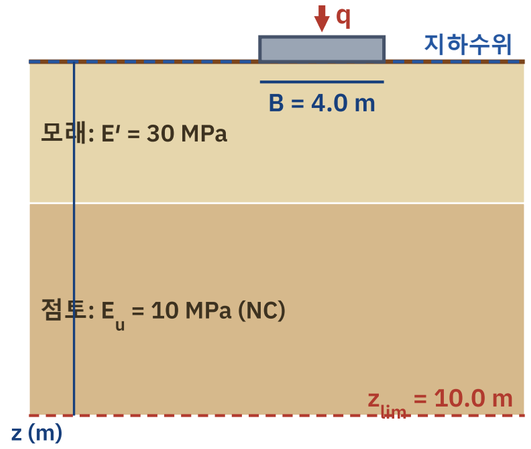
지반공학 강의 자료 · 침하

총침하: 점토층과 모래층

강의: 점토와 모래 지층으로 이루어진 지반에서 즉시(탄성)침하와 점토의 압밀침하를 합산하는 방법, 중심·모서리·강성 기초, 시간에 따른 총침하; 각 주제별 계산 예제.

- $S = S_e + S_c$
- 점토 및 모래 지층
- Steinbrenner
- 응력 경로
- 중심 · 모서리 · 강성
- 침하–시간 곡선



개요

이 강의에서 다루는 내용

- 지층 종류에 따라 침하를 구분하기: **점성토** 지층 = 즉시침하 + 압밀, **사질토** 지층 = 탄성침하만
- 같은 절편에서 **Steinbrenner**(즉시침하)와 **응력경로**(압밀) 계산을 결합하기
- 굴착의 영향을 확인하기: **순압력**은 즉시침하를, **융기와 재압축**은 압밀을 결정한다
- 전체 침하로부터 연성 기초의 **중심** 및 **모서리** 침하, 강성 기초의 침하와 부등침하를 구하기
- $S(t) = S_e + \Sigma\, U_i(t)\, S_{c,i}$ 침하–시간 곡선의 구성
- 모듈의 결과가 단일 유형 모듈(탄성 + 압밀)의 합과 같음을 검증하기

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 지반: 4 m 두께 모래층 위에 6 m 두께 정규압밀 점토층; 4 × 6 m 기초, q = 150 kPa. 침하량의 단위는 mm이다.

총 침하 = 즉시침하 + 압밀침하

이론

$$S = S_e + S_c$$ 점성토 지층: S_e(비배수) + S_c 사질토 지층: S_e(배수)

두 성분은 **동일한 절편**에서, 동일한 Boussinesq 응력 증가량, 동일한 굴착, 동일한 계산 깊이로 계산한다. 풀이는 **해석적**이다: 닫힌 형태의 영향계수, 절편별 응력 경로, Terzaghi 이론을 사용하며 유한요소는 사용하지 않는다.

포화 점토는 하중이 재하되는 동안 체적이 변하지 않으며(ν = 0.5), 이것이 즉시침하이다. 물이 서서히 빠져나가면서 점토가 응력 경로를 따라 압축되며, 이것이 압밀이다. 모래는 물을 즉시 배출하므로 침하 전체가 탄성침하이다.

> 단일 유형 지층에서 모듈은 탄성침하 모듈 또는 압밀 모듈과 **같은 결과**를 준다(예제 6).

> 각 지층의 종류는 지반 주상도 표에서 선택하며, 이 종류에 따라 해당 지층에 필요한 매개변수가 결정된다.

지층 종류

지층	즉시침하	압밀
점성토	비배수 E_u, ν = 0.5	사용 가능: C_c, C_r, C_s, e_0, σ'_p(또는 m_v), C_v
사질토	배수 E′, ν′	없음

Hooke의 법칙과 Steinbrenner 계수

이론

순압력 q_{net}을 받는 완전 연성 기초 아래의 침하는 연직 변형률의 적분이다(Boussinesq 응력, 균질 반무한 공간):

$$S = \int \varepsilon_z \, dz = \int \frac{\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)}{E} \, dz$$

직사각형 모서리에 대한 닫힌 형태의 해 (Steinbrenner):

$$S = q_{net}\,\alpha\,B'\,\frac{1-\nu^2}{E}\,I_s \qquad I_s = F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu}F_2$$

m′ = L′/B′, n′ = z/B′. **중심**: α = 4, B′ = B/2; **모서리**: α = 1, B′ = B.

점성토층에서 ν = 0.5이므로 $I_s = F_1$이고 $(1 - \nu^2) = 0.75$이다.

탄성침하 모듈

F_1, F_2, A_0, A_1, A_2의 공식과 상세한 예제는 탄성침하 강의에 수록되어 있으며, 여기서는 그 결과만을 합산에 사용한다.

다층 지반 주상도와 순 압력

이론

기초 저면으로부터의 깊이 z_{top}과 z_{bottom} 사이에 있는 지층은 자체의 E와 ν로 I_s의 차이를 더한다:

$$\Delta S_e = q_{net}\,\alpha\,B'\,\frac{1-\nu^2}{E}\,[I_s(z_{bottom}) - I_s(z_{üst})]$$

굴착은 굴착 저면 높이의 유효상재응력을 제거한다. 탄성계수가 하나인 탄성 지반에서는 제하분이 재재하 시 회복되므로, 즉시침하는 **순압력**이 결정한다:

$$q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$$

$q_{net} \le 0$이면 즉시침하가 발생하지 않는다 (음의 값은 탄성 융기이다).

결과는 절편 두께에 따라 달라지지 않는다. 절편은 표와 색 영역에만 이용된다.

NEDEN FARKLI?

즉시침하는 **순압력**으로, 압밀침하는 응력경로상의 **유효응력 증가량**으로 계산한다. 굴착은 이 둘에 서로 다른 방식으로 영향을 준다.

응력 경로와 절편 압축

이론

점성토 절편에서는 압밀을 초기 응력에서 최종 응력까지 한 번에 계산하지 않고 **응력 경로**를 따라 계산한다. 굴착에 따른 팽창(C_s), 재하 시 먼저 융기를 되돌리는 재압축, C_r에 의한 σ'_p까지의 재압축, 그 이후 C_c에 의한 처녀압축:

$$\sigma'_{v0} \xrightarrow{C_s} \sigma'_{exc} \xrightarrow{C_s} \sigma'_{v0} \xrightarrow{C_r} \sigma'_p \xrightarrow{C_c} \sigma'_{final} \qquad \sigma'_p = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

$$S_c = \sum (S_b + S_r + S_v)\,, \quad f = \frac{\Delta H}{1 + e_0} \qquad \Delta\sigma_{load} = q\, I_z(z') \qquad \sigma'_{final} = \sigma'_{exc} + \Delta\sigma_{load}$$

NC 점토 (OCR = 1): $S = C_c\, f \log(\sigma'_{final}/\sigma'_{v0})$ (굴착 없음).

융기는 음의 값이며, $S_{net} = S_c + S_{heave}$이다. **유지** 옵션에서는 침하를 원지반으로부터, **초기화** 옵션에서는 융기된 바닥으로부터 측정한다.

계산 깊이: $I_z(z') = p$ (통상 10%) 또는 지반 주상도의 바닥; m_v 방법은 선형 방식의 선택 사항이다.

상세

응력경로, 영역 구분, 굴착, 시간 곡선의 전체 설명은 압밀 강의 자료에 수록되어 있다.

문제

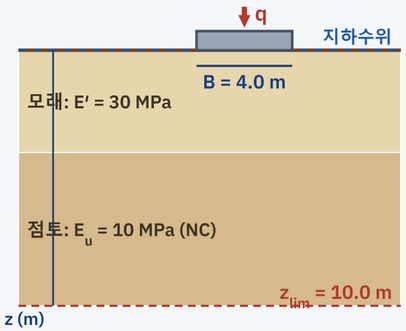
예제

조건

프로필	**모래 0–4 m:** $E' = 30$ MPa, $\nu' = 0.30$, $\gamma_{sat} = 19$ · **점토 4–10 m (NC):** $E_u = 10$ MPa, $\nu = 0.5$, $e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $C_v = 2$ m²/년, $\gamma_{sat} = 18$
기초	**4 × 6 m 연성 직사각형,** $q = 150$ kPa, **지표면 위치; 지하수위는 지표면; 계산 깊이 10 m(지반 주상도의 저면)**
굴착	**없음 (**q_{net} **= 150 kPa)**

구하는 값

각 지층의 **중심** 및 **모서리** 즉시침하 S_e.



풀이

풀이

1 모래 (0–4 m): k = q(1 − ν′²)/E′ = 150(0.91)/30 000 = 0.004550; 8 I_s(4) = 2.7351

$$\Delta S_e = k\,[(\alpha B' I_s)_4 - 0] = 0.004550(2.7351) = \mathbf{12.4\ mm}$$

2 점토(4–10 m): k = 150(0.75)/10,000 = 0.011250; 8 I_s(4) = 2.3398; 8 I_s(10) = 3.9643

$$\Delta S_e = 0.011250(3.9643 - 2.3398) = \mathbf{18.3\ mm}$$

중심에서 S_e = 12.4 + 18.3 = **30.7 mm**; 모서리에서 3.4 + 9.8 = **13.2 mm**(모서리에서 α = 1, B′ = B).

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

Boussinesq, 영향 깊이 및 m_v법

이론

기초 중심 아래에서 직사각형 B × L은 Newmark 모서리 계수로, 연속기초는 α의 폐쇄형 해로 구한다:

$$\Delta\sigma = q\, I_z(z') \qquad I_z = 4\, I_{köşe}(m,n)\ \ (m=\tfrac{B}{2z'},\ n=\tfrac{L}{2z'}) \qquad I_{z,띠} = \frac{\alpha+\sin\alpha}{\pi}$$

영향 깊이: $I_z(z')$ = p (통상 10%); 정사각형 2.09 B, L = 1.5 B인 경우 2.55 B, 연속기초 6.34 B. 지반 주상도의 바닥을 선택하면 계산은 마지막 지층에서 끝난다(암반이나 조밀한 자갈에서).

지반 주상도가 z_{lim} 위에서 끝나면 마지막 지층이 z_{lim}까지 이어진다.

m_v 방법: $\Delta H = m_v\, \Delta\sigma'\, H$; 선형이며 $C_c/C_r/C_s$와 혼용되지 않는다.

이 주상도에서

계산 깊이는 지반 주상도의 바닥(10 m)이며, 단단한 기반을 가정한다. z = 7 m의 점토층에서 $I_z(z' = 7) = 0.1916$.

문제

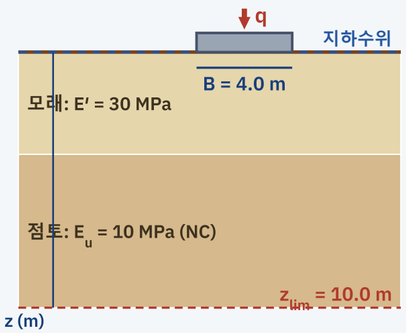
예제

조건

프로필	**모래 0–4 m:** $E' = 30$ MPa, $\nu' = 0.30$, $\gamma_{sat} = 19$ · **점토 4–10 m (NC):** $E_u = 10$ MPa, $\nu = 0.5$, $e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $C_v = 2\ \text{m}^2/\text{년}$, $\gamma_{sat} = 18$
기초	**4 × 6 m 연성 직사각형,** $q = 150$ kPa, **지표면 위치; 지하수위는 지표면; 계산 깊이 10 m(지반 주상도의 저면)**
절편	**점토 단일 분할층,** $H = 6$ m, **중점** $z = 7$ m; $f = H/(1+e_0) = 3$ m
응력	$\sigma'_{v0} = 9.19(4) + 8.19(3) = 61.33$ kPa

구하는 값

I_z, $\Delta\sigma$, σ'_{final} 및 S_c.



풀이

풀이

1 Boussinesq (z′ = 7 m): m = 2/7 = 0.2857; n = 3/7 = 0.4286

$$I_z = 4\,I_{köşe}(0.2857;\,0.4286) = 4(0.0479) = \mathbf{0.1916} \qquad \Delta\sigma = 150(0.1916) = 28.75 \text{ kPa}$$

2 최종 응력과 압축 (NC: $\sigma'_p = \sigma'_{v0}$)

$$\sigma'_{final} = 61.33 + 28.75 = 90.08 \text{ kPa}$$

$$S_c = C_c f \log\frac{\sigma'_{final}}{\sigma'_{v0}} = 0.30(3)\log\frac{90.08}{61.33} = \mathbf{150.2\ mm}$$

점토의 압밀침하는 **150.2 mm**이며, 즉시침하(30.7 mm)의 약 **4.9배**이다. 연약한 NC 점토에서는 주된 침하가 압밀에서 발생한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

중심, 모서리 및 강성 기초

이론

각 절편에 대해 즉시침하와 (점성토층에서는) 압밀침하 성분을 합산하며, 지층들을 z_{lim}까지 합한 총합이 연성기초의 **중심** 침하량이 된다:

$$S = \sum \Delta S_e + \sum (\Delta S_b + \Delta S_r + \Delta S_v) \quad [+ S_{heave}]$$

$$S_{köşe} = S_{e,köşe} + S_c \qquad S_{rigid} = 0.93\, S_e + S_c \qquad S_{diff} = S_e - S_{e,köşe}$$

모서리의 경우 **즉시침하만** 모서리 직사각형 자체의 값을 취하며, 압밀침하는 중심선상의 응력경로에서 구하고 모서리에서도 같은 값으로 가정한다.

강성 기초는 균등하게 침하한다: 즉시침하 성분은 연성 기초 중심의 약 0.93배이며, 압밀침하 성분은 중심의 값과 같다.

굴착: 즉시 성분은 q_{net}으로 계산하고, 점토는 융기와 재압축으로 계산한다; “유지”를 선택하면 $S = S_e + S_c + S_{heave}$이다.

점토가 우세한 경우

압밀침하는 중심과 모서리에서 동일하므로, 점토가 지배적인 지반 주상도에서 **부등침하**는 즉시침하 성분의 차이일 뿐이다.

문제

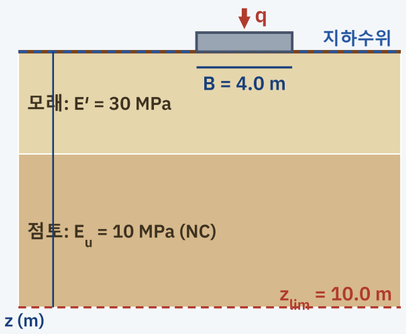
예제

조건

프로필	**모래 0–4 m: $E' = 30$ MPa, $\nu' = 0.30$, $\gamma_{sat} = 19$ · 점토 4–10 m (NC): $E_u = 10$ MPa, $\nu = 0.5$, $e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $C_v = 2$ m²/년, $\gamma_{sat} = 18$**
기초	**4 × 6 m 연성 직사각형, $q = 150$ kPa, 지표면 위치; 지하수위는 지표면; 계산 깊이 10 m(지반 주상도의 저면)**
이전 예제	**S_e: 중심 30.7, 모서리 13.2 mm; S_c = 150.2 mm (예제 1 및 2)**

구하는 값

중심, 모서리, 강성 총침하; 부등침하; 즉시침하 성분의 비율.



풀이

풀이

1 합계

$$S_{center} = 30.7 + 150.2 = \mathbf{181.0\ mm} \qquad S_{köşe} = 13.2 + 150.2 = \mathbf{163.4\ mm}$$

$$S_{rigid} = 0.93(30.7) + 150.2 = \mathbf{178.8\ mm} \qquad S_{diff} = 30.7 - 13.2 = \mathbf{17.5\ mm}$$

	S_e (mm)	S_c (mm)	합계 (mm)
중앙 (연성)	30.7	150.2	**181.0**
모서리 (연성)	13.2	150.2	**163.4**
강성	28.6	150.2	**178.8**

즉시침하는 전체의 **17%**에 불과하며; 부등침하는 17.5 mm이다. 점토의 압밀이 중심과 모서리에서 같으므로 모서리의 침하는 중심의 90%이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

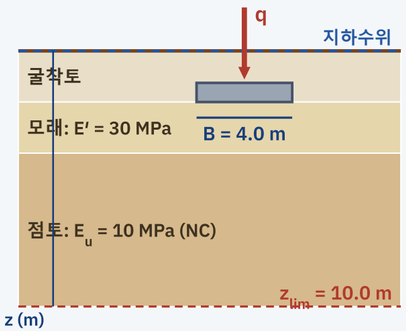
예제

조건

프로필	**모래 0–4 m ($E' = 30,\ \nu' = 0.30,\ \gamma_{sat} = 19$) · 점토 4–10 m (NC; $E_u = 10,\ e_0 = 1.0,\ C_c = 0.30,\ C_s = C_r = 0.06,\ \gamma_{sat} = 18$); 지하수위는 지표면**
굴착	**넓은 굴착 (I_{exc} = 1), 깊이 2 m; 기초는 굴착저면에 위치**
기초	**4 × 6 m, $q_{gross} = 150$ kPa; 계산 깊이 10 m**
절편	**모래 2–4 m (H = 2 m), 점토 4–10 m (z = 7 m, f = 3 m)**

구하는 값

q_{net}, S_e; 점토의 팽창과 S_c; 전체 침하(보존 및 초기화).



풀이 (1/3)

풀이

1 순압력: $q_{uplift} = \sigma'_{v0}(2\ \text{m}) = 9.19(2) = 18.38$ kPa

$$q_{net} = 150 - 18.38 = \mathbf{131.62}\ \text{kPa}$$

2 즉시침하: 모래(z′ 0–2 m) k = 0.003992; 점토(z′ 2–8 m) k = 0.009872 ($k = q_{net}(1-\nu^2)/E$)

$$\text{모래}: \Delta S_e = 0.003992(1.5131 - 0) = 6.0\ \text{mm}$$

$$\text{점토}: \Delta S_e = 0.009872(3.6370 - 1.0554) = 25.5\ \text{mm}$$

굴착으로 순압력이 150 → 131.6 kPa로 낮아졌고, 즉시침하는 30.7 → **31.5 mm**가 되었다 (모래 상부 2 m를 굴착하여 점토에 가해지는 하중이 줄었다).

풀이 (2/3)

풀이

3 점토: 응력경로 ($z' = 5$ m: $I_z = 0.3204$)

$$\sigma'_{exc} = 61.33 - 18.38 = 42.95 \text{ kPa} \qquad \Delta\sigma = 150(0.3204) = 48.05 \text{ kPa}$$

$$\text{히빙} = -0.06(3)\log\frac{61.33}{42.95} = -27.8 \text{ mm} \qquad \sigma'_{final} = 42.95 + 48.05 = 91.00 \text{ kPa}$$

4 NC 점토($\sigma'_p = \sigma'_{v0}$): S_b는 팽창을 회복시키고, S_v는 처녀압축이다

$$S_b = 0.06(3)\log\frac{61.33}{42.95} = 27.8 \text{ mm} \qquad S_v = 0.30(3)\log\frac{91.00}{61.33} = 154.2 \text{ mm}$$

$$S_c = S_b + S_v = \mathbf{182.1\ mm}$$

풀이 (3/3)

풀이

	S_e (mm)	S_c (mm)	융기 (mm)	합계 (mm)
굴착 없음 (예제 3)	30.7	150.2	0	**181.0**
굴착됨, **보존됨** (원지반으로부터)	31.5	182.1	-27.8	**185.8**
굴착된 구간, **0으로 처리** (히빙된 저면부터)	31.5	182.1	—	**213.6**

원지반에서 측정한 총 침하량은 **185.8 mm**(S_e + S_c + 융기)이고, 융기된 저면에서 측정한 값은 **213.6 mm**이다. 차이는 융기량(27.8 mm)과 같다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

즉시침하는 곧바로 발생하고, 압밀은 시간에 따라 진행된다

이론

$$T_v = \frac{C_v\, t}{H_{dr}^2} \qquad U(T_v) = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T_v} \qquad M = \frac{\pi(2m+1)}{2}$$

$$S(t) = S_e + \sum_i U_i(t)\, S_{c,i} \;\; [+ S_{heave}] \qquad t = \frac{T_v\, H_{dr}^2}{C_v}$$

S_e는 **즉시** 발생한다($t = 0^+$); 압밀은 각 점성토층에서 해당 층의 C_v와 H_{dr}로 진행된다: H_{dr} = H(일면 배수) 또는 H/2(양면 배수).

$T_{v,50} = 0.197$; $T_{v,90} = 0.848$; $T_v < 0.05$'te $U = 2\sqrt{(T_v/\pi)}$.

곡선은 각 지층 곡선의 합이며, 지반 전체의 t_{50}과 t_{90} 값은 이 합에서 읽는다. 점성토층이 없는 지반에서는 시간 곡선이 없다: 침하 전체가 즉시 발생한다.

"보존" 선택 시 곡선은 융기가 없는 상태에서 시작하여 순변형에서 끝난다.

모래 + 점토

모래는 침하가 즉시 일어나며, **시간 곡선의 형태는 점토가 결정한다.**

문제

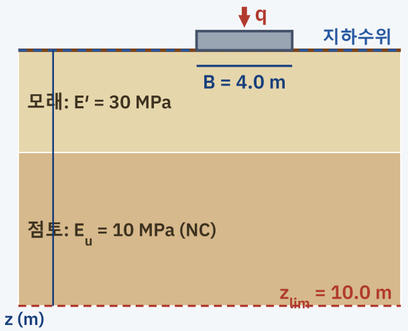
예제

조건

프로필	**모래 0–4 m:** $E' = 30$ MPa, $\nu' = 0.30$, $\gamma_{sat} = 19$ · **점토 4–10 m (NC):** $E_u = 10$ MPa, $\nu = 0.5$, $e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $C_v = 2$ m²/년, $\gamma_{sat} = 18$
기초	**4 × 6 m 연성 직사각형,** $q = 150$ kPa, **지표면 위치; 지하수위는 지표면; 계산 깊이 10 m(지반 주상도의 저면)**
이전 예제	**S_e = 30.7 mm (예제 1); S_c = 150.2 mm (예제 2); 굴착 없음**
배수	**점토는 상부(모래)와 하부(견고한 기반)로 배수된다: 양면배수, H = 6 m**
시간	**t = 0.25; 0.5; 1; 2; 4; 8년**

구하는 값

H_{dr}, t_{50}, t_{90} 및 S(t); t = 0⁺에서의 침하.



풀이 (1/2)

풀이

1 배수거리와 소요 시간 (C_v = 2 m²/년)

$$H_{dr} = \frac{H}{2} = 3\ \text{m} \qquad t_{50} = \frac{0.197(3^2)}{2} = \mathbf{0.89}\ \text{년} \qquad t_{90} = \frac{0.848(3^2)}{2} = \mathbf{3.82}\ \text{년}$$

2 초기 침하와 최종 침하

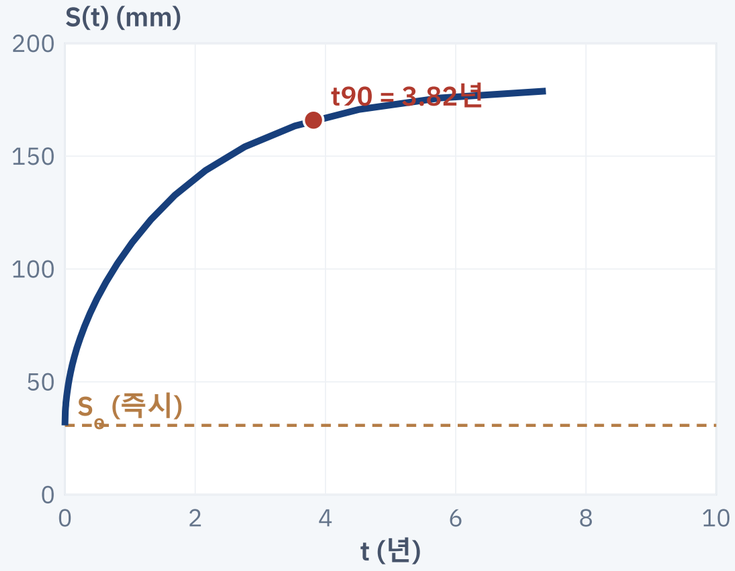
$$S(0^+) = S_e = 30.7\ \text{mm} \qquad S(\infty) = S_e + S_c = 30.7 + 150.2 = \mathbf{181.0\ mm}$$

하중 재하 직후 침하는 30.7 mm(전체의 17%)이며, 점토 압밀의 90%는 **3.82년** 만에 완료된다.

풀이 (2/2)

풀이

t (년)	U	$S_c(t)$ (mm)	$S(t) = S_e + S_c(t)$ (mm)
0.25	0.266	40.0	**71**
0.50	0.376	56.5	**87**
1.00	0.531	79.8	**110**
2.00	0.729	109.6	**140**
4.00	0.910	136.7	**167**
8.00	0.990	148.7	**179**



1년 후 총침하는 110 mm(최종값의 61%), 4년 후 167 mm(92%)이다. 곡선은 즉시침하에서 시작하여 점토의 압밀과 함께 상승한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

예제

조건

프로필	**점토만, 0–6 m (NC):** $E_u = 10$ MPa, $e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $\gamma_{sat} = 18$; **지하수위는 지표면**
기초	**4 × 6 m,** $q = 150$ kPa, **굴착 없음; 계산 깊이 6 m (주상도 하단)**
비교	**탄성침하(점성토) + 압밀 모듈**

구하는 값

전체 침하 모듈의 S_e, S_c 및 합계를 두 개의 단일 유형 모듈의 결과와 비교하라.

풀이

풀이

모듈	S_e (mm)	S_c (mm)	합계 (mm)
탄성침하: 점성토 지반	35.3	—	—
압밀	—	591.6	—
두 모듈의 합	35.3	591.6	**626.9**
총 침하 (2D)	35.3	591.6	**626.9**

총 침하 모듈은 단일 유형의 지반에서 두 모듈의 합과 **정확히 일치한다**(626.9 mm). 모서리 합계는 601.5 mm($S_{e,corner}$ = 9.9 + S_c)이며, 강성 기초는 624.4 mm이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

예제

조건

프로필	사질 매립토 0–2 m (E = 12 MPa) · 점토-1 2–7 m (E_u = 8 MPa; C_c = 0.25; OCR = 1.6) · 모래 7–11 m (E = 35 MPa) · 점토-2 11–20 m (E_u = 15 MPa; C_c = 0.30; OCR = 1.3) · 자갈질 모래 20–30 m (E = 70 MPa)
기초, 굴착	10 × 15 m, q_{gross} = 120 kPa; 굴착 깊이 2 m (굴착 평면 = 기초); 지하수위 2 m
계산 깊이	영향 깊이, p = 10%
결과	총 침하 모듈의 예제 프로젝트

구하는 값

지층별 S_e와 S_c, 융기; 중심, 모서리, 강성 기초 합계; t_{50}과 t_{90}.

풀이 (1/2)

풀이

1 굴착 깊이와 계산 깊이

$$q_{lift} = \sigma'_{v0}(2) = 18(2) = 36.0 \text{ kPa} \qquad q_{net} = 120 - 36.0 = \mathbf{84.0} \text{ kPa}$$

$$z_{lim} = D_f + z' = 2 + 25.47 = \mathbf{27.47} \text{ m}$$

매립토(0–2 m)는 굴착으로 제거되며, 계산은 2 m에서 z_{lim} = 27.5 m까지 네 개 지층을 포함한다. 마지막 지층(자갈 섞인 모래)은 z_{lim}에서 잘리며, 깊은 지층의 기여는 작다.

풀이 (2/2)

풀이

지층	z (m)	S_e (mm)	S_c (mm)	융기 (mm)	합계 = S_e + S_c + 융기 (mm)
점토-1 (CL, 연약)	2.0 – 7.0	20.8	198.4	-62.6	156.6
모래 (SM, 중간 조밀)	7.0 – 11.0	5.6	—	—	5.6
점토-2 (CH, 경질)	11.0 – 20.0	14.1	27.0	-6.5	34.6
자갈질 모래 (조밀)	20.0 – 27.5	1.2	—	—	1.2
합계 (중심)		**41.7**	**225.4**	**-69.1**	**198.0**

중심점 **198.0 mm** = S_e 41.7 + S_c 225.4 – 융기 69.1 (유지); 모서리 168.7 mm, 강성기초 195.1 mm. 시간: t_{50} = 0.72년, t_{90} = 3.71년. 모듈에서도 동일한 값이 얻어진다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

결과를 볼 때 유의할 사항

이론

기초 저면 = 굴착 저면; 완전 연성 기초 아래에서는 등분포 압력; 강성 기초는 즉시침하 부분에서 ≈ 0.93 × 연성 기초 중심값.

즉시 침하: 각 지층에서 균질한 반무한 공간의 응력(해당 지층의 ν 사용); 점성토층은 비배수(ν = 0.5), 사질토층은 배수 조건; 근입 보정 없음($I_f = 1$).

압밀: 1차원 Terzaghi 이론; 간극수압은 정수압 분포이고 지하수위는 굴착의 영향을 받지 않는다; σ'_p는 과거에 받은 최대 응력이며 굴착으로 감소하지 않는다; 응력 증가량은 중심 아래의 연직선에서 취한다.

침하는 양수, 융기는 음수이며, 상단 머리글의 선택기가 부호를 뒤집는다 (엔진은 기존 방식 그대로이다).

적용 범위 밖: 2차 압축, 입상 지층의 압밀, Schmertmann과 SPT/CPT 도표, 층 내에서 깊이에 따라 증가하는 탄성계수(층을 세분할 것), 기초 강성과 지반–구조물 상호작용, 2차원/3차원 압밀, 유한요소, 지지력, 액상화.

요약

핵심 정리

$S = S_e + S_c$: 점성토층 = 비배수 즉시침하 + 압밀침하; 사질토층 = 배수 탄성침하만

즉시침하(Steinbrenner): $\Delta S_e = q_{net}\,\alpha\,B'\,(1-\nu^2)/E \cdot [I_s(z_{bottom}) - I_s(z_{top})]$; $q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$

압밀: 응력 경로 $\sigma'_{v0} \rightarrow \sigma'_{exc} \rightarrow \sigma'_{v0} \rightarrow \sigma'_{p} \rightarrow \sigma'_{final}$ (C_s, C_r, C_c); NC 점토에서 $S_c = C_c\,f\,\log(\sigma'_{final}/\sigma'_{v0})$

중심 $S_e + S_c$; **모서리** $S_{e,corner} + S_c$; **강성** $0.93\,S_e + S_c$; 부등침하 = 즉시침하 성분의 차이

굴착: 즉시 침하분은 q_{net}에 대해, 점토는 팽창 + 재압축으로 산정한다; "유지"는 $S = S_e + S_c + S_{swelling}$, "초기화"는 $S_e + S_c$

시간: $S(t) = S_e + \Sigma\,U_i(t)\,S_{c,i}$; $T_{v,50} = 0.197$, $T_{v,90} = 0.848$; $H_{dr} = H$ (일면배수) 또는 $H/2$ (양면배수)

단일 지반 종류의 주상도에서는 결과가 탄성침하 모듈 또는 압밀 모듈과 **정확히 일치한다**

참고문헌

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

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage — Ch. 10–11 (응력증가량, 압밀침하, 시간 지연).

Steinbrenner, W. (1934). Tafeln zur Setzungsberechnung. Die Strasse, 1, 121–124.

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. Wiley.

Duncan, J.M. & Buchignani, A.L. (1976). An engineering manual for settlement studies. University of California, Berkeley.

Kulhawy, F.H. & Mayne, P.W. (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. EPRI EL-6800.

참고

수치 예제는 모두 모듈 자체의 계산 엔진으로 산출하였으며, 모듈은 같은 값을 제공한다 (예제 절편: dz = 지층 두께).

GeoTerva

온라인 지반공학 계산

이론에서 실무로

점토와 모래 지층으로 이루어진 자신의 지반 주상도를 GeoTerva에서 구성해 보라. 모듈은 침하와 시간 곡선을 함께 제공한다.

모듈 열기 →

이론 페이지 →

스마트폰으로 열기

체험 모듈은 가입 없이 이용할 수 있습니다.

강의에서 사용하려면: info@geoterva.com