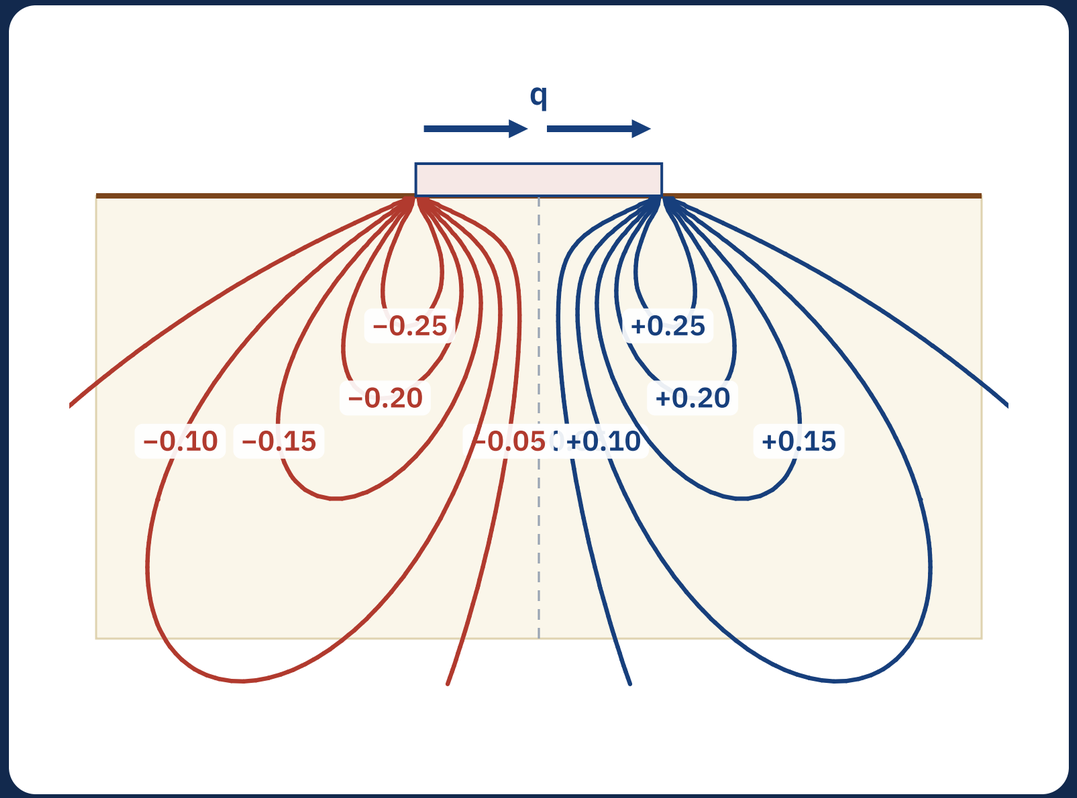
지반공학 강의 자료 · 지반 내 응력

수평 띠하중 아래의 응력

강의: 지표면을 따라 미는 수평 및 경사 띠하중; 한 점의 수계산, 경사도, 깊이 및 수평 분포.

- 수평 선하중의 적분
- 경사하중 = 연직 + 수평
- 앞쪽은 증가, 뒤쪽은 감소
- 중첩
- 손계산 가능



개요

이 강의에서 다루는 내용

지표면을 따라 **미는**(수평) 띠하중과 **경사** 띠하중 아래의 연직응력 증가량: 수평 선하중을 띠 폭에 걸쳐 적분한 값

수평 띠의 방정식과, 응력이 **x만의 함수**라는 것: 하중 앞쪽에서는 증가, 뒤쪽에서는 감소, 축 아래에서는 영

경사하중을 $q_v = q \cos \alpha$와 $q_h = q \sin \alpha$ 성분으로 분해하여 연직 및 수평 띠하중 해를 **중첩**하는 방법

한 지점을 **처음부터 끝까지 손계산으로**(하중 앞쪽의 A와 뒤쪽의 B); 경사각, 깊이, 다중 띠하중의 영향을 표로

강의 흐름

각 주제는 **세 단계**로 다룬다:

1 · **이론**: 공식과 그 근거

2 · **문제**: 조건과 구하는 값

3 · **풀이**: 단계별 수치 계산

예제: q = 150 kN/m², 연직에서 α = 30° 경사; B = 3 m; A점 x = +2.25 m, z = 3 m.

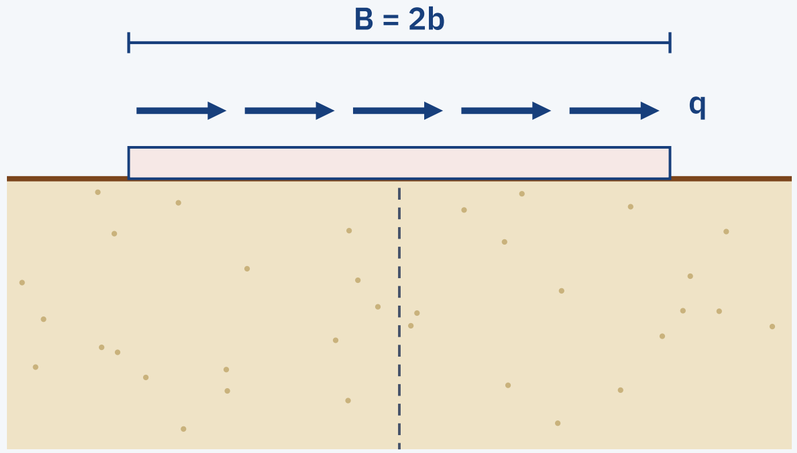
띠하중이 표면 방향으로도 밀어냄

이론

미끄러지는 기초 아래의 마찰, 옹벽 저면의 추력, 도로 위 차량의 제동력: 띠 형태의 하중은 표면을 따라서도 **밀 수 있다**

모듈은 등분포 수평압력 q를 받는 **연성 띠하중** 아래, 그리고 **중첩**을 통해 경사진 띠하중 아래의 연직응력 증가량을 제공한다; 띠의 폭은 B = 2b이고 길이는 무한하다(평면변형률)

지반은 **균질, 등방, 선형 탄성**의 반무한 매질이다. $\Delta\sigma_z$는 하중에 의한 증가분일 뿐이며 **음수가 될 수 있다**(감소)



단면: 수평하중이 +x 방향으로 작용하며, 띠하중은 y 방향으로 무한히 연장된다

수평 선하중에서 띠하중으로

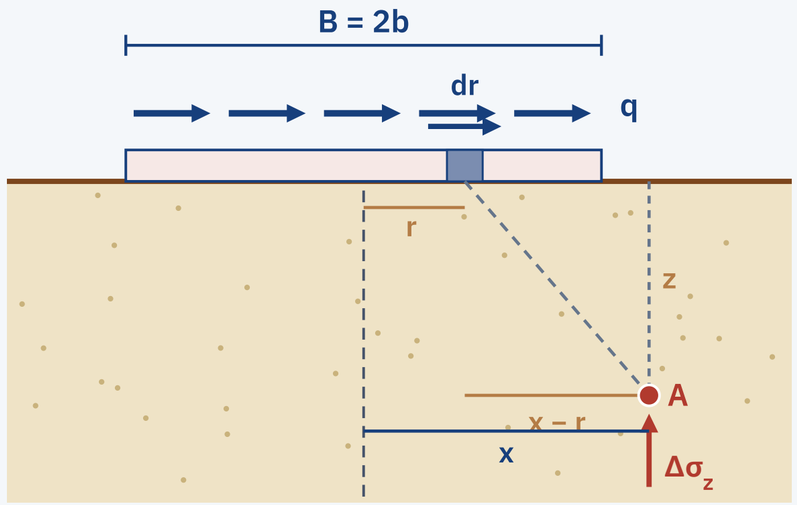
이론

연직 띠하중의 경우와 같이, 폭 dr인 미소 띠는 단위 길이당 **q dr**을 받으며 +x 방향으로 작용하는 **수평 선하중**처럼 거동한다

$$d\sigma_z = \frac{2\,(q\,dr)\,(x-r)\,z^2}{\pi\,[(x-r)^2+z^2]^2}$$

u = x − r로 두면 원시함수는 −1/(u² + z²)이다. −b ≤ r ≤ b 구간에서 적분은 두 선하중의 차로 귀착된다:

$$\Delta\sigma_z = \frac{q\,z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right]$$



$\Delta\sigma_z = 4bqxz^2 / \{\pi[(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2]\}$

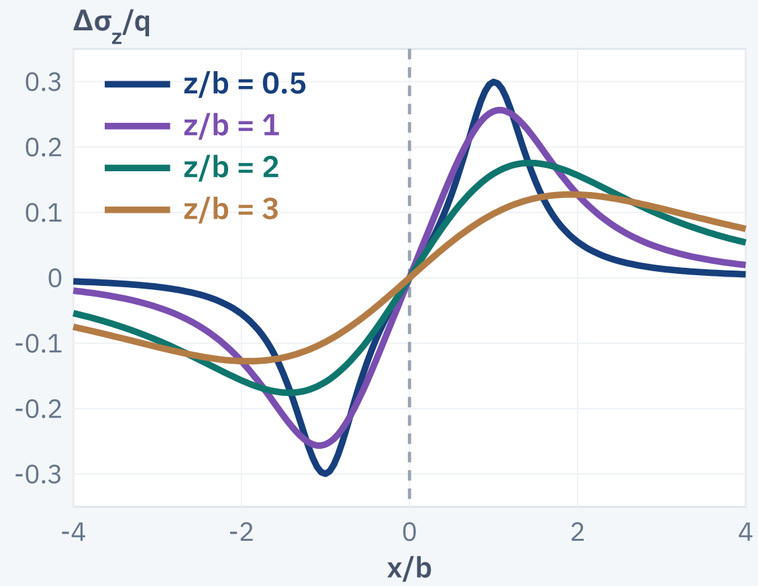
이론

두 분모의 곱은 $(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2$이 되고, **수평 띠하중의 방정식**을 얻는다(b = B/2):

$$\Delta\sigma_z = \frac{4\,b\,q\,x\,z^2}{\pi\,[(x^2+z^2-b^2)^2+4b^2z^2]} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{4XZ^2}{\pi\,[(X^2+Z^2-1)^2+4Z^2]}$$

응력은 x의 **홀함수**이다: +x와 −x 지점에서 크기는 같고 부호는 반대이다. 하중의 **전방**에서는 지반이 아래로 밀리고 **후방**에서는 위로 들리며, 띠하중 중심축 아래에서는 모든 깊이에서 0이다

X = x/b, Z = z/b로 두면 **하나의 곡선군**이 모든 q와 B에 대해 성립한다. 수치 검증(q = 100, B = 4, x = 1, z = 1): 수평 선하중을 띠 폭에 걸쳐 적분한 값은 **12.7324 kPa**이며 식으로 구한 값도 **12.7324 kPa**이다.



수평 띠하중의 응력: 하중이 +x 방향으로 밀어냄

경사하중 = 수직 성분 + 수평 성분

이론

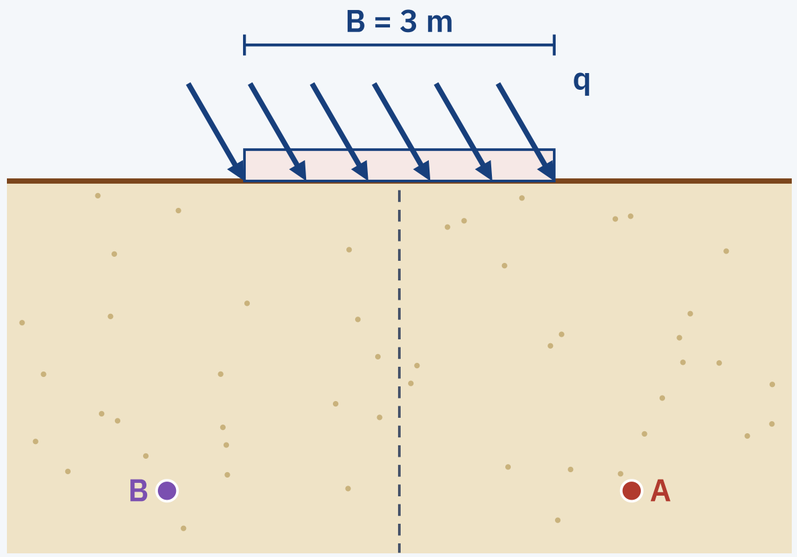
경사하중은 수직선에 대해 **α** 각으로 작용하는 압력 q이다 (α는 +x 방향으로 양; α = 90°는 완전한 수평, α = 0은 수직 띠하중)

$$q_v = q\cos\alpha \qquad q_h = q\sin\alpha$$

연직 성분은 **연직 띠하중**의 응력을, 수평 성분은 **수평 띠하중**의 응력을 주며, 이 둘을 합한다

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)} \qquad \Delta\sigma_{z(v)} = q_v\, I_v \qquad \Delta\sigma_{z(h)} = q_h\, I_h$$

I_v는 x의 우함수이고 I_h는 x의 기함수이다: 하중 앞쪽의 점 A에서는 수평 성분이 **더해지고**, 뒤쪽의 점 B에서는 **빼진다**



q = 150 kN/m², α = 30°, B = 3 m; A는 앞쪽, B는 뒤쪽 (x = ±2.25 m, z = 3 m)

수평 띠하중: $\Delta\sigma_z/q_h$ 값

이론

z/b \ x/b	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
0.25	0.0000	0.0551	0.3134	0.0605	0.0165	0.0070	0.0037	0.0014
0.50	0.0000	0.1273	0.2996	0.1469	0.0551	0.0255	0.0138	0.0055
1.00	0.0000	0.1567	0.2546	0.2107	0.1273	0.0739	0.0449	0.0196
1.50	0.0000	0.1273	0.2037	0.2022	0.1567	0.1098	0.0753	0.0374
2.00	0.0000	0.0959	0.1592	0.1754	0.1567	0.1254	0.0955	0.0540
3.00	0.0000	0.0551	0.0979	0.1219	0.1273	0.1198	0.1058	0.0749
4.00	0.0000	0.0343	0.0637	0.0845	0.0959	0.0988	0.0955	0.0795

$\Delta\sigma_{z(h)} = q_h \cdot$ (표의 값), $x > 0$인 경우; $x < 0$인 점에서는 값이 같고 부호는 반대이다. $x = 0$ 열은 모든 깊이에서 0이며, 최댓값은 깊어질수록 감소하고 띠하중 중심축에서 멀어진다.

중첩

이론

지반이 **탄성**이므로 각 띠하중의 응력을 따로 구하여 합산한다. 각 띠하중은 고유한 q, 경사 α, 폭 B, 중심선으로 정의되며, 모듈에는 최대 8개의 띠하중을 입력할 수 있다

띠하중은 **서로 겹칠 수 없다**(가장자리에서는 접할 수 있다). 각 띠하중에 의한 응력은 **해당 띠하중 자체의 x 값**, 즉 점 A에서 그 띠하중의 중심선까지의 거리로 구하며, 연직 성분과 수평 성분은 각각 따로 합산할 수도 있다

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \left(q_{v,k} I_{v,k} + q_{h,k} I_{h,k}\right) \qquad x_k = x_A - x_{c,k}$$

한 띠의 수평하중이 −x 방향이면(α < 0) q_h는 음수이다: 앞쪽 점은 이제 띠의 **−x** 쪽에 있는 점이다

문제

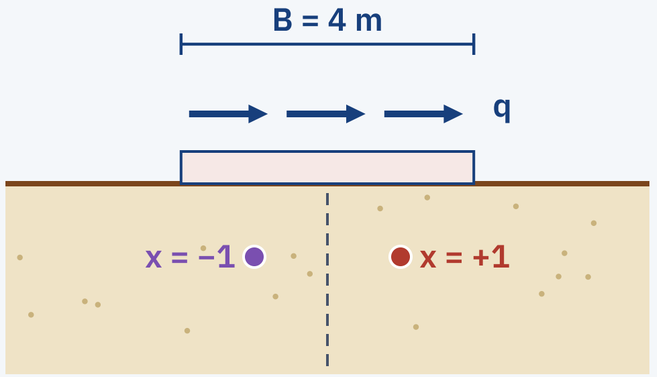
예제

조건

띠하중	**연성, 수평 ($+x$ 방향):** $q = 100$ **kN/m²,** $B = 4$ **m (**$b = B/2 = 2$ **m); 축선** $x = 0$
점	**깊이** $z = 1$ **m에서** $x = +1$ **m (하중 앞쪽) 및** $x = -1$ **m (뒤쪽)**

구하는 값

$\Delta\sigma_z$와 $\Delta\sigma_z/q$: 띠하중의 폐쇄형 방정식에 의한 값; **차이 형태**에 의한 검증.



풀이 (1/2)

풀이

1 분모에 포함된 값 (b = B/2 = 2 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 1 + 1 - 4 = -2$$

$$(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2 = 4 + 4(4)(1) = \mathbf{20}$$

2 영향값과 응력

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{4b\,x\,z^2}{\pi\,[\ldots]} = \frac{4(2)(\pm1)(1)^2}{\pi\,(20)} = \pm\frac{8}{\pi\,(20)} = \pm\mathbf{0.1273}$$

$$\Delta\sigma_z = \pm 0.1273\,(100) = \pm\mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

x = +1 m (하중 앞쪽): $\Delta\sigma_z$ = **+12.73 kPa**이며 지반은 아래로 눌린다. **x = −1 m** (하중 뒤쪽): **−12.73 kPa**이며 응력은 감소한다. 축 아래에서는 모든 깊이에서 $\Delta\sigma_z = 0$이다.

풀이 (2/2)

풀이

3 차이 형식, x = +1 m

$$\Delta\sigma_z = \frac{q\,z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right] = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{2} - \frac{1}{10}\right] = \frac{100}{\pi}(0.4) = \mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

4 차이 형식, x = −1 m

$$\Delta\sigma_z = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{(-1-2)^2+1} - \frac{1}{(-1+2)^2+1}\right] = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\right] = -\mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

두 형태는 **같은 값**을 준다: ±12.73 kPa. 모듈(α = 90°)도 같은 값을 제공한다; 부호는 점이 하중의 앞쪽에 있는지 뒤쪽에 있는지에서만 비롯된다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

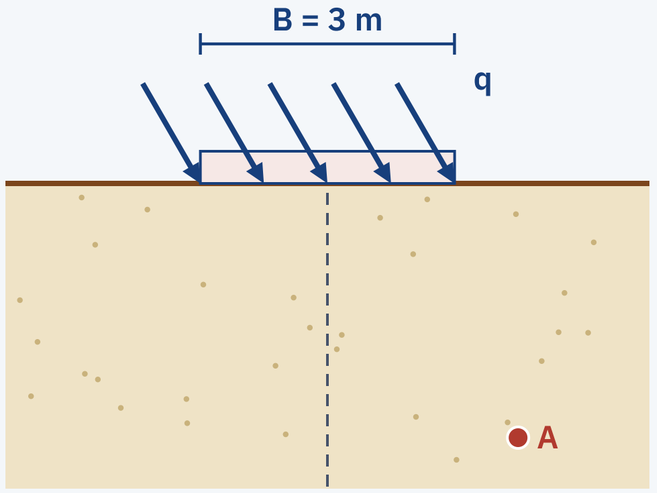
예제

조건

띠하중	**연성, 연직에서 $\alpha = 30^\circ$ 기울어짐 ($+x$ 방향):** $q = 150$ **kN/m²,** $B = 3$ **m (**$b = 1.5$ **m); 축선** $x = 0$
점 A	**하중 앞쪽:** $x = +2.25$ **m,** $z = 3$ **m (**$x/b = 1.5$ **;** $z/b = 2$**)**

구하는 값

$\Delta\sigma_{z(v)}$, $\Delta\sigma_{z(h)}$ 및 전체 **$\Delta\sigma_z$**: 하중을 성분별로 분해하여 구함.



풀이 (1/3)

풀이

1 하중의 성분과 무차원 거리

$$q_v = 150\cos 30^\circ = \mathbf{129.90}\ \text{kPa} \qquad q_h = 150\sin 30^\circ = \mathbf{75.00}\ \text{kPa}$$

$$\frac{x}{b} = \frac{2.25}{1.5} = 1.5 \qquad \frac{z}{b} = \frac{3}{1.5} = 2$$

2 연직 성분: 아크탄젠트 항과 대수항 (x − b = 0.75 m; x + b = 3.75 m)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{3}{0.75} = 1.3258 \qquad A_2 = \tan^{-1}\frac{3}{3.75} = 0.6747$$

$$T = \frac{3(3)\,(5.0625 - 9 - 2.25)}{(5.0625 + 9 - 2.25)^2 + 9(9)} = \frac{-55.6875}{220.535} = -0.2525$$

A점은 띠하중의 **바깥**에 있다 (x = 2.25 m > b = 1.5 m): 두 아크탄젠트를 그대로 취하며 π 보정은 필요하지 않다.

풀이 (2/3)

풀이

3 수직 성분에 의한 응력

$$I_v = \frac{1}{\pi}\left[A_1 - A_2 - T\right] = \frac{1}{\pi}\left[1.3258 - 0.6747 - (-0.2525)\right] = \mathbf{0.2876}$$

$$\Delta\sigma_{z(v)} = 0.2876\,(129.90) = \mathbf{37.36}\ \text{kPa}$$

4 수평 성분에 의한 응력 (b = 1.5 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 5.0625 + 9 - 2.25 = 11.8125 \qquad 4b\,x\,z^2 = 4(1.5)(2.25)(9) = 121.5$$

$$I_h = \frac{121.5}{\pi\left[(11.8125)^2 + 4(2.25)(9)\right]} = \frac{121.5}{\pi\,(220.535)} = \mathbf{0.1754}$$

$$\Delta\sigma_{z(h)} = 0.1754\,(75.00) = \mathbf{13.15}\ \text{kPa}$$

하중이 30° 기울어져 있으므로 **연직 성분 37.36 kPa**과 **수평 성분 13.15 kPa**이 응력을 일으키며, 수평 성분의 영향은 A점에서 양(+)이다(앞쪽).

풀이 (3/3)

풀이

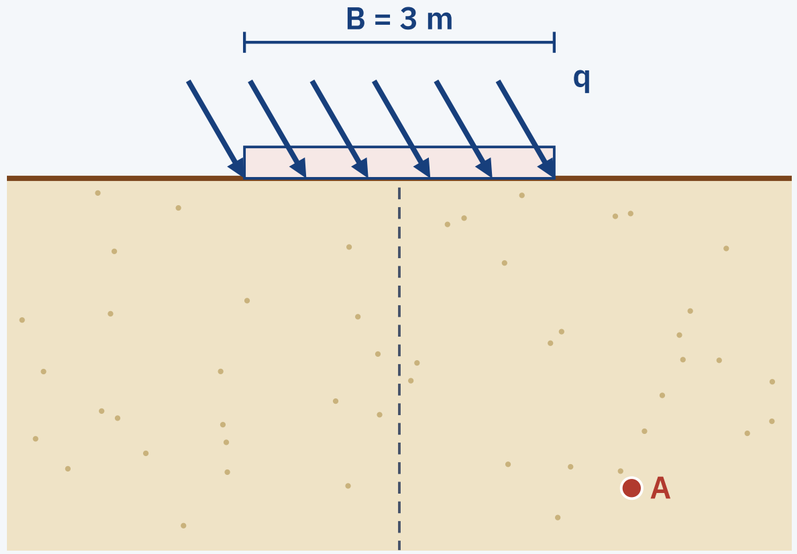
5 중첩

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)} = 37.36 + 13.15 = \mathbf{50.52}\ \text{kPa}$$

6 수평 성분의 차분 형태에 의한 검증

$$I_h = \frac{z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right]$$

$$= \frac{9}{\pi}\left[\frac{1}{9.5625} - \frac{1}{23.0625}\right] = \mathbf{0.1754}$$



Δσ$_z$ = 50.52 kPa; 모듈도 같은 값을 준다(연직 37.36, 수평 13.15). 연직하중이 150 kPa였다면(α = 0) A점에서 43.14 kPa에 불과했을 것이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

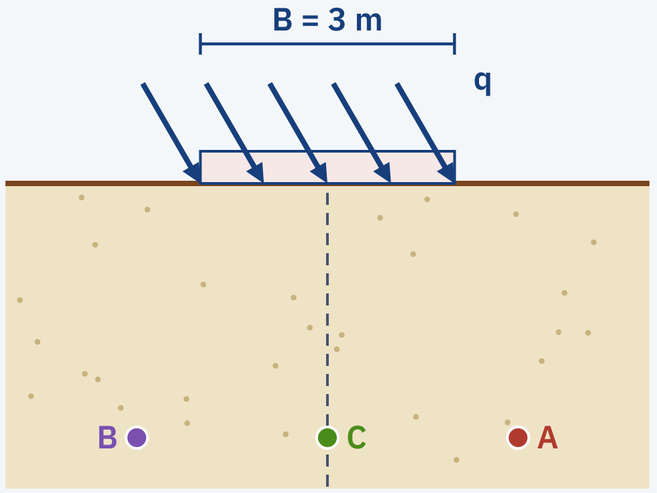
예제

조건

띠하중	**예제 2의 띠하중:** $q = 150$ **kN/m²,** $B = 3$ **m,** $\alpha = 30^\circ$
점	**B:** $x = -2.25$ **m (하중 뒤쪽); C:** $x = 0$ **(축);** $z = 3$ **m**
경사	$\alpha = 0,\ 15^\circ,\ 30^\circ,\ 45^\circ,\ 60^\circ,\ 75^\circ,\ 90^\circ$ **(A와 B에서)**

구하는 값

대칭성을 이용한 **B**점과 **C**점에서의 $\Delta\sigma_z$;
α가 변할 때 A점과 B점에서의 응력 변화.



풀이 (1/2)

풀이

1 점 B (x = −2.25 m): 연직 성분은 두 배, 수평 성분은 단일

$$\Delta\sigma_{z(v)}(B) = \Delta\sigma_{z(v)}(A) = 37.36 \text{ kPa} \qquad \Delta\sigma_{z(h)}(B) = -\Delta\sigma_{z(h)}(A) = -13.15 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_z(B) = 37.36 + (-13.15) = \mathbf{24.21} \text{ kPa}$$

2 C점 (축, x = 0): 수평 성분은 0; 연직 성분은 축 아래 공식으로

$$I_v = \frac{2}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{b}{z} + \frac{bz}{b^2+z^2}\right] = \frac{2}{\pi}\left[0.4636 + 0.4000\right] = 0.5498$$

$$\Delta\sigma_z(C) = 0.5498\,(129.90) = \mathbf{71.42} \text{ kPa}$$

하중의 **전방**(A) 50.52, **후방**(B) 24.21, **축 아래**(C) 71.42 kPa: 같은 깊이에서 수평 성분은 A에서는 13.15 kPa만큼 더하고, B에서는 같은 크기만큼 뺀다. 모듈은 A와 B에 대해 동일한 값을 준다.

풀이 (2/2)

풀이

α (°)	q_v	q_h	A: $\Delta\sigma_{z(v)}$	A: $\Delta\sigma_{z(h)}$	A: $\Delta\sigma_z$	B: $\Delta\sigma_z$
0	150.00	0.00	43.14	0.00	**43.14**	**43.14**
15	144.89	38.82	41.67	6.81	**48.48**	**34.86**
30	129.90	75.00	37.36	13.15	**50.52**	**24.21**
45	106.07	106.07	30.51	18.60	**49.11**	**11.91**
60	75.00	129.90	21.57	22.78	**44.35**	**−1.21**
75	38.82	144.89	11.17	25.41	**36.58**	**−14.24**
90	0.00	150.00	0.00	26.31	**26.31**	**−26.31**

경사가 커지면 연직 성분은 감소하고 수평 성분은 증가한다. **A점**에서는 합계가 $\alpha \approx 30°$ 부근에서 가장 크고(50.5 kPa), $\alpha = 90°$에서는 수평 성분만 남는다(26.3 kPa). **B점**에서는 $\alpha = 60°$에서 응력이 -1.21 kPa로 **감소 쪽으로 전환되며** $\alpha = 90°$에서 −26.3 kPa이 된다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

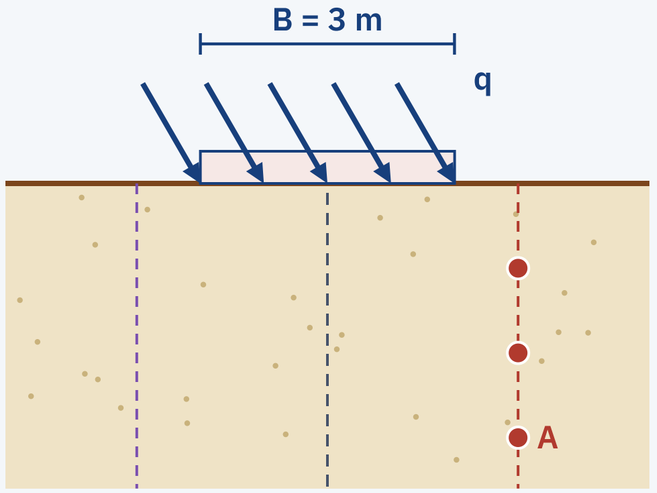
예제

조건

띠하중	**예제 2의 경사 띠하중:** $q = 150$ **kN/m²,** $\alpha = 30^\circ$**,** $B = 3$ **m**
직선	**A를 지나는 직선은** $x = +2.25$ **m, B를 지나는 직선은** $x = -2.25$ **m**
깊이	$z = 0.5 \ldots 12$ **m**

구하는 값

$\Delta\sigma_{z(v)}$, $\Delta\sigma_{z(h)}$ 및 합계의 깊이에 따른 변화; 수평 성분이 **최대가 되는 깊이**.

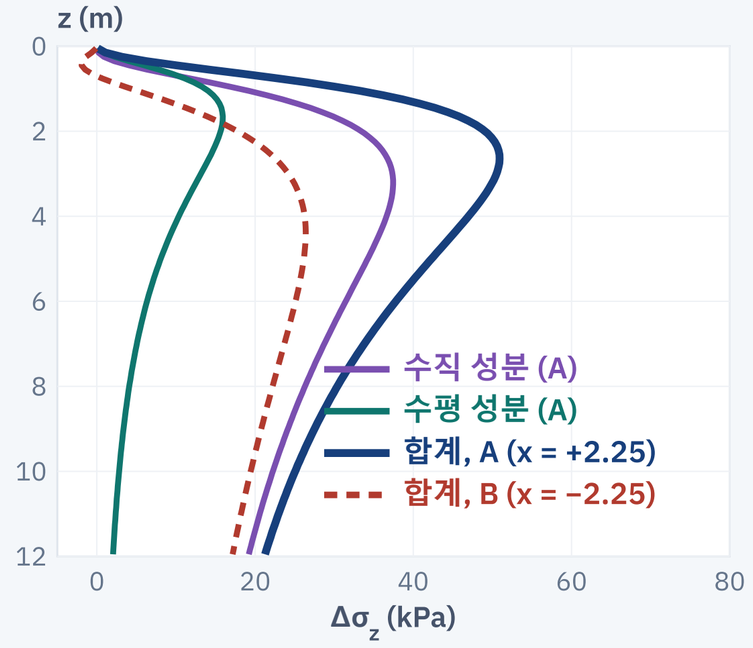


풀이

풀이

z (m)	z/b	A: $\Delta\sigma_{z(v)}$	A: $\Delta\sigma_{z(h)}$	A: $\Delta\sigma_z$	B: $\Delta\sigma_z$
0.5	0.33	5.17	6.93	**12.09**	**−1.76**
1.0	0.67	18.01	13.69	**31.71**	**4.32**
1.5	1.00	27.77	15.81	**43.57**	**11.96**
2.0	1.33	33.43	15.64	**49.08**	**17.79**
3.0	**2.00**	**37.36**	**13.15**	**50.52**	**24.21**
4.0	2.67	36.62	10.36	**46.98**	**26.26**
5.0	3.33	34.23	8.07	**42.30**	**26.16**
6.0	4.00	31.45	6.34	**37.79**	**25.11**
8.0	5.33	26.31	4.09	**30.40**	**22.22**
10.0	6.67	22.25	2.81	**25.06**	**19.44**
12.0	8.00	19.14	2.03	**21.17**	**17.11**

A 아래에서 **수직 성분**은 $z \approx 3.25$ m에서 최댓값을 가지며 (37.5 kPa), **수평 성분**은 더 얕은 $z \approx 1.65$ m에서 가장 크고 (15.9 kPa) 이후 $1/z^2$처럼 감소한다. B 아래에서는 지표 부근의 응력이 음의 값이다($z = 0.5$ m에서 -1.76 kPa).



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

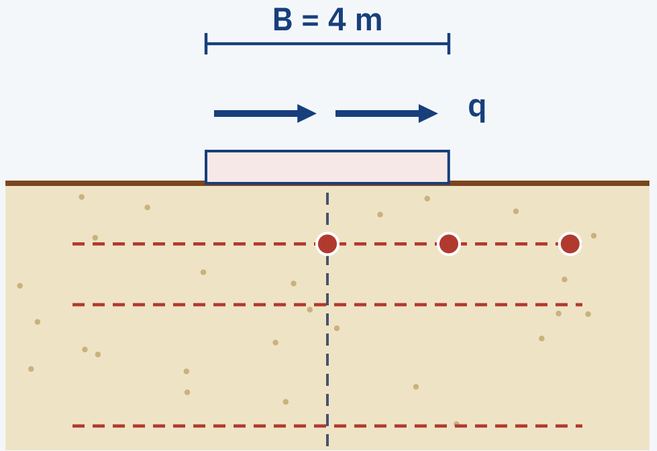
예제

조건

띠하중	**수평:** $q = 100$ **kN/m²,** $B = 4$ **m (**$b = 2$ **m),** $+x$ **방향으로**
직선	**깊이** $z = 1,\ 2,\ 4,\ 6$ **m에서의 수평 직선;** $x = 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8$ **m**
수계산	$z = 1$ **m,** $x = 2$ **m (가장자리) 지점**

구하는 값

각 깊이에서 **$\Delta\sigma_z$**의 x 방향 변화; **최댓값의 위치**와 그 크기가 깊이에 따라 변하는 양상.



풀이 (1/2)

풀이

1 분모의 값 (b = 2 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 4 + 1 - 4 = 1 \qquad (x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2 z^2 = 1 + 16 = 17$$

$$4b\,x\,z^2 = 4(2)(2)(1) = 16$$

2 영향값과 응력

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{16}{\pi\,(17)} = \mathbf{0.2996}$$

$$\Delta\sigma_z = 0.2996\,(100) = \mathbf{29.96}\ \text{kPa}$$

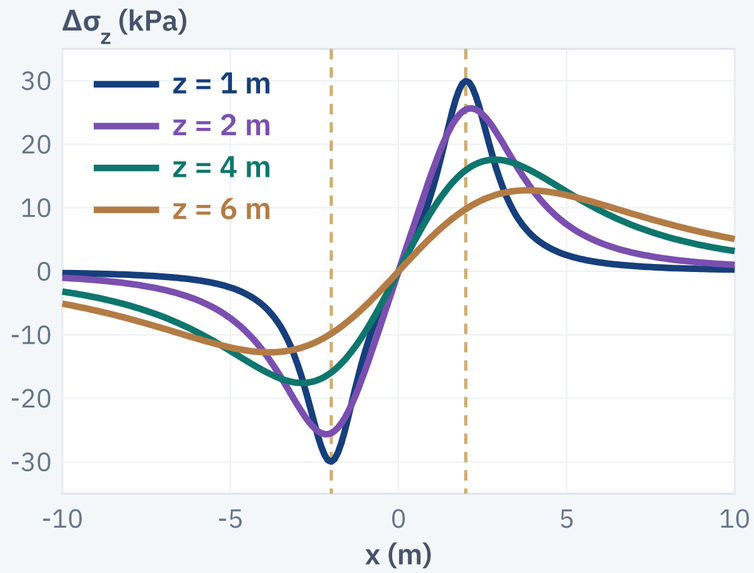
띠의 앞쪽 가장자리(x = b)의 깊이 z = 1 m에서 $\Delta\sigma_z$ = **29.96 kPa**: 이는 z = 1 m 직선상의 **정점 값** (x = 2.01 m, 29.96 kPa)에 매우 가깝다.

풀이 (2/2)

풀이

z (m)	x = 1 m	x = 2 m	x = 3 m	x = 4 m	x = 6 m	x = 8 m	정점: x (m)	정점: $\Delta\sigma_z$
1	12.73	29.96	14.69	5.51	1.38	0.55	**2.01**	**29.96**
2	15.67	25.46	21.07	12.73	4.49	1.96	**2.15**	**25.65**
4	9.59	15.92	17.54	15.67	9.55	5.40	**2.87**	**17.57**
6	5.51	9.79	12.19	12.73	10.58	7.49	**3.84**	**12.75**

정점 값은 지표면 가까이(z = 1 m)에서 띠 가장자리 바로 아래에 **30.0 kPa**이며, 깊어질수록 **감소하고**(z = 6 m에서 12.7 kPa) **띠로부터 멀어진다**(x = 2.0 m → 3.8 m). x = 0 열은 항상 0이며, x < 0인 점에서는 값이 같고 부호가 반대이다(반대칭).



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

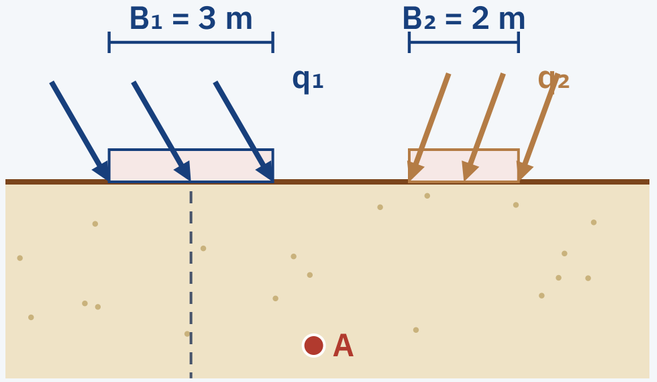
예제

조건

1번째 띠	$q_1 = 150$ kN/m², $\alpha_1 = 30^\circ$ $(+x)$, $B_1 = 3$ m, $x_{c1} = 0$ (–1.5 … 1.5 m) — 예제 2의 띠하중
2번째 띠	$q_2 = 100$ kN/m², $\alpha_2 = -20^\circ$ $(-x$ 방향), $B_2 = 2$ m, $x_{c2} = 5$ m (4 … 6 m)
점 A	$x = 2.25$ m, $z = 3$ m (두 띠하중 사이)

구하는 값

2번 띠하중의 기여분 (연직, 수평) 및 **합계** $\Delta\sigma_z$; 깊이별 분포.



풀이 (1/3)

풀이

1 2번째 띠하중: $x_2 = 2.25 - 5 = -2.75$ m ($|x_2| = 2.75$ m), $b = 1$ m; $\alpha_2 = -20°$

$$q_v = 100\cos 20^\circ = \mathbf{93.97}\ \text{kPa} \qquad q_h = 100\sin(-20^\circ) = -\mathbf{34.20}\ \text{kPa}$$

2 연직 성분 (대칭: $|x_2| = 2.75$ m인 경우)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{3}{1.75} = 1.0427 \quad A_2 = \tan^{-1}\frac{3}{3.75} = 0.6747 \quad T = \frac{2(3)(-2.4375)}{(15.5625)^2 + 36} = -0.0526$$

$$\Delta\sigma_{z(v)} = \frac{93.97}{\pi}[A_1 - A_2 - T] = 0.1339\,(93.97) = \mathbf{12.58}\ \text{kPa}$$

풀이 (2/3)

풀이

3 수평 성분: q_h 음수, x_2 음수 → $\Delta\sigma_{z(h)}$ 양수

$$I_h(|x|) = \frac{4b\,x\,z^2}{\pi\left[(x^2+z^2-b^2)^2+4b^2z^2\right]} = \frac{4(1)(2.75)(9)}{\pi\left[(15.5625)^2+36\right]} = \mathbf{0.1133}$$

$$\Delta\sigma_{z(h)} = (-34.20)\left(-0.1133\right) = \mathbf{3.87}\ \text{kPa}$$

4 중첩 (1번째 띠: 예제 2)

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = (37.36+13.15)+(12.58+3.87)$$
$$= 50.52 + 16.45 = \mathbf{66.97}\ \text{kPa}$$

$\Delta\sigma_z$ = 66.97 kPa (연직 성분 49.94, 수평 성분 17.03 kPa). 모듈은 두 띠에 대해 같은 값을 제공한다.

풀이 (3/3)

풀이

z (m)	1번째 띠 (kPa)	2번째 띠 (kPa)	합계 (kPa)	2번 띠하중의 기여분
1	31.71	4.25	**35.96**	%12
2	49.08	12.18	**61.26**	%20
3	50.52	16.45	**66.97**	%25
4	46.98	17.48	**64.45**	%27
6	37.79	15.83	**53.62**	%30
8	30.40	13.38	**43.79**	%31
12	21.17	9.71	**30.89**	%31

지표면에 가까운 층에서는 1번 띠가 지배적이며, **z = 12 m**에서는 2번 띠의 기여분이 전체의 31%로 커진다. 두 띠의 수평 성분은 A점에서 같은 방향으로 더해진다(둘 다 A점을 향함). 하중들이 서로를 향해 민다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

요약

핵심 정리

수평 띠하중: $\Delta\sigma_z = 4bqxz^2 / \{\pi[(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2]\}$, $b = B/2$; 등가식 $(qz^2/\pi)[1/((x - b)^2 + z^2) - 1/((x + b)^2 + z^2)]$. x의 **홀함수**: 앞쪽 +, 뒤쪽 −, 축 아래 0

기울어진 띠하중: $q_v = q\cos\alpha$, $q_h = q\sin\alpha$; $\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)}$. 연직 성분은 x에 대해 우함수이고, 수평 성분은 기함수이다

예제 ($q = 150$ kPa, $\alpha = 30°$, $B = 3$ m; $z = 3$ m): A ($x = +2.25$): 37.36 + 13.15 = **50.52 kPa**; B ($x = -2.25$): 37.36 − 13.15 = **24.21 kPa**; 수평 띠하중 ($q = 100$, $B = 4$; $x = \pm1$, $z = 1$): **±12.73 kPa**

영향: α가 커질수록 A점의 합계는 $\alpha \approx 30°$에서 최대이고, B점에서는 $\alpha \geq 60°$에서 응력이 감소한다; 수평 띠하중에서는 정점이 깊어질수록 감소하며 띠에서 멀어진다

중첩: 각 띠하중은 자신의 x와 α 값으로; 두 경사 띠하중 예제에서 50.52 + 16.45 = **66.97 kPa**

참고문헌

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

참고

수치 예제는 모두 모듈 자체의 계산 엔진으로 산출하였으며, 모듈은 동일한 값을 제공한다. 모듈의 초기 입력값은 q = 150 kN/m², α = 30°, B = 3 m, A점(x = +2.25 m, z = 3 m)이다; x = −2.25 m를 입력하면 B점이, α = 90°를 입력하면 완전한 수평 띠하중이 얻어진다.

GeoTerva

온라인 지반공학 계산

이론에서 실무로

띠하중(q, 경사, B, 중심선)과 점 A를 직접 GeoTerva에 입력한다. 모듈은 응력, 등응력선, 깊이별 분포, 단계별 풀이와 보고서를 함께 제공한다.

모듈 열기 →

이론 페이지 →

스마트폰으로 열기

체험 모듈은 가입 없이 이용할 수 있습니다.