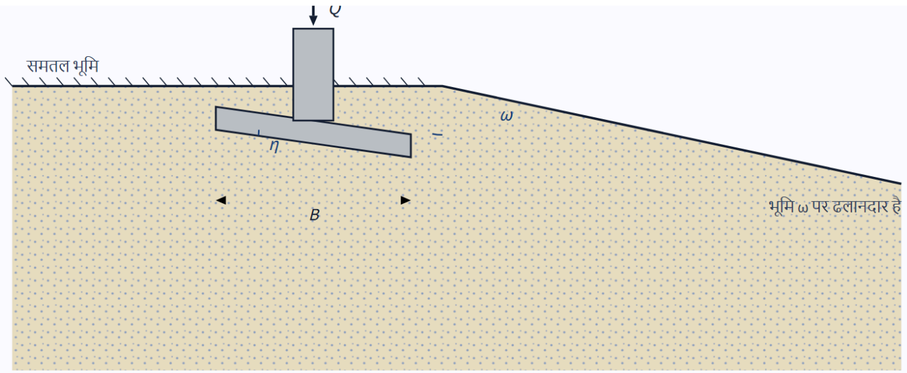
GeoTerva

भू-तकनीकी व्याख्यान स्लाइड · नींव

Hansen धारण क्षमता समीकरण

व्याख्यान: Hansen के अपने N_γ गुणांक से आकृति और गहराई संशोधनों तक, वास्तविक भार पर निर्भर झुकाव गुणांकों से आधार झुकाव और भूमि ढलान तक; प्रत्येक विषय पर हल किया गया उदाहरण।



Hansen N_γ · आकृति · गहराई · वास्तविक भार पर निर्भर झुकाव · आधार और भूमि झुकाव · अनपवाहित योगात्मक रूप · हल किए गए उदाहरण

परिचय

इस व्याख्यान में हम क्या सीखेंगे?

- **Hansen समीकरण** के तीन पदों और प्रत्येक पद के छह संशोधन गुणांकों (आकृति, गहराई, भार-झुकाव, आधार-झुकाव, ढलान) को पहचानना
- Hansen के **अपने N_γ गुणांक** की गणना करना और उसकी Vesic के गुणांक से तुलना करना
- **आकृति** और **गहराई** गुणांकों को, $D_f/B = 1$ पर संक्रमण सहित, लागू करना
- **झुकाव गुणांकों** की गणना वास्तविक भार h और v से करना और सर्पण सीमाओं की जाँच करना
- **आधार-झुकाव η** और **भूमि-ढलान ω** गुणांकों का उपयोग करना
- अनपवाहित ($\varphi = 0$) **कुल-प्रतिबल रूप** और भूजल की स्थितियों को शामिल करना
- 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

प्रारंभिक उदाहरण फ़ुटिंग, यानी वह मॉडल जिससे मॉड्यूल खुलता है: $c = 10$ kPa, $\varphi' = 25°$ वाली मृदा पर 2 m × 2 m वर्गाकार फ़ुटिंग, $D_f = 1$ m, $\gamma = 18$ kN/m³, भूजल नहीं है।

तीन पद, प्रत्येक के छह संशोधन

सिद्धांत

Hansen (1970) ने धारण क्षमता समीकरण को अपने विफलता तंत्र के साथ, Vesic से स्वतंत्र रूप से व्युत्पन्न किया। प्रत्येक पद में गुणा किए जाने वाले **छह संशोधन गुणांक** होते हैं:

$$
\begin{aligned}
q_u = {} & c\, N_c\, s_c d_c i_c b_c g_c \\
& + q\, N_q\, s_q d_q i_q b_q g_q \\
& + \tfrac{1}{2}\gamma B\, N_\gamma\, s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma
\end{aligned}
$$

N_c और N_q इस खंड की सभी विधियों में समान हैं (Prandtl और Reissner के संवृत-रूप व्यंजक)। **N_γ Hansen का अपना है** और समान φ' पर Vesic के मान से छोटा है।

आकृति (s), **गहराई** (d), **भार-झुकाव** (i), **आधार-झुकाव** (b) और **ढलान** (g) गुणांक Hansen के अपने समुच्चय हैं; झुका हुआ भार, झुका हुआ आधार और ढलानदार भूमि एक ही समीकरण में सम्मिलित की जाती हैं।

समतल आधार, समतल भूमि और ऊर्ध्वाधर भार की स्थिति में **i = b = g = 1** हो जाता है: समीकरण आकृति और गहराई गुणांकों वाले सामान्य समीकरण में सिमट जाता है।

संकेतन

c, φ′: संसंजन, आंतरिक घर्षण कोण

q = γ D_f: आधार स्तर पर अधिभार

B, L: छोटी और लंबी भुजा; B/L आकृति निर्धारित करता है

h, v: भार स्थिति के H/A और V/A दाब

η: आधार का क्षैतिज से झुकाव

ω: फ़ुटिंग के बगल में भूमि सतह का झुकाव

Hansen का N_γ Vesic के मान से छोटा है

सिद्धांत

N_c और N_q प्रत्येक विधि में समान हैं:

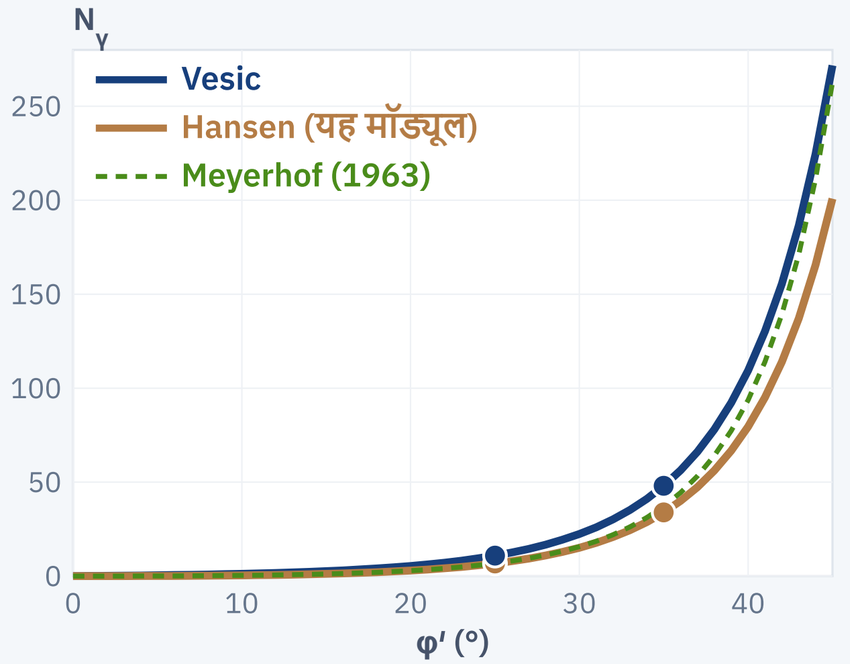
$$N_q = e^{\pi \tan\varphi} \tan^2\left(45^\circ + \tfrac{\varphi}{2}\right) \qquad N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$

N_γ के लिए संवृत-रूप में सर्वमान्य कोई व्यंजक नहीं है। Hansen ने विफलता सतह को कुछ भिन्न रूप से आदर्शीकृत करके अपना व्यंजक प्राप्त किया:

$$N_\gamma^{\text{Hansen}} = 1.5\,(N_q - 1)\tan\varphi \qquad N_\gamma^{\text{Vesic}} = 2\,(N_q + 1)\tan\varphi$$

दोनों सम्मानित व्युत्पत्तियाँ हैं; कोई भी निरपेक्ष अर्थ में “अधिक सही” नहीं है। महत्वपूर्ण यह है कि **एक ही विधि के गुणांकों का साथ-साथ उपयोग किया जाए**: Hansen का N_γ Hansen के आकृति और भार-झुकाव गुणांकों के साथ।

φ′ बढ़ने के साथ अंतर अनुपात में घटता है, किंतु समाप्त नहीं होता; φ′ = 25° पर Hansen का मान Vesic के मान का 62% है।



प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\varphi' = 25^\circ$ **(वह मॉडल जिसमें मॉड्यूल खुलता है); तुलना के लिए** $\varphi' = 35^\circ$
विधियाँ	**Hansen:** $N_\gamma = 1.5(N_q - 1)\tan\varphi$ **· Vesic:** $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$

ज्ञात करना है

N_q, N_c और दोनों विधियों के अनुसार N_γ के मान ज्ञात कीजिए; गणना कीजिए कि Hansen का मान Vesic के मान से कितने प्रतिशत छोटा है।

हल (1/2)

हल

1 N_q और N_c ($\varphi' = 25°$, $\tan 25° = 0.4663$)

$$N_q = e^{\pi \tan 25^\circ} \tan^2(57.5^\circ) = e^{1.4649}(2.4639) = \mathbf{10.66} \qquad N_c = \frac{10.66 - 1}{0.4663} = \mathbf{20.72}$$

2 N_γ: Hansen और Vesic

$$N_\gamma^{\text{Hansen}} = 1.5(10.66 - 1)(0.4663) = \mathbf{6.76}$$
$$N_\gamma^{\text{Vesic}} = 2(10.66 + 1)(0.4663) = \mathbf{10.88}$$

Hansen का N_γ, Vesic के मान का **62%** है: उसी मृदा पर स्व-भार पद लगभग **38% कम** आता है।

हल (2/2)

हल

φ′ (°)	N_q	N_c	N_γ Hansen	N_γ Vesic	Hansen / Vesic
10	2.47	8.34	0.39	1.22	%32
15	3.94	10.98	1.18	2.65	%45
20	6.40	14.83	2.95	5.39	%55
25	10.66	20.72	6.76	10.88	%62
30	18.40	30.14	15.07	22.40	%67
32	23.18	35.49	20.79	30.21	%69
35	33.30	46.12	33.92	48.03	%71
40	64.20	75.31	79.54	109.41	%73
45	134.87	133.87	200.81	271.75	%74

φ′ = 35° के लिए भी यही स्थिति है: N_γ = 33.92 (Hansen) और 48.03 (Vesic), अनुपात 71%। φ′ बढ़ने पर अनुपात 32% से 74% तक बढ़ता है, कभी 1 नहीं होता: **विधियों को मिलाएँ नहीं**।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

B/L अनुपात पर निर्भर तीन गुणांक

सिद्धांत

स्ट्रिप से भिन्न फ़ुटिंग में विफलता त्रिविमीय होती है। Hansen के आकृति गुणांक De Beer के गुणांकों के समान हैं; इनमें **N_q/N_c अनुपात** शामिल है:

$$s_c = 1 + \frac{B}{L}\frac{N_q}{N_c} \qquad s_q = 1 + \frac{B}{L}\sin\varphi \qquad s_\gamma = 1 - 0.4\,\frac{B}{L}$$

अनपवाहित भारण ($\varphi = 0$) में अनुपात N_q/N_c ठीक व्यवहार नहीं करता; संसंजन गुणांक अपना सरल रूप ले लेता है। यह गुणांक गुणक नहीं बल्कि **योगात्मक** है, इसीलिए s'_c लिखा जाता है:

$$s'_c = 0.2\,\frac{B}{L} \qquad (\varphi = 0)$$

स्ट्रिप फ़ुटिंग ($B/L \to 0$): $s_c = s_q = s_\gamma = 1$ और $s'_c = 0$। वर्गाकार और वृत्ताकार फ़ुटिंग में $B/L = 1$ लिया जाता है।

De Beer से तुलना: s_c और s_γ समान हैं; s_q में De Beer $\tan\varphi$, Hansen $\sin\varphi$ का उपयोग करता है।

$\varphi' = 25°$ के लिए

B/L	s_c	s_q	s_γ
0 (स्ट्रिप)	1,000	1,000	1,000
0.5	1.257	1.211	0.800
1 (वर्ग)	1.515	1.423	0.600

प्रश्न

उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\varphi' = 25°$: $N_c = 20.72,\ N_q = 10.66,\ \sin 25° = 0.4226$ **(उदाहरण 1)**
नींव	**(a) वर्ग 2 × 2 m · (b) आयत 2 × 4 m (B/L = 0.5) · (c) स्ट्रिप**
अनपवाहित	**φ = 0: वर्गाकार और 2 × 4 m**

ज्ञात करना है

प्रत्येक फ़ुटिंग के लिए **s_c, s_q, s_γ** ($\varphi = 0$ पर s'_c) के मान ज्ञात कीजिए; वर्गाकार फ़ुटिंग में s_q की तुलना De Beer के मान से कीजिए।

हल

हल

1 (a) वर्गाकार फ़ुटिंग (B/L = 1)

$$s_c = 1 + (1)\frac{10.66}{20.72} = \mathbf{1.515} \qquad s_q = 1 + \sin 25^\circ = \mathbf{1.423} \qquad s_\gamma = 1 - 0.4 = \mathbf{0.600}$$

2 (b) आयत 2 × 4 m (B/L = 0.5)

$$s_c = 1 + 0.5\frac{10.66}{20.72} = \mathbf{1.257} \qquad s_q = 1 + 0.5(0.4226) = \mathbf{1.211} \qquad s_\gamma = 1 - 0.2 = \mathbf{0.800}$$

3 (c) स्ट्रिप और अनपवाहित स्थिति (φ = 0)

$$\text{स्ट्रिप}: \; s_c = s_q = s_\gamma = 1 \qquad \varphi = 0: \; s_c' = 0.2 \; (\text{वर्गाकार}),\; 0.1 \; (2 \times 4),\; 0 \; (\text{स्ट्रिप})$$

वर्गाकार फ़ुटिंग में q पद **42%** बढ़ता है, स्व-भार पद 40% घटता है। De Beer का $s_q = 1 + \tan\varphi = 1.466$, Hansen का 1.423: अंतर लगभग 3% है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

रैखिक रूप और चापस्पर्शी रूप

सिद्धांत

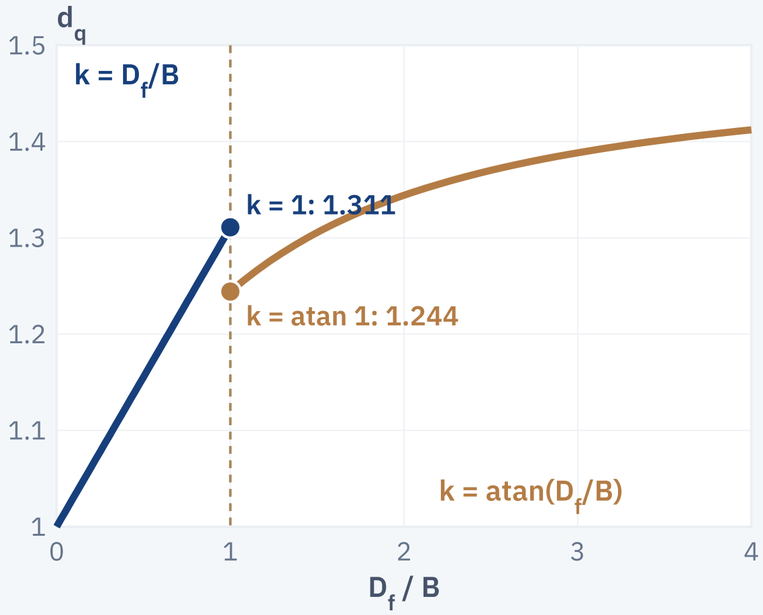
आधार के ऊपर की मृदा धारण क्षमता में योगदान देती है। Hansen के गहराई गुणांक **k = D_f/B** अनुपात पर निर्भर करते हैं; D_f/B के 1 से अधिक होने पर k को आर्कटैन्जेंट (रेडियन में) के रूप में लिया जाता है:

$$d_c = 1 + 0.4\,k \qquad d_q = 1 + 2\tan\varphi\,(1-\sin\varphi)^2\,k \qquad d_\gamma = 1$$

$$k = \frac{D_f}{B}\quad\left(\frac{D_f}{B} \le 1\right) \qquad k = \tan^{-1}\frac{D_f}{B}\quad\left(\frac{D_f}{B} > 1\right)$$

φ = 0 पर d_q = 1; अपवाहित योगात्मक रूप में $d'_c = d_c - 1 = 0.4\,k$ लिखा जाता है।

दोनों रूप D_f/B = 1 पर एक सीढ़ी के साथ मिलते हैं: k = 1 होने पर d_q = 1.311, ठीक उसके आगे k = $\tan^{-1}1$ = 0.785 और d_q = 1.244। इसलिए निकटवर्ती D_f मानों की तुलना करना उचित होगा।



प्रश्न

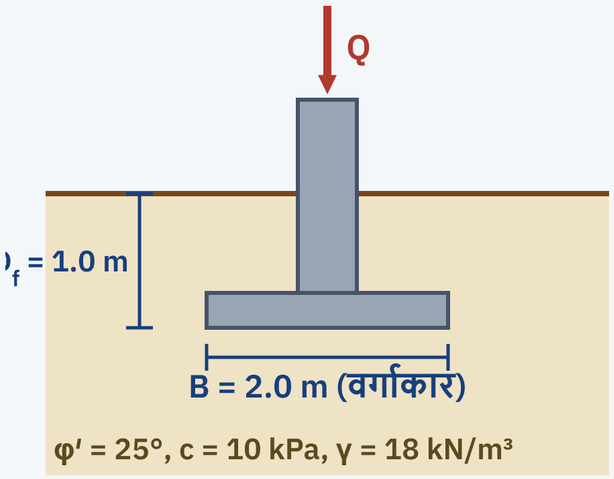
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\varphi' = 25°$: $\tan\varphi = 0.4663$, $(1 - \sin 25°)^2 = 0.3334$
नींव	**B = 2 m; D_f = 1 m (उदाहरण), तुलना D_f = 2 m और 3 m**
अनपवाहित	**φ = 0: D_f = 1.5 m**

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति के लिए **d_c, d_q** और d_γ के मान ज्ञात कीजिए; D_f के 2 m से 3 m होने पर क्या होता है, स्पष्ट कीजिए।



हल

हल

1 D_f = 1 m (D_f/B = 0.5 ≤ 1: k = 0.5)

$$d_q = 1 + 2(0.4663)(0.3334)(0.5) = \mathbf{1.155} \qquad d_c = 1 + 0.4(0.5) = \mathbf{1.200} \qquad d_\gamma = 1$$

2 D_f = 2 m (D_f/B = 1: रैखिक, k = 1) और D_f = 3 m (D_f/B = 1.5: k = $\tan^{-1}1.5$ = 0.9828)

$$D_f = 2: \; d_q = 1 + 2(0.4663)(0.3334)(1) = \mathbf{1.311}, \; d_c = \mathbf{1.400}$$

$$D_f = 3: \; d_q = 1 + 2(0.4663)(0.3334)(0.9828) = \mathbf{1.306}, \; d_c = \mathbf{1.393}$$

3 अनपवाहित (φ = 0): D_f/B = 1.5/2 = 0.75

$$d_c = 1 + 0.4(0.75) = \mathbf{1.300} \quad (d'_c = 0.3) \qquad d_q = 1$$

D_f = 2 m → 3 m: d_q 1.311 → 1.306 **घटता है**, क्योंकि k, 1 से $\tan^{-1}1.5$ = 0.98 पर चला जाता है (सोपान)। D_f = 1 → 2 m में, इसके विपरीत, 1.155 → 1.311 बढ़ता है।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

कोण से नहीं, वास्तविक भार से

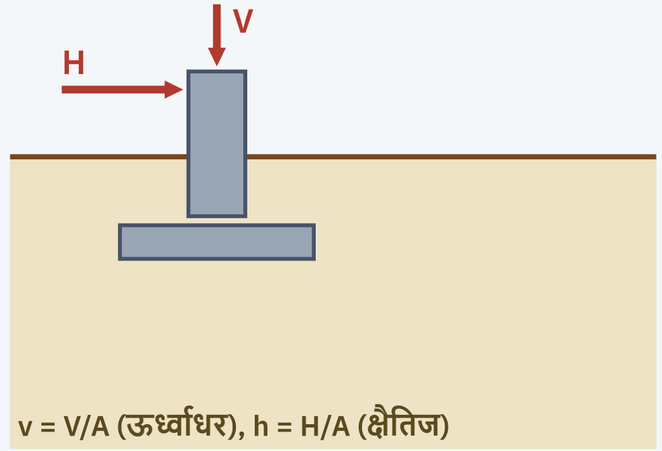
सिद्धांत

Meyerhof के झुकाव गुणांक केवल भार के ऊर्ध्वाधर से बने कोण पर निर्भर करते हैं। Hansen के गुणांक **वास्तविक क्षैतिज और ऊर्ध्वाधर दाब** पर निर्भर करते हैं; h = H/A और v = V/A उसी भार स्थिति के दाब हैं (v = q_{app}):

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5\,h}{v + c\cot\varphi}\right)^5 \qquad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad (\geq 0)$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7\,h}{v + c\cot\varphi}\right)^5$$

$$\eta > 0:\ 0.7 \to 0.7 - \frac{\eta^\circ}{450^\circ}\ (i_\gamma) \qquad \varphi = 0:\ i'_c = 0.5\left(1 - \sqrt{1 - \frac{h}{c}}\right),\ i_q = i_\gamma = 1$$



h > 0 हो तो $q_{applied}$ दर्ज करना आवश्यक है: झुकाव गुणांकों के साथ फ़ुटिंग की जाँच में **वही भार** उपयोग होता है।

जैसे-जैसे h/(v + c cot φ) बढ़ता है, तीनों गुणांक शून्य की ओर जाते हैं; सर्पण के निकट पहुँचती फ़ुटिंग की कोई धारण क्षमता शेष नहीं रहती।

आधार सर्पण से पहले धारण क्षमता तक नहीं पहुँचता

सिद्धांत

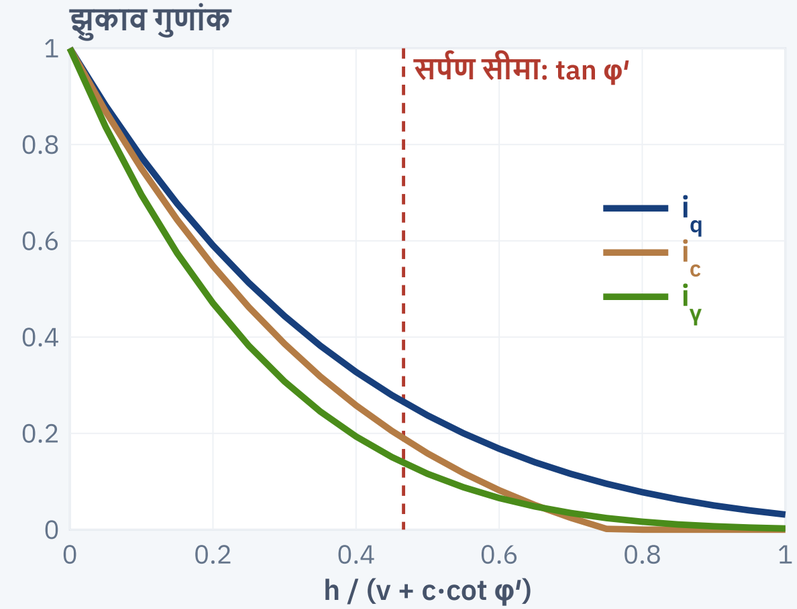
जब क्षैतिज भार आधार के घर्षण और आसंजन प्रतिरोध से अधिक हो जाता है तो फ़ुटिंग में **सर्पण** होता है। ऊपरी सीमा (आधार घर्षण φ और आसंजन c लेकर):

$$h_{shear} = v\tan\varphi + c = \tan\varphi\,(v + c\cot\varphi)$$

h > v tan φ + c होने पर मॉड्यूल चेतावनी देता है: सर्पण करती फ़ुटिंग अपनी धारण क्षमता तक नहीं पहुँच सकती; वास्तविक आधार के लिए सर्पण की जाँच अलग से करें। ग्राफ़ में यह सीमा **h/(v + c cot φ) = tan φ** रेखा है।

यदि **h ≥ v + c cot φ** (φ = 0 पर h ≥ c) हो, तो मॉड्यूल रुक जाता है: झुकाव गुणांक अपना अर्थ खो देते हैं।

जब i_c, i_q $1/N_q$ से नीचे गिरते हैं तो उन्हें शून्य पर रखा जाता है; संसंजन पद ऋणात्मक नहीं होता।



प्रश्न

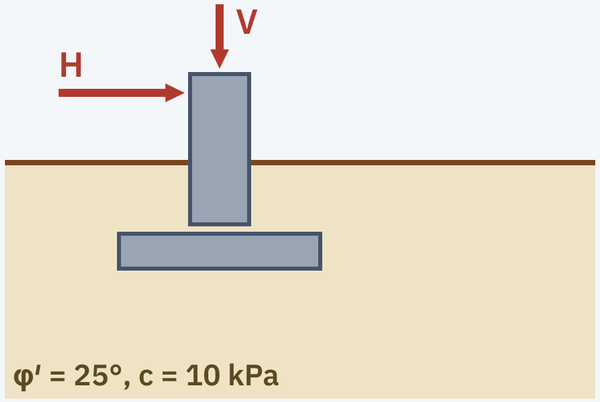
उदाहरण

दिया गया है

फ़ुटिंग, मृदा	**मॉड्यूल मॉडल:** $c = 10$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$, $N_q = 10.66$
भार स्थिति	$v = q_{apply} = 150$ kPa, $h = 30$ kPa **(ek: 60, 90, 120)**
आधार	**सीधा (η = 0)**

ज्ञात करना है

i_c, i_q, i_γ गुणांक ज्ञात कीजिए और सर्पण सीमा की जाँच कीजिए।



हल (1/2)

हल

1 अनुपात: v + c cot φ = 150 + 10 (2.1445) = 171.45 kPa

$$x = \frac{h}{v + c\cot\varphi} = \frac{30}{171.45} = \mathbf{0.1750}$$

2 गुणांक

$$i_q = (1 - 0.5 \cdot 0.175)^5 = \mathbf{0.633} \qquad i_\gamma = (1 - 0.7 \cdot 0.175)^5 = \mathbf{0.520}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} = 0.633 - \frac{0.367}{9.66} = \mathbf{0.595}$$

3 सर्पण सीमा

$$v\tan\varphi + c = 150(0.4663) + 10 = \mathbf{79.9}\ \text{kPa} \geq h = 30 \ \Rightarrow\ \text{सर्पण नहीं}$$

$$v + c\cot\varphi = 171.4\ \text{kPa} > h$$

हल (2/2)

हल

h (kPa)	h/(v + c cot φ)	i_c	i_q	i_γ	सर्पण जाँच
0	0.000	1.000	1.000	1.000	गुज़रता है
30	0.175	0.595	0.633	0.520	गुज़रता है
60	0.350	0.318	0.382	0.245	गुज़रता है
90	0.525	0.137	0.218	0.101	**चेतावनी: h > 79.9**
120	0.700	0.025	0.116	0.035	**चेतावनी: h > 79.9**

h = 30 kPa (v का 20%) q पद को **37%**, c पद को **41%** और स्व-भार पद को **48%** घटा देता है। यदि आधार 10° झुका हो तो $i_\gamma = (1 - (0.7 - 10/450)\cdot 0.175)^5 = 0.532$ होता है। सीमा से अधिक h = 90 और 120 kPa पर फ़ुटिंग का सर्पण हो जाता है: गुणांक तब भी निकाले जाते हैं, परंतु सर्पण की जाँच अलग से की जानी चाहिए।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

असमतल आधार और ढालू भूमि

सिद्धांत

वास्तविक फ़ुटिंग सदैव समतल आधार वाली और समतल भूमि पर नहीं होतीं: आधार जानबूझकर झुका बनाया जा सकता है या फ़ुटिंग किसी ढलान के शीर्ष पर हो सकती है। Hansen के गुणांक दोनों को समाहित करते हैं (η और ω डिग्री में; चरघातांकी व्यंजकों में रेडियन में):

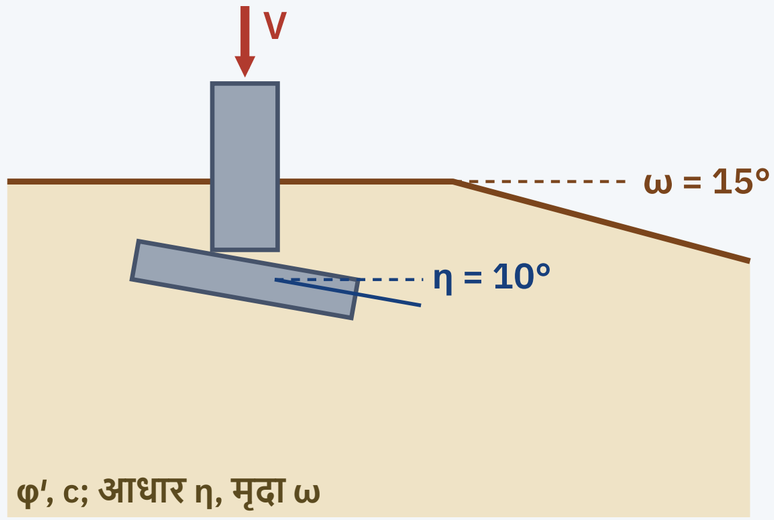
$$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \qquad b_q = e^{-2\eta \tan\varphi} \qquad b_\gamma = e^{-2.7\,\eta \tan\varphi}$$

$$g_c = 1 - \frac{\omega^\circ}{147^\circ} \qquad g_q = g_\gamma = (1 - 0.5\tan\omega)^5$$

b_γ का घातांक (2.7) b_q के घातांक (2) से बड़ा है: झुका हुआ आधार स्व-भार पद को अधिभार पद की तुलना में अधिक हानि पहुँचाता है।

η और ω अधिकतम 45° तक दर्ज किए जाते हैं; यदि ω > φ हो, तो ढलान स्वयं साम्यावस्था में नहीं है और मॉड्यूल रुक जाता है।

$(1 - \tan\omega)^2$, Hansen का नहीं बल्कि **Vesic** का रूप है और कुछ बड़ा होता है: ω = 5° पर 0.833; Hansen का 0.800। इसे इस समीकरण में Hansen के रूप से नहीं मिलाना चाहिए।



प्रश्न

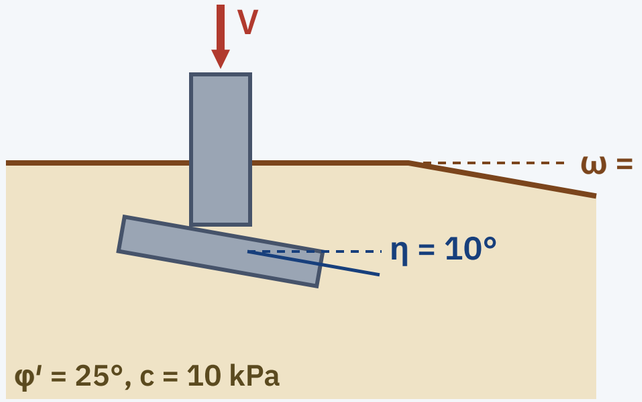
उदाहरण

दिया गया है

मृदा	$\varphi' = 25^\circ,\ \tan\varphi = 0.4663$
आधार झुकाव	**η = 10°**
भूमि ढलान	**ω = 10° और ω = 15°**

ज्ञात करना है

b_c, b_q, b_γ और g_c, g_q, g_γ के मान ज्ञात कीजिए; g_q की तुलना Vesic के $(1 - \tan\omega)^2$ रूप से कीजिए।



हल (1/2)

हल

1 आधार झुकाव η = 10° (0.1745 rad)

$$b_c = 1 - \frac{10}{147} = \mathbf{0.932} \quad b_q = e^{-2(0.1745)(0.4663)} = \mathbf{0.850} \quad b_\gamma = e^{-2.7(0.1745)(0.4663)} = \mathbf{0.803}$$

2 भूमि ढलान ω = 10° (tan 10° = 0.1763)

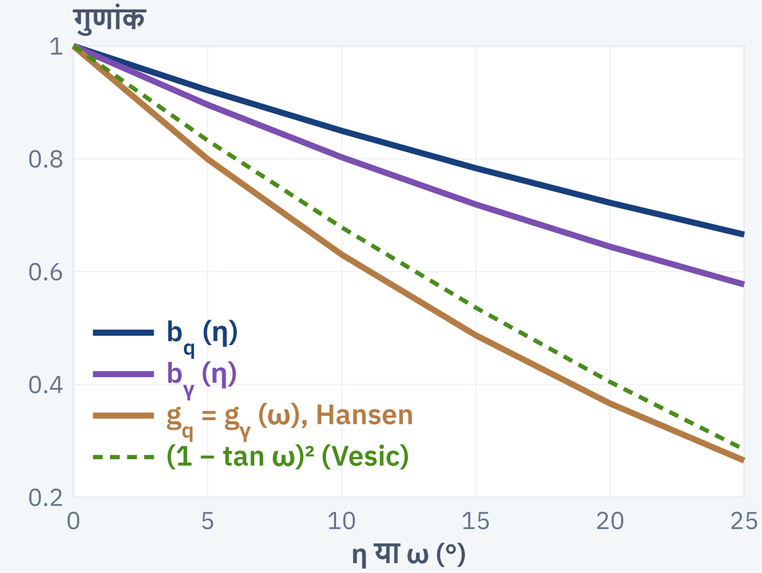
$$g_c = 1 - \frac{10}{147} = \mathbf{0.932} \quad g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \cdot 0.1763)^5 = (0.9118)^5 = \mathbf{0.630}$$

हल (2/2)

हल

ω (°)	g_c	$g_q = g_\gamma$ Hansen	g_q Vesic $(1 - \tan \omega)^2$
10	0.932	0.630	0.678
15	0.898	0.487	0.536

Hansen का g_q Vesic के मान से छोटा है (ω = 10°: 0.630 और 0.678): अर्थात् वह अधिक **रूढ़िवादी** है। η = 10° का आधार झुकाव स्व-भार पद को 20% और अधिभार पद को 15% घटा देता है।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

छह गुणांकों को संयोजित करना

सिद्धांत

छह गुणांक भले ही भारी-भरकम लगें, **सामान्य स्थिति में वे सभी 1 होते हैं**; पूर्ण समीकरण तभी काम में आता है जब कोई मान्यता भंग होती है। q_u विफलता के क्षण का ऊर्ध्वाधर दाब है; मॉड्यूल सकल और शुद्ध दाब को अलग रखता है:

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

प्रयुक्त दाब $q_{applied}$ उसी भार स्थिति का आधार पर **ऊर्ध्वाधर सकल दाब** है (V/A)। फ़ुटिंग निम्न शर्तों पर जाँच में उत्तीर्ण होती है:

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

अनुमेय ऊर्ध्वाधर भार $Q_{all} = q_{all,g} \cdot A$। $h > 0$ होने पर यदि q_{app} दर्ज न किया जाए, तो मॉड्यूल केवल क्षमताओं की ही नहीं, झुकाव गुणांकों की भी गणना नहीं कर सकता।

गुणांक कब 1 होता है?

गुणांक	वह स्थिति जिसमें यह 1 है
s	स्ट्रिप फ़ुटिंग (B/L = 0)
d	$D_f = 0$ (आधार सतह पर)
i	h = 0 (ऊर्ध्वाधर भार)
b	η = 0 (समतल आधार)
g	ω = 0 (समतल भूमि)

गुणांक अपरिवर्तित रहते हैं; q और γ बदलते हैं

सिद्धांत

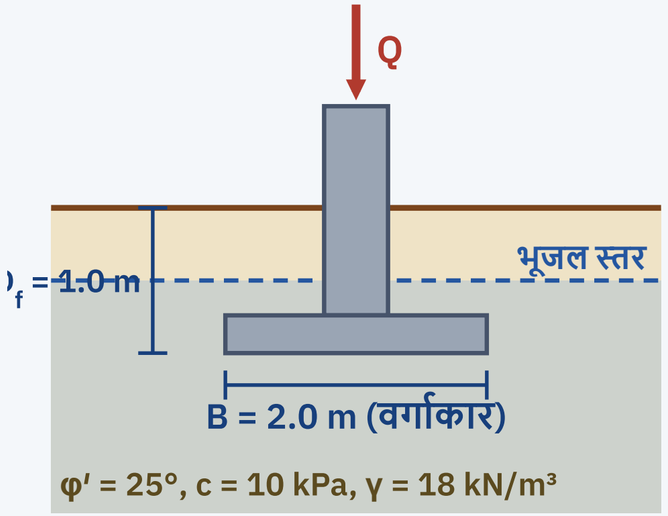
Hansen मॉड्यूल भूजल को अन्य धारण क्षमता मॉड्यूलों की तरह **उन्हीं तीन स्थितियों** से संभालता है। भूजल स्तर के नीचे प्रभावी इकाई भार $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ ($\gamma_w = 9.81$)। D_w सतह से भूजल की गहराई है:

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

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

$D_w = D_f$ की स्थिति में $q = \gamma D_f$ होता है और तीसरे पद में γ' का उपयोग किया जाता है।

आधार से एक B से अधिक गहराई पर जल **अप्रभावी** होता है। जल केवल **q और γ** के माध्यम से प्रवेश करता है; s, d, i, b, g अपरिवर्तित रहते हैं।



प्रश्न

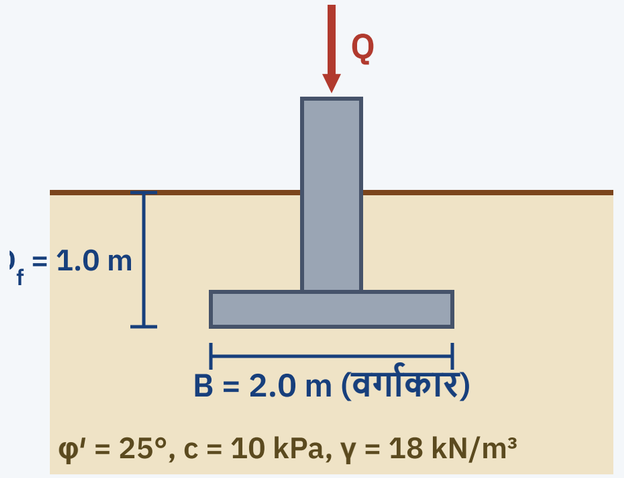
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**वर्गाकार, B = L = 2.0 m, आधार की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 10$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 18$ kN/m^3**; भूजल नहीं**
भार	**ऊर्ध्वाधर, केंद्रीय**
सुरक्षा	**FS = 3**

ज्ञात करना है

q_u, सकल और शुद्ध q_{all} तथा अनुमेय भार Q_{all}; प्रत्येक पद का योगदान ज्ञात कीजिए।



हल (1/2)

हल

1 धारण क्षमता गुणांक ($\varphi' = 25°$)

$$N_c = \mathbf{20.72}, \quad N_q = \mathbf{10.66}, \quad N_\gamma = 1.5(10.66 - 1)(0.4663) = \mathbf{6.758}$$

2 संशोधन गुणांक ($B/L = 1$; $D_f/B = 0.5$; $h = \eta = \omega = 0$)

$$s_c = 1.515,\ s_q = 1.423,\ s_\gamma = 0.6 \qquad d_c = 1.200,\ d_q = 1.155,\ d_\gamma = 1 \qquad i = b = g = 1$$

हल (2/2)

हल

3 धारण क्षमता ($q = \gamma D_f = 18$ kPa)

$$q_u = 10(20.72)(1.515)(1.200) + 18(10.66)(1.423)(1.155)$$
$$+ \tfrac{1}{2}(18)(2)(6.758)(0.6) = 376.6 + 315.5 + 73.0 = \mathbf{765.05}\ \text{kPa}$$

4 अनुमेय दाब और भार ($A = 2^2 = 4$ m²)

$$q_{all,g} = \frac{765.05}{3} = \mathbf{255.02}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{765.05 - 18}{3} = 249.02\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 255.02(4) = \mathbf{1{,}020}\ \text{kN}$$

धारण क्षमता का **49%** संसंजन से, **41%** अधिभार से और केवल **10%** स्व-भार से आता है: छोटा N_γ और $s_\gamma = 0.6$ स्व-भार पद को कमज़ोर कर देते हैं।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

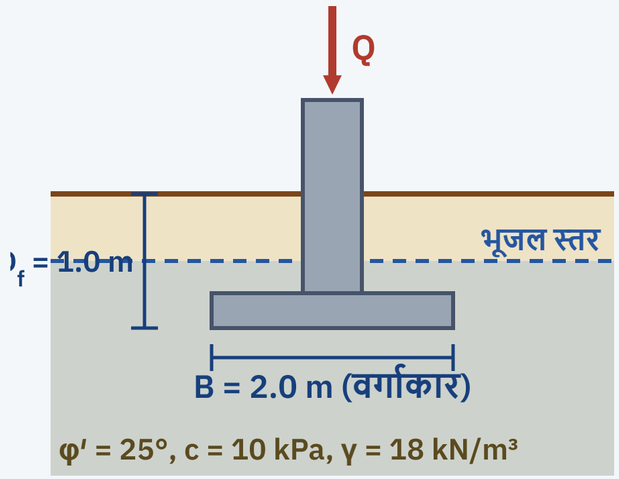
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**वर्गाकार, B = L = 2.0 m, D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 10$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 18$ **(ऊपर),** $\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3 **(भूजल स्तर के नीचे)**
भूजल	**D_w = 0.5; 1.0; 2.0 और 4.0 m**

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति के लिए **q**, तीसरे पद में इकाई भार और **q_u** के मान ज्ञात कीजिए। (गुणांक उदाहरण 6 के अनुसार।)



हल (1/2)

हल

1 स्थिति I ($D_W \le D_f$): $\gamma' = 19 - 9.81 = 9.19$ kN/m³

$$D_w = 0.5: \ q = 18(0.5) + 9.19(0.5) = \mathbf{13.595} \text{ kPa}$$

$$D_w = 1.0: \ q = 18(1.0) = \mathbf{18.0} \text{ kPa}$$

2 स्थिति III ($D_W = 2.0 \Rightarrow D = 1.0 \le B$) और जल का प्रभाव नहीं ($D_W = 4.0 \Rightarrow D = 3.0 > B$)

$$D_w = 2.0: \ \bar{\gamma} = \frac{1}{2}\left[18(1) + 9.19(1)\right] = \mathbf{13.595} \text{ kN/m}^3, \ q = 18 \text{ kPa}$$

$$D_w = 4.0: \ q = 18 \text{ kPa}, \ \gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

हल (2/2)

हल

D_w (m)	स्थिति	q (kPa)	γ तीसरा पद	q_u (kPa)
0.5	I	13.59	9.19	**652.1**
1.0	I	18.00	9.19	**729.3**
2.0	III	18.00	13.59	**747.2**
4.0	उपेक्षणीय	18.00	18.00	**765.1**

जल 0.5 m पर होने पर q_u = 652 और गहरा होने पर 765 kPa (15% अंतर)। अंतर का स्रोत **केवल q और γ** है: संसंजन पद (376.6 kPa) बिल्कुल नहीं बदलता।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

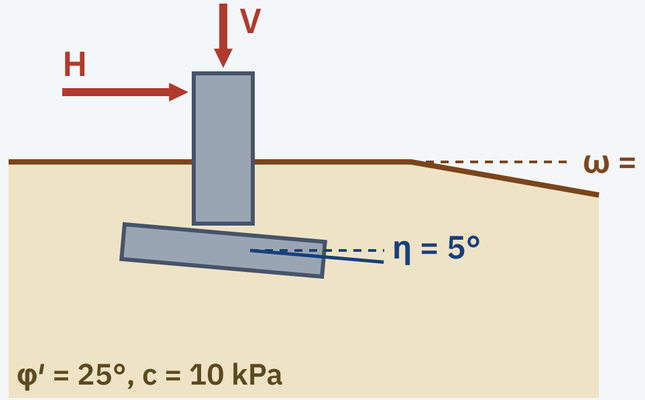
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**वर्गाकार, B = L = 2.0 m, आधार की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 10$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 18$ kN/m^3; **भूजल नहीं**
भार स्थिति	$v = q_{apply} = 150$ kPa, $h = 30$ kPa
आधार, मृदा	**η = 5°, ω = 10°**
सुरक्षा	**FS = 3**

ज्ञात करना है

q_u और q_{all} के मान ज्ञात कीजिए; जाँच कीजिए कि फ़ुटिंग q_{app} = 150 kPa के लिए पर्याप्त है या नहीं; सर्पण की जाँच कीजिए।



हल (1/3)

हल

1 झुकाव गुणांक (v + c cot φ = 171.45 kPa; आधार झुका हुआ: 0.7 → 0.7 − 5/450 = 0.6889)

$$x = \frac{30}{171.45} = 0.175 \qquad i_q = (1 - 0.5x)^5 = \mathbf{0.633} \qquad i_c = \mathbf{0.595}$$

$$i_\gamma = (1 - 0.6889x)^5 = \mathbf{0.526}$$

2 आधार-झुकाव और ढलान गुणांक (η = 5°, ω = 10°)

$$b_c = 0.966,\ b_q = 0.922,\ b_\gamma = 0.896$$

$$g_c = 0.932,\ g_q = g_\gamma = (1 - 0.5\tan 10^\circ)^5 = 0.630$$

हल (2/3)

हल

3 तीन पद (आकृति और गहराई गुणांक उदाहरण 6 के समान)

$$c \text{ पद} = 10(20.72)(1.515)(1.20)(0.595)(0.966)(0.932) = 201.6$$

$$q \text{ पद} = 18(10.66)(1.423)(1.155)(0.633)(0.922)(0.630) = 116.0$$

$$\gamma \text{ पद} = \tfrac{1}{2}(18)(2)(6.758)(0.6)(1)(0.526)(0.896)(0.630) = 21.7$$

4 धारण क्षमता और अनुमेय दाब

$$q_u = 201.6 + 116.0 + 21.7 = \mathbf{339.3}\ \text{kPa} \qquad q_{all,g} = \frac{339.3}{3} = \mathbf{113.1}\ \text{kPa}$$

हल (3/3)

हल

5 जाँच (q_{app} = 150 kPa)

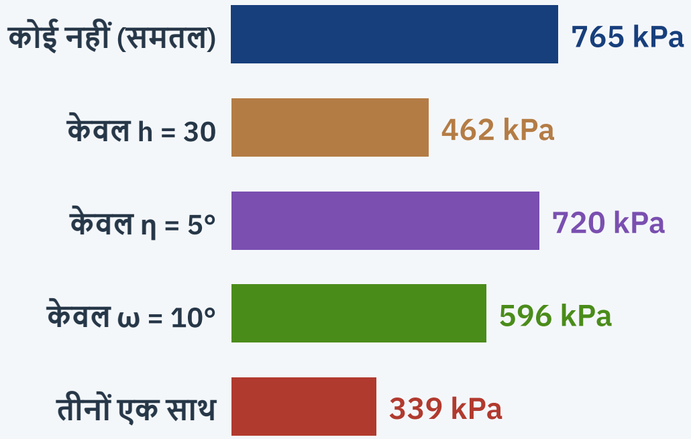
$$q_{apply} = 150 > q_{all,g} = 113.1 \Rightarrow \textbf{पूरा नहीं होता}$$

$$FS_{\text{वास्तविक}} = \frac{339.3}{150} = \mathbf{2.26} < 3$$

6 सर्पण सीमा

$$h = 30 \leq v \tan\varphi + c = 79.9 \text{ kPa} \Rightarrow \text{सर्पण की कोई चेतावनी नहीं}$$

समतल मॉडल में 765 kPa वाला q_u इस भार स्थिति में घटकर **339 kPa** (56%) रह जाता है। अलग-अलग: क्षैतिज भार **−40%**, भूमि ढलान −22%, आधार ढलान −6%। फ़ुटिंग उत्तीर्ण नहीं होती (FS = 2.26 < 3); उपाय: B या D_f बढ़ाना, h घटाना, आधार को समतल करना।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

φ = 0: संसंजन पद योगात्मक रूप में लिखा जाता है

सिद्धांत

φ = 0 पर गुणनात्मक संसंजन पद प्रयोग नहीं किया जाता। Hansen द्वारा इसे **योगात्मक** रूप में लिखा जाता है: सुधार 1 में जोड़े या घटाए जाते हैं; इस प्रकार h, η और ω शून्य होने पर भी संसंजन पद शून्य नहीं होता। $N_c = 5.14$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$:

$$q_u = c\,N_c\,(1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q\,g_q$$

$$s'_c = 0.2\frac{B}{L} \quad d'_c = 0.4k \quad i'_c = 0.5\left(1 - \sqrt{1 - \frac{h}{c}}\right) \quad b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \quad g'_c = \frac{\omega^\circ}{147^\circ}$$

अधिभार पद q g_q में सिमट जाता है: समतल भूमि पर केवल q। स्व-भार पद नहीं है ($N_\gamma = 0$)।

h < c होना आवश्यक है; h ≥ c हो तो आधार सर्पण करता है और मॉड्यूल रुक जाता है। कोष्ठक भी धनात्मक रहना चाहिए (h, η और ω तीनों अत्यधिक बड़े हों तो संसंजन पद ऋणात्मक हो जाता)।

उदाहरण: c = 40 kPa, 2 m वर्गाकार, D_f = 1 m

गुणांक	मान
$s'_c = 0.2(B/L)$	0.2
$d'_c = 0.4\,k$ (k = 0.5)	0.2
i'_c, b'_c, g'_c	0
कोष्ठक	1.4

$q_u = 40 \times 5.14 \times 1.4 + 18 =$ **305.84 kPa**

प्रश्न

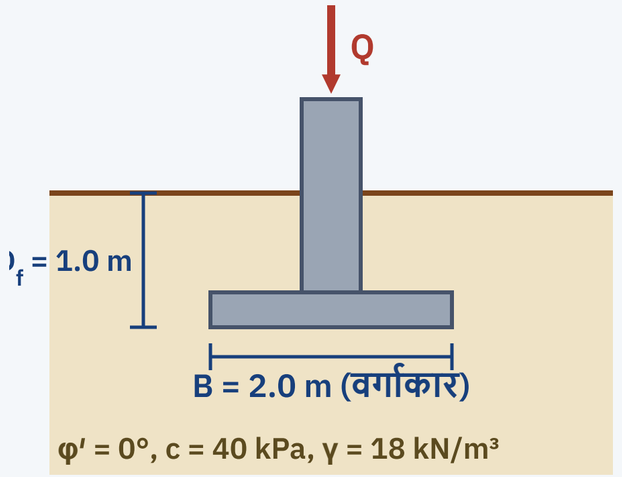
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**वर्गाकार B = L = 2 m, D_f = 1 m**
मृदा	**मृत्तिका:** $\varphi = 0,\ c_u = 40$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3**; भूजल नहीं**
स्थितियाँ	**(a) ऊर्ध्वाधर भार · (b)** $v = 100,\ h = 10$ kPa **· (c)** $h = 10$ **और** $\eta = \omega = 10^\circ$

ज्ञात करना है

प्रत्येक स्थिति के लिए q_u का मान ज्ञात कीजिए।



हल (1/2)

हल

1 (a) ऊर्ध्वाधर भार: कोष्ठक $1 + s'_c + d'_c = 1 + 0.2 + 0.2$

$$q_u = 40(5.14)(1.4) + 18 = 287.84 + 18 = \mathbf{305.84}\ \text{kPa}$$

2 (b) h = 10 kPa (h/c = 0.25 < 1)

$$i'_c = 0.5\left(1 - \sqrt{0.75}\right) = 0.0670 \;\Rightarrow\; q_u = 40(5.14)(1.4 - 0.0670) + 18 = \mathbf{292.07}\ \text{kPa}$$

हल (2/2)

हल

3 (c) h = 10 kPa, η = ω = 10°: $b'_c = g'_c = 10/147 = 0.068$; $g_q = (1 - 0.5 \tan 10°)^5$

$$1.4 - 0.067 - 0.068 - 0.068 = 1.197$$

$$q_u = 40(5.14)(1.197) + 18(0.630) = 246.1 + 11.3 = \mathbf{257.4}\ \text{kPa}$$

स्थिति	कोष्ठक	c N_c(...)	q g_q	q_u (kPa)
(a) ऊर्ध्वाधर	1,400	287.8	18.0	**305.8**
(b) h = 10	1.333	274.1	18.0	**292.1**
(c) h, η, ω	1.197	246.1	11.3	**257.4**

केवल h = 10 kPa धारण क्षमता को 5% घटाता है, और h के साथ आधार तथा भूमि का झुकाव इसे 16% घटाता है। योगात्मक रूप के कारण समतल, ऊर्ध्वाधर स्थिति में संसंजन पद शून्य नहीं होता: 305.84 kPa।

हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

प्रश्न

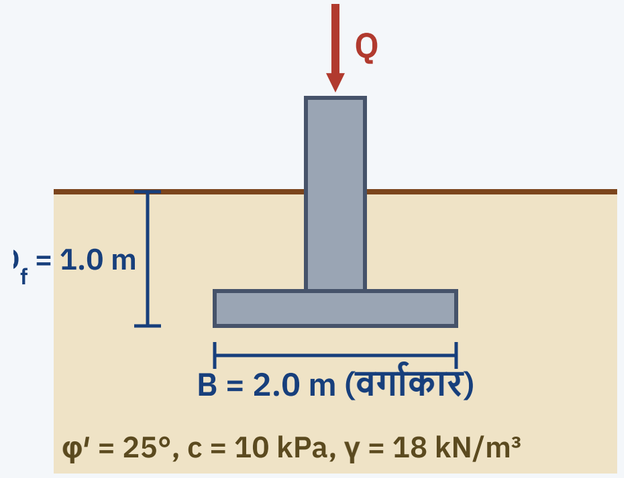
उदाहरण

दिया गया है

नींव	**वर्गाकार, B = L = 2.0 m, आधार की गहराई D_f = 1.0 m**
मृदा	$c = 10$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
इकाई भार	$\gamma = 18$ kN/m^3; **भूजल नहीं**
तुलना	**Vesic समीकरण: De Beer आकृति, Vesic N_γ, $d_c = d_q - (1 - d_q)/(N_c \tan \varphi)$**
भार स्थिति (अतिरिक्त)	**उदाहरण 8: q_{app} = 150, h = 30 kPa, η = 5°, ω = 10°**

ज्ञात करना है

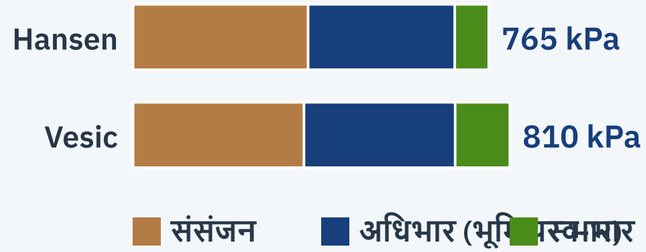
दोनों समीकरणों के q_u मानों की पद-दर-पद तुलना कीजिए; फिर उदाहरण 8 की भार स्थिति के लिए भी।



हल (1/2)

हल

	Hansen	Vesic
N_γ	6.76	10.88
s_q	1.423	1.466
d_c	1.200	1.172
c पद	376.6	367.7
q पद	315.5	325.2
γ पद	73.0	117.5
q_u (kPa)	**765.1**	**810.3**



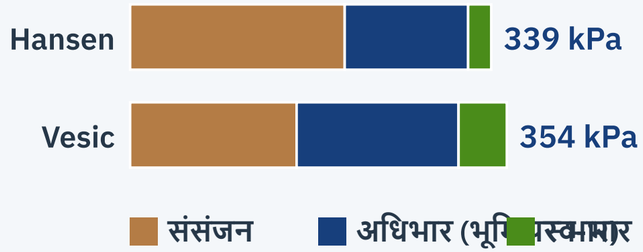
Hansen **5.6% कम** है (765 और 810 kPa)। अंतर लगभग पूरी तरह स्व-भार पद में है (73 और 117 kPa): N_γ छोटा है।

हल (2/2)

हल

गुणांक	Hansen	Vesic
i_c, i_q, i_γ	0.595 · 0.633 · 0.526	0.723 · 0.749 · 0.618
b_c, b_q, b_γ	0.966 · 0.922 · 0.896	0.912 · 0.920 · 0.920
g_c, g_q, g_γ	0.932 · 0.630 · 0.630	0.645 · 0.678 · 0.678
q_u (kPa)	**339.3**	**354.0**

उसी भार स्थिति में अंतर 4.3% है: Vesic के झुकाव घातांक m = 1.5 (वर्गाकार) और $b = (1 - \eta \tan\varphi)^2$, $g = (1 - \tan\omega)^2$ रूप, Hansen के रूपों की तुलना में थोड़ी **कम कटौती** करते हैं। दोनों समीकरणों को मिलाएँ नहीं; प्रत्येक विधि के गुणांक अपने N_γ के साथ संगत हैं।



हल की जाँच GeoTerva में करें ↗

सारांश

याद रखने योग्य बिंदु

Hansen समीकरण: $q_u = cN_c(s\ d\ i\ b\ g) + qN_q(s\ d\ i\ b\ g) + \tfrac{1}{2}\gamma BN_\gamma(s\ d\ i\ b\ g)$; साधारण स्थिति में $i = b = g = 1$

$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)\tan\varphi$: Vesic के मान से छोटा ($\varphi' = 25°$: 6.76 और 10.88); विधि के गुणांक साथ-साथ प्रयुक्त किए जाते हैं

आकृति: $s_c = 1 + (B/L)(N_q/N_c)$, $s_q = 1 + (B/L)\sin\varphi$, $s_\gamma = 1 - 0.4\ B/L$ · **गहराई**: $k = D_f/B$ या $\tan^{-1}(D_f/B)$; $D_f/B = 1$ पर सीढ़ी

झुकाव: वास्तविक h और v के साथ; $i_q = (1 - 0.5h/(v + c\cot\varphi))^5$, $i_\gamma = (1 - 0.7h/(\ldots))^5$; $h > v\tan\varphi + c$ होने पर सर्पण की चेतावनी, $h \geq v + c\cot\varphi$ होने पर रुकना

आधार झुकाव $b_q = e^{-2\eta\tan\varphi}$, $b_\gamma = e^{-2.7\eta\tan\varphi}$; **भूमि ढलान** $g_q = g_\gamma = (1 - 0.5\tan\omega)^5$ (Vesic का $(1 - \tan\omega)^2$ भिन्न है)

अनपवाहित ($\varphi = 0$): $cN_c(1 + s' + d' - i' - b' - g') + qg_q$; $N_c = 5.14$, $N_\gamma = 0$; $h < c$

भूजल केवल q और γ को बदलता है; **जाँच**: $q_{applied} \leq q_{all,g}$, FS_{actual} और शुद्ध

संदर्भ

Hansen का पूर्ण धारण-क्षमता समीकरण — उनका अपना Nγ, आकृति गुणांक, झुकाव गुणांक, और आधार-झुकाव तथा भूमि-ढलान गुणांक — Hansen, J.B., A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity, Danish Geotechnical Institute Bulletin 28, 1970 का पालन करता है, जैसा कि मानक भू-तकनीकी संदर्भों में लगातार पुनः प्रस्तुत किया गया है। इस पूरे अनुभाग में उपयोग किए जाने वाले गहराई गुणांक Hansen के हैं, जैसा कि Das, B.M., Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed., Cengage Learning, 2018 (अध्याय 16) में निर्धारित किया गया है।

टिप्पणी

इस प्रस्तुति की आकृतियों का एक भाग GeoTerva सिद्धांत पृष्ठ से लिया गया है; 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।