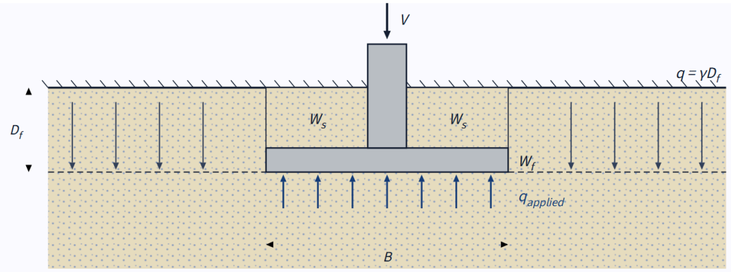
सिद्धांत

q_u विफलता के क्षण का ऊर्ध्वाधर दाब है। मॉड्यूल **सकल** और **शुद्ध** दाब को अलग-अलग रखता है:

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

आरोपित दाब q_{app} सेवा भारों के अंतर्गत आधार पर **ऊर्ध्वाधर सकल दाब** V/A है; झुके हुए भार में यह परिणामी बल को नहीं, ऊर्ध्वाधर घटक को क्षेत्रफल से भाग देकर प्राप्त होता है। फ़ुटिंग निम्नलिखित शर्तों पर संतोषजनक है:

$$q_{apply} \le q_{all,g} \qquad FS_{actual} = \frac{q_u}{q_{apply}} \qquad q_{apply} - q \le q_{all,n}$$



अनुमेय ऊर्ध्वाधर भार $Q_{all} = q_{all,g} A$; β झुकाव पर अनुमेय परिणामी $Q_{all}/\cos\beta$। q_{app} दर्ज न करने पर मॉड्यूल केवल क्षमताएँ देता है।

प्रश्न

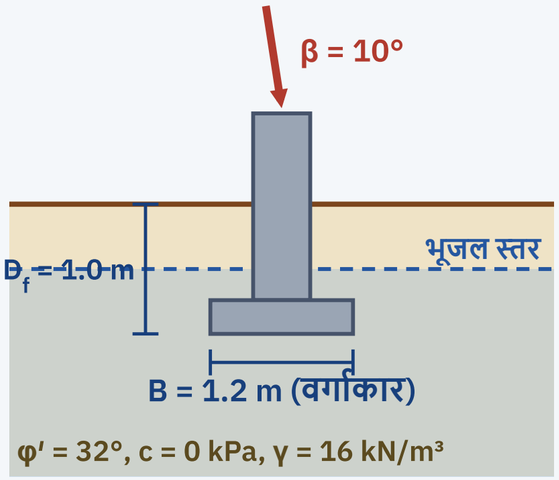
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**वर्गाकार, B = L = 1.2 m, आधार की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	**रेत:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
इकाई भार	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(ऊपर),** $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 **(भूजल स्तर के नीचे)**
भूजल, ढलान	**D_W = 0.5 m, β = 10° (उदाहरण 8)**
आरोपित	**$q_{applied}$ = 150 kPa (ऊर्ध्वाधर, सकल)**
परिणाम (उदाहरण 8)	**q_u = 519.99 kPa, q = 12.845 kPa, FS = 3**

ज्ञात करना है

तीनों शर्तों (सकल, FS_{actual}, शुद्ध) की जाँच कीजिए।



हल

हल

1 सकल अनुमेय दाब

$$q_{apply} = 150 \text{ kPa} \leq q_{all,g} = 173.33 \text{ kPa} \Rightarrow \text{मान्य}$$

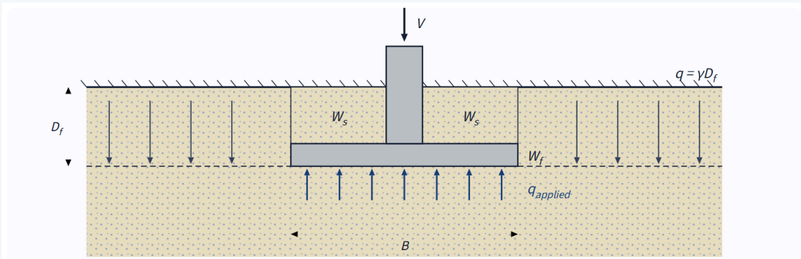
2 वास्तविक सुरक्षा गुणांक

$$FS_{actual} = \frac{q_u}{q_{apply}} = \frac{519.99}{150} = \mathbf{3.47} \geq 3$$

3 Net

$$q_{apply} - q = 150 - 12.845 = 137.2 \text{ kPa}$$

$$q_{all,n} = \frac{519.99 - 12.845}{3} = 169.0 \text{ kPa} \Rightarrow \text{मान्य}$$



फ़ुटिंग तीनों शर्तों में उत्तीर्ण होती है। ऊर्ध्वाधर भार V = 150 × 1.44 = 216 kN; परिणामी 216/cos10° = 219.3 kN ≤ अनुमेय परिणामी 253.4 kN।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

नींव	**वर्गाकार, B = L = 1.2 m, आधार की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	**रेत:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
इकाई भार	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(ऊपर),** $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 **(भूजल स्तर के नीचे)**
भूजल, ढलान	**D_w = 0.5 m, β = 10°**
तुलना	**Vesic N_γ = 30.21 और Meyerhof (1963) N_γ = 22.02**

ज्ञात करना है

उदाहरण 8 में q_u और सकल q_{all} Meyerhof के N_γ से क्या होते?

हल

हल

1 केवल तीसरा पद बदलता है

$$\tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(22.02)(0.600)(0.473) = \mathbf{36.31}\ \text{kPa} \quad (\text{Vesic: } 49.82)$$

2 q_u और q_{all}

$$q_u = 470.17 + 36.31 = \mathbf{506.48}\ \text{kPa} \qquad q_{all,g} = 168.83\ \text{kPa}$$

इस फ़ुटिंग में अंतर केवल **2.6%** है (520 → 506 kPa): स्वभार पद q_u का लगभग 10% है। **चौड़ी फ़ुटिंग** और कम अधिभार में स्वभार पद प्रबल हो जाता है और N_γ का चयन परिणाम को स्पष्ट रूप से बदल देता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

सामान्य समीकरण: $q_u = cN_cF_c. + qN_qF_q. + ½\gamma BN_\gamma F_\gamma.$; आकृति (s), गहराई (d) और झुकाव (i) गुणांकों के साथ

Meyerhof सिद्धांत: वेज $45° + \varphi/2$, त्रिज्य क्षेत्र, मिश्रित क्षेत्र; आधार के ऊपर समतुल्य मुक्त सतह (p_o, s_o, m, η, β) द्वारा निरूपित

उथली नींव: $N_q = e^{\pi \tan\varphi}\tan^2(45° + \varphi/2)$ (Reissner), $N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$ (Prandtl); $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$ (Vesic)

De Beer आकृति, **Hansen** गहराई, **Meyerhof** झुकाव गुणांक; $\varphi = 0$ पर $N_c = 5.14$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$

भूजल केवल q और γ को बदलता है (3 स्थितियाँ), गुणांकों को नहीं

जाँच: $q_{applied} \le q_{all,g}$, FS_{actual} और शुद्ध; झुके हुए भार में सुरक्षित परिणामी $Q_{all}/\cos\beta$

संदर्भ

Meyerhof, G.G. (1951). The ultimate bearing capacity of foundations. Géotechnique, 2(4), 301–332.

Meyerhof, G.G. (1963). Some recent research on the bearing capacity of foundations. Canadian Geotechnical Journal, 1(1), 16–26.

Das, B.M. (2017). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement, 3rd ed. CRC Press — अनुभाग 2.4–2.5; यह पृष्ठ इसके व्युत्पन्न के क्रम का पालन करता है; इस पृष्ठ के पाठ में "स्रोत"।

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage — सामान्य धारण-क्षमता समीकरण और इसके गुणांक; इस पृष्ठ के पाठ में "दूसरा स्रोत"।

Reissner, H. (1924). Zum Erddruckproblem. Proc. 1st Int. Congress of Applied Mechanics, Delft, 295–311.

Prandtl, L. (1921). Über die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden. ZAMM, 1(1), 15–20.

Vesic, A.S. (1973). Analysis of ultimate loads of shallow foundations. JSMFD, ASCE, 99(SM1), 45–73.

De Beer, E.E. (1970). Experimental determination of the shape factors and the bearing capacity factors of sand. Géotechnique, 20(4), 387–411.

Hansen, J.B. (1970). A revised and extended formula for bearing capacity. Danish Geotechnical Institute Bulletin 28.

आंकड़े स्वयं तंत्र से खींचे गए हैं; Nq का चार्ट इस पृष्ठ के समीकरणों से परिकलित किया जाता है।

टिप्पणी

इस प्रस्तुति के 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।

यदि आप इन्हें अपने व्याख्यानों में उपयोग करना चाहें: info@geoterva.com