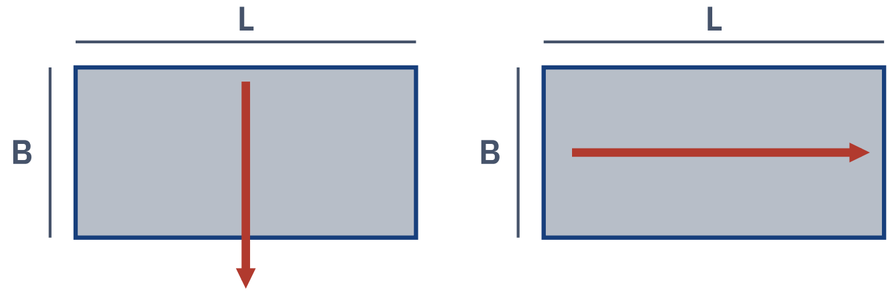
지반공학 강의 자료 · 기초

Vesic 지지력 공식

강의: Vesic이 채택한 계수와 그 자신의 기여: 기초의 형상과 하중 방향을 고려한 경사 지수, 저면 경사, 지표 경사; 주제별 계산 예제.

경사 지수 m
경사 하중
저면 경사
지표 경사
Meyerhof와의 일치
계산 예제



개요

이 강의에서 다루는 내용

- **Vesic 방정식**이 어떤 계수를 채택하고 어떤 계수가 **고유한 것**인지 구분하기
- 하중경사계수의 **지수 m**을 기초의 B/L 비와 하중 방향에 따라 계산하기
- **경사계수**를 실제 하중 h와 v로 구하고 활동 한계를 검토하기
- **저면경사** 및 **지표경사** 계수(Vesic 형태)를 적용하고, Hansen의 계수와 비교하기
- 비배수 ($\varphi = 0$) 형태와 지하수 조건을 다루기
- 하중경사, 저면경사, 지표경사가 없을 때 식이 **Meyerhof 일반식**으로 환원됨을 확인하기

강의 흐름

각 주제는 **세 단계**로 다룬다:

1 · **이론**: 규칙은 무엇이며 왜 그러한가?

2 · **문제**: 조건과 구하는 값

3 · **풀이**: 단계별 수치 계산

예제 기초, 모듈의 초기 모델: 모래 지반의 1.2 m × 1.2 m 정사각형기초, D_f = 1 m, 지하수위 0.5 m, c = 0, φ' = 32°.

채택 계수와 고유 계수

이론

Vesic 식은 Hansen 식과 **구조가 같다**: 각 항에 형상, 깊이, 하중경사, 저면경사, 지표경사 보정이 적용된다:

$$
\begin{aligned}
q_u = {} & c\, N_c\, F_{cs} F_{cd}\, i_c b_c g_c \\
& + q\, N_q\, F_{qs} F_{qd}\, i_q b_q g_q \\
& + \tfrac{1}{2} \gamma B\, N_\gamma\, F_{\gamma s} F_{\gamma d}\, i_\gamma b_\gamma g_\gamma
\end{aligned}
$$

Vesic은 **모든 것을 새로 유도하지는 않았다**. **De Beer의 형상계수**와 **Hansen의 깊이계수**를 그대로 채택하였으며, N_γ 역시 그가 제시한 닫힌 형태의 식이다: $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$.

자체 기여: 하중경사계수(지수는 기초 형상과 하중 방향에 따라 결정됨), 그리고 저면경사계수와 지표경사계수.

하중경사, 저면경사, 지표경사가 없을 때(모듈의 기본값) i = b = g = 1이 되며, 방정식은 **Meyerhof 일반식과 완전히 동일하다**.

계수의 출처

계수	출처
N_c, N_q	Prandtl, Reissner
N_γ	Vesic
F_s (형상)	De Beer
F_d (깊이)	Hansen
i (경사)	**Vesic**
b (저면 경사)	**Vesic**
g (지표 경사)	**Vesic**

문제

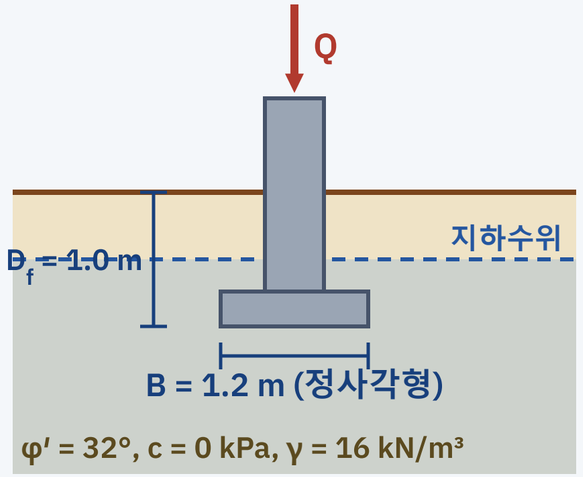
예제

조건

기초	**정사각형, B = L = 1.2 m, 기초 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	**모래:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
단위중량	$\gamma = 16\ \text{kN/m}^3$ **(상부),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \text{kN/m}^3$ **(지하수위 아래)**
하중	**연직, 중심**

구하는 값

N_c, N_q, N_γ와 F_{cs}, F_{qs}, $F_{\gamma s}$ 및 F_{qd}, F_{cd}의 값을 구하라.



풀이

풀이

1 지지력계수 ($\varphi' = 32°$, $\tan 32° = 0.6249$)

$$N_q = e^{\pi \tan 32^\circ} \tan^2(61^\circ) = 23.18 \qquad N_c = \frac{23.18 - 1}{0.6249} = 35.49$$

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

2 형상계수 (De Beer; B/L = 1)

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

3 깊이계수 (Hansen; $D_f/B = 1.0/1.2 = 0.833 \le 1$)

$$F_{qd} = 1 + 2(0.6249)(0.2210)(0.833) = \mathbf{1.230} \qquad F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan\varphi} = \mathbf{1.241}$$

Meyerhof 강의자료의 계수와 **동일하다**: Vesic에 의한 변경은 없다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

기초 형상과 하중 방향을 반영하는 지수

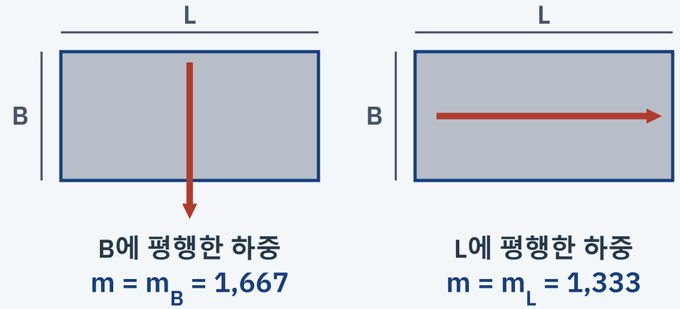
이론

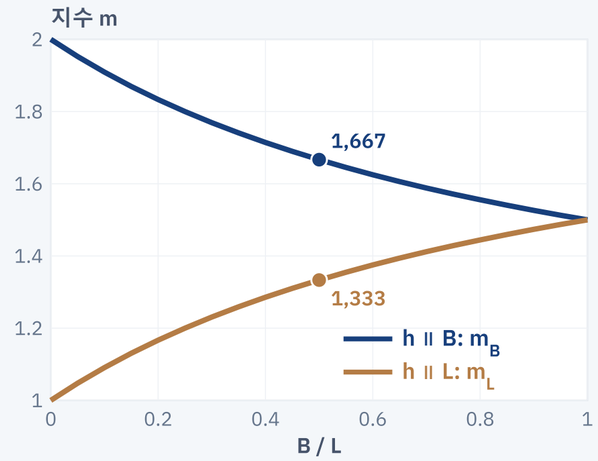
Meyerhof의 경사계수에서 지수는 상수(2)이며 Hansen의 경우에도 같다(5). Vesic의 경사계수는 기초의 **B/L 비**와 수평하중이 **어느 변에 평행한지**에 따라 달라진다:

$$m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \quad (h \parallel B) \qquad m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \quad (h \parallel L)$$

연속기초(B/L → 0): **m_B = 2, m_L = 1**. 정사각형기초에서는 두 방향이 같다: m = 1.5.

동일한 직사각형기초에 하중이 두 방향으로 작용할 때 m이 달라진다. **짧은 변에 평행한 하중에서는 지수가 더 크며** 계수가 더 빠르게 감소한다. 이 절의 다른 방법 중 이러한 구분을 하는 것은 없다.





문제

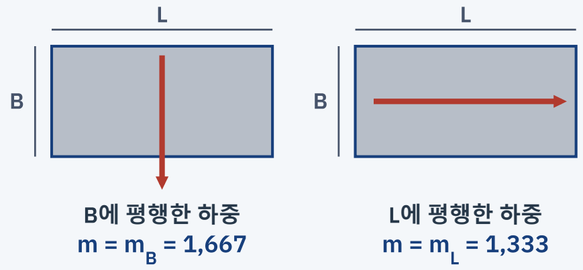
예제

조건

기초	(a) 정사각형 1.2 × 1.2 m · (b) 연속기초 · (c) 직사각형 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5)
하중	B에 평행한 수평 성분과 L에 평행한 수평 성분

구하는 값

각 기초와 각 방향에 대해 **m** 값을 구하시오.



풀이

풀이

1 (a) 정사각형 (B/L = 1)과 (b) 띠 (B/L → 0)

$$\text{(a)}: \; m = \frac{2+1}{1+1} = \mathbf{1.500} \;\; \text{(두 방향으로)}$$

$$\text{(b)}: \; m_B = \frac{2+0}{1+0} = \mathbf{2.000}, \quad m_L = \mathbf{1.000}$$

2 (c) 직사각형 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5; L/B = 2)

$$m_B = \frac{2+0.5}{1+0.5} = \mathbf{1.667} \qquad m_L = \frac{2+2}{1+2} = \mathbf{1.333}$$

동일한 직사각형기초에서 하중이 짧은 변에 평행하면 m = 1.667, 긴 변에 평행하면 1.333이다. 하중이 짧은 변 방향이면 경사계수 $(1 - x)^m$이 더 빠르게 감소하므로, 이 방향이 **더 불리하다**.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

Vesic: $(1 - h/(v + c\cot\varphi))^m$

이론

h = H/A와 v = V/A는 Hansen의 경우와 같은 형태로 **동일한 하중 경우**의 압력이다(v = q_{app}; h > 0일 때 q_{app}가 필요하다):

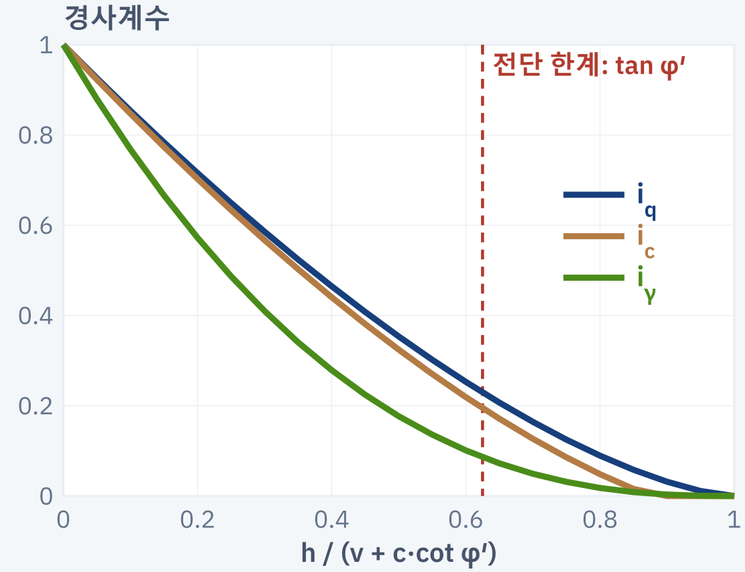
$$i_q = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^m \qquad i_\gamma = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \; (\geq 0)$$

$$\varphi = 0: \quad i_c = 1 - \frac{m\,h}{c\,N_c}, \qquad i_q = i_\gamma = 1$$

h > v tan φ + c: 저면이 활동한다; 모듈이 경고한다(활동은 별도로 검토한다). **h ≥ v + c cot φ**(φ = 0에서는 **h ≥ c**): 모듈이 중단된다.

i_c는 음수가 되지 않으며 0으로 유지된다. 그래프에서 활동 한계는 h/(v + c cot φ) = tan φ인 선이다.



문제

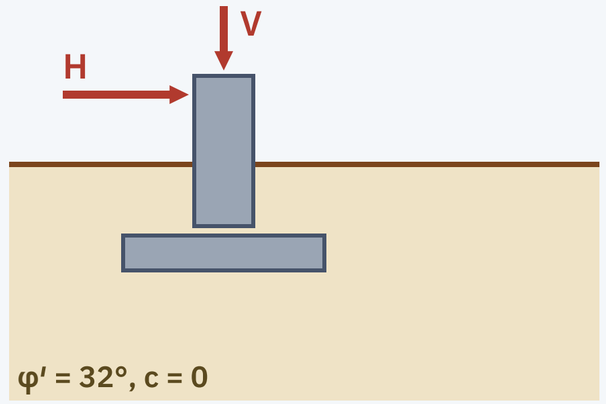
예제

조건

기초, 지반	**정사각형 1.2 × 1.2 m,** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$ **(모듈 모델);** $N_q = 23.18$
하중 조건	$v = q_{apply} = 150$ kPa, $h = 30$ kPa **(ek: 60, 90, 120)**
하중 방향	**정사각형기초: m = 1.5**

구하는 값

i_q, i_c, i_γ 계수를 구하고 활동 한계를 검토하라.



풀이 (1/2)

풀이

1 비율 (c = 0: v + c cot φ = v = 150 kPa)

$$x = \frac{h}{v + c\cot\varphi} = \frac{30}{150} = \mathbf{0.200} \qquad m = 1.5$$

2 계수

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} = 0.716 - \frac{0.284}{22.18} = \mathbf{0.703}$$

3 활동 경계

$$v\tan\varphi + c = 150(0.6249) = \mathbf{93.7}\ \text{kPa} \geq h = 30 \ \Rightarrow\ \text{활동 없음}$$

$$(h \geq v = 150\ \text{이면 안정})$$

풀이 (2/2)

풀이

h (kPa)	h/(v + c cot φ)	i_c	i_q	i_γ	활동 검토
0	0.00	1.000	1.000	1.000	통과
30	0.20	0.703	0.716	0.572	통과
60	0.40	0.441	0.465	0.279	통과
90	0.60	0.219	0.253	0.101	통과
120	0.80	0.048	0.089	0.018	**경고: h > 93.7**

h = 30 kPa(v의 20%)는 q 항을 **28%**, 자중 항을 **43%** 감소시킨다. 지수가 m + 1이므로 **자중 항이 항상 더 크게** 영향을 받는다. c = 5 kPa이었다면 v + c cot φ = 158.0 kPa, i_q = 0.729가 되었을 것이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

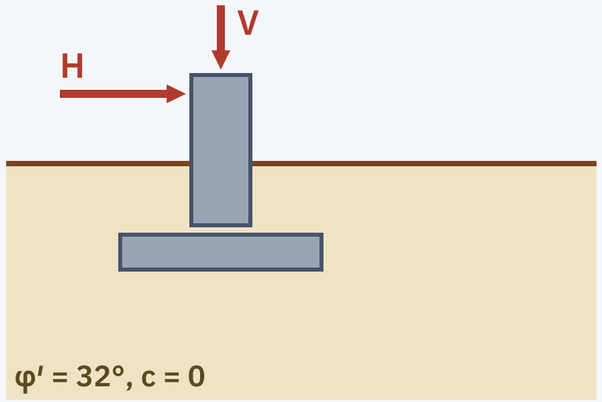
예제

조건

기초, 지반	**정사각형 1.2 m,** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
하중 조건	$v = 150$ kPa, $h = 30$ kPa**: 수직선에 대한** $\beta = \tan^{-1}(30/150) = 11.31^\circ$

구하는 값

i_q와 i_γ 값을 Meyerhof, Hansen, Vesic 방법으로 구하고 비교하라.



풀이

풀이

1 Meyerhof (각 β 적용), Hansen (x = h/v = 0.2) 및 Vesic (m = 1.5)

$$\text{Meyerhof}: F_{qi} = \left(1 - \frac{11.31}{90}\right)^2 = \mathbf{0.764}, \quad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{11.31}{32}\right)^2 = \mathbf{0.418}$$

$$\text{Hansen}: i_q = (1 - 0.5x)^5 = \mathbf{0.590}, \quad i_\gamma = (1 - 0.7x)^5 = \mathbf{0.470}$$

$$\text{Vesic}: i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716}, \quad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

	i_q	i_γ
Meyerhof	0.764	0.418
Hansen	0.590	0.470
Vesic	**0.716**	**0.572**

각 계수는 해당 N_γ 및 형상계수와 함께 사용해야 한다. Vesic의 i_q 값은 Meyerhof의 값에 가깝고, i_γ 값은 세 방법 중 가장 크다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

Vesic 고유 계수

이론

Vesic(1975)은 저면 경사와 지표 경사에 대해서도 자신의 계수를 제안하였다. φ > 0에서 점착력 계수는 상재하중 계수로부터 유도된다(지수에서 η와 ω는 라디안):

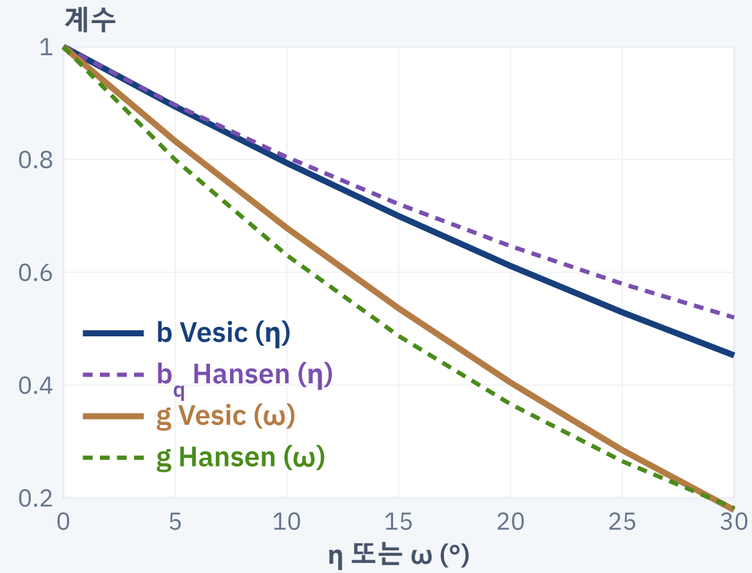
$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \tan\varphi)^2 \qquad g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$$

$$\varphi > 0: \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_q - 1} \qquad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_q - 1}$$

$$\varphi = 0: \quad b_c = 1 - \frac{2\eta}{\pi + 2} \quad g_c = 1 - \frac{2\omega}{\pi + 2} \quad b_q = b_\gamma = 1$$

Hansen의 b_q, b_γ 계수는 지수 형태($e^{-2\eta \tan\varphi}$)이고 $g_q = (1 - 0.5 \tan\omega)^5$이다. 작은 각에서는 서로 가깝고 ω가 커질수록 벌어진다(그래프).

ω > φ이면 사면은 스스로 평형 상태가 아니며, 모듈은 계산을 중단한다. η와 ω는 최대 45°까지 입력할 수 있다 ($(1 - \tan\omega)^2$은 그 값에서 0이 된다).



문제

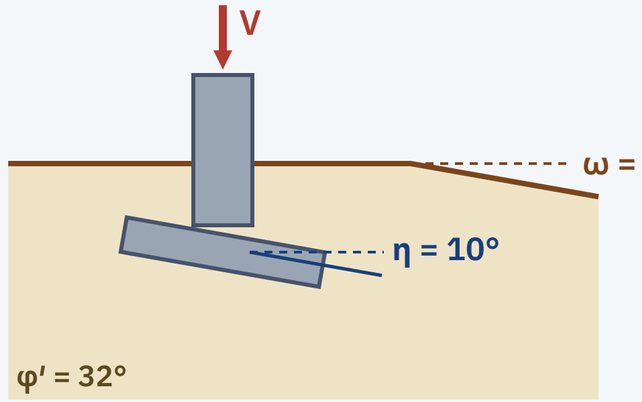
예제

조건

지반	$\varphi' = 32^\circ,\ \tan\varphi = 0.6249,\ N_q = 23.18$
저면 경사	**η = 10° (0.1745 rad)**
지표 경사	**ω = 10°**
비교	**Hansen 계수**

구하는 값

Vesic의 b_c, b_q, b_γ 및 g_c, g_q, g_γ 값을 구하라; Hansen의 값과 비교하라; φ = 0인 경우의 식을 쓰라.



풀이 (1/2)

풀이

1 저면 경사 η = 10° (Vesic)

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.1745 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.7938} \qquad b_c = 0.7938 - \frac{1 - 0.7938}{23.18 - 1} = \mathbf{0.7845}$$

2 지표 경사 ω = 10° (tan 10° = 0.1763)

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.1763)^2 = \mathbf{0.6784} \qquad g_c = 0.6784 - \frac{1 - 0.6784}{23.18 - 1} = \mathbf{0.6639}$$

3 φ = 0 형태 (10°의 경우)

$$b_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad g_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad b_q = b_\gamma = 1$$

풀이 (2/2)

풀이

	b_c	b_q	b_γ	g_c	$g_q = g_\gamma$
Vesic	0.784	0.794	0.794	0.664	0.678
Hansen	0.932	0.804	0.745	0.932	0.630

b_q와 g_q는 두 방법에서 **비슷하나**(0.794 및 0.804; 0.678 및 0.630) **점착력 계수는 크게 다르다.** Vesic의 b_c, g_c 값은 상재하중 계수로부터 유도되고(0.784 및 0.664), Hansen의 값은 1 – 각도/147°(0.932)이다. c = 0인 모래에서는 이 차이가 결과에 영향을 주지 않는다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

식의 결합과 검토

이론

여섯 가지 보정이 부담스러워 보이지만 **일반적인 경우에는 모두 1**이다: 모듈 기본값(h = 0, η = 0, ω = 0)에서는 i = b = g = 1이 되어 식은 Meyerhof 일반식과 같아진다. q_u는 파괴 시의 연직 압력이며, 모듈은 전압력과 순압력을 구분하여 다룬다:

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

적용 압력 $q_{applied}$는 같은 하중 조건에서 저면의 **수직 총압력**(V/A)이다. 기초는 다음 조건에서 적합하다:

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

허용 연직하중 $Q_{all} = q_{all,g} \cdot A$. h > 0일 때는 $q_{applied}$를 입력해야 한다.

계수는 언제 1이 되는가?

계수	1인 경우
F_s	연속기초 (B/L = 0)
F_d	D_f = 0 (저면이 지표에 위치)
i	h = 0 (수직하중)
b	η = 0 (수평 저면)
g	ω = 0 (수평 지반)

계수는 변하지 않고 q와 γ가 변한다

이론

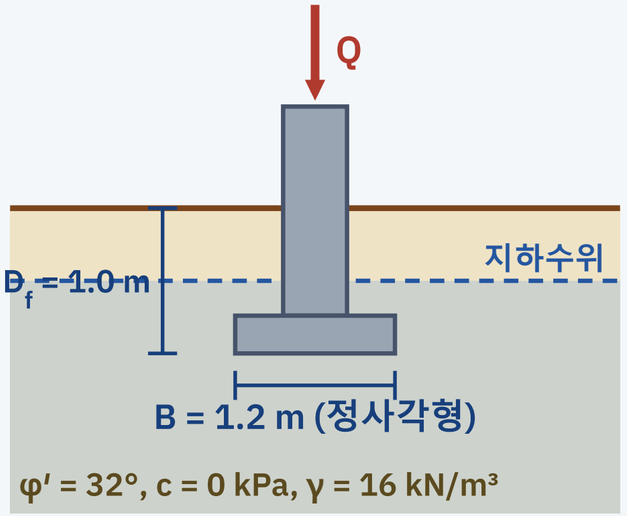
지하수는 이 절의 다른 모듈과 **동일한 두 가지 경우**로 다룬다. 지하수위 아래에서 유효단위중량은 $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ ($\gamma_w = 9.81$)이다. D_w는 지표면에서 지하수까지의 깊이이다:

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

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

$D_w = D_f$인 경우 $q = \gamma D_f$이며, 세 번째 항에는 γ'를 사용한다.

저면 아래 B보다 깊은 곳의 물은 **영향이 없다**. 물은 **q와 γ**를 통해서만 반영되며, F, i, b, g는 그대로이다.



문제

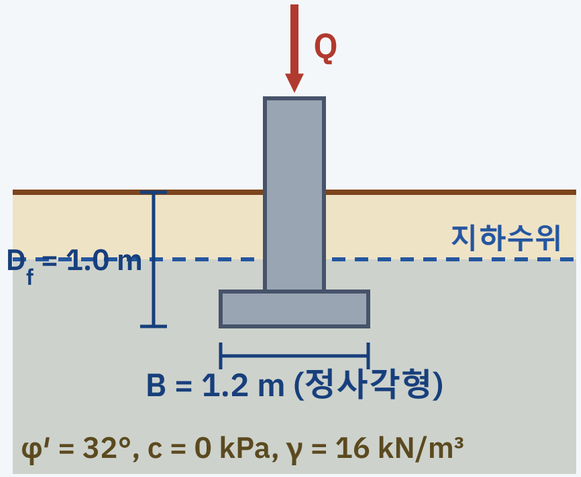
예제

조건

기초	**정사각형, B = L = 1.2 m, 기초 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	**모래:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
단위중량	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(상부),** $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 **(지하수위 아래)**
지하수	**D_W = 0.5 m (경우 I)**
하중	**연직, 중심**
안전	**FS = 3**

구하는 값

q_u, 전 및 순 **q_{all}**, 허용하중 **Q_{all}**; 이어서 c = 5 kPa에 대한 q_u.



풀이 (1/2)

풀이

1 계수 (예제 1: φ′ = 32°; B/L = 1; D_f/B = 0.833; h = η = ω = 0)

$$N_q = 23.18,\ N_\gamma = 30.21 \qquad F_{qs} = 1.625,\ F_{\gamma s} = 0.6,\ F_{qd} = 1.230 \qquad i = b = g = 1$$

2 경우 I: q = 16(0.5) + (19.5 − 9.81)(0.5); γ′ = 9.69 kN/m³ (세 번째 항에서)

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

풀이 (2/2)

풀이

3 지지력 (c = 0: 점착력 항 없음)

$$q_u = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230) + \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)$$
$$= 595.1 + 105.4 = \mathbf{700.46}\ \text{kPa}$$

4 허용지지압력과 하중 (A = 1.2² = 1.44 m²)

$$q_{all,g} = \frac{700.46}{3} = \mathbf{233.49}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{700.46 - 12.845}{3} = 229.20\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 233.49(1.44) = \mathbf{336.2}\ \text{kN}$$

Meyerhof 일반식과 같은 입력값(β = 0)으로 구한 q_u = **700.46 kPa**이며, 두 식은 **완전히 일치한다**. c = 5 kPa이면 점착력 항이 363.9 kPa 추가되어 q_u = 1,064.3 kPa이 된다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

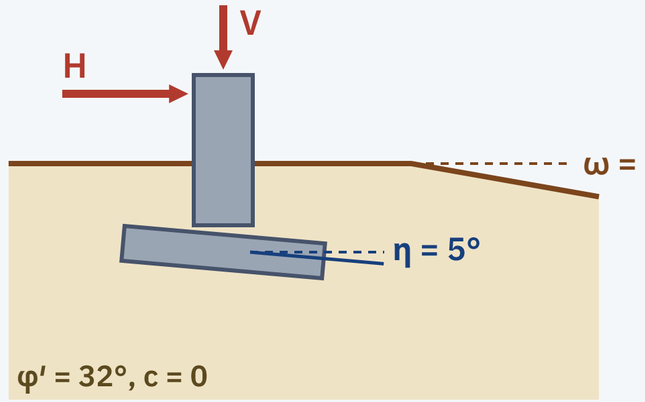
예제

조건

기초	**정사각형, B = L = 1.2 m, 기초 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	**모래:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
단위중량	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(상부),** $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 **(지하수위 아래)**
지하수	**D_w = 0.5 m**
하중 조건	$v = q_{apply} = 90$ kPa, $h = 18$ kPa **(h ∥ B)**
저면, 지반	**η = 5°, ω = 10°**
안전	**FS = 3**

구하는 값

q_u 및 **q_{all}**의 값을 구하고, 기초가 q_{app} = 90 kPa에 대해 조건을 만족하는지와 활동 안정을 검토하라.



풀이 (1/3)

풀이

1 경사 계수 (x = h/v = 18/90 = 0.2; m = 1.5)

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572} \qquad i_c = 0.703$$

2 저면경사계수 및 지표경사계수 (η = 5° = 0.0873 rad; ω = 10°)

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.0873 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.894} \qquad b_c = 0.889$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan 10^\circ)^2 = \mathbf{0.678} \qquad g_c = 0.664$$

풀이 (2/3)

풀이

3 세 개의 항 (c = 0; F 계수는 예제 6과 동일)

$$q\text{ 항} = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230)(0.716)(0.894)(0.678) = 258.2$$

$$\gamma\text{ 항} = \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)(0.572)(0.894)(0.678) = 36.6$$

4 지지력과 허용압력

$$q_u = 258.2 + 36.6 = \mathbf{294.8}\ \text{kPa} \qquad q_{all,g} = \frac{294.8}{3} = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

풀이 (3/3)

풀이

5 검토 (q_{appl} = 90 kPa)

$$q_{apply} = 90 \le q_{all,g} = 98.3 \;\Rightarrow\; \textbf{만족}$$

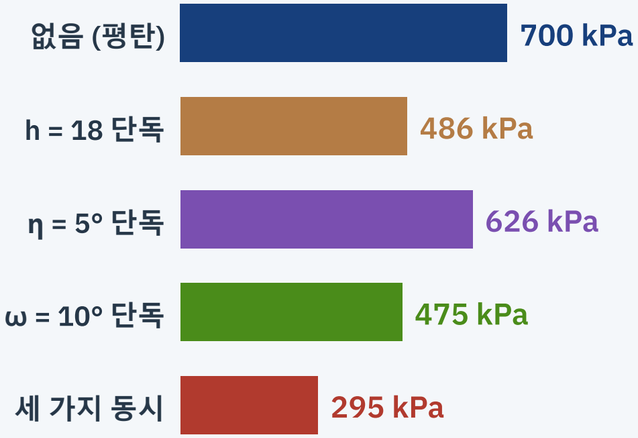
$$FS_{실제} = \frac{294.8}{90} = \mathbf{3.28} \ge 3$$

$$q_{apply} - q = 77.2 \le q_{all,n} = 94.0 \;\Rightarrow\; \textbf{만족}$$

6 활동 경계

$$h = 18 \le v \tan\varphi = 56.2 \text{ kPa} \;\Rightarrow\; \text{활동 없음}$$

수평 지반 모델에서 700 kPa이던 q_u는 이 하중 조건에서 **295 kPa**로 감소한다(58% 감소). 개별 영향: 지표 경사 −32%, 수평하중 −31%, 저면 경사 −11%. 기초는 세 조건 모두에서 적합하다(FS = 3.28).



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

φ = 0: 점착력 계수 자체의 형태

이론

φ = 0에서는 $N_c = 5.14$, $N_q = 1$, $N_\gamma = 0$이 된다; 자중 항은 사라지고 상재하중 항은 q g_q만 남는다. 이 모듈에서는 점착력 항이 **곱셈형**으로 유지된다(Hansen의 가산형과 다르다):

$$q_u = c\,N_c\,F_{cs}F_{cd}\,i_c\,b_c\,g_c + q\,g_q$$

점착력 항 계수의 φ = 0 형태는 표에 있다. 하중 경사에는 **$i_c = 1 - m\,h/(c\,N_c)$**, 저면경사와 지표경사에는 **1 − 2·각도/(π + 2)** (각도는 라디안).

h ≥ c이면 저면이 활동하며 모듈이 중단된다. φ = 0에서 $F_{cs} = 1 + (B/L)/5.14$ ($N_q/N_c = 1/5.14$), $F_{cd} = 1 + 0.4\,k$이다.

φ = 0 경우

계수	값
N_c	5.14
F_{cs}	1 + (B/L)/5.14
F_{cd}	1 + 0.4 k
i_c	1 − m h/(c N_c)
b_c	1 − 2η/(π + 2)
g_c	1 − 2ω/(π + 2)
g_q	(1 − tan ω)²

문제

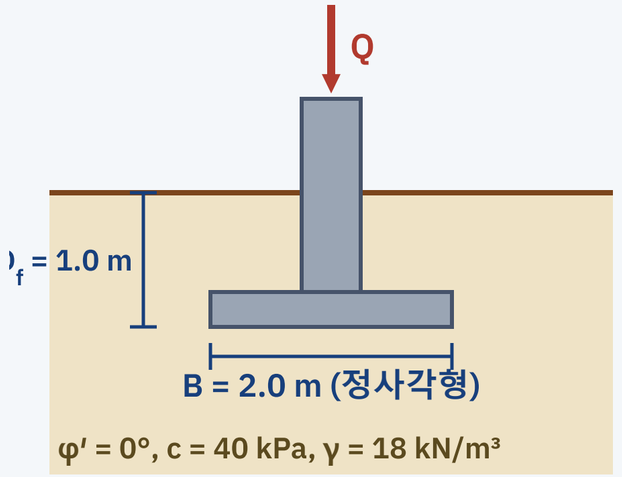
예제

조건

기초	**정사각형기초 B = L = 2 m, D_f = 1 m**
지반	**점토:** $\varphi = 0,\ c_u = 40$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3 **; 지하수 없음**
경우	**(a) 수직하중 · (b)** $v = 100,\ h = 10$ kPa **·** **(c)** $h = 10$ **및** $\eta = \omega = 10^\circ$

구하는 값

각 경우에 대해 q_u 값을 구하시오.



풀이 (1/2)

풀이

1 (a) 연직 하중: $F_{cs} = 1 + 1/5.14$; $F_{cd} = 1 + 0.4(0.5)$; $q = 18$ kPa

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200) + 18 = 294.72 + 18 = \mathbf{312.72}\ \text{kPa}$$

2 (b) $h = 10$ kPa, $c = 40$ ($m = 1.5$)

$$i_c = 1 - \frac{1.5(10)}{40(5.14)} = \mathbf{0.927} \;\Rightarrow\; q_u = 273.22 + 18 = \mathbf{291.22}\ \text{kPa}$$

풀이 (2/2)

풀이

3 (c) h = 10, η = ω = 10°: $b_c = g_c = 1 - 2(0.1745)/(\pi + 2) = 0.932$; $g_q = (1 - \tan 10°)^2$

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200)(0.927)(0.932)(0.932) + 18(0.678) = 237.4 + 12.2 = \mathbf{249.6}\ \text{kPa}$$

상태	$c\,N_c F_{cs} F_{cd} \cdot (i\,b\,g)$	$q\,g_q$	q_u (kPa)
(a) 연직	294.7	18.0	**312.7**
(b) h = 10	273.2	18.0	**291.2**
(c) h, η, ω	237.4	12.2	**249.6**

h = 10 kPa의 하중만으로 지지력이 7% 감소하며, h와 함께 저면 경사와 지표 경사까지 고려하면 20% 감소한다. Hansen의 가산형 식은 동일한 연직 조건에서 305.84 kPa로 산정된다 (Hansen 강의): 두 방법은 2% 이내로 일치한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

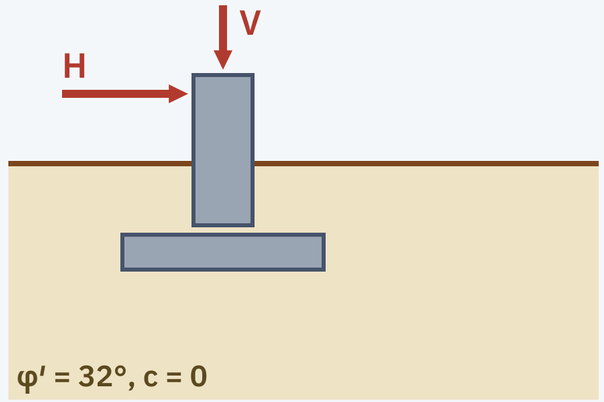
예제

조건

기초	**정사각형, B = L = 1.2 m, 기초 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	**모래:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
단위중량	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(상부),** $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 **(지하수위 아래)**
지하수	D_w **= 0.5 m**
하중 조건	$v = 150$ kPa, $h = 30$ kPa; **Meyerhof의 경우** $\beta = 11.31^\circ$

구하는 값

연직하중과 이 경사하중에 대해 두 식의 q_u 값을 항별로 비교하라.



풀이 (1/2)

풀이

연직하중	Vesic	Meyerhof
q항	595.1	595.1
γ항	105.4	105.4
q_u (kPa)	**700.46**	**700.46**

하중경사, 저면경사, 지표경사가 없을 때 Vesic 식은 Meyerhof 일반식과 **정확히 같다**(700.46 kPa). Vesic 식이 달라지는 것은 경사가 있는 경우부터이다. 이는 모듈 자체의 검증 경로이다.

풀이 (2/2)

풀이

경사하중	Vesic (m = 1.5)	Meyerhof (β = 11.31°)
i_q / F_{qi}	0.716	0.764
i_γ / $F_{\gamma i}$	0.572	0.418
q항	425.8	454.9
γ항	60.3	44.1
q_u (kPa)	**486.1**	**499.0**

기울어진 하중에서는 차이가 작다: **2.6%** (Vesic이 더 낮다). Meyerhof의 $F_{\gamma i}$는 더 많이 감소시키고 F_{qi}는 더 적게 감소시키며, q 항이 지배적이므로 결과가 가깝다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

요약

핵심 정리

Vesic 식은 Hansen 식과 구조가 같다. **De Beer 형상** 및 **Hansen 깊이** 계수와 $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$를 그대로 채택한다

고유한 기여: 하중경사 지수 m, 저면경사 b 및 지표경사 g 계수

하중경사: $i_q = (1 - h/(v + c\cot\varphi))^m$, $i_\gamma = (\ldots)^{m+1}$; $m = (2 + B/L)/(1 + B/L)$ ($h \parallel B$) 또는 $(2 + L/B)/(1 + L/B)$ ($h \parallel L$); 연속기초에서는 $m_B = 2$, $m_L = 1$

저면 경사 $b_q = b_\gamma = (1 - \eta\tan\varphi)^2$; **지표 경사** $g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$; $\varphi > 0$에서 b_c, g_c는 상재하중 계수로부터, $\varphi = 0$에서는 $1 - 2\cdot$각도$/(\pi + 2)$

한계: $h > v\tan\varphi + c$이면 활동 경고; $h \geq v + c\cot\varphi$ ($\varphi = 0$에서는 $h \geq c$)이면 중지; $\omega > \varphi$이면 중지

$i = b = g = 1$이면 방정식은 **Meyerhof의 일반 방정식**이며, **지하수**는 q와 γ만 변화시킨다

검토: $q_{app} \leq q_{all,g}$, FS_{actual} 및 순 값; 각 방법의 계수는 자체 N_γ와 함께 사용한다

참고문헌

B/L 의존 하중경사지수 및 독자적인 저면경사계수를 포함한 Vesic의 완전한 지지력 공식은 Vesic, A.S., "Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1973을 따르며, 이는 표준 지반공학 참고문헌(Hansen의 관련 공식과 함께 — 이 섹션의 Hansen 모듈 참조) 전반에 걸쳐 일관되게 재기술되어 있다. 이 섹션 전체에서 사용되는 Nγ 닫힌형식은 Das, B.M., Principles of Geotechnical Engineering, 제9판, Cengage Learning, 2018 (장 16)에 제시된 Vesic의 제안식이다. 깊이계수는 Das, B.M., Principles of Foundation Engineering, 제8판, Cengage Learning, 2016 (표 4.3)에 재기술된 Hansen의 제안식이다. 본 페이지 본문에서 "원문 출처"는 이 두 서적 중 첫 번째를, "제2 출처"는 두 번째 서적을 의미한다.

참고

모든 수치 예제는 모듈 자체의 계산 라이브러리로 산출하였으며, 모듈은 같은 값을 준다.

온라인 지반공학 계산

이론에서 실무로

이 강의의 예제 기초를 GeoTerva에서 단계별로 계산해 보기: 모듈이 이 모델로 열린다.

모듈 열기 →

이론 페이지 →

스마트폰으로 열기

체험 모듈은 가입 없이 이용할 수 있습니다.

강의에서 사용하려면: info@geoterva.com