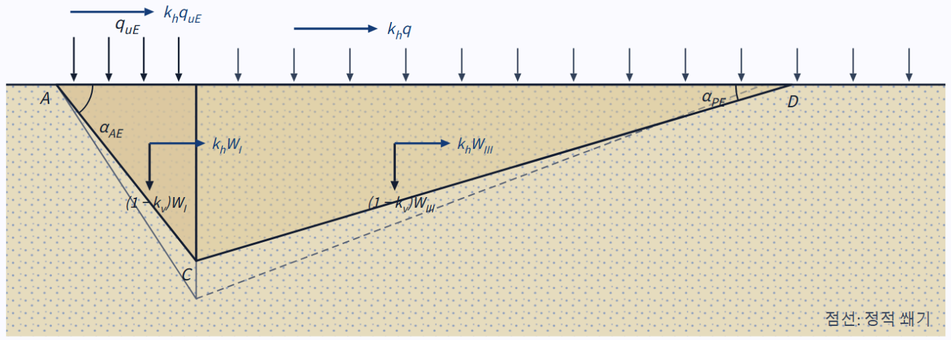
지반공학 강의 자료 · 기초

지진 시 연속기초 지지력

강의: Richards, Elms, Budhu의 두 Coulomb 쐐기로부터 정적 지지력계수와 지진 시 Mononobe–Okabe 계수를 거쳐 지진에 의한 감소 정도까지; 각 주제별 계산 예제.

두 개의 Coulomb 쐐기 · $K_A \cdot K_P \cdot \alpha_A$ · Mononobe–Okabe · $\theta = \tan^{-1} k_h/(1-k_v)$ · 지진의 영향 · 계산 예제



개요

이 강의에서 다루는 내용

- 연속기초의 **두 Coulomb 쐐기**(주동 ABC, 수동 BCD)로 지지력 메커니즘을 구성하기
- K_A, K_P, α_A, α_P의 값과 이로부터 N_q, N_γ, N_c 계수를 닫힌 형태의 식으로 구하기
- 지진을 **의사정적** 힘으로 취급하기: $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$와 **Mononobe–Okabe** 계수 K_{AE}, K_{PE}
- **지진 시 지지력 q_{uE}**와 정적 값에 대한 비율 계산
- k_h와 k_v에 대한 민감도 및 **$\theta \geq \varphi$ 한계**의 해석
- q_{uE}로부터 허용지지압력을 구하고 기초를 **검토**하는 방법

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): 폭 1.5 m의 연속기초, D_f = 1 m, c = 30 kPa, φ' = 25°, γ = 17 kN/m³, k_h = 0.25.

대수나선 대신 두 개의 Coulomb 쐐기

이론

Richards, Elms, Budhu (1993)는 연속기초에 대해 **지진 하중에도 적용할 수 있는** 이론을 제안하였다. Terzaghi나 Meyerhof의 대수나선 대신 **두 개의 Coulomb 쐐기**로 이루어진 단순한 파괴면을 사용하며, 따라서 모든 계수가 **닫힌 형태**로 얻어진다.

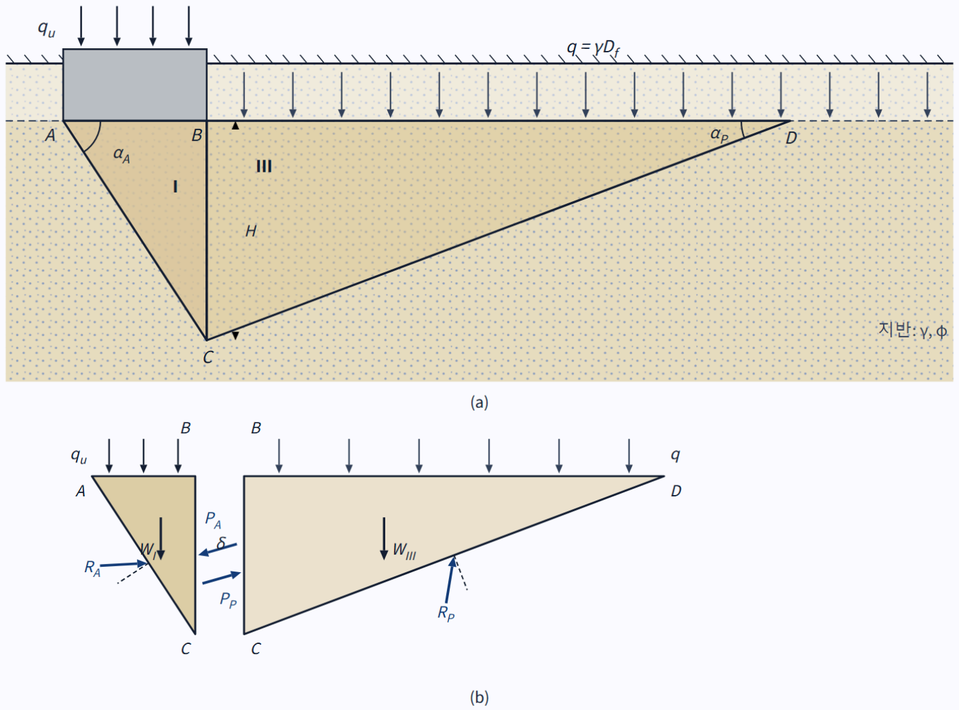
연속기초, 폭 B, 깊이 D_f; 기초 저면 위의 지반은 상재하중 $q = \gamma D_f$로만 작용한다.

c–φ 지반, $\varphi > 0$; 파괴 영역에 지하수 없음.

지진 **의사정적 관성력**: 수평 및 수직 계수 k_h, k_v가 쐐기와 하중에 작용한다.

두 쐐기 사이의 연직면에서 **벽면마찰각 $\delta = \varphi/2$** (저자들의 제안).

기초 아래의 쐐기는 **주동**(ABC), 그 옆의 쐐기는 **수동**(BCD)이며, 둘은 BC면에서 만난다(높이 H).



쐐기 각과 Coulomb 계수

이론

쐐기 경사 αA와 αP는 **위험 Coulomb 쐐기**의 각도이다 (수평에서 측정):

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

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

Coulomb 힘의 수평 성분은 다음 계수들로 나타낸다:

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

표기

δ = φ/2: 쐐기 사이의 벽면마찰

α_A: 경사면 AC가 수평과 이루는 각

α_P: 경사면 CD가 수평과 이루는 각

P_A, P_P: BC 면에 작용하는 Coulomb 힘

R_A, R_P: 경사면에 작용하는 합력

W_I, W_{III}: 쐐기 무게

문제

예제

조건

지반	$\varphi' = 25^\circ$ **(모듈의 초기 모델)**
벽면마찰	$\delta = \varphi/2 = 12.5^\circ$

구하는 값

계수 **K_A, K_P**와 쐐기각 **α_A, α_P**를 구하라.

풀이 (1/2)

풀이

1 공통 제곱근 항 (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 및 K_P ($\cos^2 25° = 0.8214$)

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

풀이 (2/2)

풀이

3 근호 항 (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 쐐기 각도

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

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

주동 쐐기는 가파르고(α_A = 53.97°), 수동 쐐기는 완만하다(α_P = 23.85°). 쐐기 높이는 H = B tan α_A = 1.5 × 1.375 = **2.06 m**이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

BC면에서의 수평 평형

이론

상재하중만 고려하자 (φ ≠ 0, γ = 0, q ≠ 0); 기초 압력을 q'_u라 하자. BC면에서 수평력은 평형을 이룬다:

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

등분포 상재하중에서 각 힘은 토압계수 × 상재하중 × H이다: 주동 측에서는 q'_u, 수동 측에서는 q:

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

두 식을 같게 놓으면 H가 소거되고 **N_q**는 두 Coulomb 계수의 비가 된다:

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

NEDEN ORAN?

기초 아래의 주동 쐐기는 옆에 있는 수동 쐐기를 옆으로 민다. 양측은 동일한 높이 H에서 동일한 δ로 서로 맞닿으므로, 평형은 두 지반 저항의 **비율**만으로 결정된다.

쐐기의 중량은 $H = B \tan \alpha_A$를 통해 반영된다

이론

이제 자중만 고려한다($\varphi \neq 0$, $\gamma \neq 0$, $q = 0$). 기초 압력은 q''_u이다. 주동 측에서는 자중이 상재하중처럼 위에 더해지고, 수동 측에서는 자중만 작용한다:

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

같게 놓으면:

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

면의 높이는 주동 쐐기로부터 정해지며 $H = B \tan \alpha_A$이다; 이로부터 **N_γ**를 얻는다:

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

해설

N_γ는 쐐기 깊이에 좌우된다: **$\tan \alpha_A$** 계수는 쐐기가 얼마나 가파른지를 나타낸다. 가파른 쐐기(큰 α_A)는 더 깊이 내려가며 자중 항이 커진다.

중첩과 N_c

이론

상재하중 항과 중량 항이 합산된다 (중첩):

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

점착력에 대해 φ = 0일 때 Coulomb 쐐기 해석은 $N_c = 6$을 주며; 저자들은 간결함을 위해 알려진 관계를 사용한다:

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

이 **정적** 값은 이 두 쐐기의 지지력이며, Terzaghi, Meyerhof, Hansen 또는 Vesic의 Prandtl형 계수와는 **다르다**(φ = 25°: N_q = 9.67; Prandtl–Reissner 10.66).

지진 시 지지력은 이 값을 **감소시켜** 구하며, 모듈은 두 값을 나란히 제시한다.

정적 계수 (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

문제

예제

조건

기초	**연속기초 (띠형), B = 1.5 m, 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
단위중량	$\gamma = 17$ kN/m^3**; 지하수위가 파괴 영역에 없음**
이전 예제	$K_A = 0.3674$, $K_P = 3.5524$, $\alpha_A = 53.97^\circ$

구하는 값

N_q, N_γ, N_c 및 정적 **q_u** 값을 구하라.

풀이

풀이

1 지지력계수 (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 정적 지지력 (q = γ D_f = 17 kPa)

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

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

정적 지지력 **874.14 kPa**; 점착력 항 64%, 상재하중 항 19%, 자중 항 17%. 지진은 이 값을 감소시킨다(다음 절).

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

각 θ와 Mononobe–Okabe 계수

이론

지진 시에는 같은 두 쐐기를 **의사정적 관성력**으로 푼다. 중량과 관성력의 합력은 연직에서 θ만큼 기울며, 쐐기는 φ 대신 α = φ – θ로 계산한다:

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

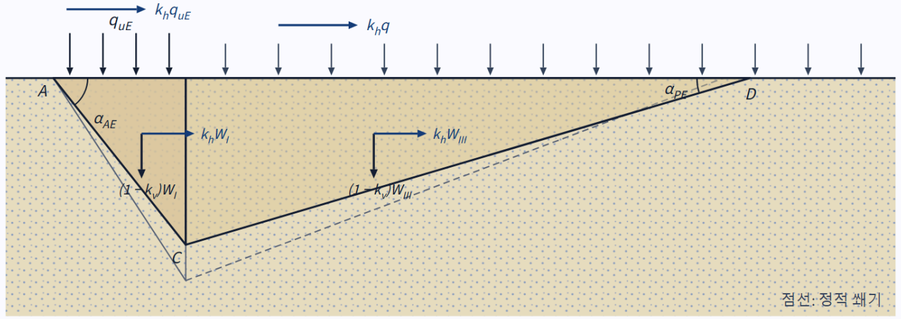
Coulomb 계수는 **Mononobe–Okabe** 계수가 된다:

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

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

θ = 0이면 모든 지진 시 식은 정적 형태로 돌아간다: $K_{AE} = K_A$, $K_{PE} = K_P$.

수평가속도가 커질수록 α는 감소한다: 쐐기가 완만해지고 파괴기구가 얕아진다.



문제

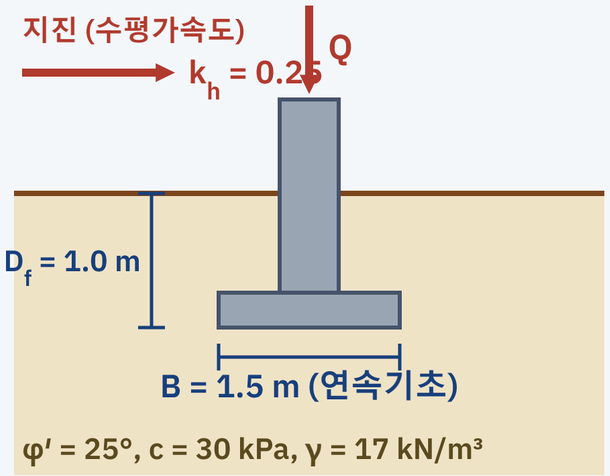
예제

조건

기초	**연속기초 (띠형), B = 1.5 m, 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25°$
단위중량	$\gamma = 17$ kN/m^3; **지하수위가 파괴 영역에 없음**
지진	**k_h = 0.25; k_v = 0**
벽면마찰	$\delta = 12.5°$

구하는 값

θ, α = φ − θ 및 **K_{AE}, K_{PE}** 값을 구하라.



풀이

풀이

1 경사각과 제곱근 항 (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} 및 K_{PE} ($\cos^2\alpha = 0.9638$; $\cos\theta = 0.9701$)

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

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

지진은 K_A를 0.367 → 0.601로 **증가**시키고, K_P를 3.552 → 2.709로 **감소**시킨다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

쐐기 각, 계수 및 q_{uE}

이론

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

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

평형이 동일하므로 계수도 같은 형태를 유지한다:

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

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

참고

N_{cE}의 경우 정적 관계식이 지진 상태로 **그대로 적용된다** (저자들은 이 이론을 사질토에 대해 기술한다). c > 0이면 모듈은 이를 하나의 가정으로 명시하고, c = 0에 대한 민감도를 제시한다.

문제

예제

조건

기초	**연속기초 (띠형), B = 1.5 m, 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
단위중량	$\gamma = 17$ kN/m^3**; 지하수위가 파괴 영역에 없음**
지진	**k_h = 0.25; k_v = 0**
이전 예제	$\theta = 14.04^\circ$, $K_{AE} = 0.6006$, $K_{PE} = 2.7089$

구하는 값

α_{AE}, N_{qE}, $N_{\gamma E}$, N_{cE} 및 이들의 정적 계수에 대한 비를 구하라.

풀이 (1/2)

풀이

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 지진 시 쐐기각 (정적 α_A = 53.97°)

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

풀이 (2/2)

풀이

3 지진 시 지지력계수 ($\tan\alpha_{AE} = 0.7322$)

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

	N_q	N_γ	N_c
정적	9.67	11.92	18.59
지진 ($k_h = 0.25$)	4.51	2.57	7.53
비율	**0.466**	**0.216**	**0.405**

지진은 **자중항을 가장 크게** 감소시키며($N_{\gamma E}$는 정적 값의 22%에 불과하다), N_{qE}와 N_{cE}는 약 절반을 유지한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

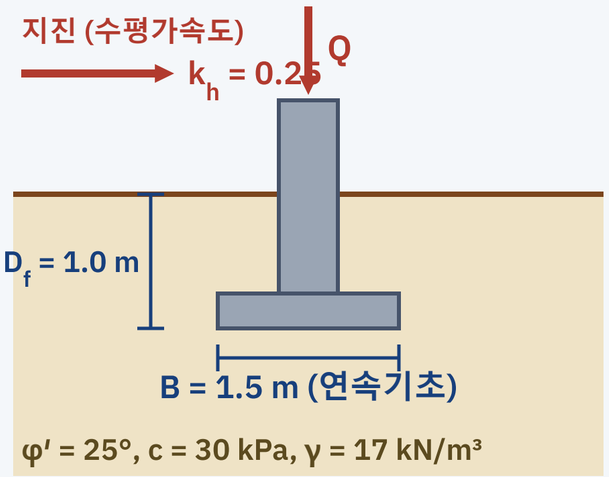
예제

조건

기초	**연속기초 (띠형), B = 1.5 m, 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
단위중량	$\gamma = 17$ kN/m^3; **지하수위가 파괴 영역에 없음**
지진	**$k_h = 0.25$; $k_v = 0$**
안전	**FS = 3**

구하는 값

q_{uE}, 정적 q_u에 대한 그 비, 전 및 순 **q_{all}**, 그리고 허용하중 **Q_{all}**(단위 길이당).



풀이

풀이

1 지진 시 지지력 (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 허용압력과 하중

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

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

지진은 지지력을 **874.14 kPa**에서 **335.28 kPa**로, 즉 정적 값의 **38%**로 감소시킨다(모듈은 정적 q_u를 함께 제시한다). 허용지지압력은 q_{uE}에서 취한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

지진은 얼마나 감소시키며, 한계는 어디인가?

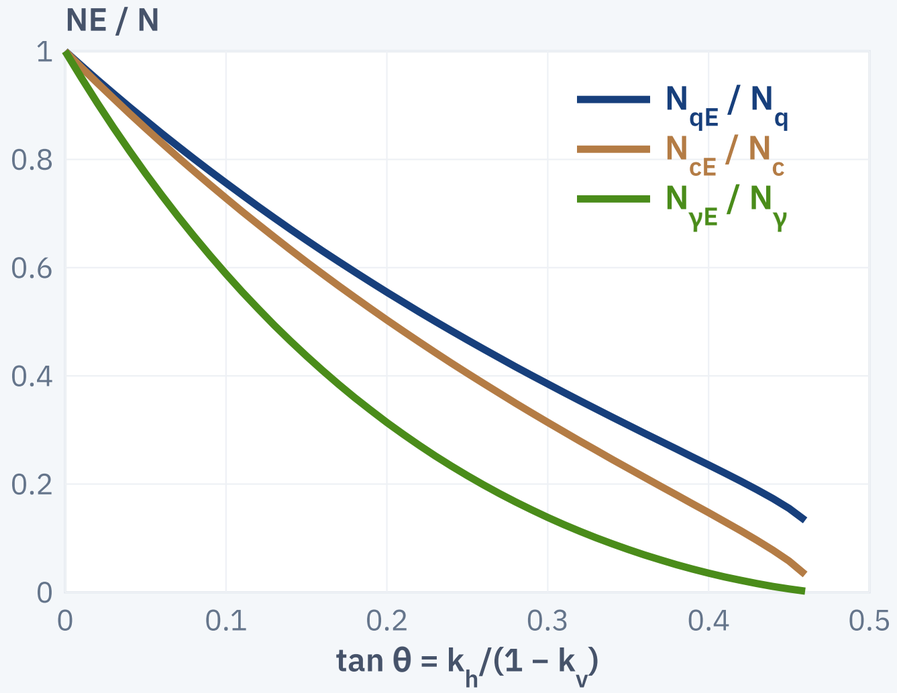
이론

원 자료는 감소량을 Richards 외 (1993)의 도표로 제시하며, 이 페이지는 이를 닫힌 형태의 식으로부터 그린다(옆 그림). **자중 항이 가장 크게 감소한다**: tan θ = 0.2에서 $N_{\gamma E}$는 정적 값의 약 삼분의 일이며, N_{qE}와 N_{cE}는 약 절반이 남는다.

θ → φ일 때 α = φ − θ → 0이며, 주동 쐐기의 경사가 완만해지고 세 계수 모두 0에 수렴한다; 마찰성 지반에는 수평 가속도에 저항할 여유가 남지 않는다.

이 이론은 $k_h/(1 - k_v) < \tan\varphi$일 때만 성립하며, 모듈은 θ ≥ φ가 되면 **중단된다**. 이 비율은 이론이 지진 시 침하가 시작될 것으로 예측하는 비율이기도 하다.

θ가 φ′에 가까워지면(θ > 0.85φ) 모듈이 경고를 표시한다: 이는 설계 용량이 아니라 방법의 한계이다.



φ′ = 25°, δ = φ/2에 대해 닫힌 형태의 식으로 그린 것이다.

문제

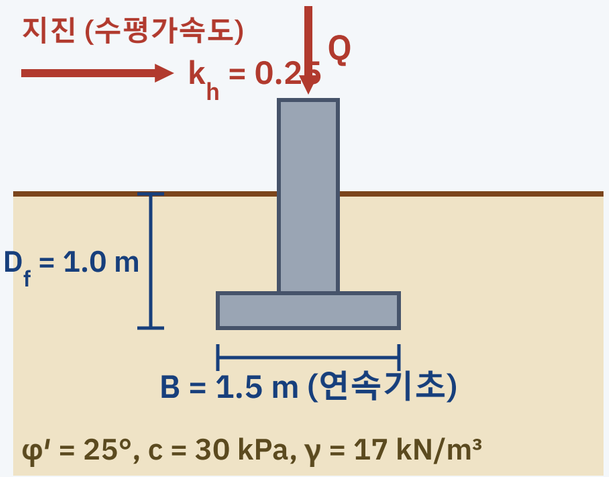
예제

조건

기초	**연속기초 (띠형), B = 1.5 m, 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25°$
단위중량	$\gamma = 17$ kN/m^3; **지하수위가 파괴 영역에 없음**
지진	**k_v = 0; k_h = 0, 0.05, … 0.45**

구하는 값

각 k_h에 대해 **θ, N_{qE}, $N_{\gamma E}$, N_{cE}, q_{uE}** 및 q_{uE}/q_u 값을 구하라; 모듈이 중단되는 k_h 한계를 계산하라.



풀이 (1/2)

풀이

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

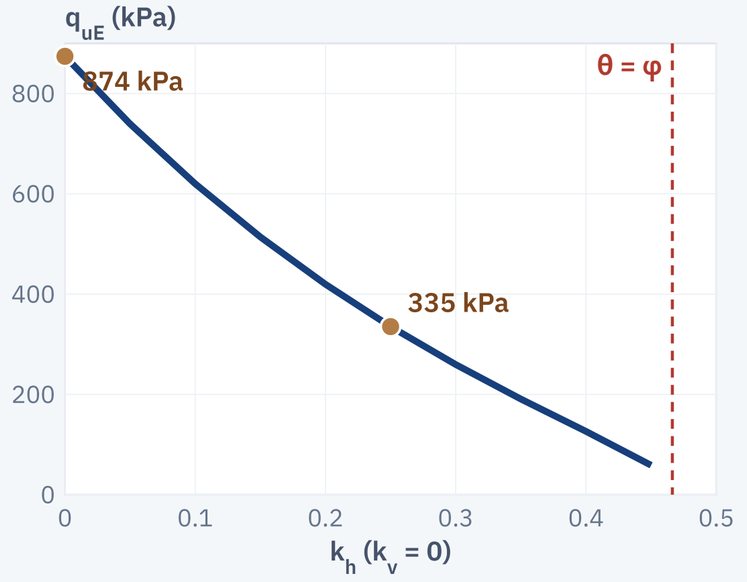
풀이 (2/2)

풀이

1 적용 한계: 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 = 0.25에서 q_{uE}는 정적 값의 38%이고, **k_h = 0.45에서는 7%에 불과하다**. k_h = 0.47을 입력하면 모듈이 계산을 중단한다(θ ≥ φ). 곡선은 처음에 가파르게 떨어진다: **작은 가속도에서도** 큰 손실이 발생한다(k_h = 0.05 → 85%).



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

예제

조건

기초	**연속기초 (띠형), B = 1.5 m, 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
단위중량	$\gamma = 17$ kN/m^3; **지하수위가 파괴 영역에 없음**
지진	**k_h = 0.25; k_v = 0, 0.1, 0.2, 0.3**

구하는 값

각 k_v에 대해 **θ**와 **q_{uE}** 값을 구하시오.

풀이

풀이

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

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

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_v가 증가하면 $(1 - k_v)$는 작아지고 θ는 커지며 q_{uE}는 감소한다: $k_v = 0.2$는 q_{uE}를 335 → 242 kPa로(28%) 낮춘다. 연직 가속도를 무시하면 **불안전 측**에 놓이게 된다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

지진 시 지지력에서 구한 허용지지압력

이론

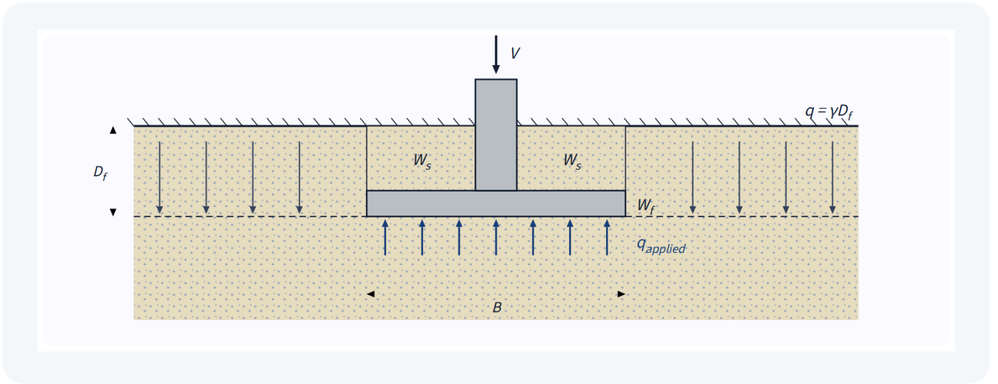
모듈은 허용압력을 **지진 시 지지력 q_{uE}**로부터 구하며, 전압력과 순압력을 구분하여 유지하고 정적 q_u를 함께 제시한다:

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

적용 압력 q_{app}은 지진 하중 조합에서 기초 저면의 **연직 전압력**(V/B; 기둥 하중 + 기초 + 흙의 무게)이다. 기초는 다음 조건을 만족하면 적합하다:

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

> 단위 길이당 허용하중은 $Q_{all} = q_{all,g}\,B$이다. 지진 시 수평 관성력은 k_h로 이미 반영되며, 독립적인 수평력, 모멘트 또는 편심은 이 계산의 **범위 밖**이다.



문제

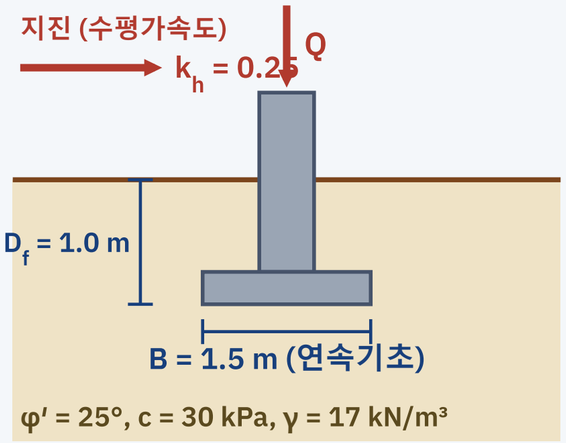
예제

구하는 값

모든 경우에 세 가지 조건(전, FS_{actual}, 순)을 검토하시오.

조건

결과 (예제 5)	**q_{uE} = 335.28 kPa; q = 17 kPa; FS = 3**
작용 압력	**지진 하중 조건에서 (a) q_{app} = 100 kPa · (b) q_{app} = 150 kPa**



풀이

풀이

1 (a) q_{appl} = 100 kPa

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

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

2 (b) q_{appl} = 150 kPa

$$150 > q_{all,g} = 111.76 \;\Rightarrow\; \textbf{만족하지 않음} \qquad FS_{\text{실제}} = \frac{335.28}{150} = \mathbf{2.24} < 3$$

$$150 - 17 = 133 > q_{all,n} = 106.09 \;\Rightarrow\; \textbf{만족하지 않음}$$

지진 하중에서는 **q_{app} ≤ 111.8 kPa**인 기초만 적합하다. 같은 기초가 정적 조건에서는 291 kPa까지 하중을 지지할 수 있다($q_{all,g}$ = 291.4).

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

예제

조건

기초	**연속기초 (띠형), B = 1.5 m, 저면 깊이 D_f = 1.0 m**
지반	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25°$
단위중량	$\gamma = 17$ kN/m^3; **지하수위가 파괴 영역에 없음**
지진	**k_h = 0.25; k_v = 0**
비교	**c = 30 kPa과 c = 0**

구하는 값

정적 지지력과 지진 시 지지력을 c = 30 및 c = 0에 대해 구하고, 점착력 항이 차지하는 비중을 고찰하라.

풀이

풀이

	cN_c	qN_q	$\frac{1}{2}\gamma B N_\gamma$	합계
정적, c = 30	557.8	164.4	152.0	**874.1**
지진 시, c = 30	225.8	76.7	32.8	**335.3**
정적, c = 0	0	164.4	152.0	**316.4**
지진 시, c = 0	0	76.7	32.8	**109.4**

지진 시 점착력 항은 q_{uE}의 **67%**이며, $N_{cE} = (N_{qE} - 1)\cot\varphi$라는 가정이 결과에 뚜렷한 영향을 준다. 보수적인 민감도 검토로서 c = 0일 때 q_{uE} = **109.4 kPa**이다(c = 30일 때 335.3 kPa).

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

요약

핵심 정리

두 개의 Coulomb 쐐기(주동 ABC, 수동 BCD), 둘 사이의 벽면마찰 $\delta = \varphi/2$; $H = B \tan \alpha_A$; 각 계수는 닫힌 형태의 해

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

지진: $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$, $\alpha = \varphi - \theta$; K_{AE}, K_{PE}는 Mononobe–Okabe 식에 따르고, N_{qE}, $N_{\gamma E}$, N_{cE}도 같은 형태이며, $q_{uE} = 335.28$ kPa (정적 값의 38%)

자중 항이 가장 크게 감소한다($N_{\gamma E}/N_\gamma = 0.22$); N_{qE}와 N_{cE}는 약 절반을 유지한다

한계: $k_h/(1 - k_v) < \tan \varphi$; $\theta \geq \varphi$이면 모듈이 중단되고, $\theta > 0.85\varphi$이면 경고한다; k_v를 무시하면 결과는 불안전 측에 놓인다

검토: 허용압력은 q_{uE}로부터; $q_{appl} \leq q_{all,g}$, FS_{actual} 및 순 값; $Q_{all} = q_{all,g}\, B$

참고문헌

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 — Section 6.3.1; 본 페이지는 해당 유도 과정을 따릅니다.

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).

도면은 본 페이지의 수식으로부터 축척에 맞게 작성되었습니다.

참고

그림의 일부는 GeoTerva 이론 페이지에서 가져온 것이며, 수치 예제는 모두 모듈 자체의 계산 라이브러리로 산출하였고 모듈이 동일한 값을 제공한다.

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