Présentation de cours de géotechnique · Poussée et butée des terres

Butée des terres : spirale logarithmique

Cours : calcul de la butée agissant sur un mur rugueux avec une surface de rupture courbe (spirale logarithmique), coin d'essai de Terzaghi–Peck, solution de Lancellotta, comparaison avec Coulomb ; dos du mur incliné, surface inclinée, couches et eau ; un exemple de calcul pour chaque thème.

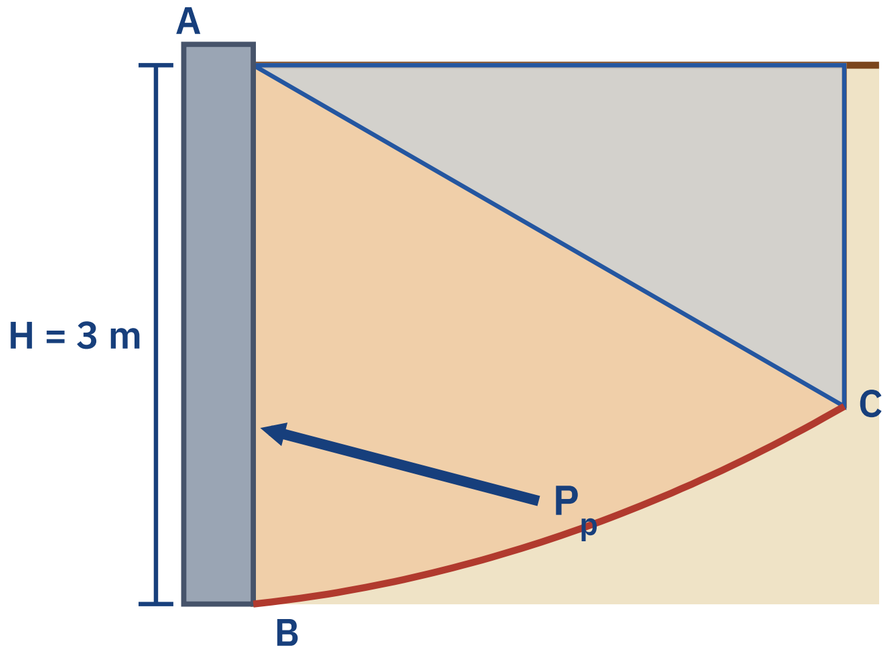
Frottement sol-mur

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

Coin de Terzaghi – Peck

Lancellotta · Coulomb

Remblai en pente · couche · eau



Que verrons-nous dans ce cours ?

Pourquoi, pour un mur rugueux, il faut une **surface courbe** plutôt qu'un **coin plan** (Coulomb)

La **spirale logarithmique** : $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; le fait que chaque rayon rencontre la courbe sous l'angle φ' et que la résultante passe par le centre de la spirale

Le calcul de P par l'équilibre des moments sur le coin d'essai de **Terzaghi–Peck** ; la détermination de la force à partir du **plus petit** coin d'essai

Comparer K_p avec la solution analytique de **Lancellotta** et avec celles de Coulomb, Shields–Tolunay, Zhu–Qian

Le coin généralisé pour un dos de mur incliné, une surface en pente, une surcharge, des **couches et l'eau**

Dans quelle mesure Coulomb devient **non sécuritaire** pour δ' élevé

DÉROULÉ DU COURS

Chaque thème est traité en **trois étapes** :

1 · **Théorie** : quelle est la règle, pourquoi en est-il ainsi ?

2 · **Énoncé** : données et à déterminer

3 · **Solution** : étape par étape, avec les valeurs numériques

Les forces sont rapportées à l'unité de longueur du mur (kN/m) ; $P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$; le frottement sol-écran δ' est orienté dans le sens où le mur entraîne le sol vers le bas.

Pourquoi une surface plane n'apparaît-elle pas en butée ?

THÉORIE

La surface de rupture plane de Coulomb est une bonne approximation pour la poussée **active** ; pour la résistance **passive** d'un mur rugueux, en revanche, elle donne plus que la résistance réelle, et d'autant plus que le frottement sol-écran augmente : **du côté défavorable à la sécurité**.

Lorsque le mur est poussé contre le sol, le sol se soulève par rapport au mur ; le mur déplace le sol **vers le bas** (frottement mur-sol positif) et la force de butée est inclinée de δ′ **vers le bas** par rapport à la normale au parement. Dans ce cas, la surface de rupture est :

- près du talon (BC) **est une courbe** (spirale logarithmique)
- la partie proche de la surface (CD) est **rectiligne** : elle fait un angle de 45° − φ′/2 avec l'horizontale ; la zone ACD est à l'état passif de Rankine

COMBIEN COULOMB DONNE-T-IL DE PLUS ?

φ′ / δ′	Spirale	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

Coefficients K_p ; pour φ′ = δ′ = 40°, Coulomb donne 5 fois plus.

La propriété qui rend la spirale utile

THÉORIE

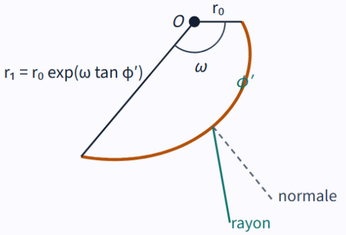
La partie courbe BC de la surface de rupture est prise comme une spirale logarithmique de centre O :

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

r_0 est le rayon pour ω = 0. Propriété de la spirale : **chaque rayon rencontre la courbe sous l'angle φ′**. Dans un sol granulaire, la résultante des forces normale et tangentielle sur la surface de rupture fait aussi l'angle φ′ avec la normale ; ainsi, sur la spirale, la résultante est portée par un rayon et **passe par O** : elle n'intervient pas dans l'équation des moments par rapport à O.

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

Il s'agit de l'aire de la tranche comprise entre r_0 et r_1 ; le module détermine numériquement l'aire du coin et son centre de gravité.



la résultante F des forces normale et tangentielle sur la spirale (inclinée de ϕ′ par rapport à la normale) est portée par elle passe par O

Énoncé

EXEMPLE

Données

Spirale	**centre O ; rayon initial** $r_0 = 1.00$ **m ;** $\varphi' = 30^\circ$
Angle	$\omega = 60^\circ$ **et** $\omega = 90^\circ$

À DÉTERMINER

$\mathbf{r_1}$, l'angle du rayon avec la courbe, et l'**aire** du secteur.

Solution

SOLUTION

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 Aire du secteur

$$A = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4 \tan \varphi'} = \frac{3.351 - 1.00}{4(0.5774)} = \mathbf{1.018}\ \mathrm{m^2}$$

3 pour ω = 90°

$$r_1 = 1.00\, e^{1.5708 \times 0.5774} = \mathbf{2.477}\ \mathrm{m} \qquad A = \mathbf{2.223}\ \mathrm{m^2}$$

Le rayon est multiplié par $e^{\tan \varphi'}$ = 1.781 à chaque radian ; pour ω = 60°, r_1 = 1.831 m et l'aire vaut 1.018 m². Le rayon fait avec la courbe un angle **φ′ = 30° en tout point** ; c'est pourquoi la résultante passe par O.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Méthode de Terzaghi et Peck (1967)

THÉORIE

Pour le mur vertical AB de hauteur H :

À partir de A, la droite AC est tracée sous la surface avec un angle de **45° – φ′/2** ; un point C est choisi sur cette droite.

Sur la droite AC, on trouve le centre **O** de la spirale de rayon r_0 = OB passant par B et atteignant C (r_1 = OC = $r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$).

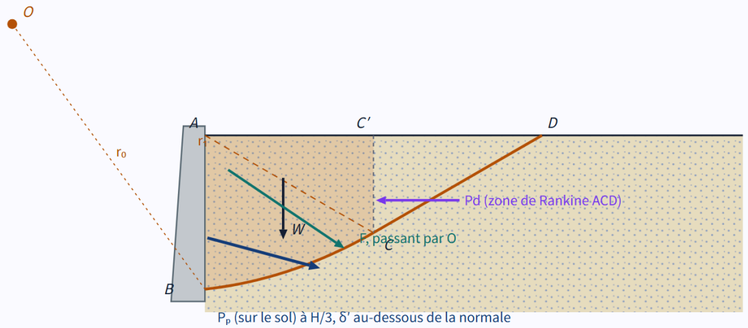
La face CC′ supporte la force de butée de Rankine de la zone ACD (horizontale, à d/3 au-dessus de C) :

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

Moment par rapport à O du poids W du coin ABCC′, de P_d et de la force P du mur (appliquée à H/3, à δ′ sous la normale) (la résultante F passe par O) :

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

L'essai est répété pour de nombreuses valeurs de C ; la plus petite force est la force de butée. Pour δ′ = 0, la spirale se réduit à un plan et $K_p = \tan^2(45° + \varphi'/2)$.



Énoncé

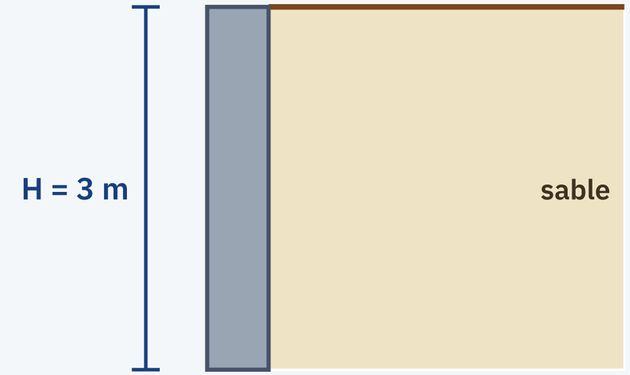
EXEMPLE

À DÉTERMINER

Géométrie du plus petit coin d'essai et $\mathbf{P_p}$, $\mathbf{K_p}$; comparaison avec plusieurs coins d'essai. Le module s'ouvre avec ce mur.

Données

Mur	$H = 3$ **m, vertical ; remblai horizontal**
Sol	**sable sec :** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°$ **;** **frottement sol-écran** $\delta' = 15°$



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (butée)

Solution (1/2)

SOLUTION

1 Géométrie (AC à 45° − 15° = 30° sur l'horizontale)

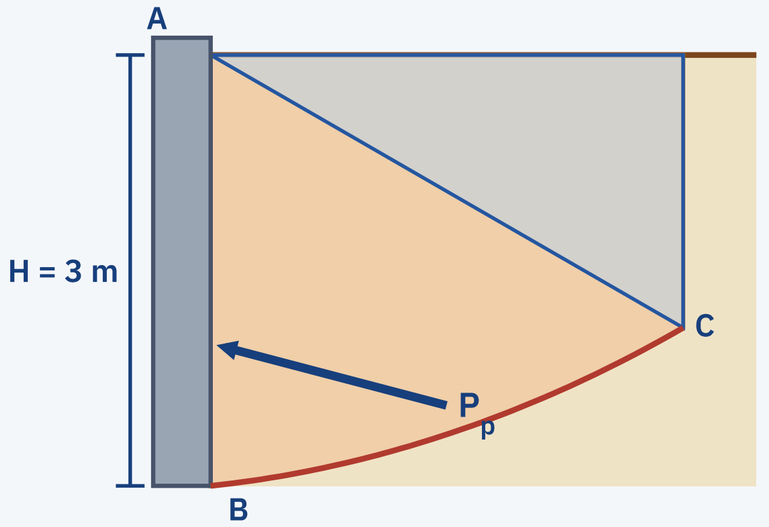
$$t = 3.80\ \text{m}: \quad C = (3.29;\ 1.10)\ \text{m}, \quad d = H - y_C = 1.90\ \text{m}$$

$$O = (-3.76;\ 5.17)\ \text{m}, \quad r_0 = OB = 6.39\ \text{m}, \quad r_1 = OC = 8.14\ \text{m}$$

2 Angle de la spirale et poids du coin

$$\omega = \ln(r_1/r_0)/\tan 30^\circ = 23.97^\circ$$

$$W = \gamma A_{ABCC'} = 15.7\,(8.480) = \mathbf{133.14}\ \text{kN/m}$$



Solution (2/2)

SOLUTION

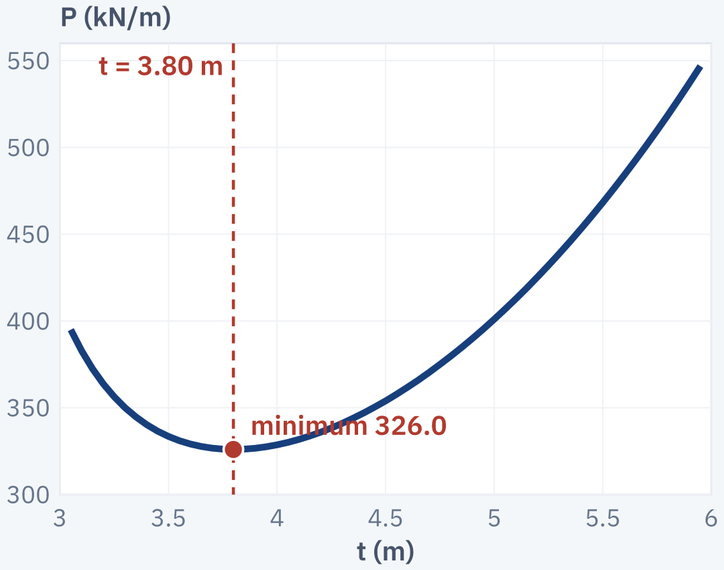
3 Zone de Rankine : $P_d = \frac{1}{2}\gamma d^2 \tan^2 60°$

$$P_d = \tfrac{1}{2}(15.7)(1.899)^2(3) = \mathbf{84.96}\ \mathrm{kN/m}$$

4 Moment par rapport à O (bras de levier l_W = 5.289, $|l_1|$ = 3.438, l_P = 3.056 m)

$$P = \frac{W\, l_W + P_d\, |l_1|}{l_P} = \frac{133.14(5.289) + 84.96(3.438)}{3.056} = \mathbf{326.03}\ \mathrm{kN/m}$$

La plus petite force d'essai est **P_p = 326.0 kN/m** (t = 3.80 m) ; $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$ = **4.615**. Pour t plus petit ou plus grand, la force augmente (t = 3.2 m : 363.8 ; t = 4.5 m : 354.0 kN/m) : la butée est donc donnée par le coin d'essai de force **minimale**.



Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Spirale et autres solutions

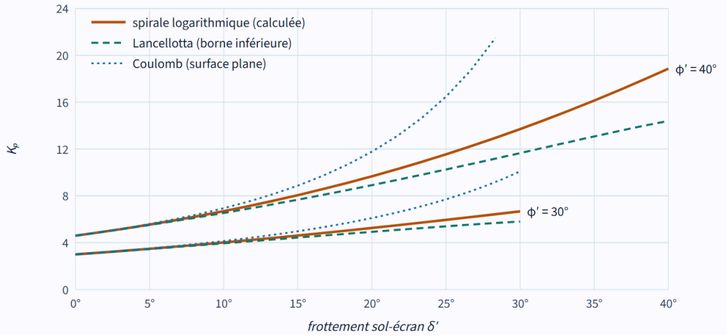
THÉORIE

Autres solutions pour un mur vertical et un remblai horizontal (toutes avec $P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma H^2$) :

Shields–Tolunay (méthode des tranches, tableau), Sokolowskiĭ (méthode des caractéristiques, tableau), Zhu–Qian (tranche triangulaire, tableau) et solution analytique fermée de **Lancellotta (2002)** (borne inférieure) :

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

φ′	δ′	Spirale logarithmique	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 donne la borne inférieure, la spirale logarithmique la borne supérieure ; la méthode des caractéristiques se situe entre les deux, très proche de la spirale.

Coulomb surestime pour δ′ grand (φ′ = δ′ = 40° : 92.6).

Énoncé

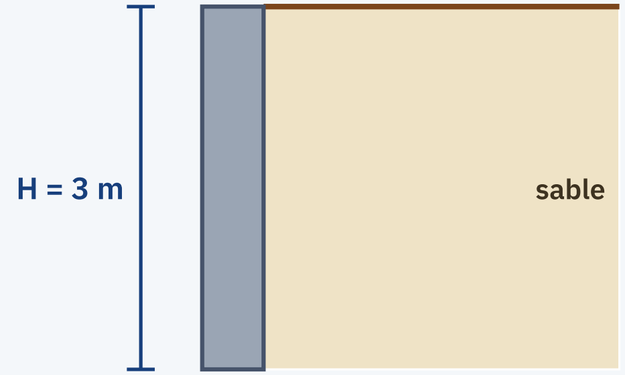
EXEMPLE

Données

Mur et sol	**Mur de l'exemple 2 :** $H = 3$ **m,** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$

À DÉTERMINER

Le K_p de **Lancellotta** pas à pas ; la valeur de P_p des cinq solutions et leur classement.



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (butée)

Solution (1/2)

SOLUTION

1 Lancellotta (borne inférieure) : 2θ et K_p

$$2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin 15^\circ}{\sin 30^\circ} + 15^\circ = 31.17^\circ + 15^\circ = 0.8059\ \text{rad}$$

$$K_p = \frac{\cos 15^\circ}{1-\sin 30^\circ}\left(\cos 15^\circ + 0.4278\right) e^{0.8059\tan 30^\circ}\frac{1}{\cos 15^\circ} = \mathbf{4.439}$$

Solution (2/2)

SOLUTION

2 Cinq solutions ($P_p = ½K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$)

Solution	K_p	P_p (kN/m)
Coulomb (1776), surface plane	4.977	351.6
Terzaghi & Peck (spirale logarithmique)	4.615	326.0
Shields & Tolunay (1973)	4.280	302.4
Zhu & Qian (2000)	4.575	323.2
Lancellotta (2002)	4.439	313.6

La solution de Coulomb à surface plane donne la valeur la plus élevée (351.6 kN/m) ; les solutions à surface courbe se regroupent dans l'intervalle **302–326 kN/m**. Lancellotta (borne inférieure) donne 313.6 et la spirale logarithmique (borne supérieure) 326.0 kN/m.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

EXEMPLE

Données

Sol	**sable, $\varphi' = 30^\circ$; mur vertical, remblai horizontal**
Variable	$\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 30^\circ$

À DÉTERMINER

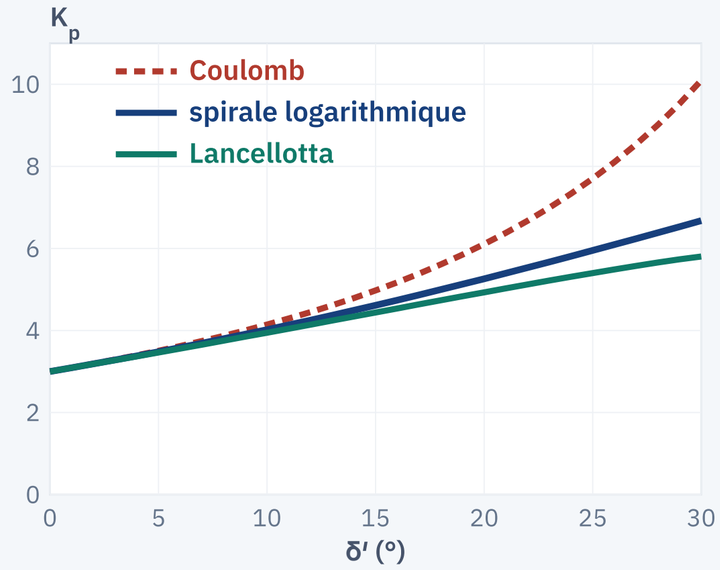
Pour chaque δ′, $\mathbf{K_p}$ (spirale log., Lancellotta, Coulomb) et l'excédent de la solution de Coulomb.

Solution

SOLUTION

1 Quatre méthodes pour le même φ′ = 30°

δ′	Spirale logarithmique	Lancellotta	Coulomb	Coulomb / spirale
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



Pour δ′ = 0, les trois valeurs sont égales à celle de Rankine (3.00) ; à mesure que δ′ augmente, la spirale de Coulomb la dépasse rapidement : de 8 % pour δ′ = 15°, de 51 % pour δ′ = 30° (défavorable à la sécurité). En pratique, pour la butée, on utilise la spirale logarithmique ou δ′ ≤ φ′/2.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Remblai incliné, surface en pente, surcharge, couche et eau

THÉORIE

Le module étend le coin de Terzaghi–Peck à un dos incliné de θ et à une surface inclinée de α : la zone comprise entre AC et la surface est à l'état de butée de Rankine de la surface inclinée ; la spirale est tracée à partir du point O situé sur AC ; la spirale peut dégénérer en plan (le plan de Coulomb est lui aussi un mécanisme, et la plus petite des deux valeurs est retenue).

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

Les contributions du poids du sol (H/3) et de la surcharge (H/2) sont déterminées à partir de leurs propres coins d'essai minimaux. Dans un remblai **stratifié**, chaque couche prend ses propres valeurs de $K_{p\gamma}$ et K_{pq} ; le poids des terres sus-jacentes agit comme une surcharge ; **sous l'eau**, γ′ est utilisé et u est ajoutée perpendiculairement au dos de l'écran :

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

Cas (δ′ = φ′ = 30°)	Abaques de K_p (Caquot–Kerisel)	Module K_p	Écart
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 %

$K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (dans la méthode de Caquot–Kérisel, la longueur du dos du mur $H_1 = H/\cos\theta$ est prise à la place de H). Cette extension aux terrains stratifiés est une extension d'ingénierie propre au module.

CAQUOT – KERISEL R′

Les abaques de Caquot–Kerisel sont établis pour δ′ = φ′ ; pour un autre δ′, $K_p = R'K_{p(\delta'=\varphi')}$. Pour φ′ = 30°, δ′/φ′ = 0.5, R′ = 0.746.

Exemple 5 · Crête inclinée

Énoncé

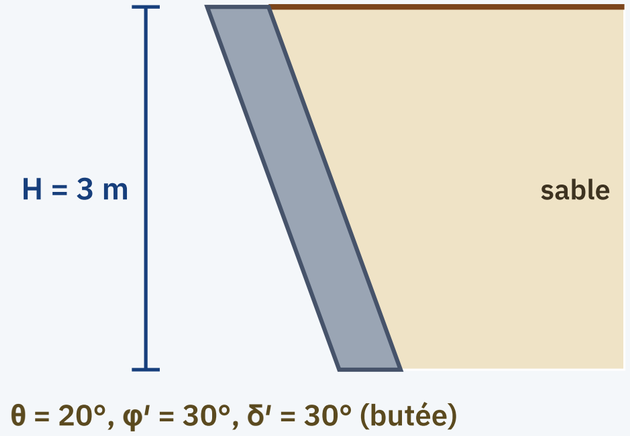
EXEMPLE

Données

Mur	$H = 3$ m ; parement incliné de $\theta = 20°$ sur la verticale ; remblai horizontal
Sol	sable sec : $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$; $\delta' = 30° = \varphi'$

À DÉTERMINER

$K_{p\gamma}$, P_p ; comparaison avec K_p de l'abaque ; comparaison avec un mur à dos vertical.



Solution

SOLUTION

1 Coefficient de spirale (module ; δ′ = φ′ = 30°, θ = 20°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.321} \qquad K_{pq} = 4.127$$

2 Comparaison avec la force et l'abaque

$$P_p = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(4.321)(15.7)(9) = \mathbf{305.3}\ \mathrm{kN/m}$$

$$K_p = K_{p\gamma} \cos^2 20^\circ = 4.321(0.8830) = \mathbf{3.82}\ (\text{abaque } 3.84)$$

P_p = **305.3 kN/m** ; dans le même sol, un mur à dos vertical (θ = 0, δ′ = 30°) donnerait 471.8 kN/m : un dos incliné de 20° **réduit** la butée de 35 %. Écart avec l'abaque : 0.6 %.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

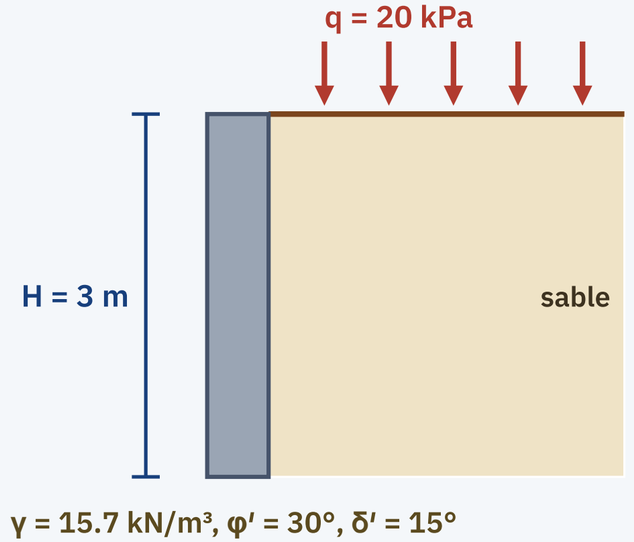
EXEMPLE

Données

Mur et sol	**Mur de l'exemple 2 :** $H = 3$ **m,** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Surcharge	$q = 20$ **kPa (sur surface horizontale)**

À DÉTERMINER

Contributions du sol et de la surcharge, total $\mathbf{P_p}$ et $\bar{\mathbf{z}}$.



Solution

SOLUTION

1 Coefficients (module, δ′ = 15°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.615} \qquad K_{pq} = \mathbf{4.532} \qquad q_e = 20\ \mathrm{kPa}$$

2 Forces : sol (bras de levier H/3 = 1.00 m) + surcharge (bras de levier 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 Total et position

$$P_p = 326.03 + 271.90 = \mathbf{597.94}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{326.03(1.00) + 271.90(1.50)}{597.94} = \mathbf{1.23}\ \mathrm{m}$$

P_p = **597.9 kN/m**, $\bar{z}$ = **1.23 m** (1.00 m sans surcharge) ; la part de la surcharge représente 83 % de celle du sol.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

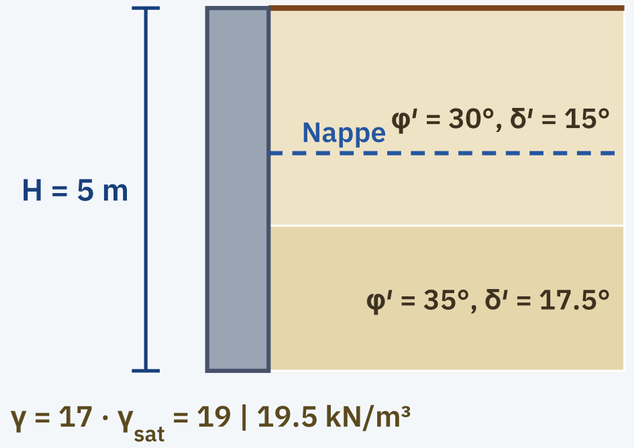
EXEMPLE

Données

Mur	$H = 5$ **m, vertical ; remblai horizontal ; pas de surcharge**
Couche 1 (0–3 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Couche 2 (3–5 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 35°,\ \delta' = 17.5°$
Nappe phréatique	**à 2 m de profondeur**

À DÉTERMINER

Saut de pression à l'interface des couches, composantes, **P**, β et **z̄**.



Solution (1/2)

SOLUTION

1 Coefficients (module)

$$\text{couche } 1 : K_{p\gamma} = 4.615$$

$$\text{couche } 2 : K_{p\gamma} = 6.522,\ K_{pq} = 6.351$$

2 Contraintes : σ′$_v$(2) = 34 ; σ′$_v$(3) = 43.19 ; σ′$_v$(5) = 62.57 kPa

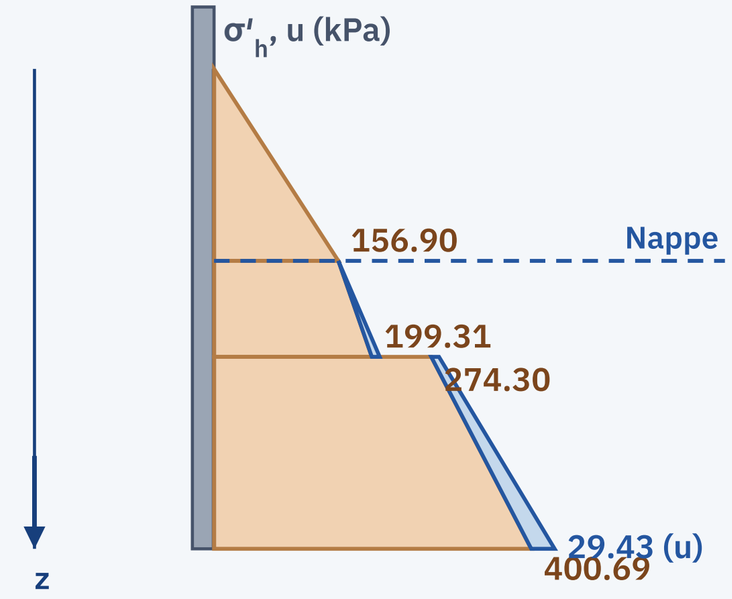
$$p(2) = 4.615(34) = 156.90$$

$$p(3^-) = 4.615(43.19) = 199.31$$

$$p(3^+) = K_{pq}\sigma'_v(3) = 6.351(43.19) = \mathbf{274.30}$$

$$p(5) = 274.30 + 6.522(19.38) = \mathbf{400.69}\ \text{kPa}$$

$$u(5) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



Solution (2/2)

SOLUTION

3 Forces et composantes le long du dos (avec δ′ de la couche)

$$P_s = 335.0 + 675.0 = 1{,}010.0 \text{ kN/m}$$

$$N_s = 967.3 \qquad T = 289.7 \text{ kN/m}$$

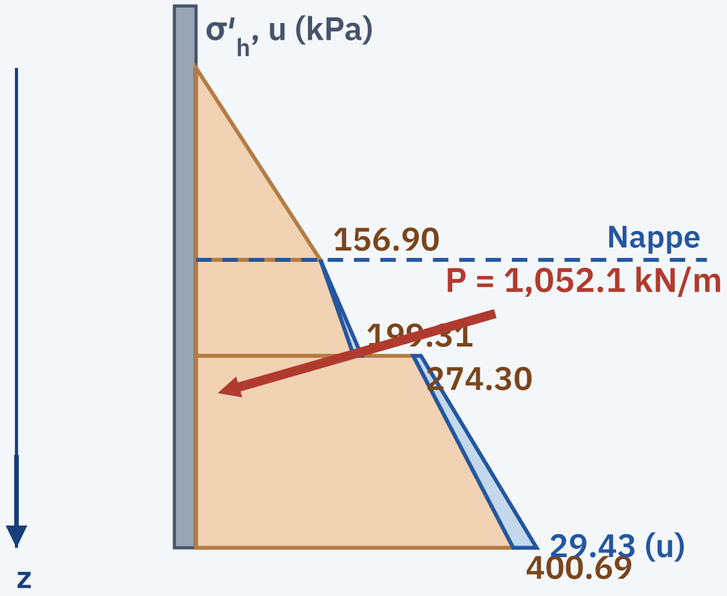
$$N_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.15 \text{ kN/m (perpendiculaire à la crête)}$$

4 Résultante et point d'application

$$N = N_s + N_w = 1{,}011.5 \qquad P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{1{,}052.1} \text{ kN/m}$$

$$\beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 15.98^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.61} \text{ m}$$

P = **1,052.1 kN/m**, β = 16.0°, à 1.61 m au-dessus de la base. La part de l'eau n'est que de 44.1 kN/m (4 %) : en butée, la résistance du sol est très grande par rapport à celle de l'eau ; à la limite, p passe brusquement de 199.3 à 274.3 kPa.



Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Étendue de la solution

THÉORIE

Sol granulaire (c′ = 0) ; pour la butée avec cohésion, voir les modules de Rankine et de Coulomb.

La spirale logarithmique constitue la borne supérieure, Lancellotta la borne inférieure ; la résistance réelle se situe entre les deux. Le coin plan de Coulomb est du côté défavorable à la sécurité pour de grandes valeurs de δ′.

Le **coin généralisé** (dos incliné, surface inclinée, couche, eau, surcharge) constitue une extension d'ingénierie du module ; il n'existe pas de solution fermée pour un milieu stratifié ; les parts du poids du sol et de la surcharge sont déterminées à partir de leurs propres coins minimaux.

Validité : α < φ′ ; le dos du mur et la surface doivent se couper sous un angle suffisant ; si la spirale sort du sol ou si sa rotation est de sens inverse, il ne s'agit pas d'un mécanisme (le plan est le cas limite).

Pour le **séisme**, on utilise le module de butée sismique.

Synthèse

Points à retenir

Dans le cas de la butée, le coin plan est non sécuritaire : avec frottement sol-mur, la surface de rupture est courbe (spirale) au talon et plane près de la surface (zone de Rankine)

Spirale : $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; chaque rayon rencontre la courbe sous l'angle φ', la résultante passe par O ; aire $(r_1^2 - r_0^2)/(4 \tan \varphi')$

Terzaghi–Peck : $P = (W\, l_W + P_d\, l_1)/l_P$; la force P du coin d'essai **le plus petit** est la force de butée ; $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$

Lancellotta (borne inférieure, solution fermée), spirale (borne supérieure) ; Coulomb donne 5 fois plus pour $\varphi' = \delta' = 40°$

Coin généralisé : $P = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq}$; $K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (définition de l'abaque) ; couche par couche $\sigma' = [K_{pq}\sigma'_{v,sup} + K_{p\gamma}(\sigma'_v - \sigma'_{v,sup})]\cos\theta$

Mur de l'exemple ($H = 3$ m, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$) : Coulomb 351.6 · spirale 326.0 · Lancellotta 313.6 kN/m

Références bibliographiques

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.

REMARQUE

Tous les exemples numériques ont été produits avec le moteur de calcul propre du module ; le module donne les mêmes valeurs. Le module s'ouvre avec le mur de l'Exemple 2-3 (H = 3 m, δ′ = 15°).

GeoTerva

Calculs géotechniques en ligne

De la théorie à la pratique

Saisir dans GeoTerva l'inclinaison du dos de son propre mur, la pente du remblai, les couches, la surcharge et l'eau souterraine ; le module fournit ensemble la spirale critique, P_p et la hauteur d'application.

Ouvrir le module →

Page de théorie →

Ouvrir sur smartphone
Les modules d'essai ne nécessitent pas d'inscription.

Si vous souhaitez les utiliser dans vos cours : info@geoterva.com