Geoteknik ders sunumu · Yanal toprak basıncı

Pasif toprak basıncı: logaritmik spiral

Ders anlatımı: pürüzlü bir duvara etkiyen pasif basıncın eğri göçme yüzeyiyle (logaritmik spiral) hesabı, Terzaghi–Peck deneme kaması, Lancellotta çözümü, Coulomb'la karşılaştırma; eğik sırt, eğimli yüzey, tabaka ve su; her konuda çözümlü örnek.

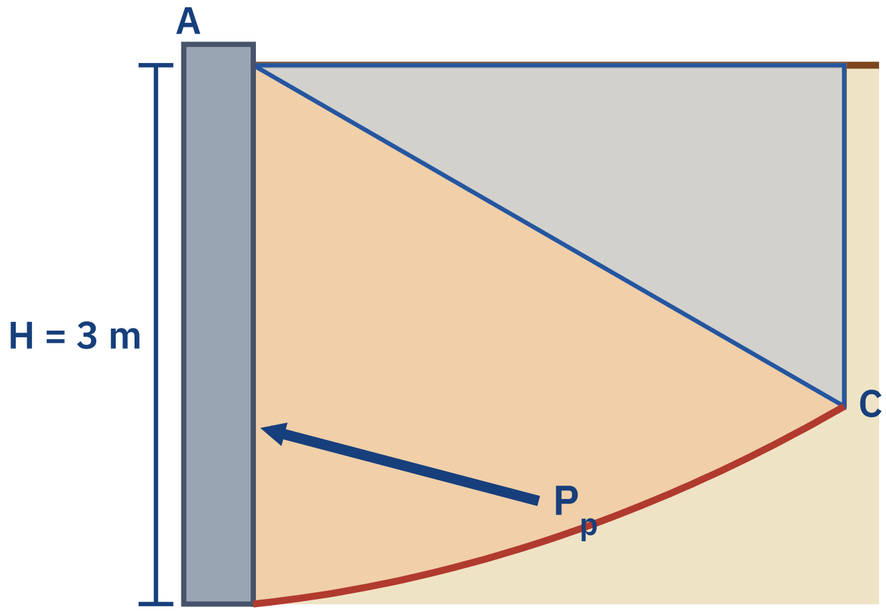
Duvar sürtünmesi

$r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$

Terzaghi – Peck kaması

Lancellotta · Coulomb

Eğik sırt · tabaka · su



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- Pürüzlü duvarda neden **düzlemsel kama** (Coulomb) yerine **eğri yüzey** gerektiğini
- **Logaritmik spirali**: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; her yarıçapın eğriye φ' ile gelmesi ve bileşkenin spirali merkezden geçirmesi
- **Terzaghi–Peck** deneme kamasında moment dengesiyle P hesabını; kuvvetin **en küçük** deneme kamasından bulunmasını
- K_p'yi **Lancellotta** kapalı çözümüyle ve Coulomb, Shields–Tolunay, Zhu–Qian ile karşılaştırmayı
- Eğik sırt, eğimli yüzey, sürşarj, **tabaka ve su** için genelleştirilmiş kamayı
- Coulomb'un büyük δ''de ne kadar **güvensiz** kaldığını

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: kural nedir, neden öyle?

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Kuvvetler duvarın birim uzunluğu başınadır (kN/m); $P_p = \tfrac{1}{2} K_p \gamma H^2$; duvar sürtünmesi δ' duvarın zemini aşağı doğru kaydırdığı yöndedir.

Pasifte düzlemsel yüzey neden olmaz?

KURAM

Coulomb'un düzlemsel kayma yüzeyi **aktif** basınç için iyi bir yaklaşımdır; pürüzlü bir duvarın **pasif** direncinde ise gerçek dirençten fazlasını verir, duvar sürtünmesi arttıkça daha da fazlasını: **güvensiz tarafta**.

Duvar zemine itildiğinde zemin duvara göre yükselir; duvar zemini **aşağı** kaydırır (pozitif duvar sürtünmesi) ve pasif kuvvet duvar yüzünün normalinden δ′ **aşağı** eğimli olur. Bu durumda göçme yüzeyi:

- topuk yakınında (BC) **eğridir** (logaritmik spiral)
- yüzeye yakın (CD) **düzdür**: yatayla 45° − φ′/2 yapar; ACD bölgesi Rankine pasif durumundadır

COULOMB NE KADAR FAZLA VERİR?

φ′ / δ′	Spiral	Coulomb
30° / 15°	4,61	4,98
30° / 30°	6,68	10,10
40° / 20°	9,67	11,77
40° / 40°	18,86	92,59

K_p katsayıları; φ′ = δ′ = 40° için Coulomb 5 kat fazla verir.

Spirali kullanışlı yapan özellik

KURAM

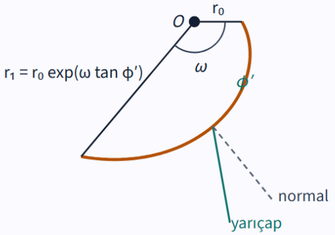
Göçme yüzeyinin eğri BC kısmı, O merkezli bir logaritmik spiral alınır:

$$r = r_0 \, e^{\omega \tan \varphi'}$$

r_0, ω = 0'daki yarıçaptır. Spiralin özelliği: **her yarıçap eğriye φ′ ile gelir**. Granüler zeminde göçme yüzeyindeki normal ve kayma kuvvetlerinin bileşkesi de normalle φ′ yapar; yani spiral üzerinde bileşke bir yarıçap boyunca uzanır ve **O'dan geçer**: O'ya göre moment denkleminden çıkar.

$$A_{OAB} = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4 \tan \varphi'}$$

r_0 ile r_1 arasındaki dilimin alanıdır; modül kama alanını ve ağırlık merkezini sayısal olarak bulur.



spiral üzerindeki normal ve kayma kuvvetlerinin bileşkesi F (normalle ϕ′ açısı yapar) bir yarıçap üzerindedir — O noktasından geçer

Soru

SORU

Verilenler

Spiral	**merkez O; başlangıç yarıçapı** $r_0 = 1{,}00$ **m;** $\varphi' = 30^\circ$
Açı	$\omega = 60^\circ$ **ve** $\omega = 90^\circ$

İSTENEN

$\mathbf{r_1}$, yarıçapın eğriye açısı ve sektör **alanı**.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 ω = 60° = 1,0472 rad

$$r_1 = r_0 e^{\omega \tan \varphi'} = 1{,}00\, e^{1{,}0472 \times 0{,}5774} = 1{,}00\, e^{0{,}6046}$$

$$r_1 = \mathbf{1{,}831\ \mathrm{m}}$$

2 Sektör alanı

$$A = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4 \tan \varphi'} = \frac{3{,}351 - 1{,}00}{4(0{,}5774)} = \mathbf{1{,}018\ \mathrm{m^2}}$$

3 ω = 90° için

$$r_1 = 1{,}00\, e^{1{,}5708 \times 0{,}5774} = \mathbf{2{,}477\ \mathrm{m}} \qquad A = \mathbf{2{,}223\ \mathrm{m^2}}$$

Yarıçap her radyanda $e^{\tan \varphi'}$ = 1,781 katına çıkar; ω = 60°'de r_1 = 1,831 m, alan 1,018 m².
Yarıçap eğriyle **her noktada φ′ = 30°** yapar; bu yüzden bileşke O'dan geçer.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Terzaghi ve Peck (1967) yöntemi

KURAM

Yüksekliği H olan düşey duvar AB için:

A'dan yüzeyin **45° – φ′/2** altından AC doğrusu çizilir; üzerinde bir C noktası seçilir.

AC doğrusu üzerinde, B'den geçen r_0 = OB yarıçaplı ve C'ye ulaşan (r_1 = OC = $r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$) spiralin merkezi **O** bulunur.

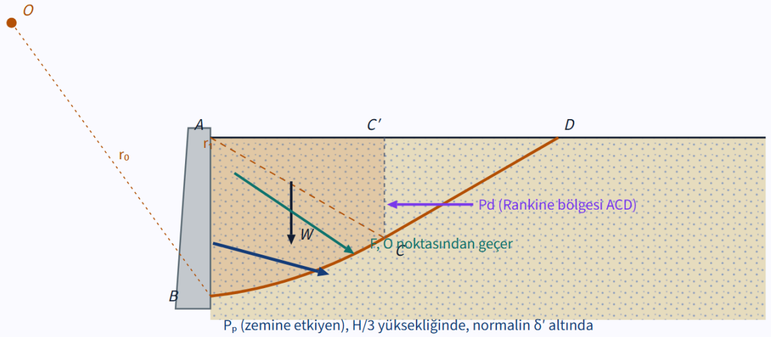
CC′ yüzü, ACD bölgesinin Rankine pasif kuvvetini taşır (yatay, C'den d/3 yukarıda):

$$P_d = \tfrac{1}{2}\gamma d^2 \tan^2\left(45^\circ + \tfrac{\varphi'}{2}\right)$$

ABCC′ kamasının ağırlığı W, P_d ve duvar kuvveti P (H/3'te, normalden δ′ aşağı) için O'ya göre moment (bileşke F O'dan geçer):

$$P = \frac{W\, l_W + P_d\, l_1}{l_P} \qquad P_p = \min_C P \qquad K_p = \frac{2P_p}{\gamma H^2}$$

Deneme birçok C için yinelenir; en küçük kuvvet pasif kuvvettir. δ′ = 0'da spiral düzleme dönüşür ve $K_p = \tan^2(45° + \varphi'/2)$.



Soru

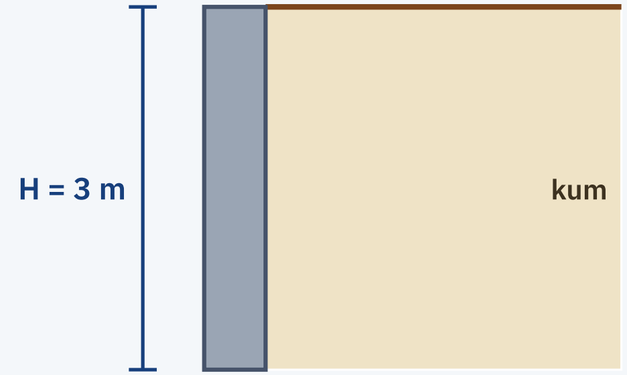
SORU

İSTENEN

En küçük deneme kamasının geometrisi ve **P_p**, **K_p**; birkaç deneme kamasıyla karşılaştırma. Modül bu duvarla açılır.

Verilenler

Duvar	$H = 3$ **m, düşey; yatay dolgu**
Zemin	**kuru kum:** $\gamma = 15{,}7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ$**;** **duvar sürtünmesi** $\delta' = 15^\circ$



γ = 15,7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (pasif)

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Geometri (AC yatayla 45° − 15° = 30°)

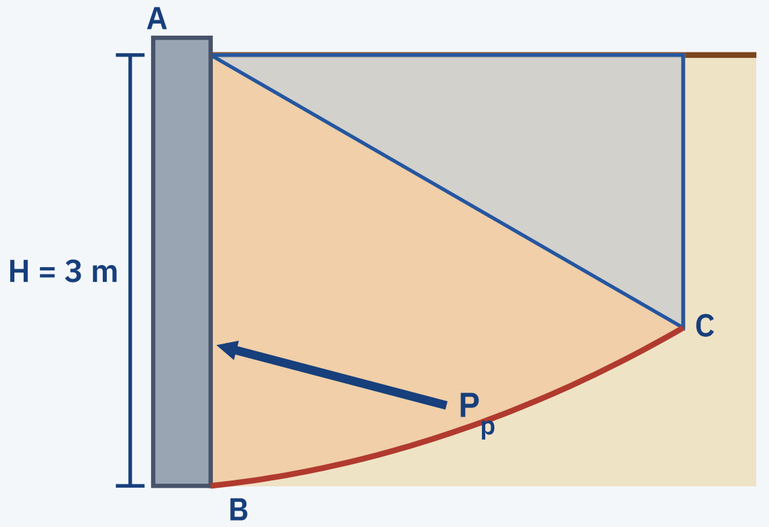
$$t = 3{,}80\ \text{m}: \quad C = (3{,}29;\ 1{,}10)\ \text{m}, \quad d = H - y_C = 1{,}90\ \text{m}$$

$$O = (-3{,}76;\ 5{,}17)\ \text{m}, \quad r_0 = OB = 6{,}39\ \text{m}, \quad r_1 = OC = 8{,}14\ \text{m}$$

2 Spiral açısı ve kama ağırlığı

$$\omega = \ln(r_1/r_0)/\tan 30^\circ = 23{,}97^\circ$$

$$W = \gamma A_{ABCC'} = 15{,}7\,(8{,}480) = \mathbf{133{,}14}\ \text{kN/m}$$



Çözüm (2/2)

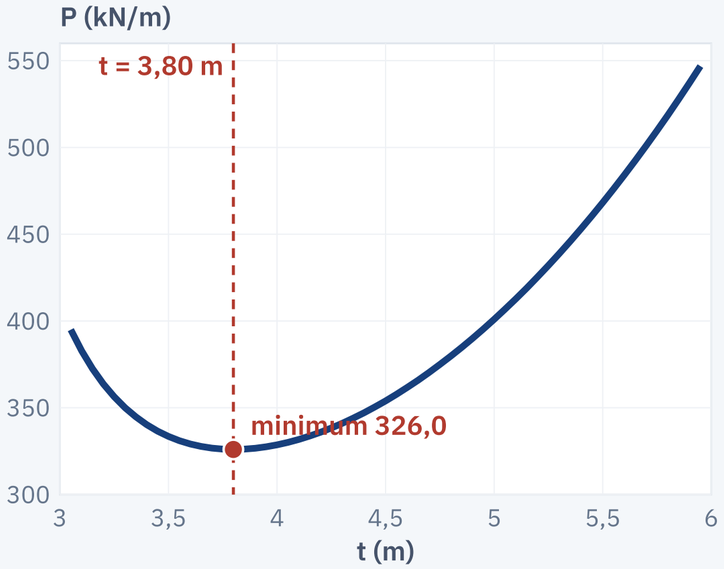
ÇÖZÜM

3 Rankine bölgesi: $P_d = ½\gamma d^2 \tan^2 60°$

$$P_d = \tfrac{1}{2}(15{,}7)(1{,}899)^2(3) = \mathbf{84{,}96}\ \mathrm{kN/m}$$

4 O'ya göre moment (kollar $l_W = 5{,}289$, $|l_1| = 3{,}438$, $l_P = 3{,}056$ m)

$$P = \frac{W\, l_W + P_d\, |l_1|}{l_P} = \frac{133{,}14(5{,}289) + 84{,}96(3{,}438)}{3{,}056} = \mathbf{326{,}03}\ \mathrm{kN/m}$$



En küçük deneme kuvveti **P_p = 326,0 kN/m** (t = 3,80 m); $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$ = **4,615**. Daha küçük ya da büyük t'de kuvvet artar (t = 3,2 m: 363,8; t = 4,5 m: 354,0 kN/m), yani pasif kuvvet **en küçük** deneme kamasıdır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

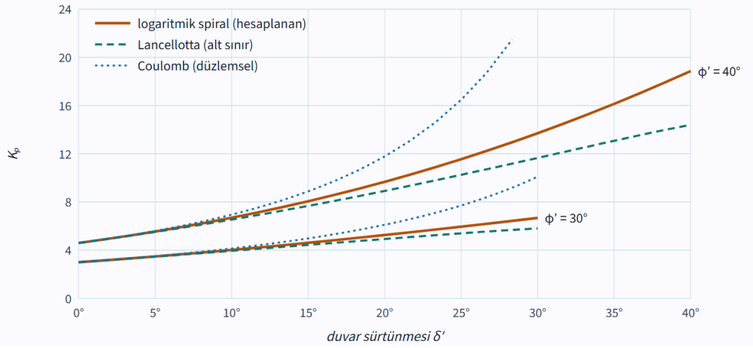
Spiral ve diğer çözümler

KURAM

Düşey duvar, yatay dolgu için diğer çözümler (hepsi $P_p = ½K_p\gamma H^2$): Shields–Tolunay (dilim yöntemi, tablo), Sokolowskiĭ (karakteristikler, tablo), Zhu–Qian (üçgen dilim, tablo) ve **Lancellotta (2002)** kapalı çözümü (alt sınır):

$$K_p = \frac{\cos\delta'}{1-\sin\varphi'}\left(\cos\delta' + \sqrt{\sin^2\varphi' - \sin^2\delta'}\right) e^{2\theta\tan\varphi'}\frac{1}{\cos\delta'} \qquad 2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin\delta'}{\sin\varphi'} + \delta'$$

φ′	δ′	Log. spiral	Lancellotta	Coulomb
20°	10°	2,56	2,52	2,64
20°	20°	3,07	2,87	3,53
30°	15°	4,61	4,44	4,98
30°	30°	6,68	5,80	10,10
40°	20°	9,67	8,92	11,77
40°	40°	18,86	14,39	92,59



Lancellotta alt sınırdır, logaritmik spiral üst sınırdır; karakteristikler yöntemi ikisinin arasında, spirale çok yakındır.

Coulomb büyük δ′'de çok fazla verir (φ′ = δ′ = 40°: 92,6).

Soru

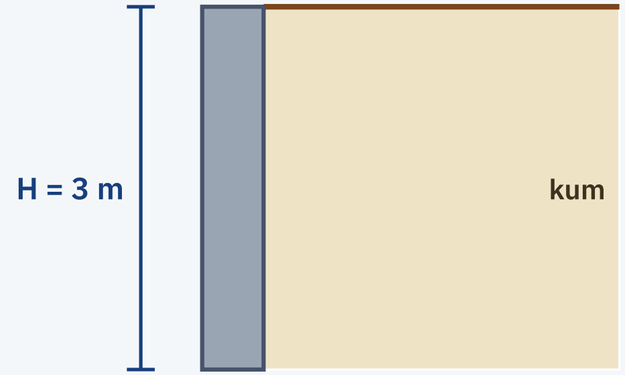
SORU

İSTENEN

Lancellotta K_p'sini adım adım; beş çözümün P_p değeri ve sıralaması.

Verilenler

Duvar ve zemin	**Örnek 2'deki duvar:** $H = 3$ m, $\gamma = 15{,}7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$



γ = 15,7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (pasif)

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Lancellotta (alt sınır): 2θ ve K_p

$$2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin 15^\circ}{\sin 30^\circ} + 15^\circ = 31{,}17^\circ + 15^\circ = 0{,}8059\ \text{rad}$$

$$K_p = \frac{\cos 15^\circ}{1-\sin 30^\circ}\left(\cos 15^\circ + 0{,}4278\right) e^{0{,}8059\tan 30^\circ}\frac{1}{\cos 15^\circ} = \mathbf{4{,}439}$$

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

2 Beş çözüm ($P_p = ½K_p(15,7)(9) = 70,65\ K_p$)

Çözüm	K_p	P_p (kN/m)
Coulomb (1776), düzlemsel yüzey	4,977	351,6
Terzaghi & Peck (logaritmik spiral)	4,615	326,0
Shields & Tolunay (1973)	4,280	302,4
Zhu & Qian (2000)	4,575	323,2
Lancellotta (2002)	4,439	313,6

Düzlemsel Coulomb en büyüğünü (351,6 kN/m) verir; eğri yüzeyli çözümler **302–326 kN/m** aralığında kümelenir. Lancellotta (alt sınır) 313,6, logaritmik spiral (üst sınır) 326,0 kN/m.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Zemin	**kum, $\varphi' = 30^\circ$; düşey duvar, yatay dolgu**
Değişken	$\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 30^\circ$

İSTENEN

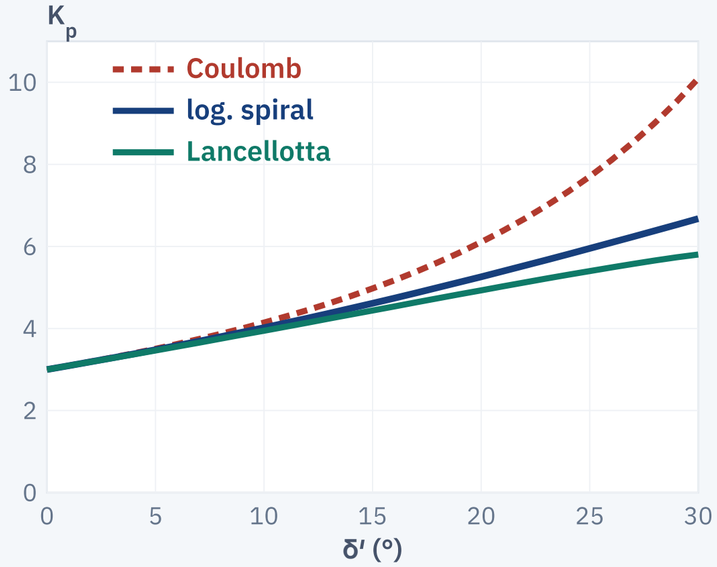
Her δ′ için **K_p** (log. spiral, Lancellotta, Coulomb) ve Coulomb'un fazlalığı.

Çözüm

ÇÖZÜM

1 Aynı φ′ = 30° için dört yöntem

δ′	Log. spiral	Lancellotta	Coulomb	Coulomb / spiral
0°	3,000	3,000	3,000	1,00
10°	4,020	3,946	4,143	1,03
15°	4,615	4,439	4,977	1,08
20°	5,260	4,930	6,105	1,16
30°	6,677	5,804	10,095	1,51



δ′ = 0'da üçü de Rankine'e (3,00) eşit; δ′ arttıkça Coulomb spirali hızla aşar: δ′ = 15°'de %8, δ′ = 30°'de %51 fazla (güvensiz). Pratikte pasif direnç için logaritmik spiral ya da δ′ ≤ φ′/2 kullanılır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Eğik sırt, eğimli yüzey, sürşarj, tabaka ve su

KURAM

Modül Terzaghi–Peck kamasını θ eğik sırta ve α eğimli yüzeye genişletir: AC ile yüzey arasındaki bölge eğimli yüzeyin Rankine pasif durumundadır; spiral AC üzerindeki O'dan çizilir; spiral düzleme dönüşebilir (Coulomb düzlemi de bir mekanizmadır, ikisinin küçüğü alınır).

$$P_p = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq} \qquad q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)}$$

Zemin ağırlığı (H/3) ve sürşarj (H/2) payları kendi en küçük deneme kamalarından bulunur. **Tabakalı** dolguda her tabaka kendi $K_{p\gamma}$, K_{pq} değerini alır; üstündeki zeminin ağırlığı sürşarj gibi etkir; **su** altında γ′, u sırta dik eklenir:

$$\sigma'_p = \left[K_{pq}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma}\left(\sigma'_v - \sigma'_{v,top}\right)\right]\cos\theta$$

Durum (δ′ = φ′ = 30°)	K_p abak (Caquot–Kerisel)	K_p modül	Fark
θ = 20°	3,84	3,82	−0,6 %
θ = 30°	2,76	2,80	+1,6 %
α/φ′ = 0,4 (α = 12°)	10,60	10,22	−3,6 %
α/φ′ = 0,8 (α = 24°)	15,10	14,51	−3,9 %

$K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (Caquot–Kerisel'de H yerine sırt uzunluğu $H_1 = H/\cos\theta$ alınır). Bu tabakalı uzantı modülün mühendislik uzantısıdır.

CAQUOT – KERISEL R′

Caquot–Kerisel abakları δ′ = φ′ içindir; başka δ′ için $K_p = R'K_{p(\delta'=\varphi')}$. φ′ = 30°, δ′/φ′ = 0,5 için R′ = 0,746.

Soru

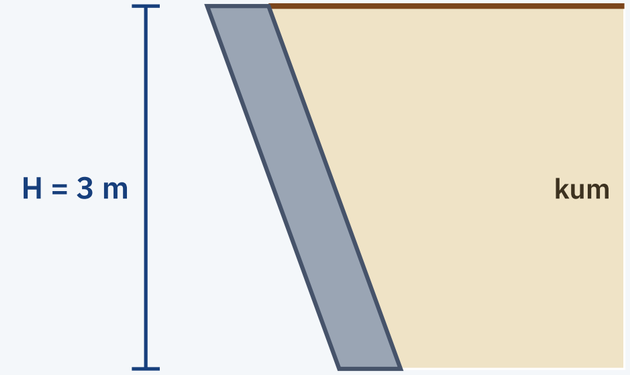
SORU

İSTENEN

$K_{p\gamma}$, P_p; abaktaki K_p ile karşılaştırma; düşey sırtlı duvarla kıyas.

Verilenler

Duvar	$H = 3$ **m; sırt düşeyden** $\theta = 20^\circ$ **eğik; yatay dolgu**
Zemin	**kuru kum:** $\gamma = 15{,}7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ$**;** $\delta' = 30^\circ = \varphi'$



θ = 20°, φ′ = 30°, δ′ = 30° (pasif)

Çözüm

ÇÖZÜM

1 Spiral katsayısı (modül; δ′ = φ′ = 30°, θ = 20°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4{,}321} \qquad K_{pq} = 4{,}127$$

2 Kuvvet ve abakla kıyas

$$P_p = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(4{,}321)(15{,}7)(9) = \mathbf{305{,}3}\ \mathrm{kN/m}$$

$$K_p = K_{p\gamma} \cos^2 20^\circ = 4{,}321(0{,}8830) = \mathbf{3{,}82}\ (\text{abak } 3{,}84)$$

P_p = **305,3 kN/m**; aynı zeminde düşey sırtlı duvar (θ = 0, δ′ = 30°) 471,8 kN/m verirdi: 20° eğik sırt pasif direnci %35 **azaltır**. Abakla fark %0,6.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

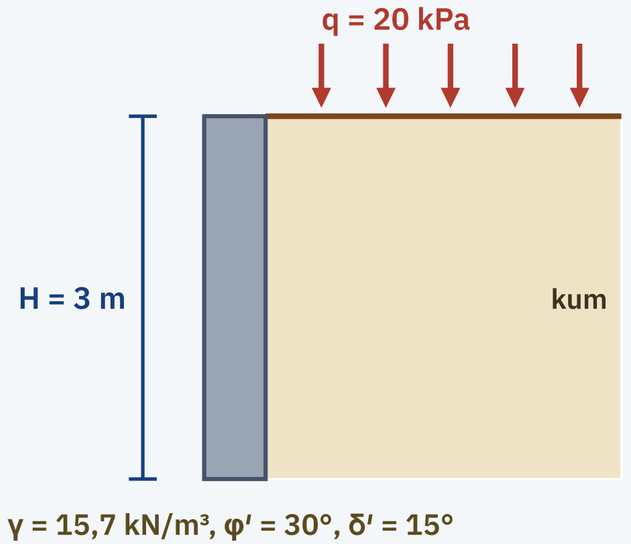
SORU

İSTENEN

Zemin ve sürşarj payları, toplam $\mathbf{P_p}$ ve $\bar{\mathbf{z}}$.

Verilenler

Duvar ve zemin	**Örnek 2'deki duvar:** $H = 3$ **m,** $\gamma = 15{,}7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30^\circ$, $\delta' = 15^\circ$
Sürşarj	$q = 20$ **kPa (yatay yüzeyde)**



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Katsayılar (modül, δ′ = 15°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4{,}615} \qquad K_{pq} = \mathbf{4{,}532} \qquad q_e = 20\ \mathrm{kPa}$$

2 Kuvvetler: zemin (kol H/3 = 1,00 m) + sürşarj (kol H/2 = 1,50 m)

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = 326{,}03\ \mathrm{kN/m}$$

$$P_q = K_{pq} q_e H = 4{,}532(20)(3) = 271{,}90\ \mathrm{kN/m}$$

3 Toplam ve yer

$$P_p = 326{,}03 + 271{,}90 = \mathbf{597{,}94}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{326{,}03(1{,}00) + 271{,}90(1{,}50)}{597{,}94} = \mathbf{1{,}23}\ \mathrm{m}$$

P_p = **597,9 kN/m**, $\bar{z}$ = **1,23 m** (sürşarjsız 1,00 m); sürşarj payı zeminin %83'ü.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

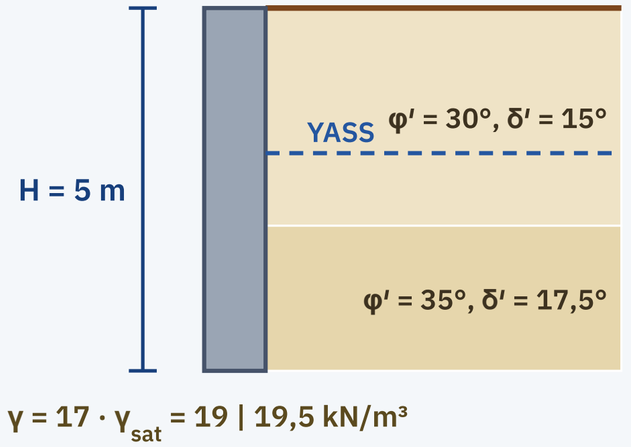
SORU

Verilenler

Duvar	$H = 5$ **m, düşey; yatay dolgu; sürşarj yok**
Tabaka 1 (0–3 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ,\ \delta' = 15^\circ$
Tabaka 2 (3–5 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19{,}5\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 35^\circ,\ \delta' = 17{,}5^\circ$
Yeraltı suyu	**2 m derinlikte**

İSTENEN

Tabaka sınırındaki basınç sıçraması, bileşenler, **P**, β ve **z̄**.



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Katsayılar (modül)

$$\text{tabaka 1: } K_{p\gamma} = 4{,}615$$

$$\text{tabaka 2: } K_{p\gamma} = 6{,}522,\ K_{pq} = 6{,}351$$

2 Gerilmeler: σ′$_v$(2) = 34; σ′$_v$(3) = 43,19; σ′$_v$(5) = 62,57 kPa

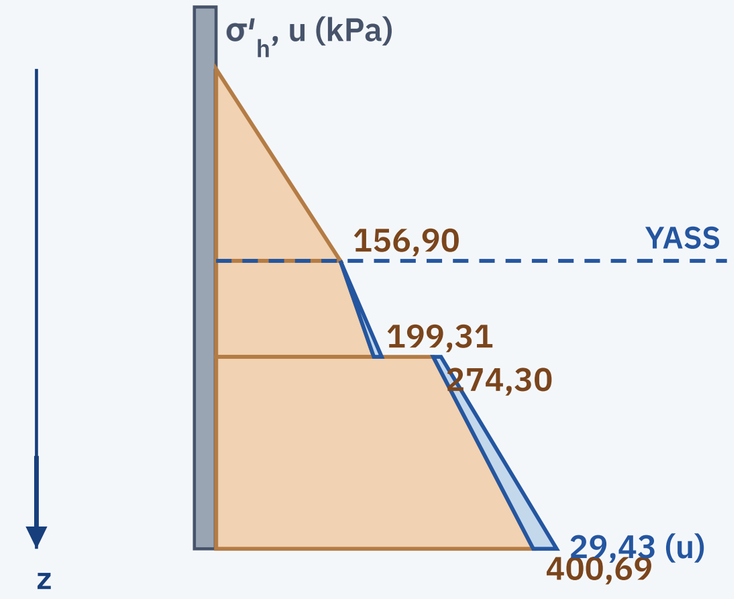
$$p(2) = 4{,}615(34) = 156{,}90$$

$$p(3^-) = 4{,}615(43{,}19) = 199{,}31$$

$$p(3^+) = K_{pq}\sigma'_v(3) = 6{,}351(43{,}19) = \mathbf{274{,}30}$$

$$p(5) = 274{,}30 + 6{,}522(19{,}38) = \mathbf{400{,}69}\ \text{kPa}$$

$$u(5) = \mathbf{29{,}43}\ \text{kPa}$$



Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Sırt boyunca kuvvetler ve bileşenler (tabaka δ′′si ile)

$$P_s = 335{,}0 + 675{,}0 = 1\,010{,}0\ \text{kN/m}$$

$$N_s = 967{,}3 \qquad T = 289{,}7\ \text{kN/m}$$

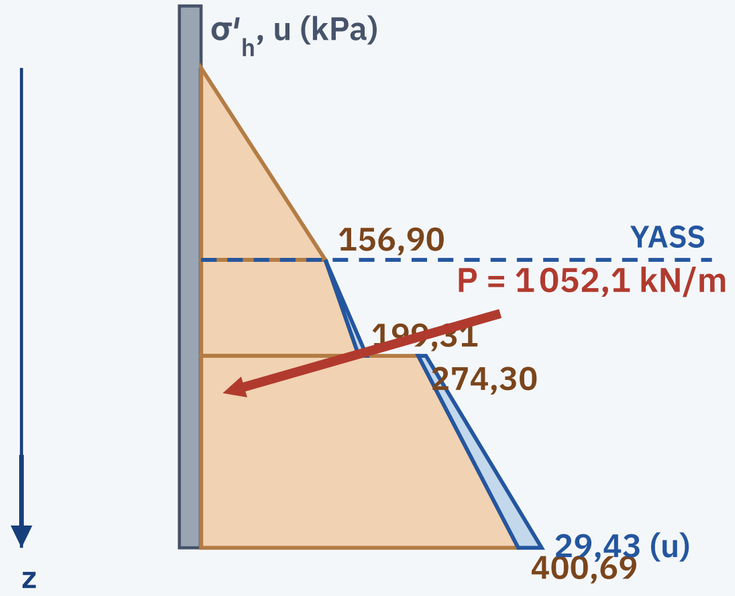
$$N_w = \tfrac{1}{2}(29{,}43)(3) = 44{,}15\ \text{kN/m (sırta dik)}$$

4 Bileşke ve yer

$$N = N_s + N_w = 1\,011{,}5 \qquad P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{1\,052{,}1}\ \text{kN/m}$$

$$\beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 15{,}98^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1{,}61}\ \text{m}$$

P = **1052,1 kN/m**, β = 16,0°, tabandan 1,61 m yukarıda. Su payı yalnızca 44,1 kN/m (%4): pasifte toprak direnci suyun yanında çok büyüktür; sınırda p 199,3 → 274,3 kPa sıçrar.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Çözümün kapsamı

KURAM

Granüler zemin (c′ = 0); kohezyonlu pasif için Rankine ve Coulomb modüllerine bakın.

Logaritmik spiral üst sınırdır, Lancellotta alt sınır; gerçek direnç ikisinin arasındadır. Düzlemsel Coulomb büyük δ′'de güvensizdir.

Genelleştirilmiş kama (eğik sırt, eğimli yüzey, tabaka, su, sürşarj) modülün mühendislik uzantısıdır, kapalı bir tabakalı çözüm yoktur; zemin ağırlığı ve sürşarj payları kendi en küçük kamalarından bulunur.

Geçerlilik: α < φ′; sırt ile yüzey yeterli açıyla kesişmeli; spiral zeminden çıkıyorsa ya da dönüşü yanlış yöndeyse mekanizma değildir (düzlem sınır durumdur).

Deprem için Depremde pasif modülü kullanılır.

Özet

Akılda kalacak noktalar

Pasifte düzlemsel kama güvensizdir: duvar sürtünmesiyle göçme yüzeyi topukta eğri (spiral), yüzeye yakın düzdür (Rankine bölgesi)

Spiral: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; her yarıçap eğriye φ' ile gelir, bileşke O'dan geçer; alan $(r_1^2 - r_0^2)/(4 \tan \varphi')$

Terzaghi–Peck: $P = (W\, l_W + P_d\, l_1)/l_P$; **en küçük** deneme kamasındaki P pasif kuvvettir; $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$

Lancellotta (alt sınır, kapalı çözüm), spiral (üst sınır); Coulomb $\varphi' = \delta' = 40°$'de 5 kat fazla verir

Genelleştirilmiş kama: $P = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq}$; $K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (abak tanımı); tabaka tabaka $\sigma' = [K_{pq}\sigma'_{v,\text{üst}} + K_{p\gamma}(\sigma'_v - \sigma'_{v,\text{üst}})]\cos\theta$

Örnek duvar ($H = 3$ m, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$): Coulomb 351,6 · spiral 326,0 · Lancellotta 313,6 kN/m

Kaynaklar

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

Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed. Wiley, New York.

Shields, D.H. and Tolunay, A.Z. (1973). Passive pressure coefficients by method of slices. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 99(SM12), 1043–1053.

Lancellotta, R. (2002). Analytical solution of passive earth pressure. Géotechnique, 52(8), 617–619.

Sokolowskiĭ, V.V. (1965). Statics of Granular Media. Pergamon, London.

Zhu, D.Y. and Qian, Q. (2000). Determination of passive earth pressure coefficients by the method of triangular slices. Canadian Geotechnical Journal, 37(2), 485–491.

Caquot, A. and Kerisel, J. (1948). Tables for the Calculation of Passive Pressure, Active Pressure and Bearing Capacity of Foundations. Gauthier-Villars, Paris.

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

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modül Örnek 2-3'teki duvarla (H = 3 m, δ′ = 15°) açılır.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Kendi duvarınızın sırt eğimini, dolgu eğimini, tabakalarını, sürşarjını ve yeraltı suyunu GeoTerva'da girin; modül kritik spirali, P_p'yi ve etkime yüksekliğini birlikte verir.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.

Derslerinizde kullanmak isterseniz: info@geoterva.com