지반공학 강의 자료 · 측방토압

수동토압: 대수나선

강의: 거친 벽체에 작용하는 수동토압을 곡선 파괴면(대수나선)으로 계산하는 방법, Terzaghi–Peck 시행쐐기, Lancellotta 해, Coulomb 해와의 비교; 경사진 배면, 경사진 지표면, 지층과 지하수; 각 주제별 계산 예제.

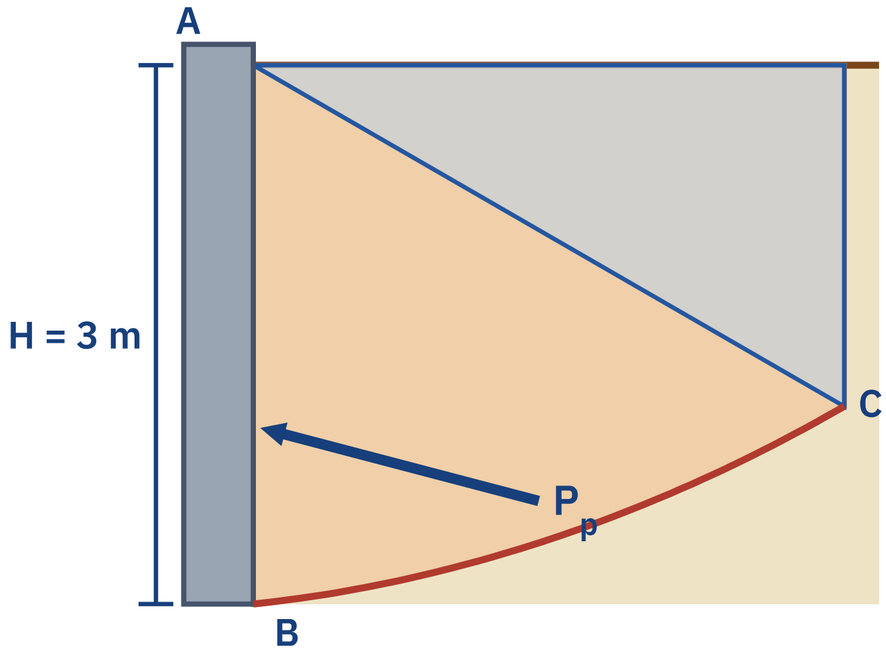
벽면 마찰

$r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$

Terzaghi – Peck 쐐기

Lancellotta · Coulomb

경사 뒤채움 · 지층 · 지하수



개요

이 강의에서 다루는 내용

- 거친 벽체에서 **평면 쐐기**(Coulomb) 대신 **곡면**이 필요한 이유
- **대수나선**: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; 모든 반지름이 곡선과 φ'의 각으로 만나는 것, 합력이 나선의 중심을 지나는 것
- **Terzaghi–Peck** 시행쐐기에서 모멘트 평형으로 P를 계산하는 방법; 힘을 **가장 작은** 시행쐐기로부터 구하는 방법
- K_p를 **Lancellotta** 폐쇄형 해, Coulomb, Shields–Tolunay, Zhu–Qian의 결과와 비교하기
- 경사진 배면, 경사진 지표면, 상재하중, **지층과 물**까지 고려한 일반화 쐐기
- 큰 δ'에서 Coulomb 해가 얼마나 **위험측**이 되는지

강의 흐름

각 주제는 **세 단계**로 다룬다:

1 · **이론**: 규칙은 무엇이며 왜 그러한가?

2 · **문제**: 조건과 구하는 값

3 · **풀이**: 단계별 수치 계산

힘은 벽체 단위 길이당 값(kN/m)이며, $P_p = \tfrac{1}{2} K_p \gamma H^2$이다. 벽면마찰각 δ'는 벽체가 지반을 아래쪽으로 끌어내리는 방향으로 작용한다.

수동토압에서는 왜 평면 활동면이 생기지 않는가?

이론

Coulomb의 평면 활동면은 **주동** 압력에 대해서는 좋은 근사이지만, 거친 벽체의 **수동** 저항에서는 실제 저항보다 큰 값을 주며 벽면마찰이 클수록 그 차이가 더 커진다: **위험 측**이다.

벽체가 지반 쪽으로 밀리면 지반은 벽체에 대해 상대적으로 상승한다. 벽체는 지반을 **아래로** 미끄러뜨리고(벽면마찰각이 양의 값), 수동토압의 합력은 벽면의 법선으로부터 δ'만큼 **아래로** 기울어진다. 이 경우의 파괴면은 다음과 같다:

- 하단부 부근 (BC)에서는 **곡선**이다 (대수나선)
- 지표면에 가까운 구간(CD)은 **직선**이다: 수평과 $45° - \varphi'/2$를 이루며, 영역 ACD는 Rankine 수동 상태이다

Coulomb 방법은 얼마나 더 큰 값을 주는가?

φ' / δ'	나선형	Coulomb
30° / 15°	4.61	4.98
30° / 30°	6.68	10.10
40° / 20°	9.67	11.77
40° / 40°	18.86	92.59

K_p 계수; $\varphi' = \delta' = 40°$일 때 Coulomb은 5배 큰 값을 준다.

나선을 유용하게 만드는 특성

이론

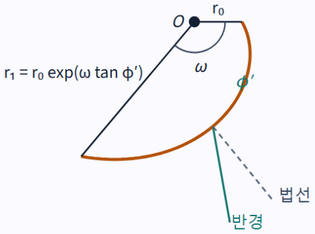
활동면의 곡선 BC 구간은 O를 중심으로 하는 대수나선으로 취한다:

$$r = r_0 \, e^{\omega \tan \varphi'}$$

r_0는 ω = 0에서의 반지름이다. 나선의 성질: **모든 반지름은 곡선과 φ′의 각으로 만난다**. 사질토에서 파괴면의 수직력과 전단력의 합력도 법선과 φ′의 각을 이룬다. 즉 나선 위에서 합력은 한 반지름 방향으로 놓이며 **O를 지난다**. 따라서 O에 대한 모멘트 방정식에서 소거된다.

$$A_{OAB} = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4 \tan \varphi'}$$

r_0과 r_1 사이의 절편의 면적이며, 모듈은 쐐기 면적과 도심을 수치적으로 구한다.



나선상의 수직력 및 전단력의 합력 F(법선과 φ′의 각도를 이룸)는 반경선상에 위치함 — 즉, 중심 O를 통과함

문제

예제

조건

나선형	**중심 O; 초기 반경** $r_0 = 1.00$ **m;** $\varphi' = 30^\circ$
각도	$\omega = 60^\circ$ **및** $\omega = 90^\circ$

구하는 값

$\mathbf{r_1}$, 반경과 곡선이 이루는 각 및 부채꼴 **면적**.

풀이

풀이

1 ω = 60° = 1.0472 rad

$$r_1 = r_0 e^{\omega \tan\varphi'} = 1.00\, e^{1.0472 \times 0.5774} = 1.00\, e^{0.6046}$$

$$r_1 = \mathbf{1.831}\ \text{m}$$

2 부채꼴 면적

$$A = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4\tan\varphi'} = \frac{3.351 - 1.00}{4(0.5774)} = \mathbf{1.018}\ \text{m}^2$$

3 ω = 90°일 때

$$r_1 = 1.00\, e^{1.5708 \times 0.5774} = \mathbf{2.477}\ \text{m} \qquad A = \mathbf{2.223}\ \text{m}^2$$

반지름은 라디안마다 $e^{\tan\varphi'} = 1.781$배로 커진다. ω = 60°에서 r_1 = 1.831 m, 면적은 1.018 m²이다. 반지름은 곡선과 **모든 점에서 φ′ = 30°**의 각을 이루며, 이 때문에 합력은 O를 지난다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

Terzaghi와 Peck (1967)의 방법

이론

높이가 H인 연직 벽체 AB에 대하여:

A에서 표면 아래쪽으로 **45° − φ′/2**의 각을 이루는 직선 AC를 긋고, 그 위에서 점 C를 택한다.

직선 AC 위에서, B를 지나고 반지름이 r_0 = OB이며 C에 이르는 (r_1 = OC = $r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$) 나선의 중심 **O**를 찾는다.

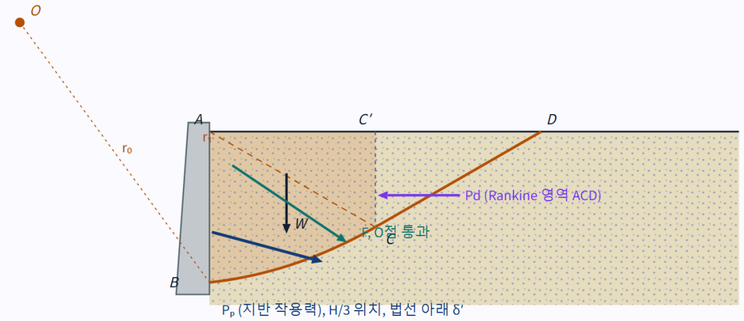
CC′ 면은 ACD 영역의 Rankine 수동력을 지지한다 (수평, C로부터 d/3 위):

$$P_d = \tfrac{1}{2}\gamma d^2 \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

쐐기 ABCC′의 중량 W, P_d, 벽체력 P(H/3 위치, 법선에서 δ' 아래쪽)에 대한 O점 모멘트(합력 F는 O를 지난다):

$$P = \frac{W\, l_W + P_d\, l_1}{l_P} \qquad P_p = \min_C P \qquad K_p = \frac{2P_p}{\gamma H^2}$$

시행 계산은 여러 C 값에 대해 반복하며, 가장 작은 힘이 수동력이다. δ' = 0에서는 나선 평면으로 환원되고 $K_p = \tan^2(45° + \varphi'/2)$이다.



문제

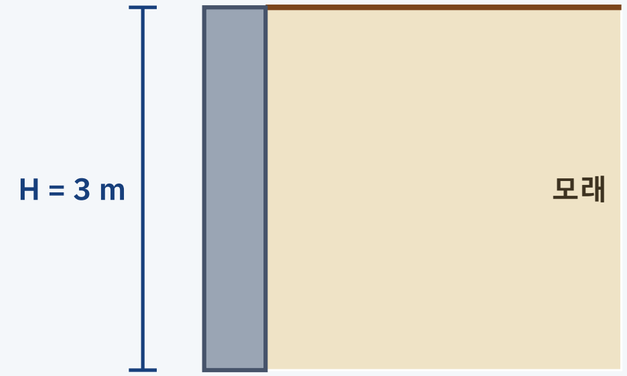
예제

조건

벽체	$H = 3$ m, 수직; 수평 뒤채움
지반	건조 모래: $\gamma = 15.7$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$; 벽면마찰 $\delta' = 15°$

구하는 값

가장 작은 시행쐐기의 형상과 P_p, K_p; 여러 시행쐐기와의 비교. 이 벽체가 모듈의 초기 예제이다.



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (수동)

풀이 (1/2)

풀이

1 기하 조건 (수평에 대한 AC의 경사각 45° − 15° = 30°)

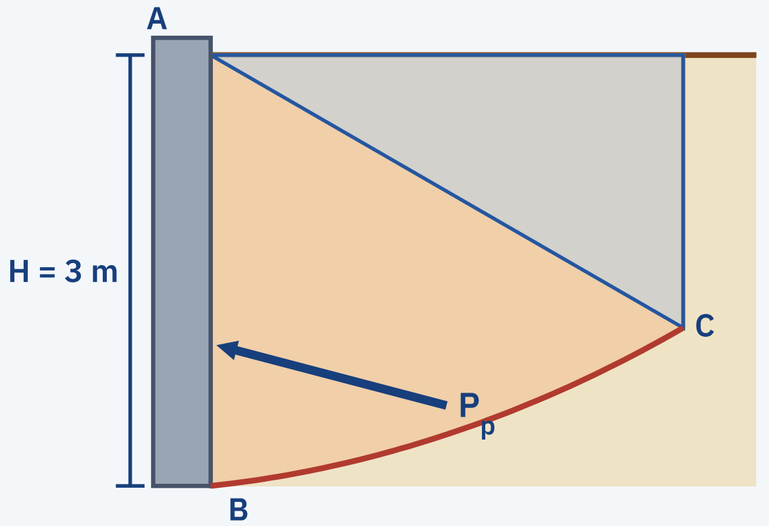
$$t = 3.80\ \text{m}: \quad C = (3.29;\ 1.10)\ \text{m}, \quad d = H - y_C = 1.90\ \text{m}$$

$$O = (-3.76;\ 5.17)\ \text{m}, \quad r_0 = OB = 6.39\ \text{m}, \quad r_1 = OC = 8.14\ \text{m}$$

2 나선각과 쐐기 중량

$$\omega = \ln(r_1/r_0)/\tan 30^\circ = 23.97^\circ$$

$$W = \gamma A_{ABCC'} = 15.7\,(8.480) = \mathbf{133.14}\ \text{kN/m}$$



풀이 (2/2)

풀이

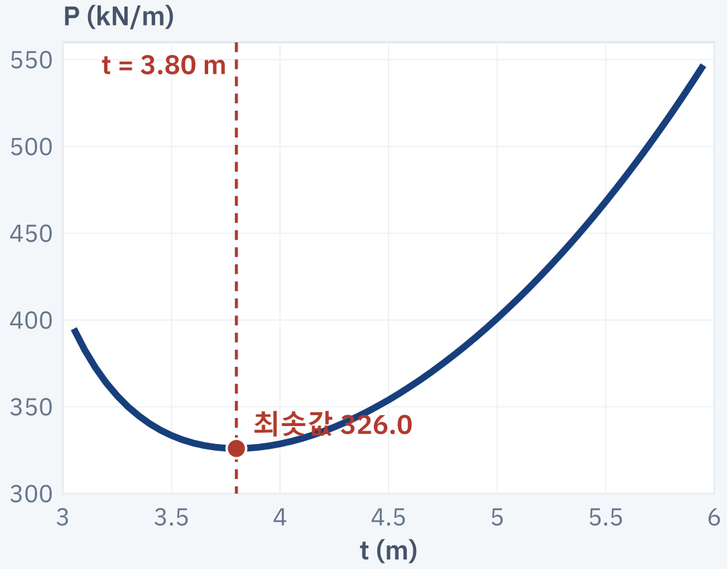
3 Rankine 영역: $P_d = \frac{1}{2}\gamma d^2 \tan^2 60°$

$$P_d = \tfrac{1}{2}(15.7)(1.899)^2(3) = \mathbf{84.96}\ \text{kN/m}$$

4 O에 대한 모멘트 (모멘트 팔 $l_W = 5.289$, $|l_1| = 3.438$, $l_P = 3.056$ m)

$$P = \frac{W\,l_W + P_d\,|l_1|}{l_P} = \frac{133.14(5.289) + 84.96(3.438)}{3.056} = \mathbf{326.03}\ \text{kN/m}$$

최소 시행력은 **P_p = 326.0 kN/m**(t = 3.80 m)이며, $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$ = **4.615**이다. t가 더 작거나 클 때 힘이 증가하므로(t = 3.2 m: 363.8; t = 4.5 m: 354.0 kN/m), 수동력은 **가장 작은** 시행 쐐기의 값이다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

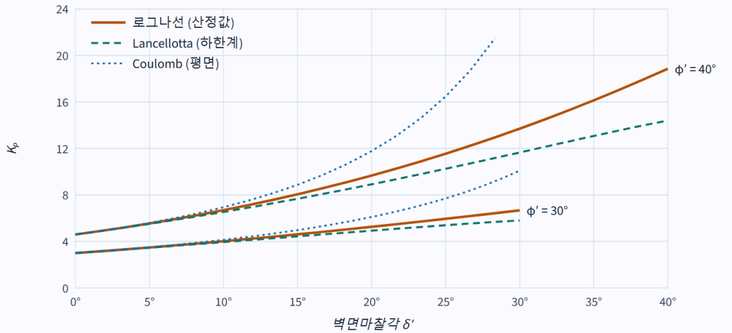
나선 및 기타 해법

이론

수직 벽체, 수평 뒤채움에 대한 다른 해(모두 $P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma H^2$): Shields–Tolunay(절편법, 표), Sokolowskiĭ(특성곡선법, 표), Zhu–Qian(삼각형 절편, 표), 그리고 **Lancellotta(2002)**의 닫힌 형태 해(하한):

$$K_p = \frac{\cos\delta'}{1-\sin\varphi'}\left(\cos\delta' + \sqrt{\sin^2\varphi' - \sin^2\delta'}\right) e^{2\theta\tan\varphi'}\frac{1}{\cos\delta'} \qquad 2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin\delta'}{\sin\varphi'} + \delta'$$

φ′	δ′	대수나선	Lancellotta	Coulomb
20°	10°	2.56	2.52	2.64
20°	20°	3.07	2.87	3.53
30°	15°	4.61	4.44	4.98
30°	30°	6.68	5.80	10.10
40°	20°	9.67	8.92	11.77
40°	40°	18.86	14.39	92.59



Lancellotta는 하한이고 대수나선은 상한이며, 특성곡선법은 두 값 사이에 있고 나선에 매우 가깝다.

Coulomb 해는 큰 δ′에서 값을 과대평가한다 (φ′ = δ′ = 40°: 92.6).

문제

예제

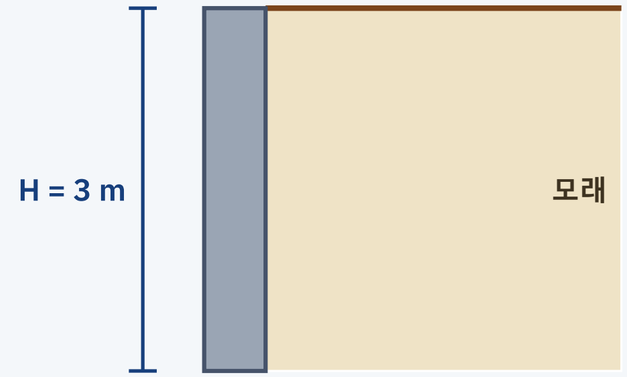
구하는 값

Lancellotta의 K_p를 단계별로; 다섯 가지 해의 P_p 값과 순위.

조건

벽체와 지반

예제 2의 벽체: $H = 3$ m, $\gamma = 15.7$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (수동)

풀이 (1/2)

풀이

1 Lancellotta (하한): 2θ와 K_p

$$2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin 15^\circ}{\sin 30^\circ} + 15^\circ = 31.17^\circ + 15^\circ = 0.8059\ \text{rad}$$

$$K_p = \frac{\cos 15^\circ}{1-\sin 30^\circ}\left(\cos 15^\circ + 0.4278\right) e^{0.8059\,\tan 30^\circ}\frac{1}{\cos 15^\circ} = \mathbf{4.439}$$

풀이 (2/2)

풀이

2 다섯 가지 해 ($P_p = ½K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$)

풀이	K_p	P_p (kN/m)
Coulomb (1776), 평면 파괴면	4.977	351.6
Terzaghi & Peck (대수나선)	4.615	326.0
Shields & Tolunay (1973)	4.280	302.4
Zhu & Qian (2000)	4.575	323.2
Lancellotta (2002)	4.439	313.6

평면 Coulomb 해가 가장 큰 값(351.6 kN/m)을 제공하며, 곡면 파괴면 해는 **302–326 kN/m** 범위에 집중된다. Lancellotta(하한)는 313.6, 대수나선(상한)은 326.0 kN/m이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

예제

조건

지반	**모래, $\varphi' = 30°$; 연직 옹벽, 수평 뒤채움**
변수	$\delta' = 0°,\ 10°,\ 15°,\ 20°,\ 30°$

구하는 값

각 δ'에 대한 K_p(대수나선, Lancellotta, Coulomb)와 Coulomb의 초과분.

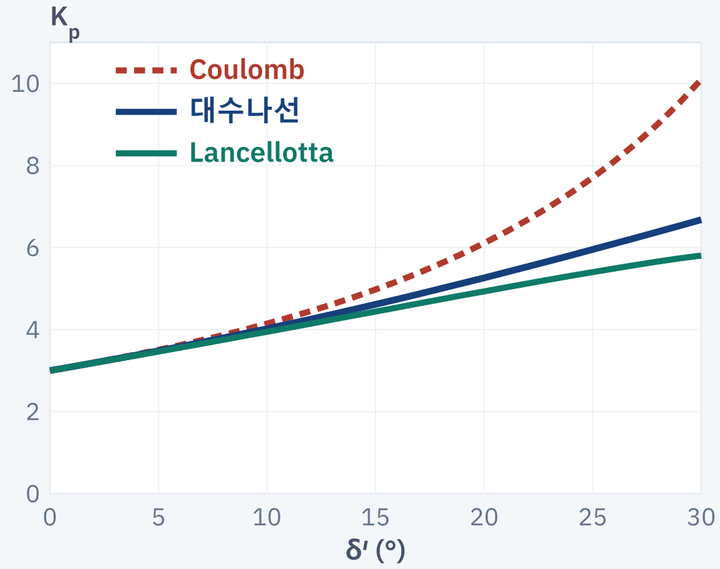
풀이

풀이

1 동일한 φ′ = 30°에 대한 네 가지 방법

δ′	대수나선	Lancellotta	Coulomb	Coulomb / 나선
0°	3.000	3.000	3.000	1.00
10°	4.020	3.946	4.143	1.03
15°	4.615	4.439	4.977	1.08
20°	5.260	4.930	6.105	1.16
30°	6.677	5.804	10.095	1.51

δ′ = 0에서는 세 가지 모두 Rankine 값(3.00)과 같다. δ′가 커지면 Coulomb 값이 나선 값을 빠르게 초과한다: δ′ = 15°에서 8%, δ′ = 30°에서 51% 더 크다(비안전측). 실무에서 수동저항에는 로그나선 또는 δ′ ≤ φ′/2를 사용한다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

경사진 벽 배면, 경사 지표면, 상재하중, 지층 및 물

이론

모듈은 Terzaghi–Peck 쐐기를 θ만큼 기울어진 배면과 α로 기울어진 지표면으로 확장한다: AC와 지표면 사이의 영역은 기울어진 지표면의 Rankine 수동 상태에 있으며, 나선은 AC 위의 O에서 그려지고, 나선은 평면으로 퇴화할 수 있다(Coulomb 평면도 하나의 메커니즘이며 둘 중 작은 값을 취한다).

$$P_p = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq} \qquad q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)}$$

지반 중량(H/3)과 상재하중(H/2)의 기여분은 각각의 최소 시행 쐐기로부터 구한다. **다층** 뒤채움에서는 각 층이 자신의 $K_{p\gamma}$, K_{pq} 값을 가지며, 위 지반의 중량은 상재하중처럼 작용한다; **수중**에서는 γ′와 u를 배면에 수직으로 더한다:

$$\sigma'_p = \left[K_{pq}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma}\left(\sigma'_v - \sigma'_{v,top}\right)\right]\cos\theta$$

경우 (δ′ = φ′ = 30°)	K_p 도표 (Caquot–Kerisel)	K_p 모듈	차이
θ = 20°	3.84	3.82	−0.6 %
θ = 30°	2.76	2.80	+1.6 %
α/φ′ = 0.4 (α = 12°)	10.60	10.22	−3.6 %
α/φ′ = 0.8 (α = 24°)	15.10	14.51	−3.9 %

$K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$(Caquot–Kerisel에서는 H 대신 배면 길이 $H_1 = H/\cos\theta$를 취한다). 이 층상 확장은 모듈에 추가된 공학적 확장 기능이다.

CAQUOT – KERISEL R′

Caquot–Kerisel 도표는 δ′ = φ′인 경우에 대한 것이며, 다른 δ′에 대해서는 $K_p = R' K_{p(\delta'=\varphi')}$이다. φ′ = 30°, δ′/φ′ = 0.5일 때 R′ = 0.746이다.

문제

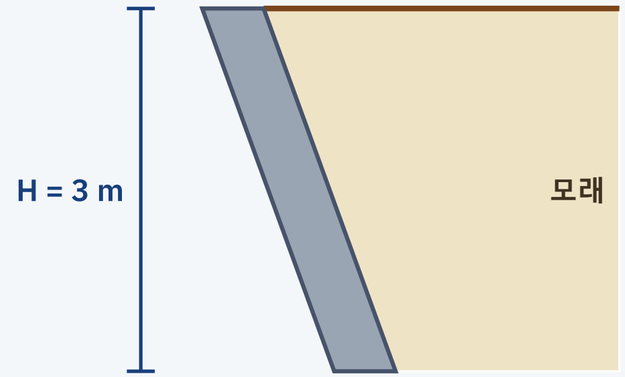
예제

조건

벽체	$H = 3$ m; 배면은 수직에서 $\theta = 20^\circ$ 기울어짐; 수평 뒤채움
지반	건조 모래: $\gamma = 15.7$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$; $\delta' = 30^\circ = \varphi'$

구하는 값

$K_{p\gamma}$, P_p; 도표의 K_p와의 비교; 배면이 연직인 벽체와의 비교.



θ = 20°, φ′ = 30°, δ′ = 30° (수동)

풀이

풀이

1 나선 계수 (모듈; δ′ = φ′ = 30°, θ = 20°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.321} \qquad K_{pq} = 4.127$$

2 힘 및 도표와 비교

$$P_p = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(4.321)(15.7)(9) = \mathbf{305.3}\ \text{kN/m}$$

$$K_p = K_{p\gamma} \cos^2 20^\circ = 4.321(0.8830) = \mathbf{3.82}\ (\text{도표 } 3.84)$$

P_p = **305.3 kN/m**; 같은 지반에서 배면이 연직인 벽체(θ = 0, δ′ = 30°)는 471.8 kN/m를 주었을 것이다. 배면이 20° 기울면 수동저항이 35% **감소한다**. 도표와의 차이는 0.6%이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

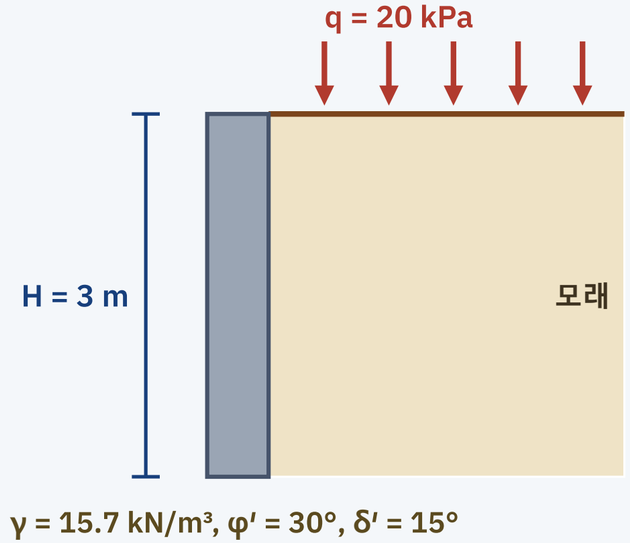
예제

조건

벽체와 지반	**예제 2의 벽체:** $H = 3$ m, $\gamma = 15.7$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$
상재하중	$q = 20$ **kPa (수평 지표면에서)**

구하는 값

흙 및 상재하중의 기여분, 전체 P_p 및 $\bar{z}$.



풀이

풀이

1 계수 (모듈, $\delta' = 15°$)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.615} \qquad K_{pq} = \mathbf{4.532} \qquad q_e = 20 \text{ kPa}$$

2 힘: 흙 (모멘트 팔 H/3 = 1.00 m) + 상재하중 (모멘트 팔 H/2 = 1.50 m)

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = 326.03 \text{ kN/m}$$

$$P_q = K_{pq} q_e H = 4.532(20)(3) = 271.90 \text{ kN/m}$$

3 합계와 위치

$$P_p = 326.03 + 271.90 = \mathbf{597.94} \text{ kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{326.03(1.00) + 271.90(1.50)}{597.94} = \mathbf{1.23} \text{ m}$$

P_p = **597.9 kN/m**, $\bar{z}$ = **1.23 m**(상재하중이 없으면 1.00 m); 상재하중의 몫은 흙에 의한 몫의 83%이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

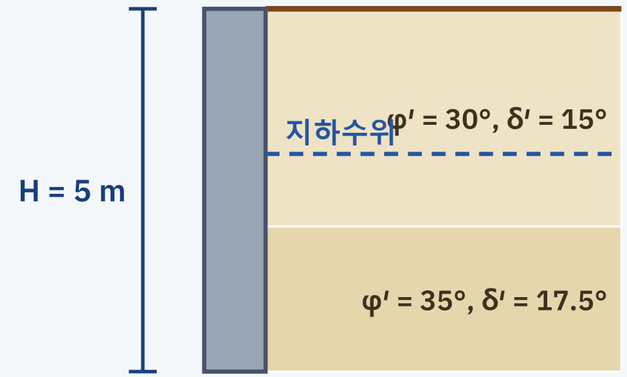
예제

조건

벽체	$H = 5$ m, 연직; 수평 뒤채움; 상재하중 없음
지층 1 (0–3 m)	$\gamma = 17$, $\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$, $\delta' = 15^\circ$
지층 2 (3–5 m)	$\gamma = 17$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3, $\varphi' = 35^\circ$, $\delta' = 17.5^\circ$
지하수	깊이 2 m에서

구하는 값

지층 경계면에서의 압력 급변, 성분, **P**, β 및 **z̄**.



풀이 (1/2)

풀이

1 계수 (모듈)

$$\text{지층 1: } K_{p\gamma} = 4.615$$

$$\text{지층 2: } K_{p\gamma} = 6.522,\ K_{pq} = 6.351$$

2 응력: σ′$_v$(2) = 34; σ′$_v$(3) = 43.19; σ′$_v$(5) = 62.57 kPa

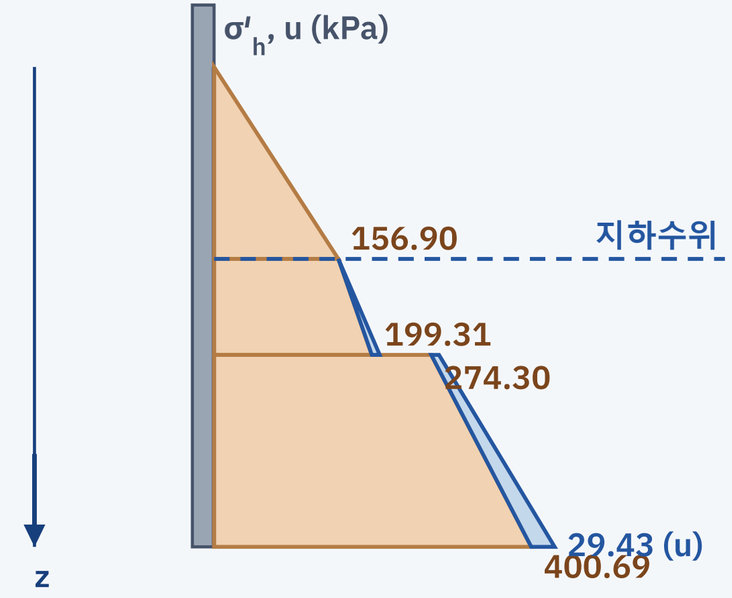
$$p(2) = 4.615(34) = 156.90$$

$$p(3^-) = 4.615(43.19) = 199.31$$

$$p(3^+) = K_{pq}\sigma'_v(3) = 6.351(43.19) = \mathbf{274.30}$$

$$p(5) = 274.30 + 6.522(19.38) = \mathbf{400.69}\ \text{kPa}$$

$$u(5) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



풀이 (2/2)

풀이

3 배면을 따른 힘과 성분 (해당 지층의 δ' 사용)

$$P_s = 335.0 + 675.0 = 1{,}010.0 \text{ kN/m}$$

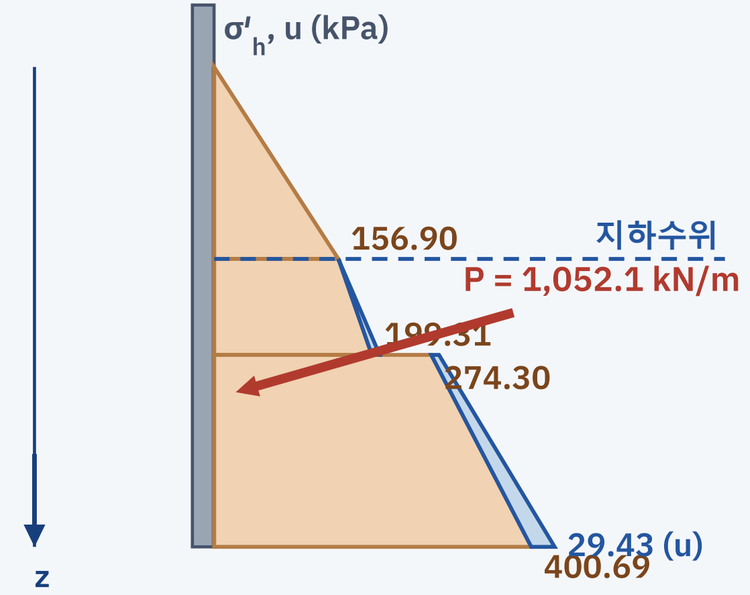
$$N_s = 967.3 \qquad T = 289.7 \text{ kN/m}$$

$$N_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.15 \text{ kN/m (능선에 수직)}$$

4 합력과 위치

$$N = N_s + N_w = 1{,}011.5 \qquad P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{1{,}052.1} \text{ kN/m}$$

$$\beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 15.98^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.61} \text{ m}$$



P = **1,052.1 kN/m**, β = 16.0°, 저면에서 1.61 m 위. 물의 기여분은 44.1 kN/m(4%)에 불과하다: 수동 상태에서는 흙의 저항이 물에 비해 매우 크다; 경계에서 p는 199.3에서 274.3 kPa로 급증한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

풀이의 범위

이론

사질토(c′ = 0); 점착력이 있는 경우의 수동토압은 Rankine 모듈과 Coulomb 모듈을 참조한다.

대수나선은 상한값이고 Lancellotta는 하한값이며, 실제 저항은 두 값 사이에 있다. 평면 파괴면을 가정한 Coulomb 해는 δ′ 값이 클 때 위험측이다.

일반화된 쐐기(경사진 배면, 경사진 지표면, 지층, 물, 상재하중)는 모듈의 공학적 확장 기능이며, 닫힌 형태의 다층 해는 존재하지 않는다. 지반 자중과 상재하중에 의한 몫은 각각의 최소 쐐기로부터 구한다.

적용 조건: α < φ′; 배면과 지표면이 충분한 각도로 만나야 한다. 나선이 지반 밖으로 나가거나 회전 방향이 잘못되면 파괴 메커니즘이 아니다 (평면은 한계 경우이다).

지진 시에는 지진 시 수동토압 모듈을 사용한다.

요약

핵심 정리

수동에서는 평면 쐐기가 안전하지 않다: 벽면마찰이 있으면 파괴면은 뒷굽 부근에서 곡선(나선)이고 지표 부근에서는 평면이다(Rankine 영역)

나선: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; 모든 반경은 곡선과 φ'의 각을 이루고 합력은 O를 지난다; 면적은 $(r_1^2 - r_0^2)/(4 \tan \varphi')$

Terzaghi–Peck: $P = (W\, l_W + P_d\, l_1)/l_P$; **가장 작은** 시행쐐기에서의 P가 수동력이다; $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$

Lancellotta(하한, 폐쇄형 해), 나선(상한); Coulomb 방법은 $\varphi' = \delta' = 40°$에서 5배 큰 값을 준다

일반화된 쐐기: $P = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq}$; $K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (도표 정의); 지층별로 $\sigma' = [K_{pq}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma}(\sigma'_v - \sigma'_{v,top})]\cos\theta$

예제 벽체($H = 3$ m, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$): Coulomb 351.6 · 대수나선 326.0 · Lancellotta 313.6 kN/m

참고문헌

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed. Wiley, New York.

Shields, D.H. and Tolunay, A.Z. (1973). Passive pressure coefficients by method of slices. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 99(SM12), 1043–1053.

Lancellotta, R. (2002). Analytical solution of passive earth pressure. Géotechnique, 52(8), 617–619.

Sokolowskiĭ, V.V. (1965). Statics of Granular Media. Pergamon, London.

Zhu, D.Y. and Qian, Q. (2000). Determination of passive earth pressure coefficients by the method of triangular slices. Canadian Geotechnical Journal, 37(2), 485–491.

Caquot, A. and Kerisel, J. (1948). Tables for the Calculation of Passive Pressure, Active Pressure and Bearing Capacity of Foundations. Gauthier-Villars, Paris.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning.

참고

모든 수치 예제는 모듈의 자체 계산 엔진으로 산출한 것이며, 모듈도 같은 값을 준다. 모듈의 초기 예제는 예제 2-3의 벽체($H = 3$ m, $\delta' = 15°$)이다.

온라인 지반공학 계산

이론에서 실무로

벽체의 배면 경사, 뒤채움 경사, 지층, 상재하중, 지하수를 직접 GeoTerva에 입력한다. 모듈은 위험 대수나선, P_p와 작용 높이를 함께 제공한다.

모듈 열기 →

이론 페이지 →

스마트폰으로 열기

체험 모듈은 가입 없이 이용할 수 있습니다.

강의에서 사용하려면: info@geoterva.com