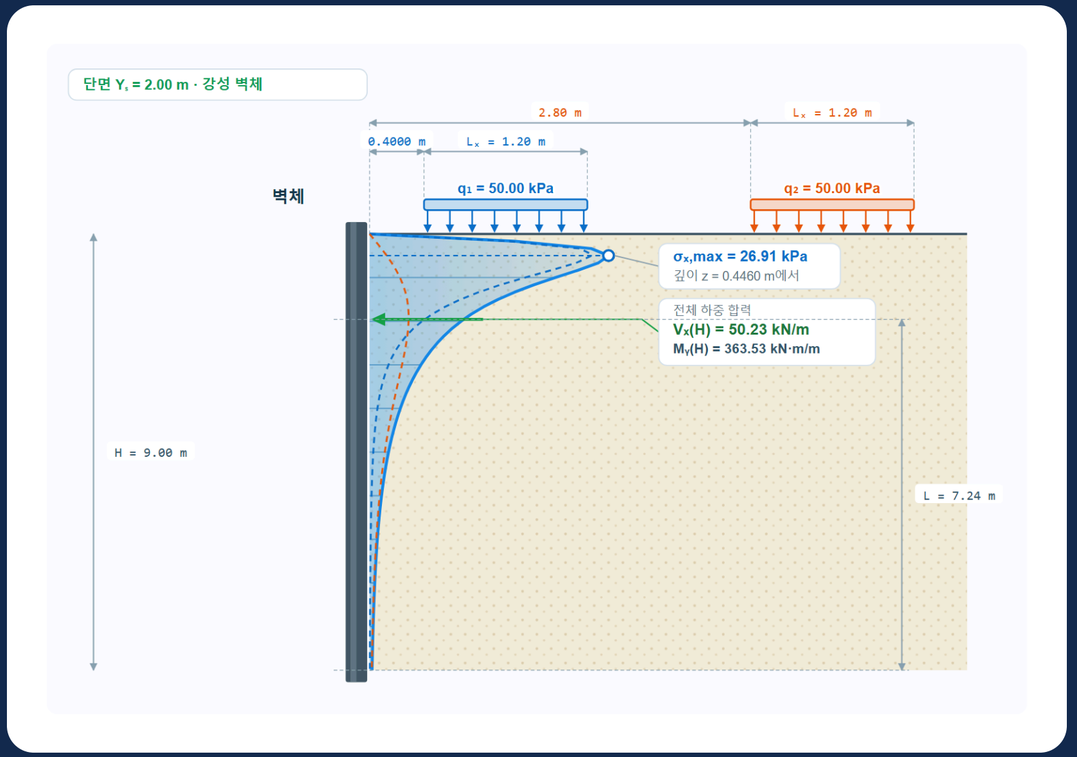
GeoTerva

지반공학 강의 자료 · 상부하중

면 상재하중

강의: 벽체 근처의 직사각형 면하중; 초기 예제는 최대 압력이 나타나는 깊이에서 손계산으로 풀고, 나머지 주제는 표로 다룬다.

Boussinesq σx | 직사각형 적분 | 강성 벽체 ψ = 2 | 전단력과 모멘트 | 손계산 가능



개요

이 강의에서 다루는 내용

직사각형 지표면 하중에 의한 벽체의 측방압력: 하중을 **dP = q·dA** 형태의 집중하중들의 합으로 보고, 각각의 영향을 Boussinesq 해로 구한다

평면상의 위치와 크기를 나타내는 x_1, x_2, y_1, y_2의 양과, **벽체 방향으로는 정확하고 벽체에 수직인 방향으로는 수치적인** 적분

강성 벽체($\psi = 2$)와 **반무한 매질**($\psi = 1$)의 차이 이해

압력 분포로부터 **전단력 V_x**와 **휨모멘트 M_y**를 구하기

단면 위치, 벽체에서 하중까지의 거리, **포아송비**의 영향

강의 흐름

각 주제는 **세 단계**로 다룬다:

1 · **이론**: 공식과 그 근거

2 · **문제**: 조건과 구하는 값

3 · **풀이**: 단계별 수치 계산

예제: H = 9 m, μ = 0.5, 단면 Y_s = 2 m; 1.2 × 3.6 m 크기의 직사각형 2개, q = 50 kPa, X_0 = 1.0 및 3.4 m; 강성 벽체.

벽체에 작용하는 직사각형 하중

이론

직사각형 면상재하중은 **dP = q·dA**인 수직 집중하중들로 이루어진 연속 영역이다

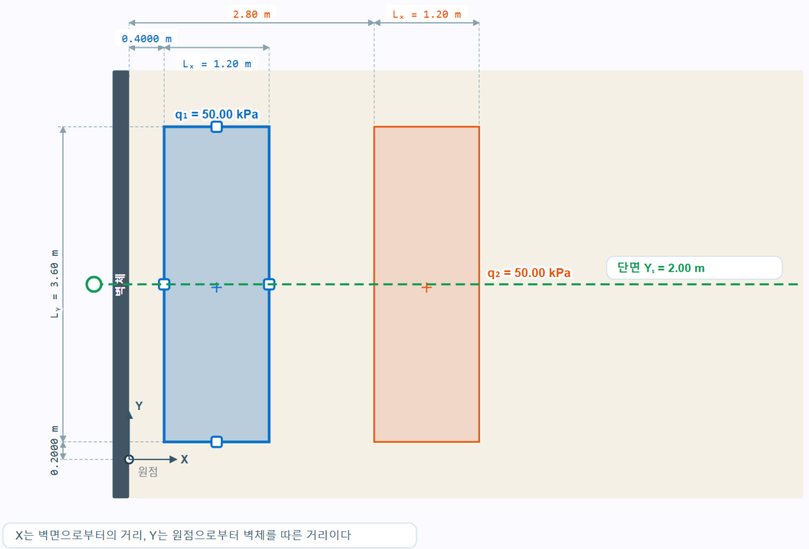
각 집중하중이 벽체의 선택된 연직 단면에 일으키는 **수평응력**은 Boussinesq 해로 구하고, 각 직사각형의 기여분을 합산한다

압력 분포를 벽체를 따라 적분하여 **전단력**과 **휨모멘트**를 구한다

$$A = L_x L_y \qquad P = qA$$

$$x_1 = X_0 - \frac{L_x}{2} \quad x_2 = X_0 + \frac{L_x}{2}$$

$$y_1 = Y_0 - \frac{L_y}{2} - Y_s \quad y_2 = Y_0 + \frac{L_y}{2} - Y_s$$



X_0, Y_0: 도심의 좌표(벽체에 수직한 방향 및 벽체를 따른 방향)

L_x, L_y: 변; **Y_s**: 단면의 좌표

직사각형은 벽체 면의 뒤쪽에 있다: $x_1 \geq 0$

벽면에서의 Boussinesq σ_x

이론

단면의 깊이 z에 있는 점에서 평면상 **(x, y)**만큼 떨어져 위치한 요소 dP에 의해 벽체에 수직으로 작용하는 **수평 수직응력**은 아래와 같다

$r^2 = x^2 + y^2$ 및 $R^2 = r^2 + z^2$; $dP = q \cdot dx \cdot dy$

수평응력은 **포아송비 μ**에 의존하며, μ = 0.5이면 (1 – 2μ)가 곱해지는 항은 영이다

$$\sigma_x = \frac{dP}{2\pi}\left[\frac{3x^2 z}{R^5} - (1-2\mu)\left(\frac{x^2-y^2}{r^2 R(R+z)} + \frac{y^2 z}{r^2 R^3}\right)\right]$$

$$r^2 = x^2 + y^2 \qquad R^2 = r^2 + z^2 \qquad dP = q\,dx\,dy$$

벽체 길이 방향의 닫힌 형태 해: G

이론

직사각형을 유한한 집중하중 격자로 대체하면, 응력이 가장 빠르게 변하는 **벽체 부근에서 수렴이 느리다**

벽체를 따른(y 방향) 적분은 **닫힌 형태**가 있으며, 벽체에 수직인(x) 방향의 나머지 적분은 엄격한 허용오차로 **적응적으로** 계산한다

$$G(x,y,z) = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{x^2 z\, y\,(2y^2+3a^2)}{a^4 R^3} - (1-2\mu)\frac{y\,(1-z/R)}{r^2}\right] \qquad a^2 = x^2+z^2$$

$$\sigma_x(z) = \psi \sum_{\text{하중}} q \int_{x_1}^{x_2} \left[G(x,y_2,z) - G(x,y_1,z)\right] dx$$

매우 긴 직사각형은 μ에 관계없이 **평면변형률 띠하중** 해를 준다; 계산 엔진은 이 검토로 검증한다

벽체의 영향: ψ

이론

움직이지 않는 매끄러운 벽체는 모든 하중을 벽면에 대해 **반사시켜** 나타낸다: 반사는 그 면에서 벽체에 수직인 변위와 전단응력을 0으로 만든다

따라서 벽체에 작용하는 압력은 μ와 관계없이 반무한 매질 응력의 **정확히 2배**이다

지반을 이완시킬 정도로 처짐이 발생하는 벽체는 반무한 매질의 값에 더 가깝다

$$\sigma_{wall} = \psi\,\sigma_x \qquad \psi = 2 \text{ (강성 벽체, 기본값)} \qquad \psi = 1 \text{ (반무한 매질)}$$

벽을 따른 분포의 적분

이론

압력 분포를 횡단면에서 벽체의 **단위 길이당** 기준으로 벽체를 따라 적분하며, 전단력은 한 번, 휨모멘트는 두 번 적분한다

두 값 모두 깊이 표의 행 사이에서 **적응형 방식**으로 적분되며, 행 수 n_z는 깊이 분포의 어느 정도를 표로 나열할지만 결정한다

$$V_x(z) = \int_0^z \sigma_x \, dt$$

$$M_y(z) = \int_0^z V_x \, dt = \int_0^z (z - t)\, \sigma_x \, dt$$

여섯 단계와 초기 예제

이론

1 · 벽체와 단면: H, μ 및 Y_s를 입력한다

2 · 각 직사각형: q, X_0, Y_0, L_x, L_y; x_1, x_2, y_1, y_2 산정

3 · 집중하중 응력: dP = q·dx·dy일 때 r, R 및 σ_x

4 · 면적의 적분: y 방향은 G로 정확히, x 방향은 수치적으로

5 · 중첩과 ψ: 각 직사각형을 깊이 z에서 합산하고, 강성 벽체에서는 2를 곱한다

6 · 벽체를 따라 적분: $\sigma_x(z)$, 이어서 $V_x(z)$와 $M_y(z)$

$$A = 2 \times 1.2 \times 3.6 = 8.64\ \text{m}^2 \qquad P = 432\ \text{kN} \qquad \sigma_x = 24.98 + 1.93 = 26.91\ \text{kPa}$$

$$V_x(H) = 50.23\ \text{kN/m} \qquad M_y(H) = 363.53\ \text{kN} \cdot \text{m/m}$$

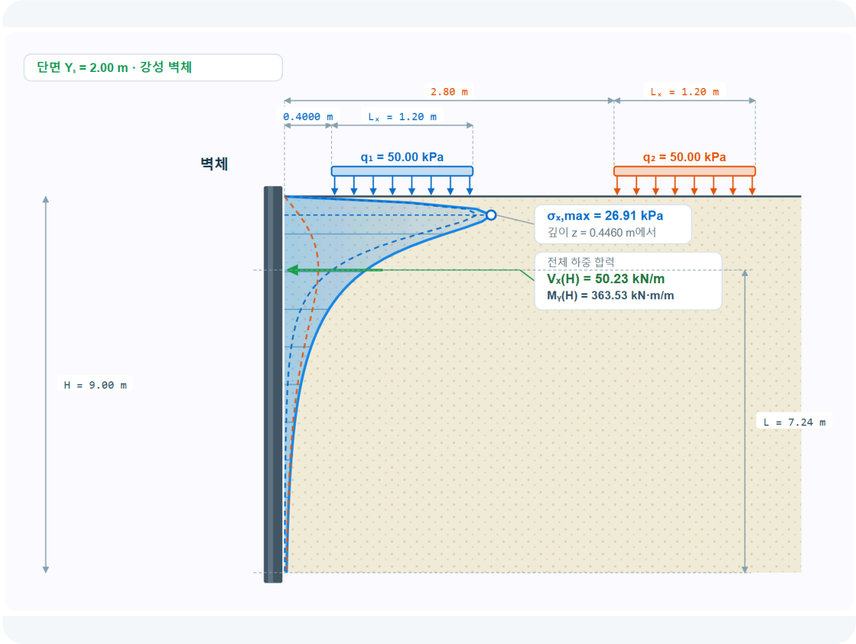
위치, 거리 및 포아송비

이론

이 방법은 각 하중의 **3차원 위치와 크기**를 그대로 유지한다: 직사각형을 벽체를 따라 또는 벽체에서 멀어지는 방향으로 이동시키거나, 크기를 바꾸거나, 단면을 이동시키거나, μ를 변경하면 압력 분포가 달라진다

압력은 하중의 **정면을 지나는 단면에서** 최댓값에 도달하며 평면상 거리에 따라 급속히 감소한다; 하중이 벽체까지의 거리에 비해 짧은 경우에는 **여러 단면**을 검토한다

μ가 0.5보다 작으면 지표 부근에 **인장 값(종좌표)**이 나타날 수 있으며, 이는 부호와 함께 주어진다



문제

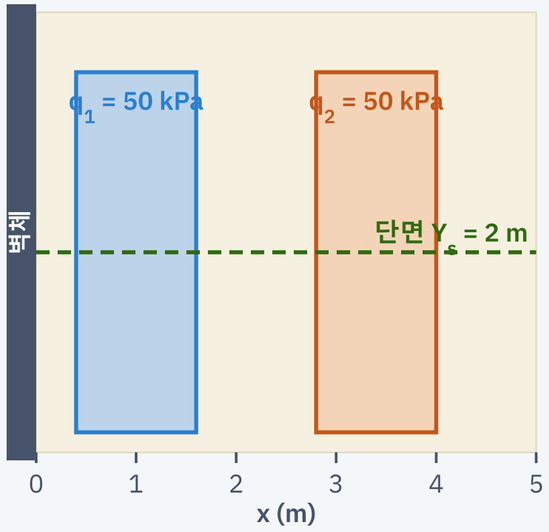
예제

조건

벽체와 단면	$H = 9.0$ m; $\mu = 0.5$; **단면** $Y_s = 2.0$ m; **강성 벽체** ($\psi = 2$)
직사각형 1	$q = 50$ kPa; $L_x = 1.2$ m, $L_y = 3.6$ m; $X_0 = 1.0$ m, $Y_0 = 2.0$ m
직사각형 2	$q = 50$ kPa; 1.2×3.6 m; $X_0 = 3.4$ m, $Y_0 = 2.0$ m

구하는 값

각 직사각형의 **z = 0.446 m** 깊이에서의 σ_x 기여분(**Simpson** 공식을 이용한 수계산)과 합계 σ_x; 모듈 결과와의 비교. 이 깊이는 압력이 최대가 되는 깊이이다.



풀이 (1/4)

풀이

1 단면에 대한 직사각형의 위치 (x는 벽체로부터, y는 단면으로부터 측정한다)

$$\text{직사각형 1: } x_1 = 1.0 - 0.6 = 0.4\ \text{m} \quad x_2 = 1.0 + 0.6 = 1.6\ \text{m}$$

$$\text{직사각형 2: } x_1 = 3.4 - 0.6 = 2.8\ \text{m} \quad x_2 = 3.4 + 0.6 = 4.0\ \text{m}$$

$$y_1 = 2.0 - 1.8 - 2.0 = -1.8\ \text{m} \quad y_2 = 2.0 + 1.8 - 2.0 = +1.8\ \text{m}$$

2 면적과 총 연직하중 (각각에 대하여)

$$A = L_x L_y = 1.2 \times 3.6 = 4.32\ \text{m}^2 \qquad P = qA = 50 \times 4.32 = 216\ \text{kN} \qquad \Sigma P = 432\ \text{kN}$$

단면은 두 직사각형의 한가운데를 모두 지난다: $\mathbf{y_1 = -y_2}$. 직사각형 1은 벽체에서 0.4 m, 직사각형 2는 2.8 m 떨어진 곳에서 시작한다.

풀이 (2/4)

풀이

3 μ = 0.5: (1 – 2μ) = 0이므로 G의 둘째 항이 소거된다; $y_1 = -y_2$이므로 G(x, y_2) – G(x, y_1) = 2G(x, y_2)

$$f(x) = G(x, y_2, z) - G(x, y_1, z) = \frac{x^2\, z\, y_2\, (2y_2^2 + 3a^2)}{\pi\, a^4 R^3}$$

$$z\, y_2 = 0.8028 \qquad 2y_2^2 = 6.48 \qquad a^2 = x^2 + 0.1989 \qquad R^2 = x^2 + 3.4389$$

4 벽체에 수직한 방향으로 Simpson 법(구간 수 n은 짝수, h = (x_2 – x_1)/n); $\sigma_x = \psi\, q \int f\, dx$

$$\int_{x_1}^{x_2} f\, dx \approx \frac{h}{3}\left[f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + \cdots + 4f_{n-1} + f_n\right]$$

$$\sigma_x = \psi\, q\, \frac{h}{3} \sum c_i\, f_i \qquad (c_i = 1, 4, 2, 4, \ldots, 4, 1)$$

직사각형 1(x = 0.4 – 1.6 m)은 피적분함수가 빠르게 변하는 벽체 부근에 있으므로 **n = 8** 구간이 필요하며, 직사각형 2(x = 2.8 – 4.0 m)는 **n = 4**로 충분하다.

풀이 (3/4)

풀이

i	x (m)	a² (m²)	R (m)	f(x) (1/m)	c	c·f
0	0.400	0.3589	1.8971	0.35129	1	0.35129
1	0.550	0.5014	1.9343	0.33921	4	1.35683
2	0.700	0.6889	1.9821	0.28954	2	0.57909
3	0.850	0.9214	2.0400	0.23681	4	0.94723
4	1.000	1.1989	2.1069	0.19155	2	0.38310
5	1.150	1.5214	2.1821	0.15520	4	0.62080
6	1.300	1.8889	2.2647	0.12657	2	0.25315
7	1.450	2.3014	2.3540	0.10408	4	0.41632
8	1.600	2.7589	2.4493	0.08632	1	0.08632
				Σ c·f =		**4.99412**

5 직사각형 1의 σ_x (h = 0.15 m)

$$\sigma_{x,1} = \psi\, q\, \frac{h}{3} \sum c_i f_i = 2(50)\frac{0.15}{3}(4.99412) = \mathbf{24.97}\ \text{kPa}$$

Simpson 법(8구간): **24.97 kPa**. 모듈의 적응형 적분은 24.98 kPa를 주며, 차이는 0.03%이다.

풀이 (4/4)

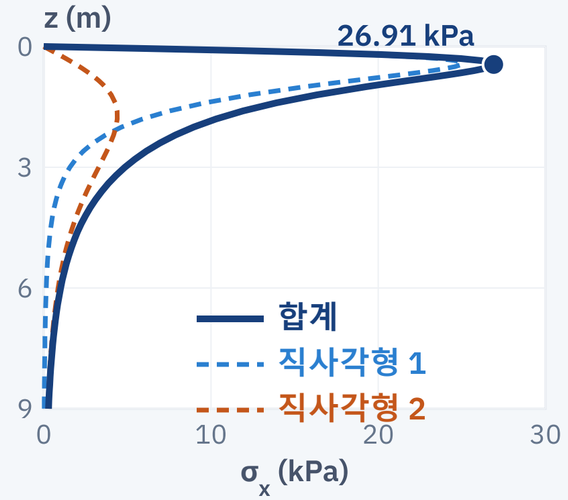
풀이

i	x (m)	a² (m²)	R (m)	f(x) (1/m)	c	c·f
0	2.800	8.0389	3.3584	0.02504	1	0.02504
1	3.100	9.8089	3.6123	0.01944	4	0.07777
2	3.400	11.7589	3.8728	0.01536	2	0.03071
3	3.700	13.8889	4.1387	0.01232	4	0.04927
4	4.000	16.1989	4.4090	0.01001	1	0.01001
				Σ c·f =		**0.19281**

6 직사각형 2에 대한 σ_x (h = 0.30 m) 및 중첩

$$\sigma_{x,2} = 2(50)\frac{0.30}{3}(0.19281) = 1.93 \text{ kPa}$$

$$\sigma_x = \sigma_{x,1} + \sigma_{x,2} = 24.97 + 1.93 = \mathbf{26.90} \text{ kPa}$$



손계산: **24.97 + 1.93 = 26.90 kPa**. 모듈: 24.98 + 1.93 = **26.91 kPa** (z = 0.446 m); 페이지의 예제와 동일하다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

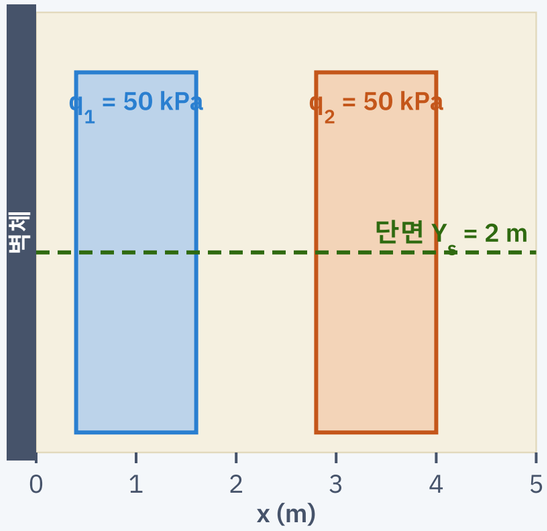
예제

조건

모델	**예제 1의 두 직사각형;** $H = 9.0$ **m;** $n_z = 20$ **(행 간격** $H/20 = 0.45$ **m)**
방법	**강성 벽체 (**$\psi = 2$**);** $V_x(z) = \int_0^z \sigma_x \, dt$**,** $M_y(z) = \int_0^z (z - t)\, \sigma_x \, dt$

구하는 값

각 행: **σ_x**(두 직사각형의 개별 기여분과 합계), **$V_x(z)$**, **$M_y(z)$**; 하단의 **$V_x(H)$**, **$M_y(H)$** 및 합력의 깊이.



풀이 (1/2)

풀이

z (m)	$\sigma_{x,1}$ (kPa)	$\sigma_{x,2}$ (kPa)	σ_x (kPa)	V_x (kN/m)	M_y (kN·m/m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.45	**24.96**	**1.94**	**26.91**	**8.45**	**1.45**
0.90	17.46	3.43	20.89	19.44	7.84
1.35	10.24	4.23	14.47	27.30	18.46
1.80	5.91	4.39	10.31	32.80	32.06
2.25	3.49	4.13	7.62	36.80	47.76
2.70	2.13	3.65	5.78	39.79	65.02
3.15	1.35	3.10	4.45	42.08	83.47
3.60	0.89	2.58	3.46	43.85	102.82
4.05	0.60	2.11	2.71	45.23	122.87
4.50	0.42	1.71	2.13	46.31	143.48

z (m)	$\sigma_{x,1}$ (kPa)	$\sigma_{x,2}$ (kPa)	σ_x (kPa)	V_x (kN/m)	M_y (kN·m/m)
4.95	0.30	1.39	1.69	47.17	164.52
5.40	0.22	1.13	1.35	47.85	185.91
5.85	0.16	0.92	1.08	48.40	207.57
6.30	0.13	0.75	0.88	48.84	229.45
6.75	0.10	0.62	0.72	49.19	251.51
7.20	0.08	0.51	0.59	49.48	273.71
7.65	0.06	0.42	0.49	49.72	296.03
8.10	0.05	0.36	0.40	49.92	318.46
8.55	0.04	0.30	0.34	50.09	340.96
9.00	0.03	0.25	0.28	50.23	363.53

풀이 (2/2)

풀이

1 저면의 전단력과 모멘트 (표의 마지막 행)

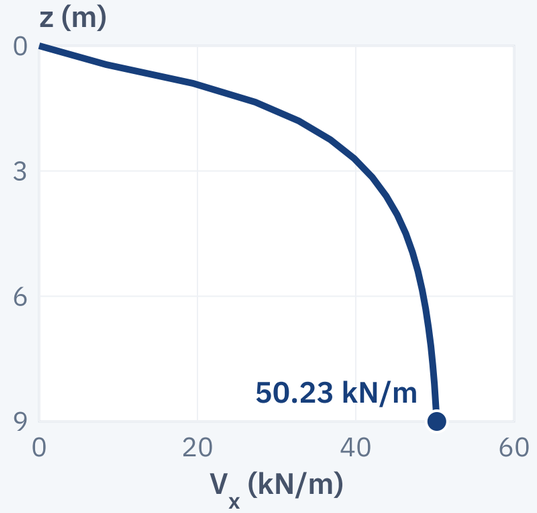
$$V_x(H) = \int_0^H \sigma_x \, dz = \mathbf{50.23}\ \text{kN/m}$$

$$M_y(H) = \int_0^H (H - t)\, \sigma_x \, dt = \mathbf{363.53}\ \text{kN} \cdot \text{m/m}$$

2 합력의 작용선: 모멘트 팔과 그 깊이

$$L = \frac{M_y(H)}{V_x(H)} = \frac{363.53}{50.23} = \mathbf{7.237}\ \text{m} \quad \text{(저면에서)}$$

$$z_R = H - L = 9.0 - 7.237 = \mathbf{1.763}\ \text{m} \quad \text{(지표에서)}$$



합력은 **50.23 kN/m**이며 지표면 아래 **1.76 m**에 작용한다. 힘의 **92%**는 상부 4.5 m(벽체 높이의 절반)에서 발생한다: $V_X(4.5)$ = 46.31 kN/m.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

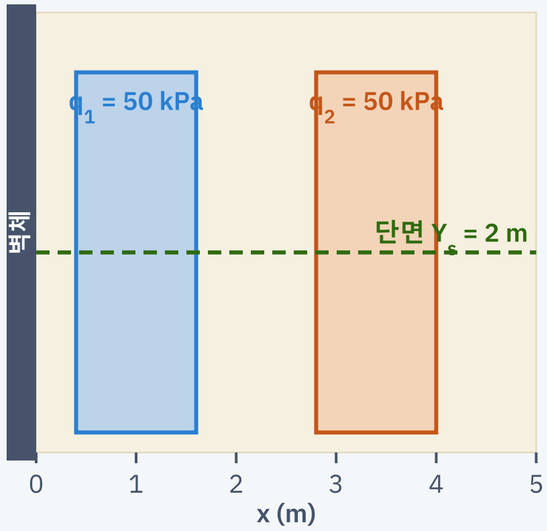
예제

구하는 값

각 직사각형을 **단독으로** 적용한 경우와 함께 적용한 경우의 $\sigma_{x,max}$, $V_x(H)$, $M_y(H)$, z_R; 반무한 매질에서의 동일한 값.

조건

모델	**예제 1의 직사각형들; 각각 단독으로, 이어서 둘을 함께**
방법	**강성 벽체 ($\psi = 2$)와 반무한 매질 ($\psi = 1$)**



풀이

풀이

	$\sigma_{x,max}$ (kPa)	z (m)	$V_x(H)$ (kN/m)	$M_y(H)$ (kN·m/m)	z_R (m)	$V_x(H)$, ψ = 1	$M_y(H)$, ψ = 1
직사각형 1	25.03	0.419	33.14	260.49	1.140	16.57	130.25
직사각형 2	4.40	1.717	17.09	103.04	2.971	8.55	51.52
둘 다 함께	26.91	0.446	50.23	363.53	1.763	25.12	181.77

1 V와 M을 합산한다; 합력의 깊이는 힘 가중평균이다

$$V_x = 33.14 + 17.09 = \mathbf{50.23}\ \text{kN/m} \qquad M_y = 260.49 + 103.04 = \mathbf{363.53}\ \text{kN}\cdot\text{m/m}$$

$$z_R = \frac{V_1 z_{R,1} + V_2 z_{R,2}}{V_1 + V_2} = \frac{33.14(1.140) + 17.09(2.971)}{50.23} = \mathbf{1.763}\ \text{m}$$

반무한 매질 값은 강성 벽체 값의 **정확히 절반**이며(V_x 25.12, M_y 181.77), z_R은 변하지 않는다. 합산 최대 압력(26.91 kPa)은 두 개별 최댓값의 합(29.44)보다 작다: 정점이 서로 다른 깊이에 있다(0.42 m와 1.72 m).

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

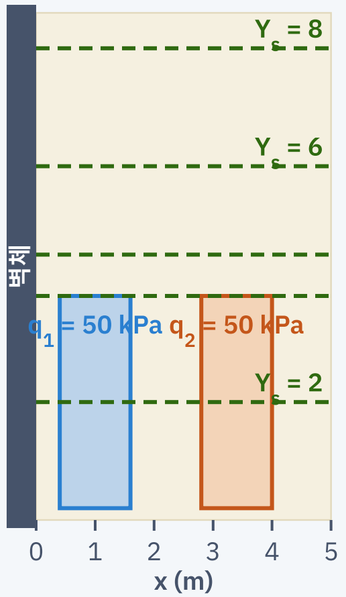
예제

구하는 값

각 단면에 대해 $\sigma_{x,max}$와 그 깊이, $V_x(H)$, $M_y(H)$ 및 z_R; 하중에 대한 단면의 상대 위치.

조건

모델	**예제 1의 두 직사각형 ($Y_0 = 2.0$ m, $L_y = 3.6$ m: 하중은 $y = 0.2$ – 3.8 m 사이에 있다)**
단면	$Y_s = 2.0; 3.0; 3.8; 4.5; 6.0; 8.0$ m



풀이

풀이

단면 Y_s (m)	하중별	$\sigma_{x,max}$ (kPa)	z (m)	$V_x(H)$ (kN/m)	$M_y(H)$ (kN·m/m)	z_R (m)
2.0	하중 중앙에서	26.91	0.446	50.23	363.53	1.763
3.0	하중 내부	25.04	0.428	45.78	330.75	1.775
3.8	하중 가장자리에서	14.13	0.467	31.31	217.96	2.038
4.5	바깥쪽, 0.7 m	5.00	0.998	17.39	110.14	2.667
6.0	바깥쪽, 2.2 m	1.39	2.112	6.77	36.89	3.549
8.0	바깥쪽, 4.2 m	0.41	3.094	2.44	11.53	4.270

압력은 **하중 중앙의** 단면에서 가장 크며(26.91 kPa), 평면상 거리에 따라 급격히 감소한다: Y_s = 6 m에서 V_x는 약 7분의 1로, 8 m에서는 약 20분의 1로 감소한다. Y_s = 3.8 m 단면은 y = 0.2 m 단면과($Y_0 \pm 1.8$ m) **대칭**이며, 결과는 동일하다(V_x = 31.31 kN/m). 하중의 길이가 벽체에 비해 짧은 경우에는 여러 단면을 검토한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

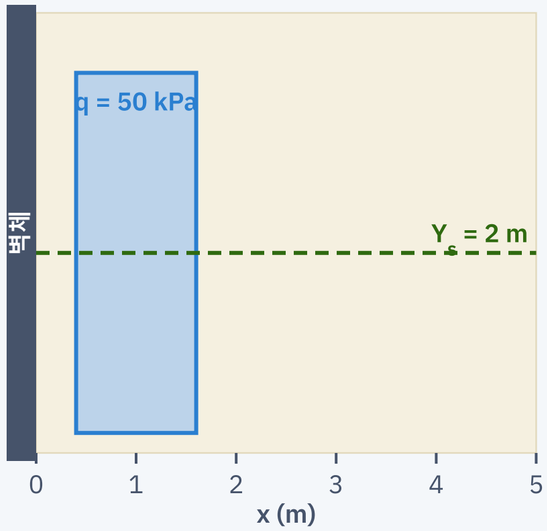
예제

조건

모델	**단일 직사각형:** $q = 50$ **kPa,** 1.2×3.6 **m,** $Y_0 = 2.0$ **m;** $\mu = 0.5$**;** $H = 9.0$ **m; 강성 벽체**
위치	$X_0 = 0.6; 1.0; 1.6; 2.6; 4.6$ **m, 즉 가까운 쪽 가장자리** $x_1 = 0; 0.4; 1.0; 2.0; 4.0$ **m**

구하는 값

각 위치에 대한 $\sigma_{x,max}$와 그 깊이, $V_x(H)$, $M_y(H)$ 및 z_R.



풀이

풀이

가까운 가장자리 x_1 (m)	X_0 (m)	$\sigma_{x,max}$ (kPa)	z (m)	V_x(H) (kN/m)	M_y(H) (kN·m/m)	z_R (m)
0.0	0.6	50.00	0.000	35.77	295.98	0.726
0.4	1.0	25.03	0.419	33.14	260.49	1.140
1.0	1.6	14.01	0.791	28.40	208.03	1.675
2.0	2.6	6.89	1.315	21.32	139.72	2.445
4.0	4.6	2.56	2.315	12.59	67.76	3.617

하중이 벽체에서 멀어질수록 최대 압력은 **감소하고 깊어진다**: 50.00 kPa(지표면) → 2.56 kPa(2.32 m). 벽체에 인접한 하중(x_1 = 0)에서는 최대 압력이 지표면에 나타나며 **q = 50 kPa**와 같다. 반면 V_x는 더 느리게 감소하며(35.77 → 12.59 kN/m), z_R은 깊어진다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

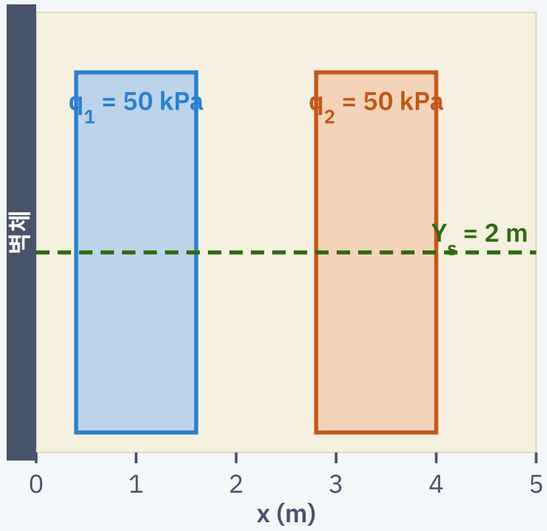
예제

구하는 값

각 μ에 대한 **$\sigma_{x,max}$**, **$V_x(H)$**, **$M_y(H)$**;
지표면에서의 종좌표 $\sigma_x(0)$과 이 값을
수계산으로 구하는 방법.

조건

모델	**예제 1의 직사각형 2개; $H = 9.0$ m; $Y_s = 2.0$ m; 강성 벽체**
변화	$\mu = 0.5; 0.4; 0.3; 0.2$



풀이 (1/2)

풀이

μ	1 − 2μ	$\sigma_x(0)$ (kPa)	$\sigma_{x,max}$ (kPa)	z (m)	$V_x(H)$ (kN/m)	$M_y(H)$ (kN·m/m)
0.5	0.0	0.00	26.91	0.446	50.23	363.53
0.4	0.2	−4.18	23.54	0.459	41.47	303.91
0.3	0.4	−8.36	20.19	0.473	32.72	244.28
0.2	0.6	−12.54	16.88	0.489	23.96	184.66

μ가 감소하면 압력과 힘이 **뚜렷하게 감소한다**: μ = 0.3에서 V_x = 32.72 kN/m로, μ = 0.5일 때보다 35% 작다. 지표면에서 **음(인장) 종좌표**가 발생하며, V_x와 M_y는 부호가 있는 프로필을 적분하여 구한다.

풀이 (2/2)

풀이

1 z = 0일 때 R = r, (1 – z/R) = 1: G의 두 번째 항만 남고 ∫ y/(x² + y²) dx = tan⁻¹(x/y)가 된다

$$\sigma_x(0) = -\psi\, q\, \frac{(1-2\mu)}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{x_2}{y_2} - \tan^{-1}\frac{x_1}{y_2}\right] \qquad (y_1 = -y_2)$$

2 직사각형 1(x = 0.4 – 1.6 m), 직사각형 2(x = 2.8 – 4.0 m); μ = 0.4일 때 1 – 2μ = 0.2

$$\sigma_{x,1}(0) = -2(50)\frac{0.2}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{1.6}{1.8} - \tan^{-1}\frac{0.4}{1.8}\right] = -6.366(0.5080) = -3.234 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x,2}(0) = -6.366\left[\tan^{-1}\frac{4.0}{1.8} - \tan^{-1}\frac{2.8}{1.8}\right] = -6.366(0.1485) = -0.945 \text{ kPa}$$

$$\sigma_x(0) = -3.234 + -0.945 = \mathbf{-4.18} \text{ kPa}$$

손계산 –4.18 kPa; 모듈 –4.18 kPa. 지표면 값은 **(1 – 2μ)**에 비례한다: μ = 0.5에서 0, μ = 0.2에서 –12.54 kPa.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

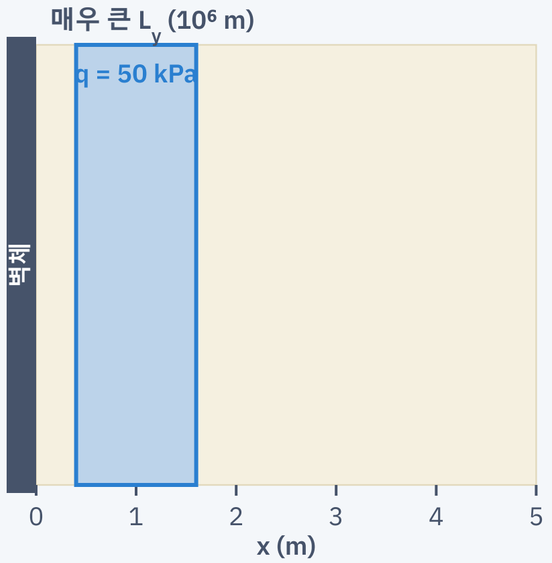
예제

조건

모델	**단일 직사각형:** $q = 50$ **kPa,** $x_1 = 0.4$ **m,** $x_2 = 1.6$ **m (**$L_x = 1.2$ **m),** $L_y = 10^6$ **m;** $H = 9.0$ **m; 강성 벽체**
포아송비	$\mu = 0.5$ **및** $\mu = 0.2$

구하는 값

띠하중 공식으로(손계산) σ_x, z = 0.5; 1; 2; 4 m; 면하중 모듈과의 비교; $V_x(H)$.



풀이 (1/2)

풀이

1 띠하중(평면변형률), 강성 벽체: $\beta = \tan^{-1}(x_2/z) - \tan^{-1}(x_1/z)$, $\alpha = \tan^{-1}(x_1/z) + \beta/2$

$$\sigma_x = \psi \frac{q}{\pi}\left(\beta - \sin\beta\cos 2\alpha\right) \qquad z = 1.0\ \text{m}:$$

$$\beta = \tan^{-1} 1.6 - \tan^{-1} 0.4 = 0.6317 \quad \alpha = 0.3805 + \frac{0.6317}{2} = 0.6964$$

$$\sigma_x = 2\frac{50}{\pi}\left(0.6317 - \sin 0.6317 \cos 1.3927\right) = \mathbf{16.777}\ \text{kPa}$$

띠하중 공식은 **16.777 kPa**를 주며, 면하중 모듈($L_y = 10^6$ m)도 같은 값을 얻는다. 매우 긴 직사각형 면적은 띠하중이 된다. 네 깊이에 대한 비교는 다음 페이지에 있다.

풀이 (2/2)

풀이

z (m)	β (rad)	α (rad)	σ_x, 띠하중 공식 (kPa)	면하중 모듈, μ = 0.5	면하중 모듈, μ = 0.2
0.5	0.5932	0.9713	**25.346**	25.346	25.346
1.0	0.6317	0.6964	**16.777**	16.777	16.777
2.0	0.4773	0.4361	**5.788**	5.788	5.788
4.0	0.2808	0.2401	**1.115**	1.115	1.115

2 전단력: 띠하중에 대한 닫힌 형태 해; 면적 모듈도 동일한 값을 준다

$$V_x(H) = \psi \frac{q}{\pi} H \left[\tan^{-1} \frac{x_2}{H} - \tan^{-1} \frac{x_1}{H} \right] = \mathbf{37.68}\ \text{kN/m}$$

띠하중 공식과 면하중 모듈은 μ = 0.5에서 **정확히 일치**하고, μ = 0.2에서도 차이가 최대 10^{-4} kPa에 불과하다: 매우 긴 직사각형에서는 결과가 μ와 무관하다. $V_x(H)$ = 37.68 kN/m.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

요약

핵심 정리

$\sigma_x(z) = \psi \Sigma q \int [G(x,y_2,z) - G(x,y_1,z)]\, dx$: 벽체 길이 방향은 닫힌 형태의 해(G), 벽체에 수직인 방향은 적응형 수치적분; **$\psi = 2$** 강성 벽체, **$\psi = 1$** 반무한 매질

$V_x(z) = \int \sigma_x\, dt$, **$M_y(z) = \int (z - t)\, \sigma_x\, dt$**; 합력의 깊이 $z_R = H - M_y/V_x$

초기 예제 (z = 0.446 m): σ_x = 24.98 + 1.93 = **26.91 kPa** (최대 압력); $V_x(H)$ = **50.23 kN/m**, $M_y(H)$ = **363.53 kN·m/m**, z_R = 1.76 m

단면이 하중의 중앙을 지날 때 압력이 가장 크다. 거리와 **하중과 벽체 사이의 거리**는 압력을 급격히 감소시키며, 벽체에 인접한 하중에서는 지표면에서 $\sigma_x = q$이다

포아송비는 결과를 크게 바꾼다($\mu = 0.3$: V_x가 약 35% 부족); $\mu < 0.5$이면 표면에 인장 종좌표가 나타난다; 매우 긴 직사각형 띠하중은 다음을 준다

참고문헌

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

Boussinesq, J. (1883). Application des Potentiels à l’Étude de l’Équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques. Gauthier-Villars, Paris.

Mindlin, R.D. (1936). Discussion: Pressure distribution on retaining walls. Proc. 1st Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Harvard, Vol. III, 155–156.

참고

수치 예제는 모두 모듈 자체의 계산 엔진으로 산출하였으며, 모듈은 동일한 값을 제공한다. 모듈의 초기 예제는 직사각형 두 개로 이루어진 벽체이다(H = 9 m, μ = 0.5, Y_s = 2 m).

GeoTerva

온라인 지반공학 계산

이론에서 실무로

직사각형 하중, 단면 위치, 포아송비, 벽체 높이를 GeoTerva에 입력하면 모듈이 압력 프로필, 전단력과 모멘트, 각 하중의 개별 기여분, 세 가지 보기, 단계별 풀이와 보고서를 함께 제공한다.

모듈 열기 →

이론 페이지 →

스마트폰으로 열기

체험 모듈은 가입 없이 이용할 수 있습니다.

강의에서 사용하려면: info@geoterva.com