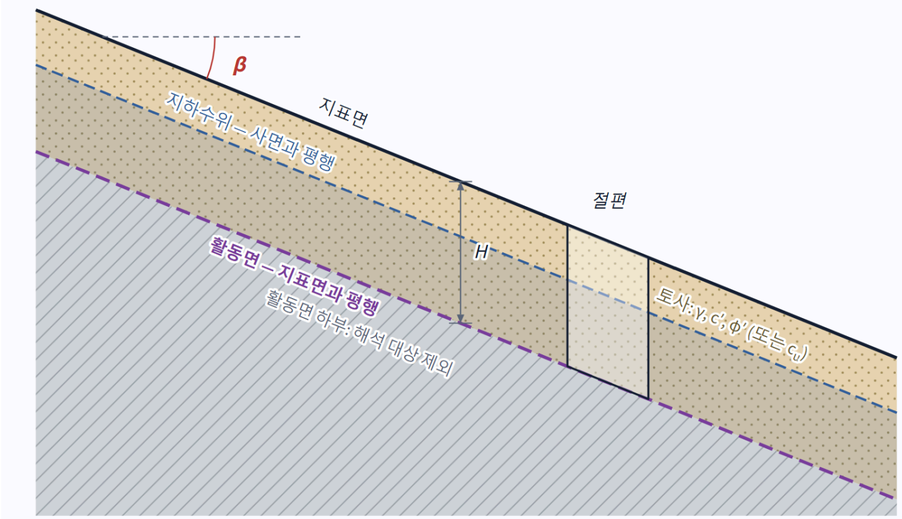
지반공학 강의 자료 · 사면안정

무한사면 안정

강의: 무한사면(활동면이 지표면과 평행) 모델; 응력, 안전율, 비배수 점토, 지하수, 지진 시 항복계수, 임계깊이와 필요 경사각; 각 주제별 계산 예제.

무한사면 | 전단강도와 FS | 물 · 지진 | 임계 깊이 · 필요 경사각 | 손계산 가능



개요

이 강의에서 다루는 내용

얕은 활동에 **무한사면** 모델을 사용하는 이유: 지표면에 평행한 평면을 따라 활동하는 얇은 흙층

단일 **띠**에 의한 평면 위의 응력($\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta$)과 **$\tau/\sigma = \tan\beta$** 관계

Mohr–Coulomb에 의한 안전율: $FS = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta$; 임계 깊이 H_{cr}, 필요 깊이 H_{req}, 필요 경사각 β_{req}

비배수 점토(c_u, $\varphi = 0$)와 **물**의 영향: 지하수면(사면과 평행한 침투), 간극수압비 r_u

의사정적 지진 시의 안전율과 **항복계수 k_y**(활동 질량이 움직이기 시작하는 수평가속도)를 구하는 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 사면: $\beta = 15°$, 활동면의 연직 깊이 6 m; 지반 $\gamma = 17.8$ kN/m³(포화 19.5), $c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$; 초기에는 간극수압이 없다. 응력은 지표면과 평행한 면의 단위면적에 대한 값이다.

토체의 한 절편

이론

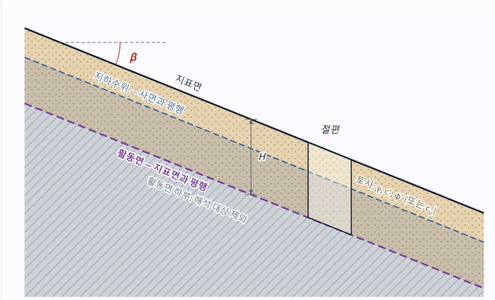
많은 사면 활동은 얕은 깊이에서 발생한다: 지표면에 평행하고 수 m 깊이에 있는 면을 따라 얇은 지반층이 미끄러지며, 사면이 매우 길어 양 끝의 영향은 크지 않다(우기 이후의 절토 또는 성토 사면, 자연 점토 사면). **무한사면**은 이러한 경우를 위해 만들어진 모델이다: 활동면의 모든 위치가 동일한 상태에 있으므로 흙 덩어리에서 취한 하나의 절편이 전체를 대표하며, 그 평형식은 몇 줄이면 충분하다.

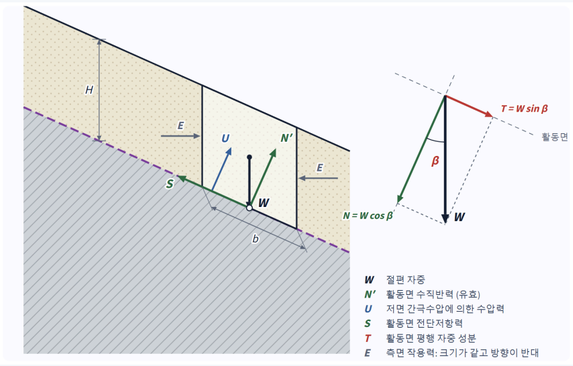
절편: 활동면을 따른 길이 b, 사면 방향으로 폭 1 m; 활동면은 지표면에서 연직 깊이 H에 있으며, 측면은 연직이고 **서로 상쇄된다**(사면은 무한히 길고 지반은 어디서나 동일하다).

$$W = \gamma H b \cos\beta \qquad N = W\cos\beta \quad T = W\sin\beta$$

$$\sigma = \frac{N}{b} = \sigma_v \cos^2\beta \qquad \tau = \frac{T}{b} = \sigma_v \sin\beta\cos\beta \qquad \frac{\tau}{\sigma} = \tan\beta$$

측면이 제거된 절편에서 면 위의 응력은 사면 경사각만큼 기울어 있다: τ/σ = tan β. 면 위에 단위중량이 두 가지(지하수면) 있으면 $\sigma_v = \gamma(H - h_w) + \gamma_{sat} h_w$가 되며, 식은 그대로 유지된다.





문제

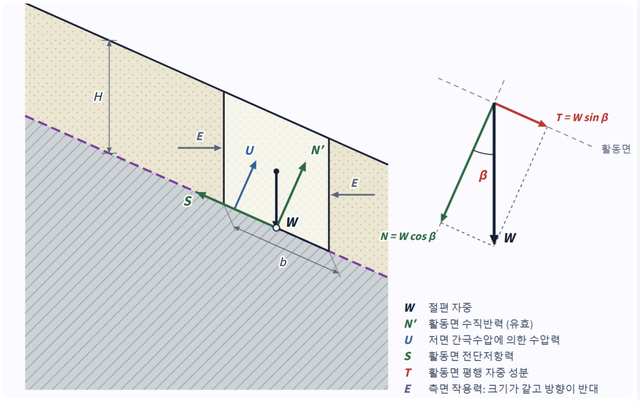
예제

조건

사면	$\beta = 15^\circ$; 깊이 $H = 6$ m에서 연직 활동면
지반	$\gamma = 17.8$ kN/m³; 간극수압 없음

구하는 값

연직응력 σ_v, 면에 수직한 수직응력 σ 및 전단응력 τ.



풀이

풀이

1 연직응력

$$\sigma_v = \gamma H = 17.8 \times 6 = \mathbf{106.80}\ \text{kPa}$$

2 면에 수직인 응력과 접선응력

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 106.80 \times 0.93301 = \mathbf{99.65}\ \text{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 106.80 \times 0.25000 = \mathbf{26.70}\ \text{kPa} \qquad \frac{\tau}{\sigma} = 0.2679 = \tan 15^\circ\ \checkmark$$

평면의 단위 면적에 수직응력 **σ = 99.65 kPa**과 전단응력 **τ = 26.70 kPa**이 작용하며, 비 τ/σ = 0.2679 = tan 15°, 즉 응력은 사면 경사각만큼 기울어 있다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

Mohr–Coulomb, 닫힌 형태의 해, 임계깊이

이론

활동면 위의 지반은 전단강도 τ_f를 부담한다: 배수 해석에서는 유효 수직응력에 따른 Mohr–Coulomb 강도($\sigma' = \sigma - u$)이다. 안전율은 강도와 응력의 비이다: 점착력과 마찰을 같은 값으로 감소시켜 절편이 정확히 유지될 때까지 적용한다:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan\varphi' \qquad FS = \frac{\tau_f}{\tau} \qquad \sigma' = \sigma - u$$

간극수압이 없으면 $\sigma' = \sigma$이고 응력으로부터 **닫힌 형태 해**가 도출된다:

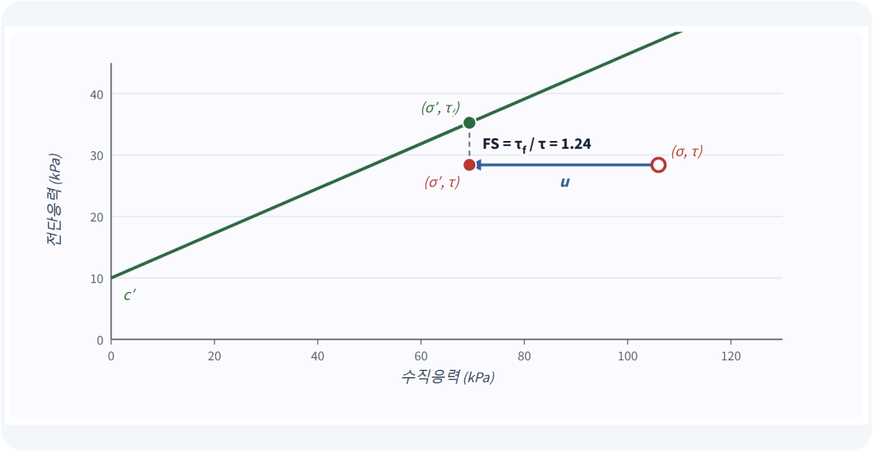
$$FS = \frac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \, \tan\beta} + \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

비점성토($c' = 0$): FS = tan φ′/tan β; 사면 경사가 φ′보다 완만하면 모든 깊이에서 안전하다.

점성토: 점착력이 지표 부근의 평면을 지탱한다 (FS가 크다); 깊어질수록 FS가 낮아지며 마찰만 남는다.

β > φ′인 경우 FS = 1이 되는 **임계 깊이**와 FS = FS_{req}가 되는 **필요 깊이**가 존재한다; 점착력이 없는 경우 β_{req}: $\tan\beta_{req} = \tan\varphi'/FS_{req}$:

$$H_{cr} = \frac{c'}{\gamma}\frac{1}{\cos^2\beta(\tan\beta - \tan\varphi')} \qquad H_{req} = \frac{c'}{\gamma\cos^2\beta\,(FS_{req}\tan\beta - \tan\varphi')}$$



문제

예제

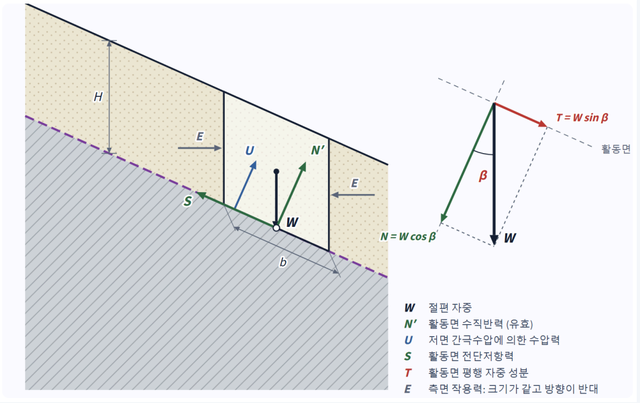
조건

사면과 지반

예제 1: $\beta = 15^\circ$, $H = 6$ **m,** $\gamma = 17.8$ **kN/m³;**
$c' = 10$ **kPa,** $\varphi' = 20^\circ$**; 간극수압 없음**

구하는 값

평면의 τ_f 및 **FS**; 닫힌 형태 해에 의한 검증.



풀이

풀이

1 강도와 안전율 (예제 1의 응력 기준)

$$\tau_f = c' + \sigma \tan\varphi' = 10 + 99.65 \times 0.36397 = \mathbf{46.27}\ \text{kPa}$$

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{46.27}{26.70} = \mathbf{1.733}$$

2 닫힌 해 (검토)

$$FS = \frac{10}{17.8(6)(0.93301)(0.26795)} + \frac{0.36397}{0.26795} = 0.3745 + 1.3584 = \mathbf{1.7329}$$

안전율은 **1.733**이다. 점착력 항은 0.3745, 마찰 항은 tan 20°/tan 15° = 1.3584이며, 두 항의 합이 같은 값을 준다. 사면(15°)이 내부마찰각(20°)보다 완만하므로 마찰만으로 지탱되며, 점착력은 여유를 증가시킨다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

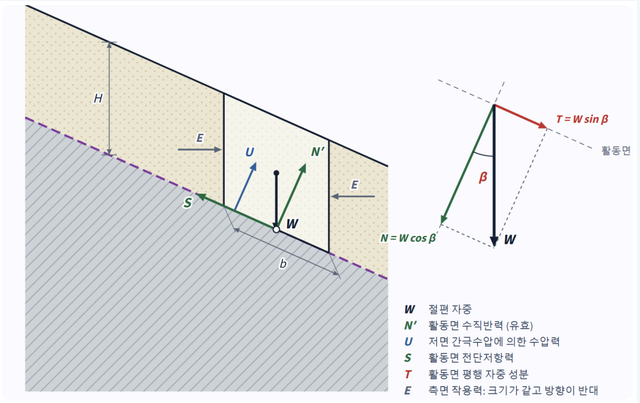
예제

조건

지반	**예제 2의 지반 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$ kN/m³)**
구하는 값	**요구 안전율 $FS_{req} = 2.0$; 또한 더 가파른 사면 $\beta = 25°$에 대한 한계깊이**

구하는 값

H_{req}(β = 15°); **β_{req}**(H = 6 m); β = 25°일 때의 **H_{cr}**.



풀이

풀이

1 필요 깊이 (β = 15°; FS_{req} = 2)

$$H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta (FS_{req}\tan\beta - \tan\varphi')} = \frac{10}{17.8(0.93301)(2(0.26795) - 0.36397)} = \mathbf{3.50}\ \text{m}$$

2 필요 각도 (H = 6 m): FS(β) = 2 방정식의 근; 한계깊이 (β = 25°)

$$FS(\beta) = \frac{10}{106.8\cos^2\beta\tan\beta} + \frac{0.36397}{\tan\beta} = 2 \Rightarrow \beta_{req} = \mathbf{13.02}^\circ$$

$$H_{cr}(25^\circ) = \frac{10}{17.8(0.8214)(0.4663 - 0.3640)} = \mathbf{6.68}\ \text{m}$$

FS = 2일 때 활동면은 최대 **3.50 m** 깊이에 있을 수 있으며, 6 m 깊이에서 같은 안전율을 얻으려면 사면 경사는 **13.0°**보다 가팔라서는 안 된다. β = 25° > φ′이므로 FS = 1로 떨어지는 임계깊이가 존재한다: **6.68 m**. 현재 사면(β < φ′)에는 임계깊이가 없다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

전응력: c_u와 $\varphi = 0$

이론

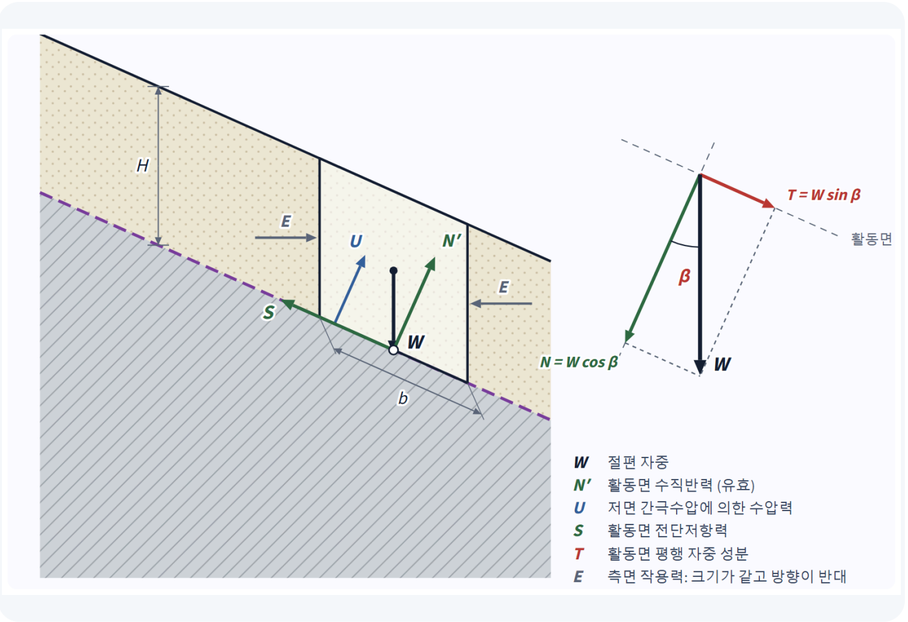
배수가 일어나지 못할 만큼 빠르게 재하되거나 굴착되는 포화 점토(연약 점토 절토의 단기 상태)는 **전응력** 해석으로 c_u와 $\varphi = 0$을 사용하여 푼다. 강도는 수직응력에 의존하지 않으며, 간극수압은 입력하지 않는다:

$$FS = \frac{c_u}{\tau} = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{2c_u}{\gamma H \sin 2\beta}$$

$\tau = (\gamma H/2)\sin 2\beta$는 45° 사면에서 최대이며, FS는 깊이에 **반비례한다**: 깊이가 두 배인 면의 FS는 절반이다.

단기적으로 비배수 조건에서 안정한 점토도 배수되고 나면 안정하지 않을 수 있다. 장기 해석은 지하수의 간극수압과 배수 조건의 c', φ' 값을 사용하는 **배수 해석**이다.

$H_{cr} = c_u/(\gamma \sin\beta \cos\beta)$; $H_{req} = c_u/(FS_{req}\, \gamma \sin\beta \cos\beta)$; $\sin 2\beta_{req} = 2c_u/(FS_{req}\, \gamma H)$.



문제

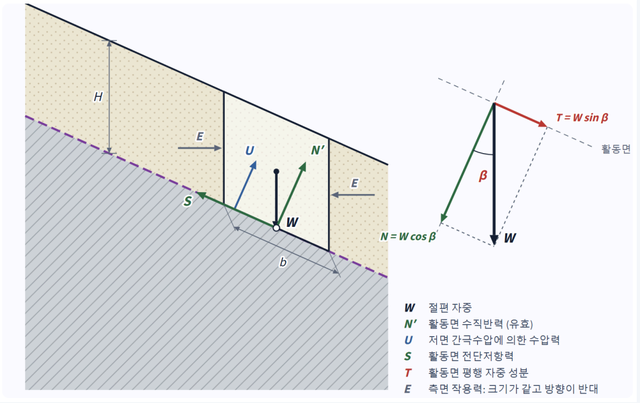
예제

조건

사면	$\beta = 15^\circ$, $H = 6$ m, $\gamma = 17.8$ kN/m³; 비배수 점토 $c_u = 40$ kPa ($\varphi = 0$)
구하는 값	$FS_{req} = 2.0$

구하는 값

FS, H_{cr}, H_{req}, β_{req}.



풀이

풀이

1 안전율과 임계깊이

$$FS = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(6)(0.2500)} = \frac{40}{26.70} = \mathbf{1.498}$$

$$H_{cr} = \frac{c_u}{\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(0.2500)} = \mathbf{8.99}\ \text{m}$$

2 필요 깊이와 각도 ($FS_{req} = 2$)

$$H_{req} = \frac{c_u}{FS_{req}\,\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{8.99}{2} = \mathbf{4.49}\ \text{m}$$

$$\sin 2\beta_{req} = \frac{2c_u}{FS_{req}\gamma H} = \frac{80}{2(106.8)} = 0.3745 \Rightarrow \beta_{req} = \mathbf{11.00}^\circ$$

c_u = 40 kPa일 때 **FS = 1.50** (배수 조건에서는 1.73). FS = 2에 대해 사면은 최대 **11.0°**; H_{cr} = 8.99 m.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

사면과 평행한 침투; 간극수압비 r_u

이론

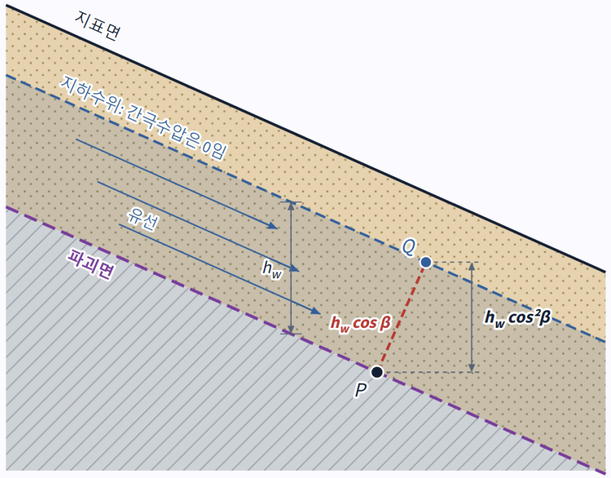
물은 간극수압 u에 의해 유효응력을 낮추어 강도를 감소시킨다. 지하수위가 지표면 아래 z_w 깊이에 있으면(연직) 그 위의 지반은 단위중량이 γ이고 그 아래의 지반은 γ_{sat}이며, 활동면 위의 수두 높이는 $h_w = H - z_w$이다. 물이 지표면에 평행하게 흐르면 P점을 지나는 등포텐셜선은 사면에 수직이며, 압력수두는 $h_w\cos^2\beta$이다:

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta \qquad \sigma' = \sigma - u \qquad FS = \frac{c' + \sigma' \tan\varphi'}{\tau}$$

지표면 수위: $FS = \dfrac{c'}{\gamma_{sat} H \cos^2\beta \tan\beta} + \dfrac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$ $\quad r_u = \dfrac{u}{\gamma H}$: $FS = \dfrac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \tan\beta} + \left(1 - \dfrac{r_u}{\cos^2\beta}\right) \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$

점착력이 없는 지반에서 수위가 지표에 있을 때 FS = (γ′/γ_{sat}) tan φ′/tan β이며, γ′/γ_{sat} ≈ ½이므로 건조 상태에서 φ′에 가까운 경사로 서 있는 모래 사면도 침투가 있으면 경사의 탄젠트가 절반으로 줄어든 사면이어야 한다.

간극수압이 피에조미터 측정값이나 유선망에서 얻어지는 경우, 흙의 자중에 대한 비율이 r_u로 주어진다. σ′ ≤ 0이 되면(물이 흙을 활동면에서 들어 올리면) 마찰은 0으로 처리되고 점착력만 남으며, 이 사실이 표시된다.



등전위선 상에서
PQ의 전수두는 같다
P점과 Q점에서.

Q점에서 간극수압은 0이므로,
P점에서의 압력수두는
P에서 Q까지의 연직 높이와 같다

$u / \gamma_w = h_w \cos^2\beta$

문제

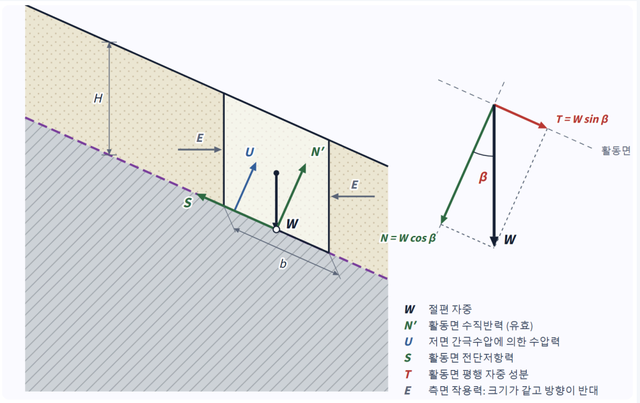
예제

조건

사면과 지반	**예제 2의 사면; $\gamma = 17.8$ (건조), $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³**
지하수 조건	**(a) 지하수면 $z_w = 2$ m, 사면과 평행한 침투; (b) 물이 지표면에 위치 ($z_w = 0$); (c) $r_u = 0.25$**

구하는 값

각 경우의 **u**, **σ′**, **τ_f**, **FS**; 건조 상태 FS와의 비교.



풀이 (1/2)

풀이

1 (a) 지하수위 2 m: $h_w = 6 - 2 = 4$ m

$$\sigma_v = 17.8(2) + 19.5(4) = 113.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 105.99 \text{ kPa} \quad \tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 28.40 \text{ kPa}$$

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta = 9.81(4)(0.9330) = 36.61 \text{ kPa} \quad \sigma' = \sigma - u = 69.38 \text{ kPa}$$

$$FS = \frac{10 + 69.38(0.36397)}{28.40} = \frac{35.25}{28.40} = \mathbf{1.241}$$

지하수위가 2 m에 있으면 FS는 건조 상태의 1.73에서 **1.24**로 감소한다: 물은 지반 중량(σ_v)과 간극수압(36.6 kPa)을 모두 증가시킨다.

풀이 (2/2)

풀이

2 세 가지 지하수 조건의 요약 (동일한 식)

상태	σ_v (kPa)	σ (kPa)	τ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	τ_f (kPa)	FS
건조	106.8	99.65	26.70	0.00	99.65	46.27	**1.733**
(a) z_w = 2 m	113.6	105.99	28.40	36.61	69.38	35.25	**1.241**
(b) 지표면 수위	117.0	109.16	29.25	54.92	54.25	29.74	**1.017**
(c) r_u = 0.25	106.8	99.65	26.70	26.70	72.95	36.55	**1.369**

물이 지표면에 있을 때 FS = **1.02**로 한계값 바로 위이며, r_u = 0.25일 때는 **1.37**이다. 건조 상태에서 여유 있게 안전한 사면이 젖은 상태에서는 여유가 전혀 없다. 모듈은 결과와 함께 건조 상태와 물이 지표면에 있는 경우의 FS를 함께 표시한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

수평력과 수직력; 항복계수 k_y

이론

진동은 평면 위 질량에 가해지는 일정한 가속도(g의 일부)로 대체된다. 절편은 자중 W에 더하여 사면 아래 방향으로 k_hW의 수평력과 상향/하향 k_vW의 연직력을 받는다. k_h와 k_v는 기술자가 정하는 계수이다(모듈은 기준으로부터 가져오지 않는다). 단위 면적당 W/A = $\sigma_v \cos\beta$:

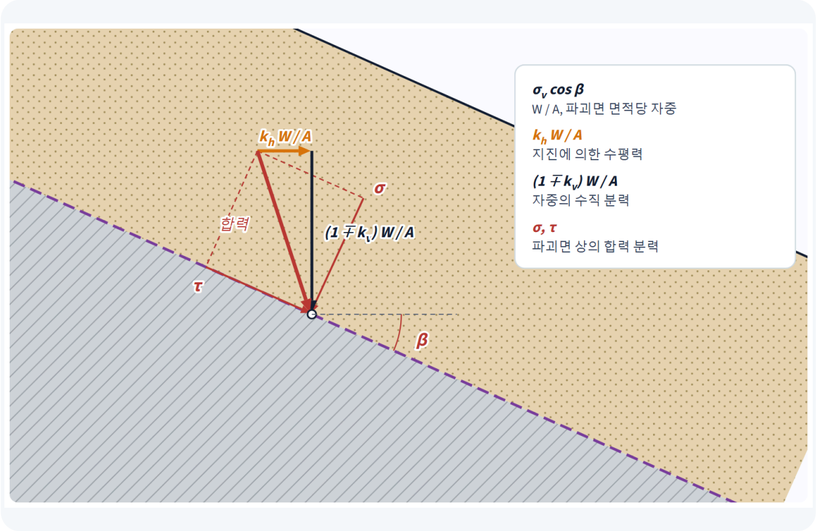
$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\cos\beta - k_h \sin\beta] \qquad \tau = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\sin\beta + k_h \cos\beta]$$

간극수압은 정적 값이다(진동에 의한 증가분은 더하지 않음): $\sigma' = \sigma - u$; $FS_{eq} = \tau_f/\tau$ (새로운 σ와 τ를 사용). 수평력은 수직응력을 감소시키고 전단응력을 증가시킨다.

연직력의 두 방향을 모두 적용해 보고 **더 낮은 FS**를 주는 방향을 채택한다: 마찰성 지반에서는 대체로 상향이며(질량을 가볍게 하고 수직응력을 감소시킨다), 전응력 해석의 점토에서는 c_u가 수직응력에 의존하지 않으므로 전단응력을 증가시키는 하향이다.

항복계수 k_y: $FS_{eq} = 1$이 되게 하는 수평계수. 건조, 비점성토, $k_v = 0$인 경우 $k_y = \tan(\varphi' - \beta)$이며, 다른 경우에는 k_h를 0에서부터 증가시켜 구한다. $k_y g$를 넘지 않는 진동은 질량을 움직이지 않고, 넘으면 움직이게 한다(얼마나 이동하는가는 활동블록 해석의 문제이며 모듈에는 없다).

$$k_y = \frac{\tan\varphi' - \tan\beta}{1 + \tan\varphi' \tan\beta} = \tan(\varphi' - \beta)$$



문제

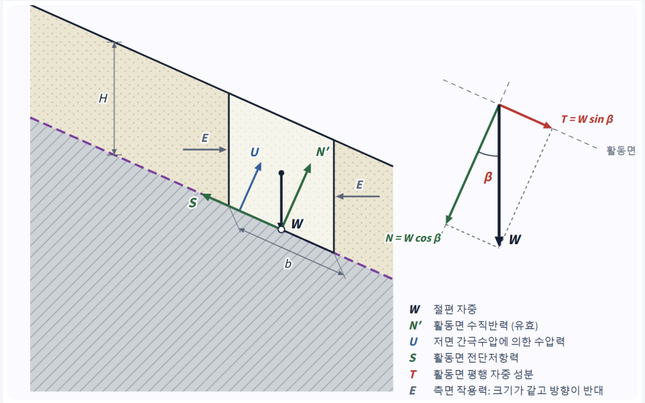
예제

조건

사면과 지반	**예제 2의 건조 사면 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\beta = 15°$, $H = 6$ m)**
지진	**$k_h = 0.15$, $k_v = 0.05$ (두 방향 시도); 또한 건조 모래의 경우 $\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$**

구하는 값

σ, **τ**, **FS_{eq}**(위험 방향); FS(k_h) 표와 **k_y**; 건조 모래의 k_y.



풀이 (1/2)

풀이

1 임계 방향: 연직력이 위쪽 (k_v = +0.05는 하중을 경감시킨다)

$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\cos\beta - 0.15\sin\beta] = 103.16\,[0.8788] = 90.66 \text{ kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\sin\beta + 0.15\cos\beta] = 103.16\,[0.3908] = 40.31 \text{ kPa}$$

$$FS_{eq} = \frac{10 + 90.66(0.36397)}{40.31} = \frac{43.00}{40.31} = \mathbf{1.067} \qquad (k_v \text{ 아래: } 1.085)$$

상향 연직력이 지배적이다: FS_{eq} = **1.067** (하향일 때 1.085).

풀이 (2/2)

풀이

2 FS(k_h)와 항복계수 (FS = 1이 되는 지점)

k_h	σ (kPa)	τ (kPa)	τ_f (kPa)	FS_{eq}
0.00	94.66	25.36	44.45	**1.753**
0.05	93.33	30.35	43.97	**1.449**
0.10	91.99	35.33	43.48	**1.231**
0.15	90.66	40.31	43.00	**1.067**
0.1746	90.00	42.76	42.76	**1.000**
0.20	89.32	45.29	42.51	**0.939**

지진으로 FS가 1.73에서 **1.07**로 낮아진다(상향 연직력이 지배적). **k_y = 0.175**: k_h가 이 값을 넘으면 활동 토체가 움직이기 시작한다. 건조 모래($\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$)에서는 $k_y = \tan 7° = 0.1228$이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

FS; H_{req}, β_{req}, H_{cr}

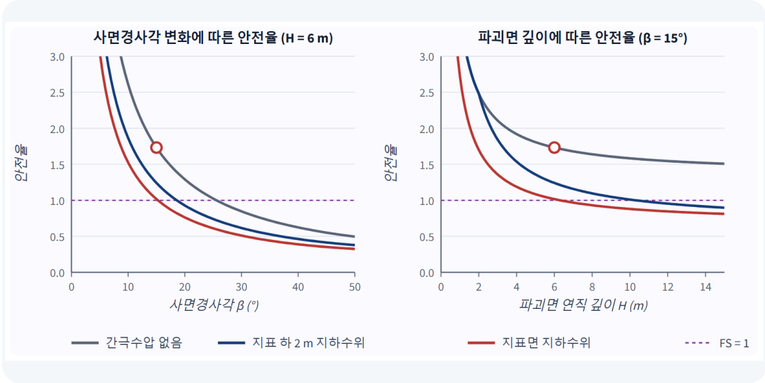
이론

경사각에 대한 FS: FS는 β에 따라 규칙적으로 감소한다. 곡선 사이의 간격은 물이 여유 중 얼마를 앗아가는지를 보여 주며, 곡선이 FS_{req}와 만나는 각도가 β_{req}이다.

깊이에 따른 FS: 점착력이 있는 지반의 곡선은 지표의 큰 값에서 마찰이 지배하는 수준으로 내려가며, FS = 1과 교차하는 지점이 임계 깊이이다. 지하수면은 물이 평면에 처음 도달하는 깊이에 흔적을 남기고, 그 위에서는 건조 상태의 곡선을 따른다.

물에 대한 FS: 지하수면이 깊어질수록 증가하고 r_u가 커질수록 감소한다. 배수된 사면이 파악하기 어려운 간극수압에 얼마나 크게 좌우되는지를 보여 준다.

지진 시에는 각 그래프에 두 번째(주황색) 선이 추가된다; k_h에 따른 FS 변화를 나타내는 다섯 번째 그래프는 FS = 1과 만나는 지점에서 k_y를 제공한다.



결과 탭은 FS 및 요구값과의 비교와 함께 다음을 제시한다: **H_{req}**(FS_{req}까지 낮아지는 최초의 깊이이며, 낮아지지 않으면 “한계 없음”), **β_{req}**(완만한 각도에서 각도를 높여 갈 때 FS_{req} 이상이 유지되는 가장 가파른 각도), **H_{cr}**, 물의 두 극단 조건(간극수압 없음 / 지표면까지 물이 있음), 그리고 지진 시의 FS_{eq}, k_y.

문제

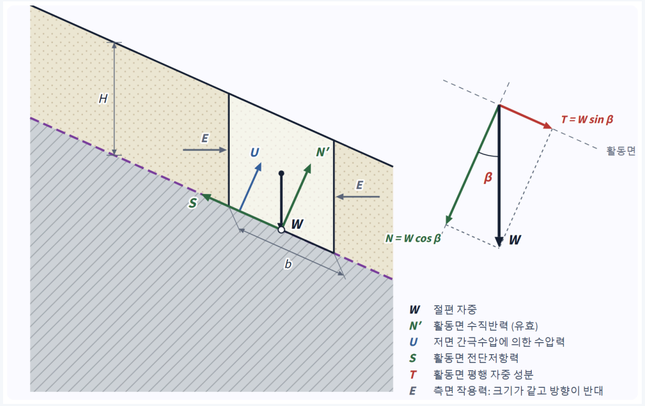
예제

조건

지반	**예제 2의 지반 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³)**
표	**$\beta = 10, 15, 20, 25, 30°$ 및 $H = 2, 4, 6, 8$ m에 대한 FS 값: 건조 상태와 지하수위가 $z_w = 2$ m인 경우(닫힌 형태의 해)**

구하는 값

$FS_{dry}(\beta, H)$ 표; 지하수위 H = 6 m인 경우; 어느 각도부터 FS < 1인가?



풀이

풀이

1 FS = c′/(γH cos²β tan β) + tan φ′/tan β (건조); 지하수면이 있는 경우 응력으로부터 계산(굵게 표시: FS < 1)

β (°)	H = 2 m	H = 4 m	H = 6 m	H = 8 m	H = 6, 수위 z_w = 2 m
10	3.707	2.885	2.612	2.475	1.866
15	2.482	1.920	1.733	1.639	1.241
20	1.874	1.437	1.291	1.219	**0.928**
25	1.514	1.147	1.025	**0.964**	**0.741**
30	1.279	**0.955**	**0.847**	**0.793**	**0.616**

FS는 각도에 따라 규칙적으로 감소하고 깊이에 따라서도 감소한다(점착력 기여분). β = 20°이고 H = 8 m부터는 건조 사면도 한계에 가까워지며, 지하수위 z_w = 2 m는 H = 6 m에서 20°부터 FS를 **1 미만**으로 낮춘다(30°에서 0.62). 이 때문에 β_{req}와 H_{req}를 구한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

모델이 가정하는 사항

이론

모델: 무한 사면; 지표면은 평면이고 활동면은 그와 평행하게 연직 깊이 H에 있으며, 토체 양 끝은 영향을 주지 않고, 모든 곳이 동일한 조건이다. 2차원이며 사면 방향으로 1 m이다.

지반: 활동면 위는 단일 지반이다(주어진 강도와 단위중량); 층상 지반, 사면 방향 또는 깊이에 따라 변하는 지반, 깊이에 따라 증가하는 강도는 이 모델에 포함되지 않으며, 약한 층의 접촉면에 대해서는 그 층의 물성을 사용하거나 사면안정 모듈을 이용할 수 있다.

물: 사면과 평행하게 흐르는 지하수면($u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$) 또는 r_u를 사용하며, 강우나 투수성으로부터 간극수압을 계산하지는 않는다. **강도**: 유효응력 기준 Mohr–Coulomb 또는 c_u를 사용하며, $\sigma' \le 0$이면 마찰은 0이다. 잔류강도, 점진파괴, 뿌리 효과는 고려하지 않는다.

지진: 의사정적 방법만 적용하며, 진동에 의한 간극수압 증가는 고려하지 않는다; 증폭, 지속시간, 느슨한 포화 지반의 잔류 간극수압과 영구 변위는 해석하지 않는다; 계수는 기술자가 선택한다.

없음: 상재하중, 인장균열, 보강재, 사면 하단 옹벽. FS는 단일 활동면의 단일 깊이에서의 값이며, 표면과 평행하지 않은 더 약한 면은 탐색하지 않는다. 사면이 깊이에 비해 짧거나 지반/지하수가 사면을 따라 변하면 사면 양 끝의 영향이 중요해지므로 사면안정 모듈을 사용한다.

요약

핵심 정리

스트립: $\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$, $\tau/\sigma = \tan\beta$ (예제에서 $\sigma = 99.65$, $\tau = 26.70$ kPa)

FS $= (c' + \sigma' \tan\varphi')/\tau = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta =$ **1.733**; $H_{req} = 3.50$ m ($FS_{req} = 2$), $\beta_{req} = 13.0°$; $\beta > \varphi'$인 경우 H_{cr}

비배수 점토: $FS = c_u/(\gamma H \sin\beta \cos\beta) = 1.50$; 깊이에 반비례

물: $u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$; FS 1.73 → 1.24 ($z_w = 2$ m) → 1.02 (지표면에서); $r_u = 0.25$ → 1.37

지진: 수평 $k_h W$와 연직 $k_v W$; 위험 방향(상향)을 취한다; FS 1.73 → 1.07; **$k_y = 0.175$**; 건조 비점성토에서 $\tan(\varphi' - \beta)$

한계: 단일 평면, 무한사면; 말단 조건이나 지층 구성이 중요하면 사면안정(절편) 모듈을 사용한다

참고문헌

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning, Boston. Chapter 15, Slope Stability: the infinite slope in Sections 15.2–15.4.

Skempton, A.W. and DeLory, F.A. (1957). Stability of natural slopes in London Clay. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 2, 378–381.

Bishop, A.W. and Morgenstern, N.R. (1960). Stability coefficients for earth slopes. Géotechnique, 10(4), 129–150.

Duncan, J.M., Wright, S.G. and Brandon, T.L. (2014). Soil Strength and Slope Stability, 2nd ed. Wiley, Hoboken.

Newmark, N.M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. Géotechnique, 15(2), 139–160.

참고

수치 예제는 모두 모듈의 자체 계산 엔진으로 산출하였으며, 모듈도 동일한 값을 제공한다. 모듈 페이지의 계산 예제 역시 이 사면이다(β = 15°, H = 6 m, γ = 17.8, c′ = 10 kPa, φ′ = 20°).

GeoTerva

온라인 지반공학 계산

이론에서 실무로

자신의 사면 각도, 활동면 깊이, 지반 강도(배수 또는 비배수), 지하수, 지진계수를 GeoTerva에 입력한다; 모듈은 응력, 안전율, 임계깊이와 필요깊이, 필요 각도, 항복계수, 그래프를 함께 제공한다.

모듈 열기 →

이론 페이지 →

스마트폰으로 열기

체험 모듈은 가입 없이 이용할 수 있습니다.