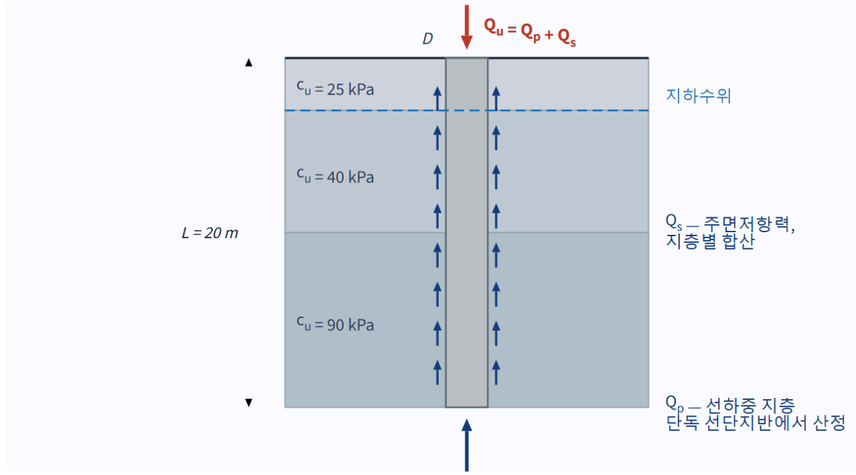
지반공학 강의 자료 · 말뚝

점토지반의 말뚝 지지력

강의: 비배수 선단지지력, α, λ, β 방법에 의한 주면마찰력, 현장타설말뚝. 각 방법의 이론에 이어 계산 예제 하나를 다룬다.

Meyerhof · Vesic | α · λ · β 방법 | 현장타설말뚝 | 계산 예제



개요

이 강의에서 다루는 내용

점토를 왜 **비배수**($\varphi = 0$)로 다루는지, 그리고 유효응력이 그래도 어디에서 작용하는지 설명하기

선단지지력을 두 방법으로 계산하기: Meyerhof($N^*_c = 9$)와 Vesic(강성)

주면마찰력을 **세 가지 방법**으로 계산하기: α, λ 및 β

현장타설말뚝의 특수 규칙 적용: 상하 두 구간에서 $\alpha^* = 0$, 고유한 선단 산정식

허용지지력을 구하고 접근법별 결과를 함께 해석하기

강의 흐름

각 방법은 **세 단계**로 다룬다:

1 · **이론**: 방법은 어떻게 작동하며, 왜 그러한가?

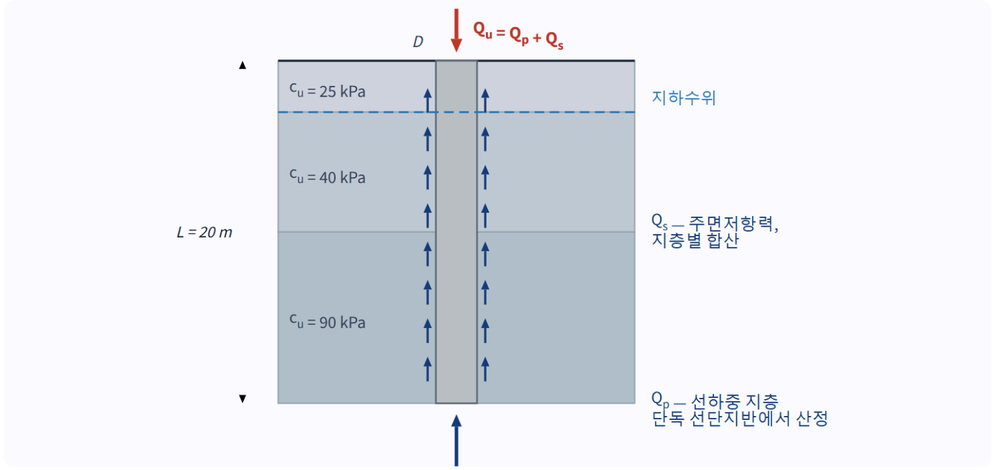
2 · **문제**: 조건과 구하는 값

3 · **풀이**: 단계별 수치 계산

대부분의 예제는 같은 말뚝으로 계산한다: 길이 20 m, 세 점토층을 관통하는 강관말뚝.

하중은 두 경로로 전달된다

이론



말뚝은 하중을 **동시에 두 경로로** 지반에 전달한다. 선단 아래의 점토는 깊은기초와 같이 **선단지지력**(Q_p)으로 저항하고, 말뚝 몸체를 따라 분포한 점토는 **부착력**(Q_s)으로 저항한다.

$$Q_u = Q_p + Q_s \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{FS}$$

점토에서 **주면저항력**은 지층별로 합산하고, **선단지지력**은 선단이 위치한 지층에서만 얻는다.

일반적인 지반 주상도에서 선단지지력은 전체의 매우 작은 부분이다: 예제 말뚝에서는 약 **9분의 1**이고, 주면마찰력이 약 9분의 8이다. 불확실성도 주로 주면마찰력에 있다.

이 강의에서는 **단일 말뚝**, 점토, 타입말뚝 또는 현장타설말뚝, 일정 단면을 다룬다.

점토를 φ = 0으로 다루는 이유

이론

포화 점토에서 구조물 하중은 물이 배출될 수 있는 속도보다 **훨씬 빠르게** 작용하며, 점토는 **체적 변화 없이** 전단된다. 이 경우 강도는 하나의 값, 즉 **비배수 전단강도** c_u이며 마찰각은 0이다.

$$\varphi = 0 \qquad \tau_f = c_u$$

모래와의 **큰 차이**: 저항이 더 이상 유효응력에 비례하여 증가하지 않는다. 점토의 말뚝은 "숫자만 다른 모래의 말뚝"이 아니다.

그럼에도 **두 방법**은 유효응력을 사용한다: λ 방법(말뚝 길이를 따른 평균값)과 β 방법(전적으로 유효응력에 의존). 따라서 **지하수위**는 여기에서도 중요하며, 선단지지력과 α 방법에는 영향을 주지 않는다.

유효응력 (λ 및 β용)

$$\sigma' = \sum \gamma_i h_i \qquad \text{(지하수위 위)}$$
$$\sigma' = \sum (\gamma_{sat,i} - \gamma_w) h_i \qquad \text{(지하수위 아래)}$$

γ_w = 9.81 kN/m³

다층 지반에서 σ′의 기울기는 각 지층과 지하수위에서 변한다

문제

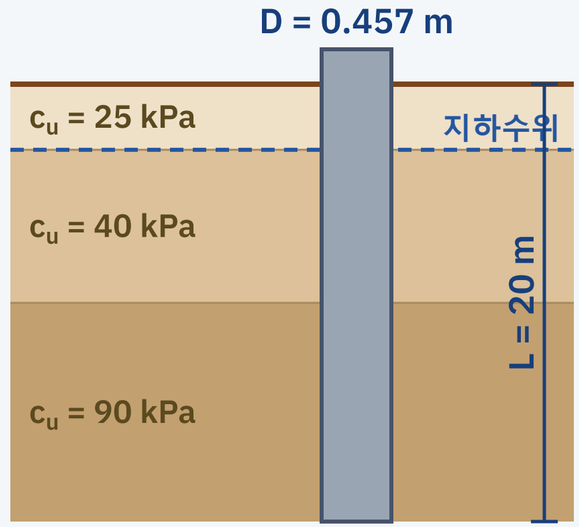
예제

조건

점토 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
점토 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
점토 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
지하수 (지하수위)	**깊이 3.0 m에서**
말뚝	**강관말뚝, D = 0.457 m, L = 20 m**
물의 단위중량	$\gamma_w = 9.81$ kN/m^3

구하는 값

지층 경계(3, 10, 20 m)에서 **유효연직응력**과, 전체 길이에 걸친 **평균 유효응력** $\bar{\sigma}_0$를 구하라.



풀이 (1/2)

풀이

1 3 m (지하수위) 및 지층 경계: 지하수위 아래에서는 $\gamma' = \gamma - \gamma_w$

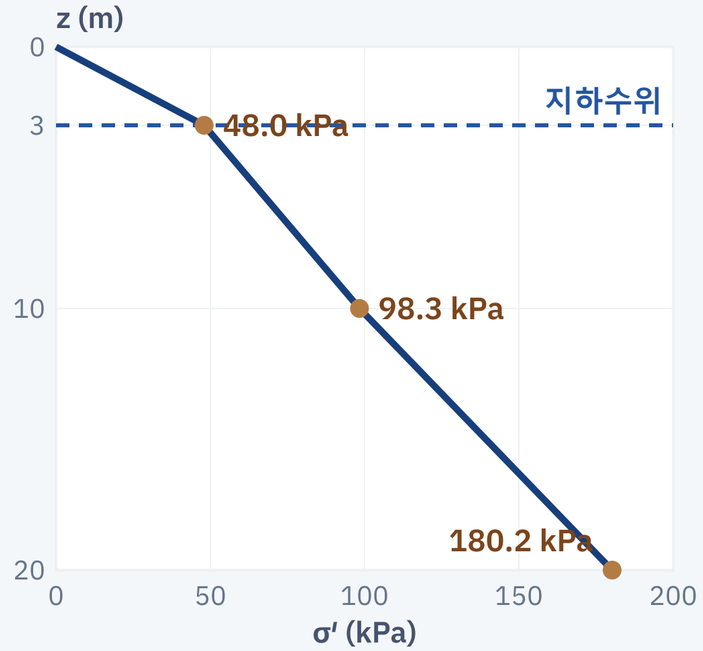
$$\sigma'(3) = 16(3) = \mathbf{48.0}\ \text{kPa}$$

2 깊이 10 m (두 번째 지층의 하단)

$$\sigma'(10) = 48.0 + (17 - 9.81)(7) = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

3 깊이 20 m (말뚝 선단)

$$\sigma'(20) = 98.3 + (18 - 9.81)(10) = \mathbf{180.2}\ \text{kPa}$$



풀이 (2/2)

풀이

4 각 지층의 σ′ 선도 면적 (사다리꼴)

$$A_1 = \tfrac{1}{2}(0 + 48.0)(3) = 72.0$$
$$A_2 = \tfrac{1}{2}(48.0 + 98.3)(7) = 512.2$$
$$A_3 = \tfrac{1}{2}(98.3 + 180.2)(10) = 1{,}392.8$$

5 평균 유효응력: 전체 면적 / 길이

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{L} = \frac{1{,}977.0}{20} = \mathbf{98.85}\ \text{kPa}$$

평균값은 선단에서의 값의 절반보다 작다 (98.8 < 90.1): 응력은 깊이에 따라 선형적으로 증가하지 않으며, 지하수위에서 기울기가 변한다. 이 σ′₀ 값은 λ 방법에서 사용한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

선단지지력: 말뚝 선단 아래의 점토

이론

비배수 포화 점토에서 내부마찰각은 0이다. 말뚝의 **순 극한 선단지지력**은 선단 아래 점토의 비배수 점착력에 계수를 곱한 값이다:

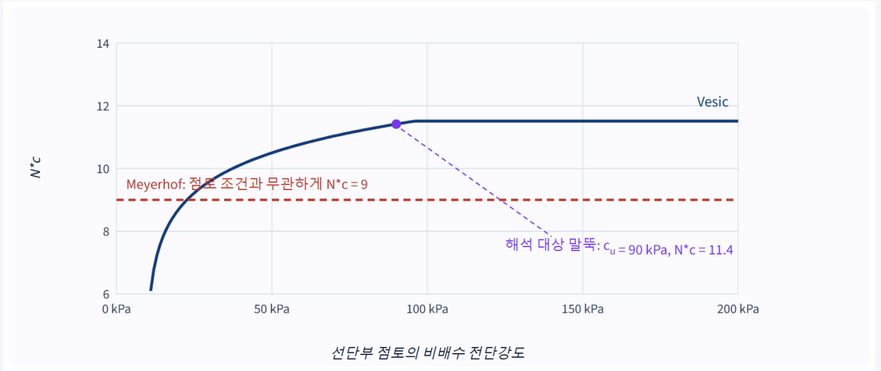
$$Q_p = A_p\, q_p = A_p\, c_u\, N_c^*$$

c_u : **선단 아래** 점토의 비배수 전단강도

N^*_c : 지지력계수 (두 가지 방식은 아래에 제시)

A_p : 말뚝 선단의 면적

> 말뚝이 **관통하는** 점토의 강도는 선단에 작용하지 않는다: 그 강도는 말뚝 몸체에 해당한다.



두 가지 접근: Meyerhof 방법은 계수를 **9**로 취하고, Vesic 방법은 계수를 점토의 **강성**에 연관시킨다.

Meyerhof: 상수 9

이론

포화 점토에서 비배수 조건의 순 극한하중은 Meyerhof 형식으로 **고전적인 계수 9**로 주어진다:

$$Q_p \approx N_c^* \, c_u \, A_p = 9 \, c_u \, A_p$$

c_u : 말뚝 선단 아래 지반의 비배수 점착력

다른 입력값이 필요하지 않으며, 말뚝이 충분히 깊으면(지름의 몇 배면 충분하다) 깊이에 따라 달라지지 않는다.

단순함이 강점이며 약점도 마찬가지이다: 점토의 강성을 고려하지 않는다.

선단지지력은 주면저항력에 비해 작으므로 전체 지지력에 미치는 영향이 매우 작으며, 따라서 단순한 값으로도 대체로 충분하다.

문제

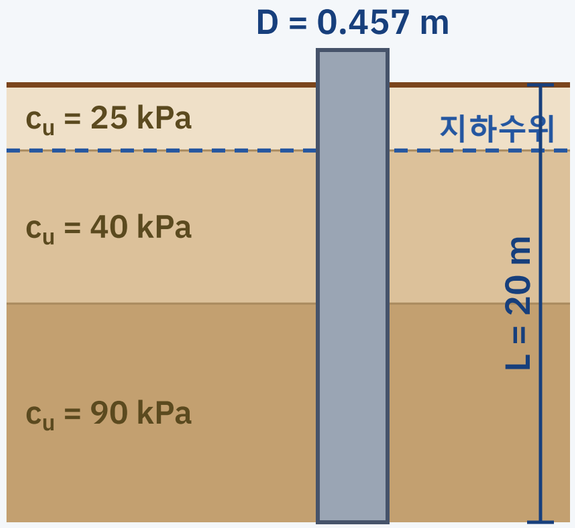
예제

구하는 값

Meyerhof 방법으로 말뚝의 **선단지지력** Q_p를 구하라.

조건

말뚝	**강관말뚝, 타입**
직경	**D = 0.457 m**
길이	**L = 20 m**
선단 아래의 점토	$c_u = 90$ kPa



풀이

풀이

1 말뚝 선단의 면적

$$A_p = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.457)^2}{4} = \mathbf{0.1640}\ \text{m}^2$$

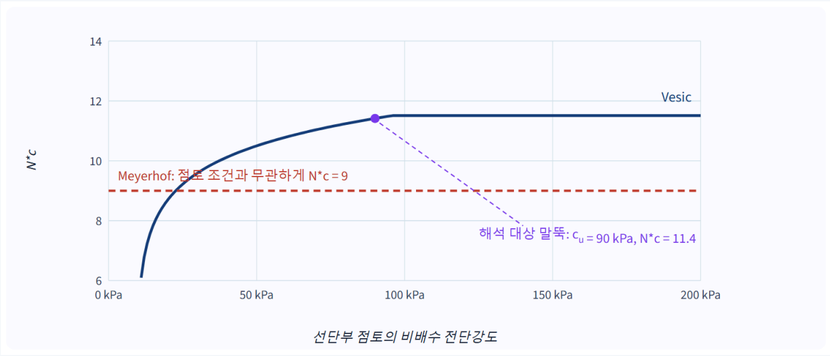
2 단위 선단지지력 (N*c = 9)

$$q_p = 9\, c_u = 9(90) = \mathbf{810}\ \text{kPa}$$

3 선단지지력

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(810) = \mathbf{132.9}\ \text{kN}$$

이 방법은 다른 입력값을 요구하지 않았다: 선단 아래의 c_u뿐이다. Q_p = **132.9 kN**.



선단부 점토의 비배수 전단강도

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

Vesic: N*c에 반영되는 강성

이론

Vesic의 **공동 확장** 이론에서: φ = 0인 경우의 계수는 점토의 감소된 강성지수로부터 구한다. 포화 점토에서는 소성 영역의 체적 변화가 0이므로 감소 효과가 사라지고 $\mathbf{I_{rr} = I_r}$이 된다:

$$N_c^* = \frac{4}{3}\left(\ln I_{rr} + 1\right) + \frac{\pi}{2} + 1 \qquad I_r = \frac{E_s}{3\,c_u}$$

단일 입력값: 선단 아래의 c_u

O'Neill과 Reese (1999): $I_r \approx 50$ ($c_u/p_a = 0.24$), 150 (0.48), 250 – 300 (≥ 0.96). 모듈은 이를 다음과 같이 근사한다:

$$I_r = 347\,\frac{c_u}{p_a} - 33 \;\le\; 300$$

$N^*_c - I_{rr}$ 관계

I_{rr}	N^*_c
10	6.97
20	7.90
40	8.82
60	9.36
80	9.75
100	10.04
200	10.97
300	11.51

I_{rr}이 커질수록 계수는 완만하게 증가한다: 로그 관계

문제

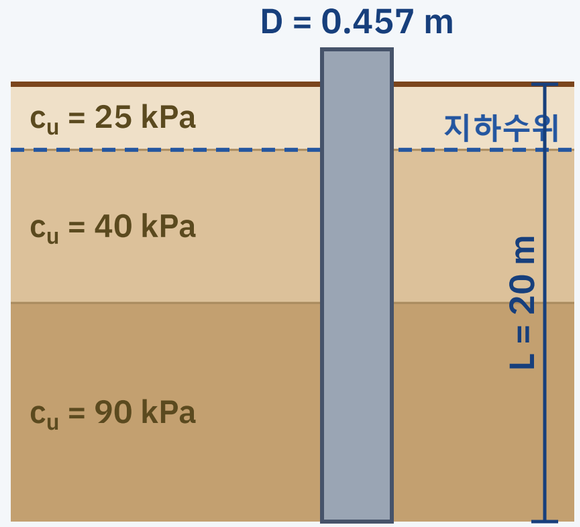
예제

구하는 값

Vesic(1977) 방법으로 말뚝의 **선단지지력** Q_p를 구하고 Meyerhof 방법과 비교하라.

조건

말뚝	**예제 2와 동일: D = 0.457 m, L = 20 m**
선단 아래의 점토	$c_u = 90$ kPa
대기압	$p_a = 100$ kPa



풀이 (1/2)

풀이

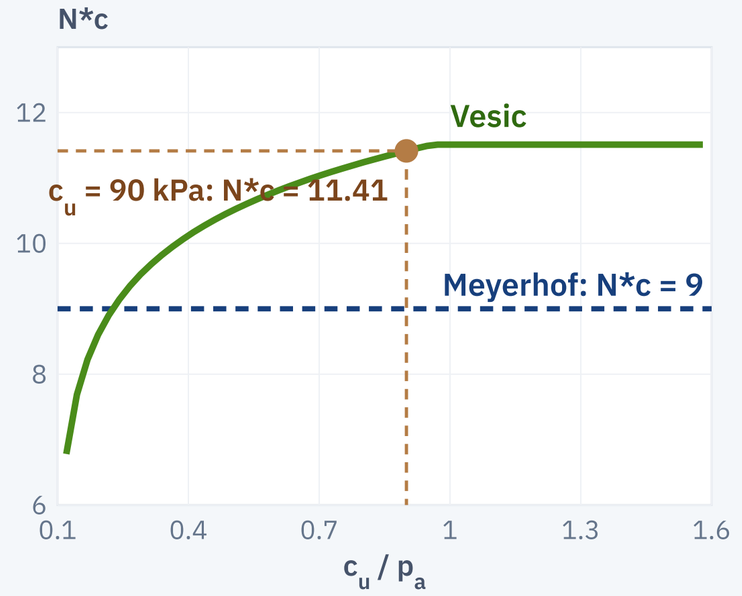
1 강성지수 ($I_{rr} = I_r$, 점토에서는 체적 변화가 없기 때문)

$$I_{rr} = I_r = 347\,\frac{90}{100} - 33 = \mathbf{279.3} \quad (\leq 300)$$

2 N*c 계수

$$N_c^* = \frac{4}{3}\left(\ln 279.3 + 1\right) + \frac{\pi}{2} + 1 = \mathbf{11.41}$$

그래프의 녹색 곡선은 Vesic의 계수이다: c_u = 90 kPa일 때 **N^*_c = 11.41**이며, Meyerhof의 9보다 약 27% 크다.



풀이 (2/2)

풀이

3 단위 선단지지력

$$q_p = c_u\, N_c^* = 90(11.41) = \mathbf{1{,}027}\ \text{kPa}$$

4 선단지지력

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(1{,}027) = \mathbf{168.5}\ \text{kN}$$

Meyerhof: 132.9 kN, **Vesic: 168.5 kN**; 차이는 약 27%이다. 선단은 전체의 작은 부분이므로 이 차이가 전체 지지력에 미치는 영향은 매우 작다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

주면마찰력: 지지력이 실질적으로 결정되는 부분

이론

점토에서 주면저항력은 말뚝 주면에 걸친 단위마찰력의 합이다:

$$Q_s = \sum f\, p\, \Delta L$$

단위마찰력을 결정하는 변수 중 상당수는 쉽게 측정할 수 없으므로 **세 가지 접근법**이 있다:

α 방법: 마찰력은 **비배수 강도**에서만 구한다 (전응력, 단기)

λ 방법: 전 길이에 걸친 **평균 유효응력**과 평균 강도의 조합; 말뚝 전체에 대해 단일 계수

β 방법: **유효응력**과 재성형 상태의 내부마찰각 (배수 조건, 장기)

예제 말뚝에서 말뚝 몸체가 전체의 약 **10분의 9**를 부담하며, 불확실성도 여기에 있다.

α: 강도의 일부

이론

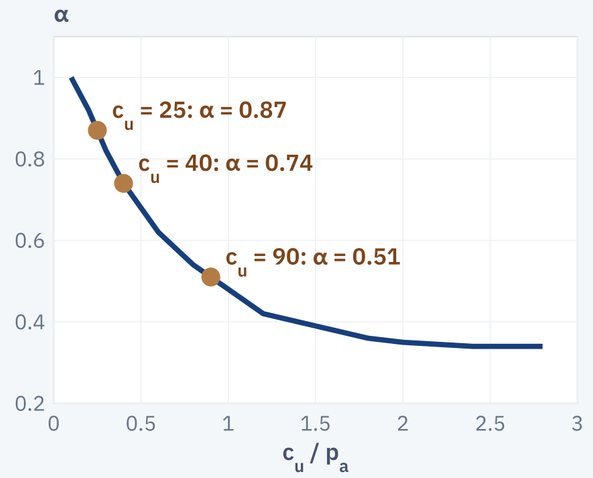
단위 주면마찰력은 비배수 강도에 **경험적 부착계수 α**를 곱한 값이다:

$$f = \alpha\, c_u \qquad Q_s = \sum \alpha\, c_u\, p\, \Delta L$$

α : 부착계수; 점토가 강해질수록 **감소한다**(강한 점토는 자신의 강도 중 더 작은 비율을 발현한다)

α는 실제로 c_u와 함께 **유효응력**의 함수이기도 하다(Sladen, Randolph–Murphy/API, NGI-99 제안)

> 이 모듈은 옆에 제시된 **표(c_u/p_a – α)**를 보간하며, 지층의 α는 직접 입력할 수도 있다.



α 표 (요약)

c_u / p_a	α

문제

예제

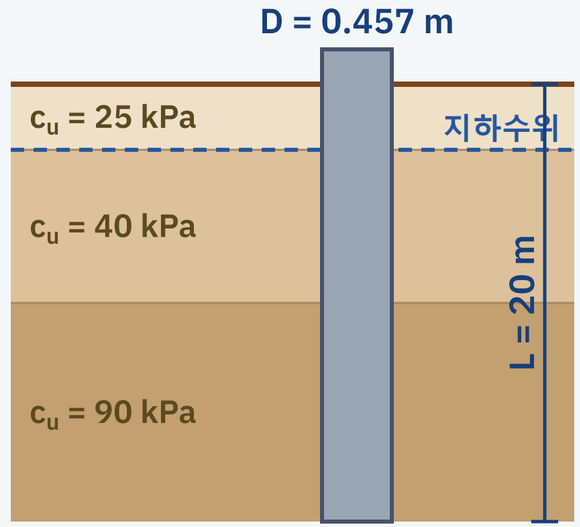
조건

점토 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
점토 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
점토 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
지하수 (지하수위)	**깊이 3.0 m에서**
말뚝	**강관말뚝, D = 0.457 m, L = 20 m**
둘레	$p = \pi D = \pi(0.457) = 1.436$ m

구하는 값

α 방법으로 말뚝의 **주면마찰력** Q_s를 구하라.

(α는 표에서 선형 보간으로, p_a = 100 kPa)



풀이

풀이

1 α 값: c_u/p_a = 0.25; 0.40; 0.90에 대해 표에서

$$\alpha_1 = 0.87,\ \alpha_2 = 0.74,\ \alpha_3 = 0.51$$

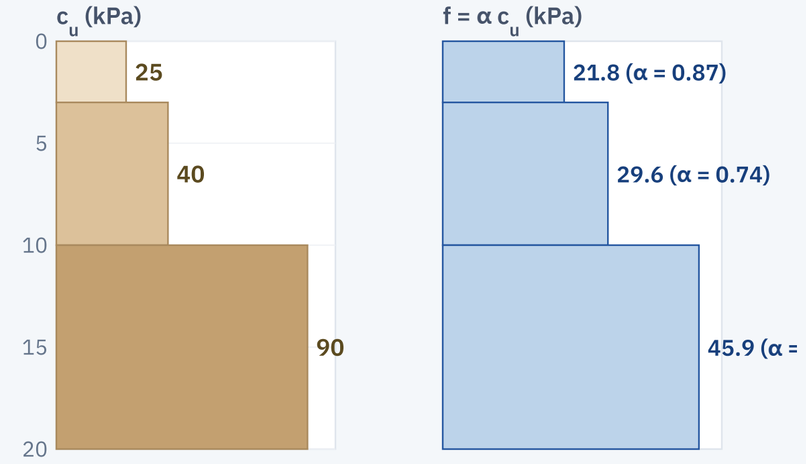
2 각 지층의 단위주면마찰력 $f = \alpha\, c_u$

$$f_1 = 21.8\ ,\ f_2 = 29.6\ ,\ f_3 = 45.9\ \text{kPa}$$

3 $Q_s = p\,\Sigma\, f\, H$

$$Q_s = 1.436\,[21.8(3) + 29.6(7) + 45.9(10)] = \mathbf{1{,}050}\ \text{kN}$$

기여분: 94 + 297 + 659 = **1,050 kN**. 가장 강한 점토가 가장 큰 f를 주지만, c_u의 더 작은 비율(α = 0.51)로 준다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

λ: 전체 길이에 대한 단일 평균값

이론

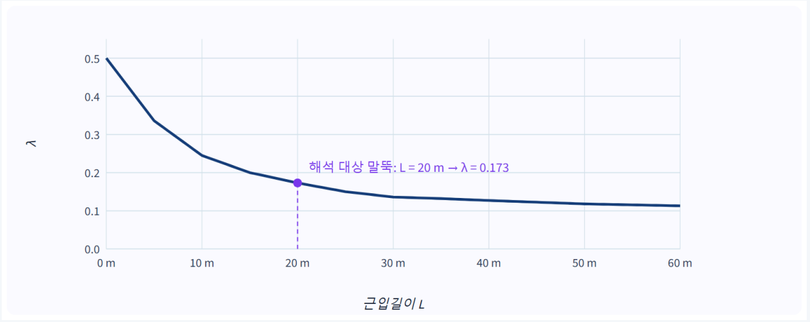
Vijayvergiya와 Focht(1972): 말뚝이 **밀어낸 지반**은 모든 깊이에서 수동 측방압력을 일으키며, 평균 단위마찰력이 여기에서 도출된다:

$$f_{av} = \lambda\,(\bar{\sigma}'_o + 2\,\bar{c}_u) \qquad Q_s = p\,L\,f_{av}$$

σ̄′$_o$: 근입 길이에 따른 **평균 유효 연직응력**(σ′ 분포도의 면적 / L)

$\bar{c}_u$: 평균 비배수 강도, **층 두께 가중**: ($c_{u1}L_1 + c_{u2}L_2 + \ldots$)/L

λ : 말뚝 **길이**에 따라 정해지는 계수(옆에 제시)



λ – 근입 길이

L (m)	λ
0	0.500
5	0.336
10	0.245
15	0.200
20	0.173
30	0.136
40	0.127

문제

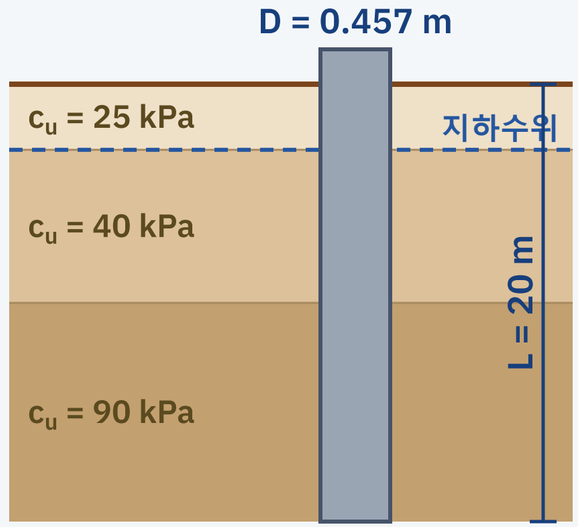
예제

조건

점토 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
점토 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
점토 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
지하수 (지하수위)	**깊이 3.0 m에서**
말뚝	**강관말뚝, D = 0.457 m, L = 20 m**
평균 유효응력	$\bar{\sigma}'_o = 98.85$ kPa **(예제 1)**

구하는 값

λ 방법으로 말뚝의 **주면마찰력** Q_s를 구하시오.



풀이

풀이

1 평균 강도 (두께 가중)

$$\bar{c}_u = \frac{25(3) + 40(7) + 90(10)}{20} = \mathbf{62.75}\ \text{kPa}$$

2 λ (L = 20 m, 표에서) 및 평균 단위주면마찰력

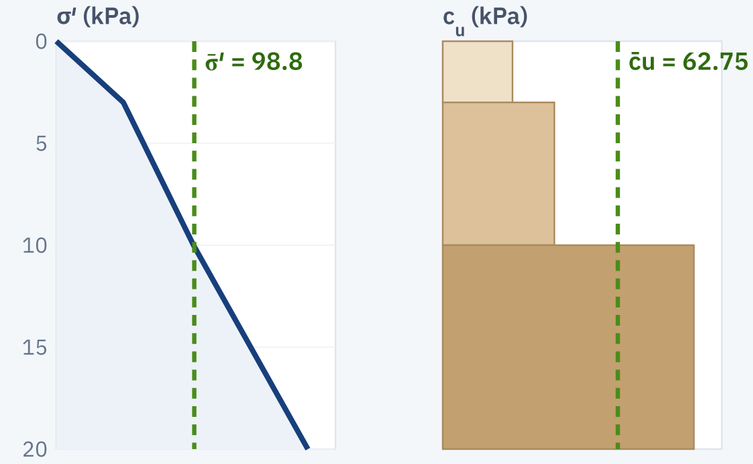
$$\lambda = 0.173$$

$$f_{av} = \lambda(\bar{\sigma}'_o + 2\bar{c}_u) = 0.173\,(98.85 + 2(62.75)) = \mathbf{38.81}\ \text{kPa}$$

3 주면마찰력

$$Q_s = p\,L\,f_{av} = 1.436(20)(38.81) = \mathbf{1{,}114}\ \text{kN}$$

λ 방법은 두 평균을 결합한다: **1,114 kN**. 그래프에서 왼쪽의 면적은 σ′o, 오른쪽의 선은 c̄u이다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

β: 유효응력과 교란된 표층

이론

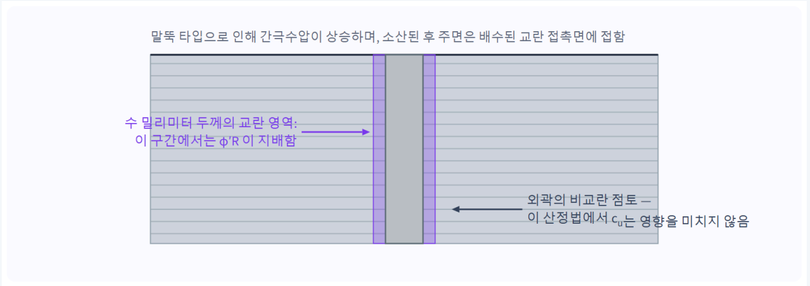
Burland의 유효응력 접근법(Meyerhof의 과압밀 보정 적용): 비배수 강도는 전혀 고려하지 않으며, **연직 유효응력**과 점토의 **재성형** 배수 내부마찰각(c′ = 0)으로부터 유도한다:

$$f = \beta\,\sigma'(z) \qquad \beta = K\tan\delta,\quad \delta = \varphi'_R$$

$$\beta = (1-\sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R\sqrt{OCR}$$

K : 측방토압계수; 보수적으로 **정지 상태** 값을 취하며, 과압밀 점토에서는 √OCR에 따라 증가한다

OCR = 1이면 식은 자동으로 정규압밀 형태가 된다



φ′R과 OCR은 **입력**하며, 지반으로부터 상관식으로 읽어오지 않는다(모듈에서는 φ′R = 30°, OCR = 1로 시작한다).

f는 σ′(z)와 함께 지층 내에서 **깊이에 따라 증가하며**, β가 바뀌는 경계에서 계단 형태를 이룬다.

문제

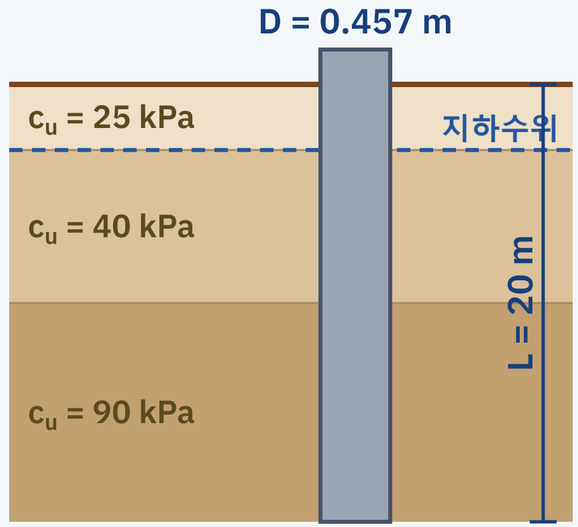
예제

조건

점토 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
점토 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
점토 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
지하수 (지하수위)	**깊이 3.0 m에서**
재성형 시료의 내부마찰각	$\varphi'_R = 30°$ **(3개 지층)**
과압밀비	$OCR = 1;\ 1;\ 2$ **(3번 지층 과압밀)**
말뚝	**D = 0.457 m, L = 20 m**

구하는 값

β 방법으로 말뚝의 **주면마찰력** Q_s를 구하라. (지층별 평균 σ′ 값은 예제 1의 면적에서 취한다.)



풀이 (1/2)

풀이

1 β 계수

$$\beta_{1,2} = (1 - \sin 30^\circ)\tan 30^\circ = \mathbf{0.289} \qquad \beta_3 = 0.289\sqrt{2} = \mathbf{0.408}$$

2 지층별 평균 유효응력 (면적 / 두께)

$$\bar{\sigma}'_1 = \frac{72}{3} = 24.0,\quad \bar{\sigma}'_2 = \frac{512.2}{7} = 73.2,\quad \bar{\sigma}'_3 = \frac{1{,}392.8}{10} = 139.3\ \text{kPa}$$

풀이 (2/2)

풀이

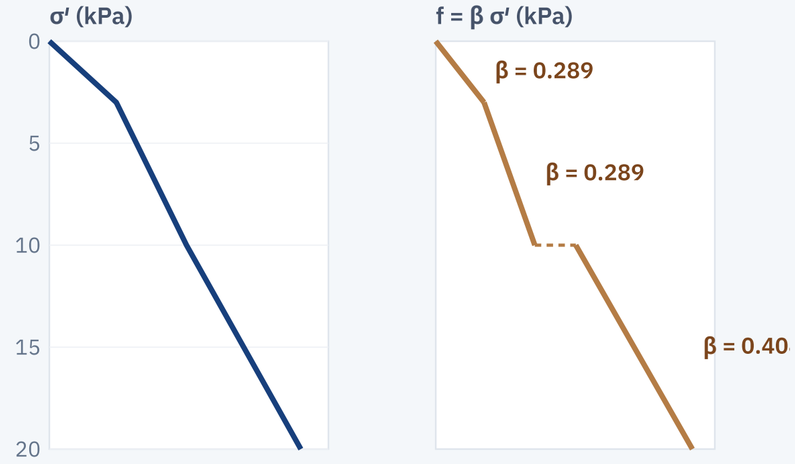
3 지층의 평균 단위주면마찰력 $\bar{f} = \beta\,\bar{\sigma}'$

$$\bar{f}_1 = 6.93, \quad \bar{f}_2 = 21.12, \quad \bar{f}_3 = 56.86 \text{ kPa}$$

4 주면마찰력 $Q_s = p\,\Sigma\,\bar{f}\,H$

$$Q_s = 1.436\,[6.93(3) + 21.12(7) + 56.86(10)] = \mathbf{1{,}058} \text{ kN}$$

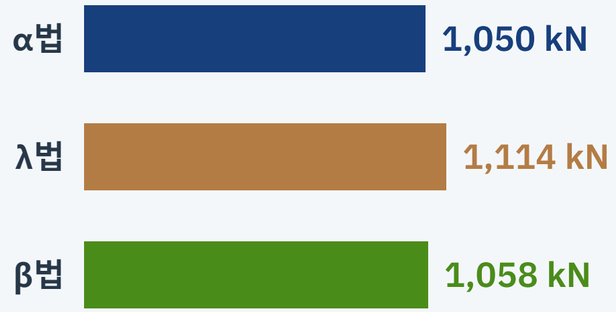
평균은 지층 내 응력의 **실제 적분값**이다(양 끝의 평균이 아님): 지하수위가 지층을 가로지르면 둘은 10% 넘게 차이 날 수 있다. 결과는 **1,058 kN**이다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

세 가지 접근법, 동일한 말뚝

이론



이 지반 주상도에서 셋은 서로 **몇 퍼센트** 이내로 가깝다. 그러나 **원리상** 일치하지 않으며, 이 일치는 이 주상도의 특성이다.

매우 **긴** 말뚝에서는 계수 때문에 λ가 감소한다

과압밀 점토에서 β는 √OCR에 따라 증가한다

연약한 정규압밀 점토에서 α는 지반의 전체 강도 쪽으로 커진다

솔직한 해석: 점토에서 주면저항력은 **계산값의 약 5분의 1** 정도의 불확실성을 지닌다. 따라서 대규모 공사에서는 **재하시험**이 비용을 들일 만한 가치가 있다.

현장타설말뚝은 고유한 규칙을 갖는다

이론

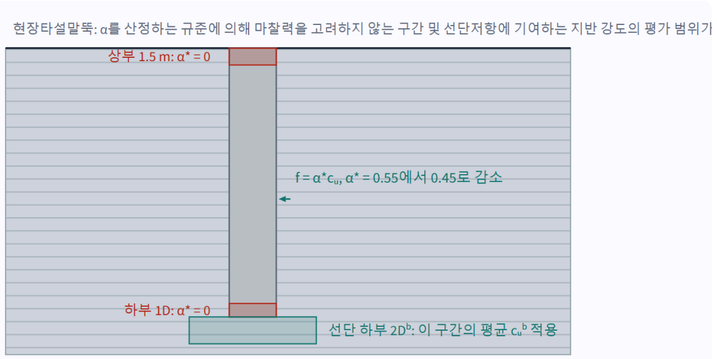
구멍을 뚫고 콘크리트를 타설한다: 지반은 밀려나지 않으며, 구멍 벽면의 점토는 물을 흡수하여 **연약해지고**, 선단 아래에 슬라임이 쌓이며, 선단지지력을 발현하기 위해 **더 큰 침하**가 필요하다. O'Neill과 Reese의 절차는 두 부분을 모두 수정한다.

$$\alpha^* = 0 \;\; (\text{상부 } 1.5\text{ m 및 그 아래 } 1D) \qquad \alpha^* = 0.55 \;\; (\text{그 외의 경우})$$

α* = 0.55 ($c_u/p_a \le 1.5$), 2.5에서 0.45로 감소

상부 1.5 m는 교란이 가장 심하고 말뚝 몸체에서 수축하여 이격되기 가장 쉬운 지반이며, 하부 한 직경은 선단이 이미 지반을 거동시키는 구간이다

지층 두께는 변하지 않는다: 깊이와 σ′는 지반 주상도에서와 같이 유지되고, 마찰을 부담하는 길이만 달라진다



$$q_p = \min\left[6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{L}{D_b}\right),\; 9c_{ub},\; 40p_a\right]$$

c_{ub}: 저면 아래 **2D_b** 구간에서의 평균 c_u. D_b > 1.91 m이면 q_p는 $F_r \le 1$인 계수를 곱하여 줄인다.

문제

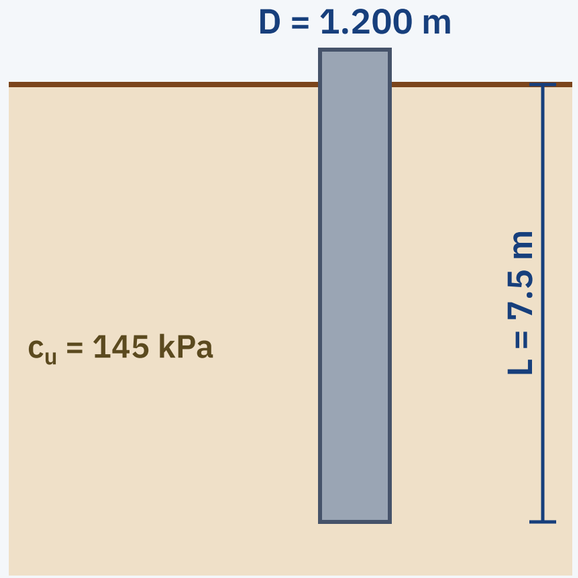
예제

조건

말뚝	**현장타설말뚝, 원형 단면**
직경과 길이	**$D = D_b = 1.2$ m, $L = 7.5$ m**
점토 (균질)	$c_u = 145$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
지하수	**없음**
안전율	**FS = 3**

구하는 값

현장타설말뚝의 **선단지지력**, **주면마찰력** 및 **허용지지력**을 구하라.



풀이 (1/2)

풀이

1 저면 아래 $2D_b$ 구간의 평균 강도와 저면 식

$$c_{ub} = 145 \text{ kPa} \qquad 6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{7.5}{1.2}\right) = 1{,}957.5\,; \quad 9c_{ub} = 1{,}305\,; \quad 40p_a = 4\,000$$

2 q_p = 세 값 중 최솟값; $D_b = 1.2$ m ≤ 1.91 m이므로 $F_r = 1$

$$q_p = \min(1{,}957.5;\ 1{,}305;\ 4\,000) = \mathbf{1{,}305} \text{ kPa}$$

3 선단 면적과 선단지지력

$$A_b = \frac{\pi(1.2)^2}{4} = 1.131 \text{ m}^2 \qquad Q_p = A_b\, q_p = \mathbf{1{,}476} \text{ kN}$$

$9c_{ub}$가 지배한다: $6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b)$ 식이 더 큰 값을 주었으나 $9c_u$ 상한이 적용되었다. Q_p = **1,476 kN**.

풀이 (2/2)

풀이

4 α* 및 마찰 지지 길이 (상단 1.5 m와 하단 1D는 제외)

$$\alpha^* = 0.55 \quad (c_u/p_a = 1.45 \le 1.5)$$

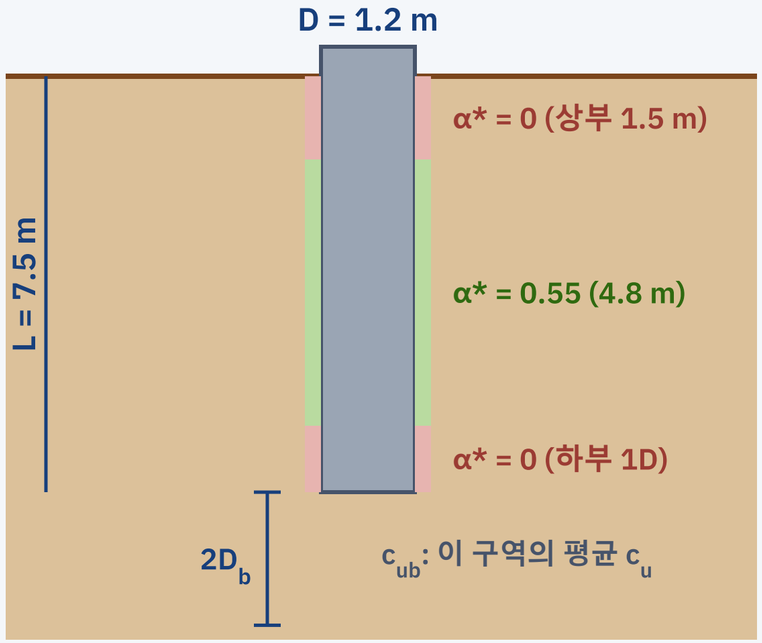
$$L_{eff} = 7.5 - 1.5 - 1.2 = \mathbf{4.8}\ \text{m}$$

5 주면마찰력

$$Q_s = \pi D\,\alpha^* c_u\,L_{eff} = \pi(1.2)(0.55)(145)(4.8) = \mathbf{1{,}443}\ \text{kN}$$

6 극한지지력과 허용지지력

$$Q_u = 1{,}476 + 1{,}443 = 2{,}919\ \text{kN} \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{3} = \mathbf{973}\ \text{kN}$$



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

단일 안전율을 적용한 합계

이론

극한지지력은 두 성분의 합이며, 허용지지력은 이 합 **전체에 단일 안전율**을 적용하여 구한다:

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{FS}$$

단일 말뚝의 통상 **FS = 2.5 – 4**

상한: 지반을 몇 개의 시추공으로만 파악하는 경우, 점토가 **견고하고 균열이 있는** 경우 또는 **재하시험**을 계획하지 않은 경우

선단 방법과 주면 방법은 서로 **독립적으로** 선택할 수 있으며, 결과는 종합하여 해석한다

문제

예제

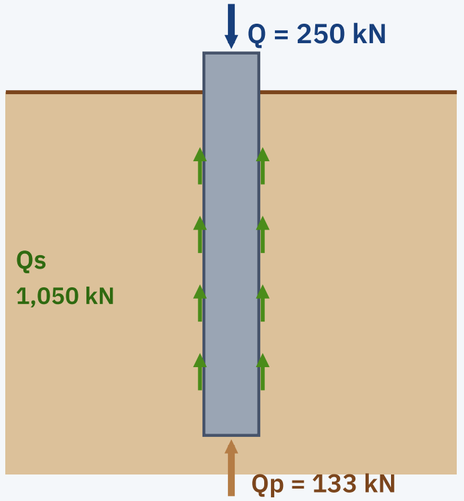
조건

선단지지력	Q_p = 132.9 kN (Meyerhof, 예제 2)
주면마찰력	Q_s = 1,050 kN (α법, 예제 4)
안전율	FS = 4
말뚝에 작용하는 사용하중	Q = 250 kN

구하는 값

말뚝의 **허용지지력** Q_{all}은 얼마인가?

사용하중은 **충분한가**?



풀이

풀이

1 극한지지력

$$Q_u = Q_p + Q_s = 132.9 + 1{,}050.1 = \mathbf{1{,}183}\ \text{kN}$$

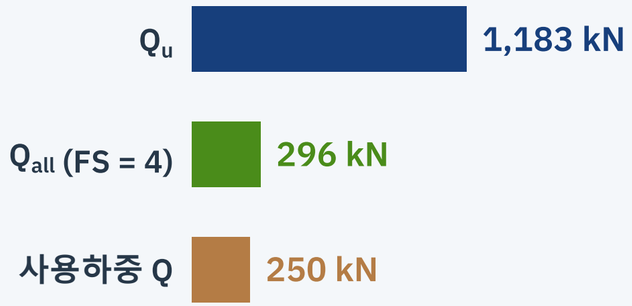
2 허용지지력

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{1{,}183}{4} = \mathbf{296}\ \text{kN}$$

3 검토

$$Q = 250\ \text{kN} \ \le\ Q_{all} = 296\ \text{kN} \ \Rightarrow\ \text{충분}$$

사용률 Q / Q_{all} = 250 / 296 = **0.85**. 말뚝 주면(몸체)이 전체의 약 89%를 부담한다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

요약 · 방법의 결합

동일한 말뚝: Q_u와 Q_{all} (FS = 4)

이론

Q_u · Q_{all} (kN)

	Q_s: α 1,050 kN	Q_s: λ 1,114 kN	Q_s: β 1,058 kN
Q_p: Meyerhof 132.9 kN	1,183 · **296**	1,247 · **312**	1,191 · **298**
Q_p: Vesic 168.5 kN	1,219 · **305**	1,283 · **321**	1,227 · **307**

여섯 가지 조합에서 Q_u는 **1,183 – 1,283 kN** 범위에 불과하다: 선단이 작으므로 선택이 합계에 미치는 영향은 매우 작으며, 실질적인 차이는 주면마찰력에서 발생한다.

범위를 **판단**하고, 하나의 수치에 의존하지 않는다

주면마찰력은 전체의 **약 10분의 9**

대규모 공사에서는 **말뚝 재하시험**으로 검증

요약

핵심 정리

점토는 **비배수** 상태이며($\varphi = 0$, $\tau_f = c_u$), 저항은 유효응력에 비례하지 않는다

선단: Meyerhof $N^*_c = 9$; Vesic $N^*_c = f(I_{rr})$, $I_r \approx 347c_u/p_a - 33$; 선단은 전체의 작은 부분

α: $f = \alpha c_u$ · **λ**: $f_{av} = \lambda(\bar{\sigma} + 2\bar{c}_u)$ · **β**: $f = \beta\sigma'$, $\beta = (1 - \sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R\sqrt{OCR}$

현장타설말뚝: $\alpha^* = 0$(상부 1.5 m, 하부 1D), $q_p = \min[6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b), 9c_{ub}, 40p_a]$

$Q_{all} = (Q_p + Q_s)/FS$, $FS = 2.5 - 4$

참고문헌

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; 본 페이지는 이 문헌을 준용합니다.

Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. Wiley — 표 2의 α 값 참고 문헌.

O'Neill, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-IF-99-025 — 현장타설말뚝의 α 및 점성토의 강성지수.

Reese, L.C. and O'Neill, M.W. (1989). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA — 점토층 내 굴착말뚝의 기본 산정식.

Burland, J.B. (1973). Shaft friction of piles in clay — a simple fundamental approach. Ground Engineering, 6(3), 30–42.

Meyerhof, G.G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(GT3), 197–228 — β 방법의 √OCR 보정.

Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A. (1972). A new way to predict the capacity of piles in clay. Offshore Technology Conference, Paper 1718, Houston.

Vesic, A.S. (1977). Design of Pile Foundations. NCHRP Synthesis of Highway Practice 42, Transportation Research Board.

참고

이 발표 자료의 그림은 GeoTerva 이론 페이지에서 가져온 것이며, 수치 예제는 모두 모듈 자체의 계산 라이브러리로 산출하였고 모듈이 동일한 값을 제공한다.

온라인 지반공학 계산

이론에서 실무로

이 강의자료의 예제 말뚝을 GeoTerva에서 단계별로 계산해 보시오: 수치는 동일하다.

모듈 열기 →

이론 페이지 →

스마트폰으로 열기

체험 모듈은 가입 없이 이용할 수 있습니다.

강의에서 사용하려면: info@geoterva.com