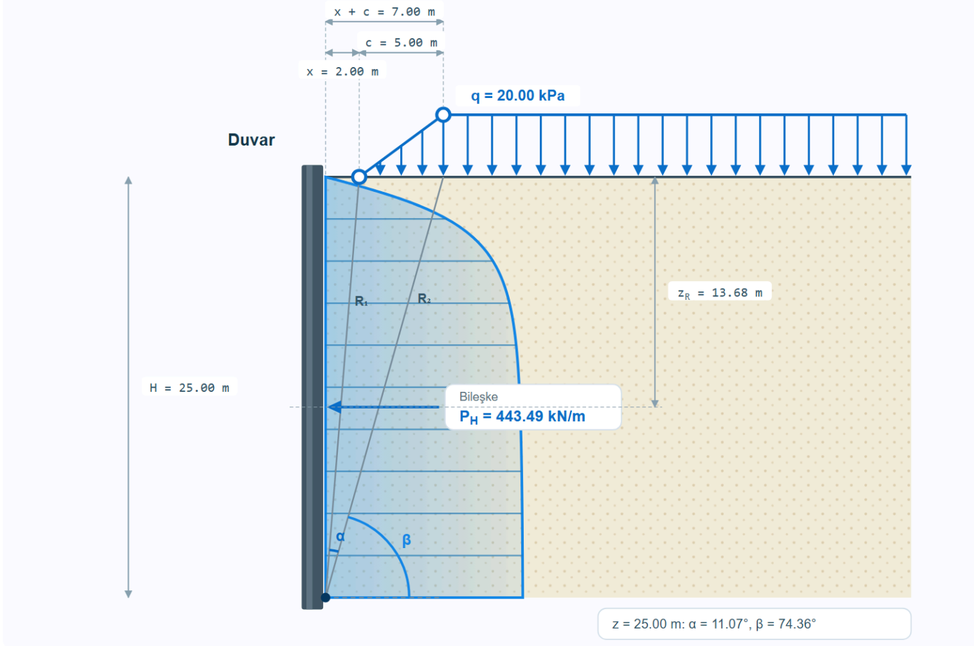
Geoteknik ders sunumu · Sürşarj yükleri

Rampa sürşarj yükü

Ders anlatımı: sıfırdan başlayıp platoya ulaşan rampa yükü; bir derinlikteki ordinat elle çözülür, profil, bileşke ve varyantlar tablolarla.

- Çizgisel yüklerin süperpozisyonu
- R_1, R_2, α, β
- Rijit duvar ψ = 2
- Bileşke ve z_R
- Elle çözülebilir



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

Rampa yükünün geometrisini: duvardan **x** uzaklıkta sıfırla başlar, **c** genişliğinde q değerine çıkar, ötesinde sabit q ile devam eder

Bir z derinliğinde $\mathbf{R_1}$, $\mathbf{R_2}$ yarıçaplarını ve **α, β** açılarını bulmayı (radyan)

Yatay basıncın **çizgisel yüklerin süperpozisyonundan** gelen kapalı biçimini: $\sigma_H = \psi\, q/(\pi c)\,[c\beta - x\alpha + 2z \ln(R_2/R_1)]$

Rijit duvar ($\psi = 2$) ve **yarı sonsuz ortam** ($\psi = 1$) farkını

Bileşke P_H ve **etkime derinliği z_R**: diyagramın alanı ve birinci momenti; x ve c'nin etkisini

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: formül ve gerekçesi

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek: H = 25 m, x = 2 m, c = 5 m, q = 20 kPa; rijit duvar. Bir ordinat z = 5 m'de elle çözülür.

Duvara etkiyen rampa sürşarjı

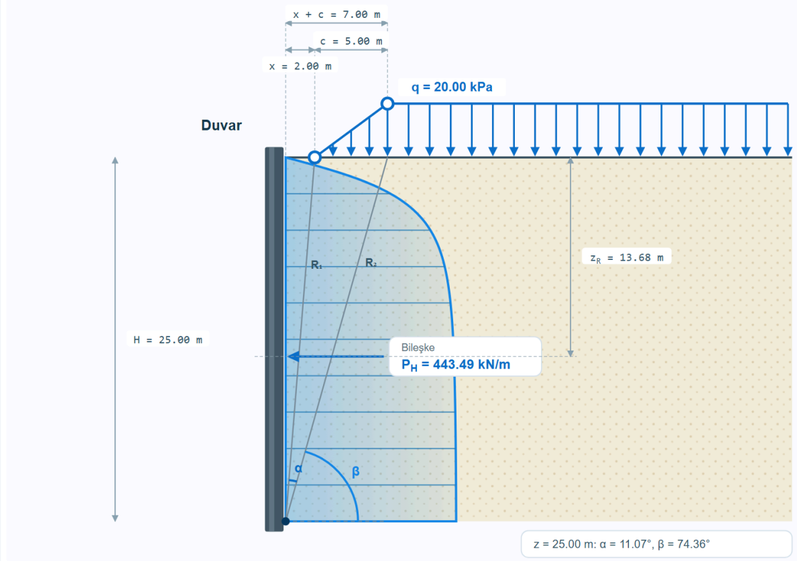
KURAM

Rampa sürşarjı duvardan **x** yatay uzaklığında başlar

Yüzey basıncı **c** rampa genişliği boyunca sıfırdan tam **q** değerine doğrusal artar; **x + c** ötesinde sürşarj sabit q şiddetiyle devam eder

Yük uzun ve duvara paraleldir; bileşke duvarın **birim uzunluğu başına** verilir

H: toplam duvar yüksekliği
x: duvardan rampanın başlangıcına uzaklık
c: yükün 0'dan q'ya yükseldiği yatay genişlik
q: rampanın ötesindeki tam düzgün sürşarj şiddeti
z: σ_H'nin hesaplandığı, zemin yüzeyinden derinlik



z derinliğindeki geometri

KURAM

z derinliğinde, duvardaki noktadan rampanın **başlangıcına** ve **sonuna** giden iki ışının uzunlukları ve aralarındaki açılar aşağıdadır

Basınç denkleminde açılar **radyan** alınır; derece değerleri okunabilirlik için arayüzde ve hesap raporunda gösterilebilir

$$R_1 = \sqrt{x^2 + z^2} \qquad R_2 = \sqrt{(x + c)^2 + z^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{x + c}{z} - \tan^{-1}\frac{x}{z} \qquad \beta = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\frac{x + c}{z}$$

Çizgisel yüklerin süperpozisyonu

KURAM

Rampa yükü, her biri **w(s)·ds** şiddetinde sürekli bir çizgisel yük dizisidir (rampada artan, platoda sabit); elastik yatay gerilmeleri (Flamant) toplanır

Yükselen rampa ve plato ilave cebirsel terimler üretir; bunlar birbirini tam olarak götürür, geriye **açılar ve logaritma** kalır

$$\sigma_H = \psi \frac{2}{\pi} \int w(s) \frac{s^2 z}{(s^2 + z^2)^2} \, ds$$

$$\sigma_H = \psi \frac{q}{\pi c} \left[c\beta - x\alpha + 2z \ln \frac{R_2}{R_1} \right]$$

ψ = 1 yarı sonsuz ortamdır (duvar yok); **ψ = 2** yatay gerilmeyi iki katına çıkaran, yerdeğiştirmeyen rijit duvardır: modülün varsayılanı. σ_H, zemin yüzeyinde sıfırdır

Diyagramın alanı ve birinci momenti

KURAM

Duvarın birim uzunluğu başına **bileşke sürşarj kuvveti** ve zemin yüzeyinden derinliği, diyagramın alanı ve birinci momentidir; modül her iki integrali de tam hassasiyetle sayısal hesaplar

$$P_H = \int_0^H \sigma_H(z)\,dz$$

$$z_R = \frac{\int_0^H z\,\sigma_H(z)\,dz}{P_H}$$

Örnekte **P_H = 443,49 kN/m** (rijit duvar) ya da **221,74 kN/m** (yarı sonsuz ortam); ikisinde de **z_R = 13,68 m**, zemin seviyesinin altında

Altı adım ve bir ordinat

KURAM

1 · H, x, c, q tanımlanır ve ψ seçilir

2 · Zemin seviyesi ile duvar tabanı arasında bir **z** derinliği seçilir

3 · R_1 ve R_2 hesaplanır; **4** · α ve β hesaplanır (radyan)

5 · σ_H hesaplanır: q, c, x, α, β, R_1, R_2 yerine konur

6 · Tekrarlanır ve integre edilir: basınç profili, sonra P_H ve z_R

$$z = 5\ \text{m}: \quad R_1 = 5{,}385\ \text{m} \quad R_2 = 8{,}602\ \text{m} \qquad \alpha = 32{,}661^\circ \quad \beta = 35{,}538^\circ$$

$$\sigma_H = \frac{20}{5\pi}\left[5(0{,}62025) - 2(0{,}57004) + 10\ln\frac{8{,}6023}{5{,}3852}\right] = 8{,}461\ \text{kPa}\ \ (\psi = 1) \ \ \rightarrow \ \ 16{,}921\ \text{kPa}\ \ (\psi = 2)$$

Soru

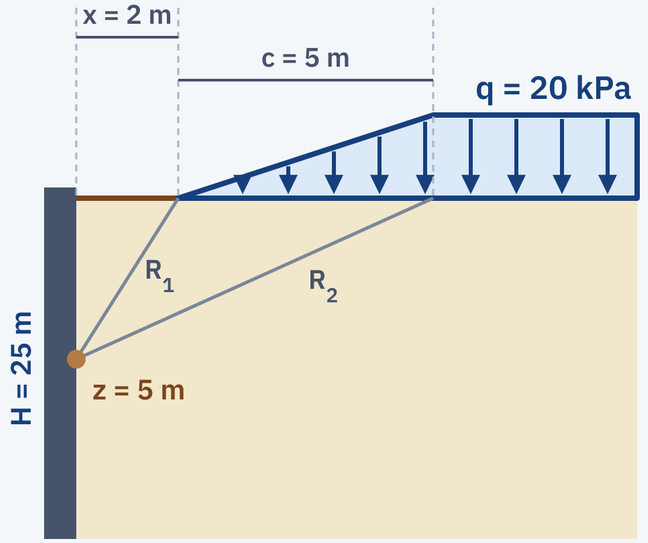
SORU

İSTENEN

z = 5 m derinliğinde **R_1, R_2, α, β** ve yatay basınç **σ_H** (iki ψ için); modülle karşılaştırma.

Verilenler

Duvar ve yük	$H = 25{,}0$ **m;** $x = 2{,}0$ **m;** $c = 5{,}0$ **m;** $q = 20{,}0$ **kPa**
Duvar	**yarı sonsuz ortam (**$\psi = 1$**) ve rijit duvar (**$\psi = 2$**)**



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Duvardaki noktadan rampanın başlangıcına (x) ve sonuna (x + c) giden ışınlar

$$R_1 = \sqrt{2^2 + 5^2} = \sqrt{29} = \mathbf{5{,}3852}\ \mathrm{m}$$

$$R_2 = \sqrt{7^2 + 5^2} = \sqrt{74} = \mathbf{8{,}6023}\ \mathrm{m}$$

2 Açılar (radyan)

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{7}{5} - \tan^{-1}\frac{2}{5} = 0{,}95055 - 0{,}38051 = \mathbf{0{,}57004}\ \mathrm{rad}\ \ (32{,}661^\circ)$$

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\frac{7}{5} = 1{,}57080 - 0{,}95055 = \mathbf{0{,}62025}\ \mathrm{rad}\ \ (35{,}538^\circ)$$

Rampanın başlangıcı duvardaki noktadan **32,66°**, sonu **35,54°** açıyla görünür; ışınlar 5,385 ve 8,602 m uzunluğundadır.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Yarı sonsuz ortam (ψ = 1): köşeli parantezin üç terimi

$$\sigma_H = \frac{q}{\pi c}\left[c\beta - x\alpha + 2z\ln\frac{R_2}{R_1}\right] = \frac{20}{5\pi}\left[5(0{,}62025) - 2(0{,}57004) + 10\ln\frac{8{,}6023}{5{,}3852}\right]$$

$$= 1{,}27324\,[3{,}1012 - 1{,}1401 + 4{,}6838] = 1{,}27324(6{,}6450) = \mathbf{8{,}461}\ \text{kPa}$$

4 Rijit duvar (ψ = 2): yarı sonsuz ortam değerinin iki katı

$$\sigma_H = 2 \times 8{,}461 = \mathbf{16{,}921}\ \text{kPa}$$

z = 5 m'de **σ_H = 16,921 kPa** (rijit duvar; yarı sonsuz ortamda 8,461). Modül aynı değeri verir. x·α terimi eksi işaretle girer: yükselen rampa, x'ten başlayan tam bir şeride göre duvara yakın yükü eksiltir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

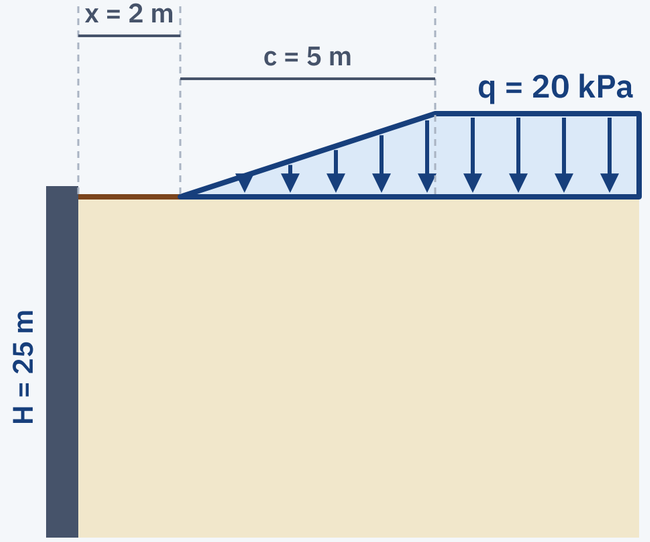
SORU

İSTENEN

Basınç profili ve duvar tabanındaki değer; derinde basıncın davranışı (formülün z → ∞ limiti).

Verilenler

Model	**Örnek 1'deki rampa; rijit duvar; tablo her $H/30 = 0{,}833$ m'de**
Her satırda	**R_1, R_2, α, β ve σ_H; yarı sonsuz ortam değerleri rijit duvarın yarısıdır**



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

z (m)	R_1 (m)	R_2 (m)	α (°)	β (°)	σ_H (kPa)
0,00	2,000	7,000	0,00	0,00	0,000
0,83	2,167	7,049	15,83	6,79	5,109
1,67	2,603	7,196	26,41	13,39	9,258
2,50	3,202	7,433	31,69	19,65	12,275
3,33	3,887	7,753	33,57	25,46	14,395
4,17	4,622	8,146	33,60	30,76	15,877
5,00	**5,385**	**8,602**	**32,66**	**35,54**	**16,921**
5,83	6,167	9,112	31,27	39,81	17,665
6,67	6,960	9,667	29,70	43,60	18,202
7,50	7,762	10,259	28,09	46,97	18,596
8,33	8,570	10,883	26,53	49,97	18,887
9,17	9,382	11,534	25,06	52,63	19,107
10,00	10,198	12,207	23,68	55,01	19,275
10,83	11,016	12,898	22,41	57,13	19,405
11,67	11,837	13,606	21,24	59,04	19,506
12,50	12,659	14,327	20,16	60,75	19,586

z (m)	R_1 (m)	R_2 (m)	α (°)	β (°)	σ_H (kPa)
13,33	13,482	15,059	19,17	62,30	19,651
14,17	14,307	15,802	18,26	63,71	19,703
15,00	15,133	16,553	17,42	64,98	19,745
15,83	15,959	17,312	16,65	66,15	19,780
16,67	16,786	18,077	15,94	67,22	19,809
17,50	17,614	18,848	15,28	68,20	19,833
18,33	18,442	19,624	14,67	69,10	19,853
19,17	19,271	20,405	14,11	69,94	19,870
20,00	20,100	21,190	13,58	70,71	19,885
20,83	20,929	21,978	13,09	71,43	19,897
21,67	21,759	22,769	12,63	72,10	19,908
22,50	22,589	23,564	12,20	72,72	19,918
23,33	23,419	24,361	11,80	73,30	19,926
24,17	24,249	25,160	11,42	73,85	19,933
25,00	25,080	25,962	11,07	74,36	19,939

Çözüm (2/2)

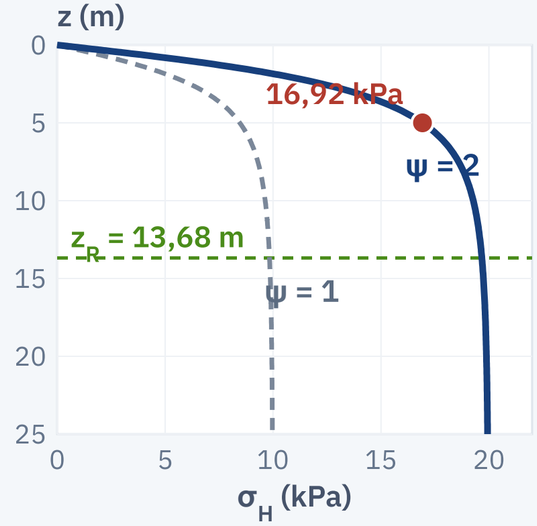
ÇÖZÜM

1 Yüzeyde ve derinde

$$z = 0: \quad \sigma_H = 0 \qquad z = H = 25\ \text{m}: \quad \sigma_H = \mathbf{19{,}94}\ \text{kPa}$$

$$z \to \infty: \quad \alpha \to 0,\ \beta \to \frac{\pi}{2},\ 2z \ln \frac{R_2}{R_1} \to 0 \ \Rightarrow\ \sigma_H \to \psi\, \frac{q}{2}$$

Basınç yüzeyde sıfırdır ve **derinlikle artar**: en büyük değer duvar tabanındadır (19,94 kPa). Derinde $\sigma_H \to \psi q/2 = \mathbf{q}$: z = 50 m'de 19,99, z = 1000 m'de 20,00 kPa (rijit duvar). Ordinat z = 5 m'de 16,921 kPa'dır (kalın satır, Örnek 1).



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

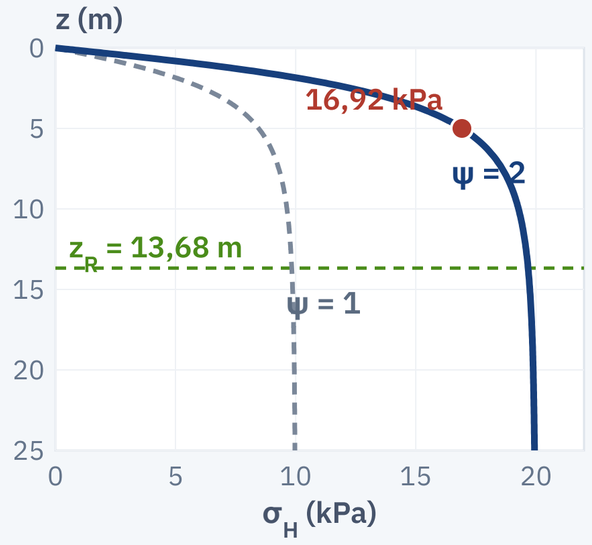
SORU

Verilenler

Model	**Örnek 1'deki rampa; rijit duvar; Örnek 2'nin $H/30$ tablosu ($n = 30$, $h = H/30 = 0{,}8333$ m)**
Yöntem	**Simpson kuralı;** $z_R = \int z\,\sigma\,dz \,/\, P_H$

İSTENEN

P_H ve **z_R** (elle, tablodan); yarı sonsuz ortam değerleri; modülün sonucuyla karşılaştırma.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

	σ_0	Σ tek (i = 1, 3, …, 29)	Σ çift (i = 2, 4, …, 28)	σ_{30}
σ_H (kPa)	0,000	266,553	255,220	19,939

1 Simpson toplamı ve alan

$$\Sigma = \sigma_0 + 4(266{,}553) + 2(255{,}220) + \sigma_{30} = 1\,596{,}59$$

$$P_H \approx \frac{h}{3}\,\Sigma = \frac{0{,}8333}{3}(1\,596{,}59) = \mathbf{443{,}50}\ \mathrm{kN/m}$$

Elle **443,50 kN/m**; modülün hassas integrali **443,49 kN/m** (fark %0,002). Yarı sonsuz ortamda yarısı: **221,74 kN/m**.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

	$z_0\sigma_0$	Σ tek	Σ çift	$z_{30}\sigma_{30}$
$z\sigma_H$ (kPa·m)	0,000	3 638,41	3 393,35	498,48

2 Birinci moment ve derinlik

$$\int z\,\sigma\,dz \approx \frac{0{,}8333}{3}\left[0 + 4(3\,638{,}41) + 2(3\,393{,}35) + 498{,}48\right] = 6\,066{,}3\ \text{kN}$$

$$z_R = \frac{6\,066{,}3}{443{,}50} = \mathbf{13{,}68}\ \text{m}\ \ (\text{zeminden}) \qquad H - z_R = 11{,}32\ \text{m}\ (\text{tabandan})$$

Elle **z_R = 13,68 m**; modül 13,68 m. Bileşke 443,49 kN/m, **zemin yüzeyinin 13,68 m altında** (tabandan 11,32 m yukarıda) etkir; ψ değişince z_R değişmez.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

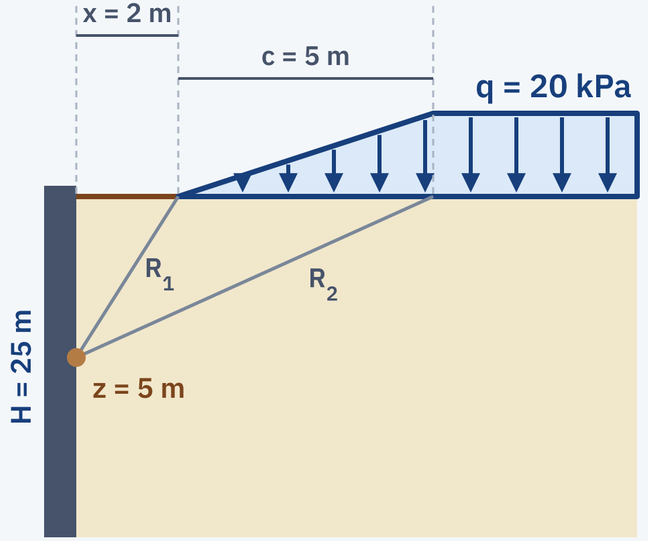
SORU

Verilenler

Model	**Örnek 1:** $z = 5$ **m; yarı sonsuz ortam (**$\psi = 1$**)**
Yöntem	$\sigma_H = \frac{2}{\pi}\int w(s)\,\frac{s^2 z}{(s^2+z^2)^2}\,ds$**; rampada** $w = q(s-x)/c$**, platoda** $w = q$
Hesap	**rampa: Simpson (**$n = 10$**,** $h = 0{,}5$ **m); plato: kapalı integral**

İSTENEN

Rampa ve plato katkılarını ayrı bulup toplayarak σ_H; Örnek 1'in kapalı biçimiyle karşılaştırma.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

i	s (m)	w(s) (kPa)	f(s) = s²z/(s²+z²)² (1/m)	c	c·w·f
0	2,0	0,00	0,02378	1	0,00000
1	2,5	2,00	0,03200	4	0,25600
2	3,0	4,00	0,03893	2	0,31142
3	3,5	6,00	0,04414	4	1,05941
4	4,0	8,00	0,04759	2	0,76145
5	4,5	10,00	0,04945	4	1,97796
6	5,0	12,00	0,05000	2	1,20000
7	5,5	14,00	0,04955	4	2,77472
8	6,0	16,00	0,04837	2	1,54797
9	6,5	18,00	0,04671	4	3,36314
10	7,0	20,00	0,04474	1	0,89481
			Σ c·w·f =		**14,14688**

1 Rampa üzerindeki çizgisel yüklerin integrali

$$I_{rampa} = \frac{h}{3}\sum c_i\, w_i f_i = \frac{0{,}5}{3}(14{,}14688) = \mathbf{2{,}3578}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

2 Plato (s ≥ x + c = 7 m): A(s) = ½[tan⁻¹(s/z) − sz/(s² + z²)] ile kapalı integral

$$A(7) = \frac{1}{2}\left[\tan^{-1}\frac{7}{5} - \frac{7(5)}{74}\right] = 0{,}23879 \qquad A(\infty) = \frac{\pi}{4} = 0{,}78540$$

$$I_{plato} = q\,[A(\infty) - A(7)] = 20(0{,}78540 - 0{,}23879) = 10{,}9322$$

3 Toplam ve ψ

$$\sigma_H = \frac{2}{\pi}\,(I_{rampa} + I_{plato}) = \frac{2}{\pi}(2{,}3578 + 10{,}9322) = \mathbf{8{,}4607}\ \text{kPa}\ \ (\psi = 1)$$

$$\psi = 2: \quad \sigma_H = \mathbf{16{,}921}\ \text{kPa}$$

Süperpozisyon **8,4607 kPa** verir; kapalı biçim (Örnek 1) **8,4607 kPa**. İki yol aynıdır: köşeli parantezdeki terimler, rampa ve plato integrallerinin toplamıdır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

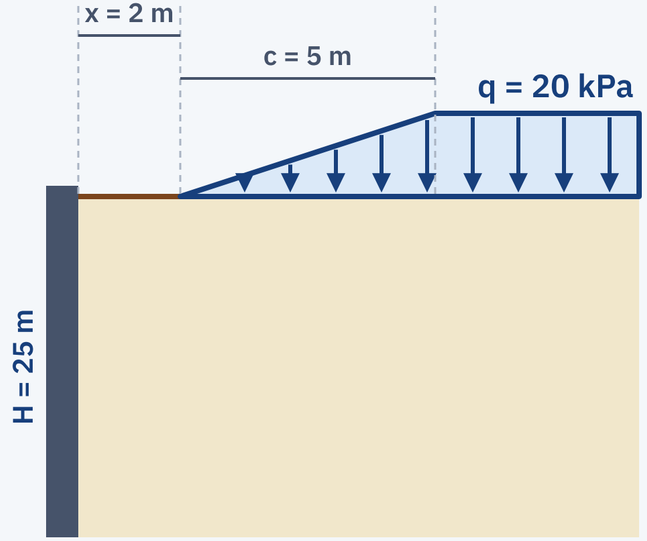
SORU

Verilenler

Model	$H = 25{,}0$ m; $q = 20$ kPa; rijit duvar; bir seferde yalnız biri değişir
Değişenler	başlangıç uzaklığı $x = 0; 2; 5; 10$ m ($c = 5$ m) ve genişlik $c = 1; 5; 10; 20$ m ($x = 2$ m)

İSTENEN

Her durum için P_H, z_R, tabandaki basınç; yarı sonsuz ortam değerleri; üst sınır (düzgün yük).



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

x (m), c = 5	P_H (kN/m), ψ = 2	P_H (kN/m), ψ = 1	z_R (m)	H − z_R (m)	σ_H(H) (kPa)
0	468,38	234,19	13,19	11,81	19,98
2	443,49	221,74	13,68	11,32	19,94
5	407,49	203,75	14,28	10,72	19,78
10	352,75	176,38	15,00	10,00	19,17

c (m), x = 2	P_H (kN/m), ψ = 2	P_H (kN/m), ψ = 1	z_R (m)	H − z_R (m)	σ_H(H) (kPa)
1	468,28	234,14	13,22	11,78	19,99
5	443,49	221,74	13,68	11,32	19,94
10	414,10	207,05	14,11	10,89	19,76
20	362,68	181,34	14,67	10,33	19,02

Rampa duvardan uzaklaştıkça (x ↑) ya da yavaş yükseldikçe (c ↑) **bileşke azalır, z_R derinleşir**; tabandaki basınç hep q = 20 kPa'ya yakındır. ψ = 1 değerleri rijit duvarın yarısıdır.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 Üst sınır: yük duvar yüzünden başlar (x = 0) ve hemen q olur (c → 0): düzgün sürşarj

$$\sigma_H = \psi\,\frac{q}{2} = q \quad (\text{her z}) \;\Rightarrow\; P_H = qH = 20 \times 25 = \mathbf{500}\ \text{kN/m}, \qquad z_R = \frac{H}{2} = 12{,}5\ \text{m}$$

2 Rampa genişliği c → 0: x = 2 m'den başlayan basamak yük

$$c = 0{,}001\ \text{m}: \quad P_H = 474{,}58\ \text{kN/m}, \qquad z_R = 13{,}09\ \text{m}$$

$$\text{şerit formülü}\ (x_2 \to \infty): \quad P_H = 474{,}59\ \text{kN/m}, \qquad z_R = 13{,}09\ \text{m}$$

Örnek 1'in rampası bu iki sınırın arasındadır: **443,49 kN/m**, üst sınır 500 kN/m'nin %88,7'i. Rampa dikleştikçe sonuç basamak yükün şerit çözümüne yaklaşır: aynı süperpozisyon. (Modül x = 0, c = 0,001 m için 499,99 kN/m verir.)

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

Akılda kalacak noktalar

$\sigma_H = \psi\, q/(\pi c)\,[c\beta - x\alpha + 2z\,\ln(R_2/R_1)]$; $R_1 = \sqrt{(x^2 + z^2)}$, $R_2 = \sqrt{((x + c)^2 + z^2)}$, $\alpha = \tan^{-1}((x + c)/z) - \tan^{-1}(x/z)$, $\beta = \pi/2 - \tan^{-1}((x + c)/z)$ (radyan); $\psi = 2$ rijit duvar, $\psi = 1$ yarı sonsuz ortam

Örnek (z = 5 m): R_1 5,385 m, R_2 8,602 m; α 32,661°, β 35,538°; σ_H = 8,461 kPa ($\psi = 1$), **16,921 kPa** ($\psi = 2$)

Profil: yüzeyde 0, derinlikle artar, derinde $\psi q/2 = q$ değerine yaklaşır (tabanda 19,94 kPa)

Bileşke $P_H = \int \sigma_H dz$ = **443,49 kN/m**, $z_R = \int z\sigma_H dz / P_H$ = **13,68 m** (zeminden); $\psi = 1$ için P_H = 221,74 kN/m, z_R aynı

Kıyas: rampa duvardan uzaklaştıkça ve genişledikçe bileşke azalır; üst sınır düzgün yük (q H = 500 kN/m), alt uçta rampa dikleşince basamak yük

Kaynaklar

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; bu sayfa bu kaynağı izlemektedir.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modülün açılış örneği H = 25 m, x = 2 m, c = 5 m, q = 20 kPa olan duvardır.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Kendi rampa yükünüzü, başlangıç uzaklığını, genişliğini ve duvar yüksekliğini GeoTerva'da girin; modül basınç diyagramını, bileşkeyi ve etkime derinliğini, üç görünüşü, adım adım çözümü ve raporu birlikte verir.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.

Derslerinizde kullanmak isterseniz: info@geoterva.com