شرائح محاضرات الجيوتكنيك · ضغط التربة الجانبي

ضغط التربة المنفعل: اللولب اللوغاريتمي

المحاضرة: حساب الضغط المنفعل المؤثر على جدار خشن مع سطح الانهيار المنحني (حلزون لوغاريتمي)، والإسفين التجريبي وفق Terzaghi–Peck، وحل Lancellotta، والمقارنة مع Coulomb؛ وظهر الجدار المائل والسطح المائل والطبقات والماء؛ ومثال محلول في كل موضوع.

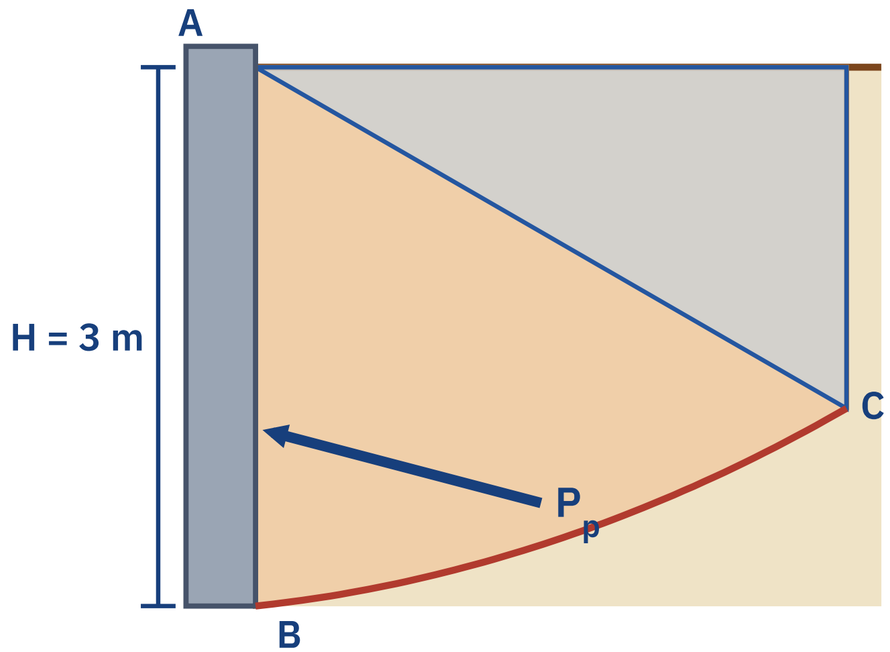
احتكاك الجدار

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

إسفين Terzaghi – Peck

Lancellotta · Coulomb

ظهر مائل · طبقة · ماء



يستند إلى صفحة النظرية في GeoTerva · geoterva.com

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

لماذا يلزم **سطح منحني** بدلاً من **إسفين مستوٍ** (Coulomb) في الجدار الخشن

اللولب اللوغاريتمي: $r' = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$؛ يقطع كل نصف قطر المنحنى بزاوية φ'، وتمر المحصلة عبر مركز اللولب

حساب P بتوازن العزوم على الإسفين التجريبي حسب **Terzaghi–Peck**؛ وإيجاد القوة من الإسفين التجريبي **الأصغر**

مقارنة K_p مع حل **Lancellotta** المغلق ومع Coulomb و Shields–Tolunay و Zhu–Qian

الإسفين المعمم للظهر المائل والسطح المائل والحمل الإضافي و**الطبقات والماء**

مدى **عدم أمان** Coulomb عند قيم δ' الكبيرة

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

1 · **النظرية**: ما القاعدة، ولماذا هي كذلك؟

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

القوى لكل وحدة طول من الجدار (kN/m)؛ $P_p = \tfrac{1}{2} K_p \gamma H^2$؛ واحتكاك الجدار δ' في الاتجاه الذي يسحب فيه الجدار التربة نحو الأسفل.

لماذا لا ينشأ سطح مستوٍ في حالة المقاومة؟

النظرية

سطح الانزلاق المستوي في طريقة Coulomb تقريب جيد للضغط **الفعال**؛ أما في المقاومة **المنفعلة** لجدار خشن فيعطي أكثر من المقاومة الحقيقية، وأكثر فأكثر كلما زاد احتكاك الجدار: **في الجانب غير الآمن**.

عندما يدفع الجدار إلى داخل التربة ترتفع التربة بالنسبة إلى الجدار؛ فيحرك الجدار التربة **إلى الأسفل** (احتكاك موجب بين الجدار والتربة) وتميل القوة المنفعلة بزاوية δ′ **إلى الأسفل** عن العمودي على وجه الجدار. وفي هذه الحالة يكون سطح الانهيار:

قرب مقدمة القاعدة (BC) يكون **منحنى** (لولب لوغاريتمي)

يكون الجزء القريب من السطح (CD) **مستقيماً**: يصنع زاوية 45° − φ′/2 مع الأفق؛ وتكون منطقة ACD في حالة Rankine المنفعلة

كم تزيد نظرية COULOMB؟

φ′ / δ′	حلزوني	Coulomb
15° / 30°	4.61	4.98
30° / 30°	6.68	10.10
20° / 40°	9.67	11.77
40° / 40°	18.86	92.59

معاملات K_p؛ عند φ′ = δ′ = 40° يعطي Coulomb قيمة أكبر 5 مرات.

الخاصية التي تجعل الحلزون مفيداً

النظرية

يؤخذ الجزء المنحني BC من سطح الانزلاق حلزوناً لوغاريتمياً مركزه O:

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

r_0 هو نصف القطر عند $\omega = 0$. خاصية الحلزون: **يلاقي كل نصف قطر المنحنى بزاوية φ′**. وفي التربة الحبيبية تصنع محصلة القوة العمودية وقوة القص على سطح الانهيار أيضاً زاوية φ′ مع العمودي؛ أي أن المحصلة على الحلزون تمتد على طول نصف قطر **وتمر بالنقطة O**: ولذلك لا تظهر في معادلة العزوم حول O.

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

هي مساحة الشريحة الواقعة بين r_0 و r_1؛ وتحدد الوحدة مساحة الإسفين ومركز ثقله عددياً.



للقوى العمودية و F المحصلة
ϕ′ قوى القص على الحلزون (عند
— بالنسبة للعمودي) تقع على نصف القطر
O فهي تمر عبر

المسألة

مثال

المعطيات

حلزوني	**المركز O؛ نصف القطر الابتدائي** $r_0 = 1.00$ m؛ $\varphi' = 30^\circ$
الزاوية	$\omega = 60^\circ$ و $\omega = 90^\circ$

المطلوب

r_1، وزاوية نصف القطر مع المنحنى، و**مساحة** القطاع الدائري.

الحل

الحل

1 ω = 60° = 1.0472 rad

$$r_1 = r_0 e^{\omega \tan\varphi'} = 1.00\, e^{1.0472 \times 0.5774} = 1.00\, e^{0.6046}$$

$$r_1 = \mathbf{1.831}\ \text{m}$$

2 مساحة القطاع

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

3 عند ω = 90°

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

يتضاعف نصف القطر في كل راديان بمقدار $e^{\tan\varphi'} = 1.781$ مرة؛ وعند ω = 60° يكون $r_1 = 1.831$ m وتبلغ المساحة 1.018 m². ويصنع نصف القطر مع المنحنى **زاوية φ′ = 30° عند كل نقطة**؛ ولذلك تمر المحصلة بالنقطة O.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

طريقة Terzaghi و Peck (1967)

النظرية

للجدار الرأسي AB الذي ارتفاعه H:

يُرسم من A الخط AC أسفل السطح بزاوية **45° − φ′/2**؛ وتُختار عليه نقطة C.

يوجد مركز المنحنى الحلزوني الذي نصف قطره $r_0 = OB$ ويمر بالنقطة B ويصل إلى النقطة C ($r_1 = OC = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$) عند النقطة **O** على الخط المستقيم AC.

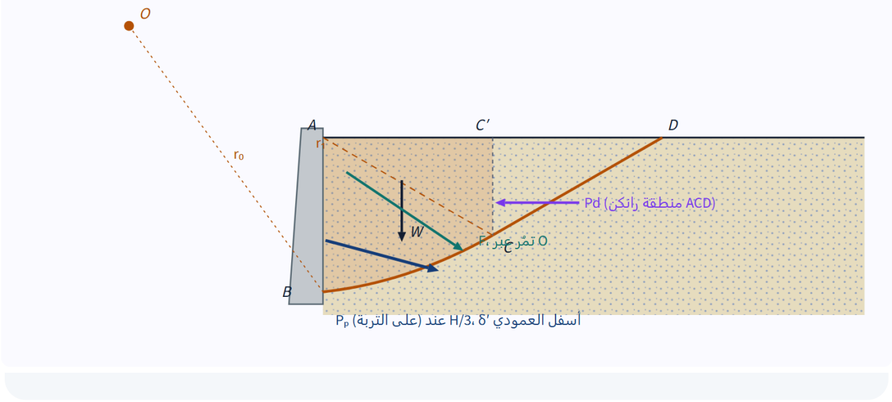
يحمل الوجه CC′ قوة Rankine المنفعلة للمنطقة ACD (أفقية، على ارتفاع d/3 فوق C):

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

العزم حول O للوزن W للإسفين ABCC′ وللقوة P_d ولقوة الجدار P (عند H/3، بزاوية δ′ أسفل العمود) (تمر المحصلة بالنقطة O):

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

تتكرر المحاولة لعدة قيم C؛ وأصغر قوة هي القوة المنفعلة. وعند δ′ = 0 يتحول إلى المستوى الحلزوني وتكون $K_p = \tan^2(45° + \varphi'/2)$.



المسألة

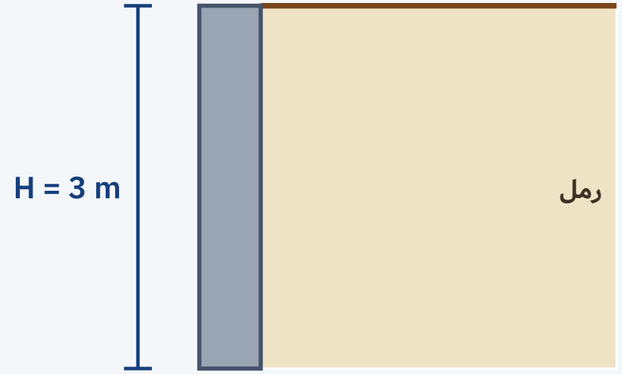
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 3$ m، رأسي؛ ردم أفقي
التربة	رمل جاف: $\gamma = 15.7$ kN/m^3، $\varphi' = 30^\circ$؛ احتكاك الجدار $\delta' = 15^\circ$

المطلوب

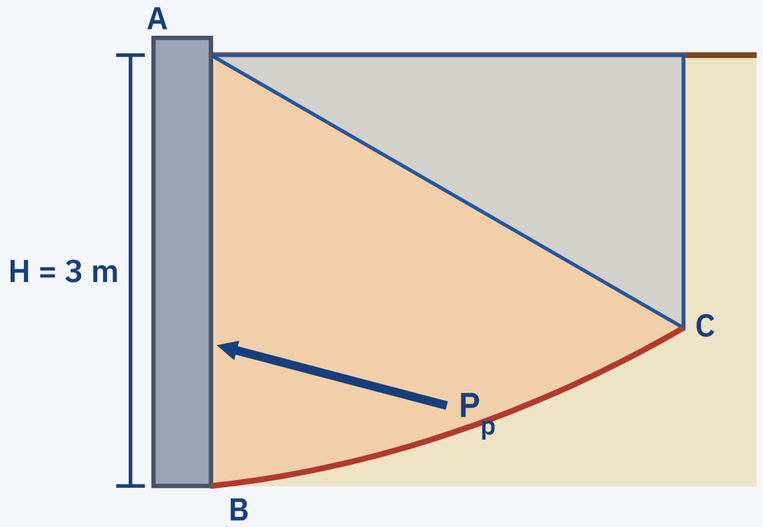
هندسة أصغر إسفين تجريبي، و P_p و K_p؛ ومقارنة مع عدة أسافين تجريبية. تفتح الوحدة على هذا الجدار.



γ = 15.7 kN/m³، φ′ = 30°، δ′ = 15° (منفعل)

الحل (1/2)

الحل



1 الشكل الهندسي (AC مع الأفقي: 45° − 15° = 30°)

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

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

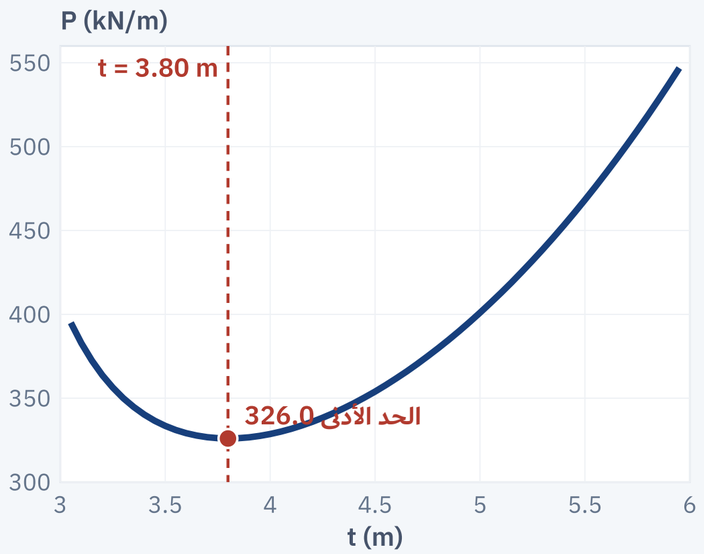
2 زاوية الحلزون ووزن الإسفين

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

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

الحل (2/2)

الحل



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

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

4 العزم حول O (الأذرع $l_W = 5.289$، $|l_1| = 3.438$، $l_P = 3.056$ m)

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

أصغر قوة تجريبية هي P_p **= 326.0 kN/m** (t = 3.80 m)؛ و K_p = **4.615** = $2P_p/(\gamma H^2)$. وعند قيم t الأصغر أو الأكبر تزداد القوة (t = 3.2 m: 363.8؛ t = 4.5 m: 354.0 kN/m)، أي أن القوة المنفعلة هي قوة الإسفين التجريبي **الأصغر**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

الحلول الحلزونية وغيرها

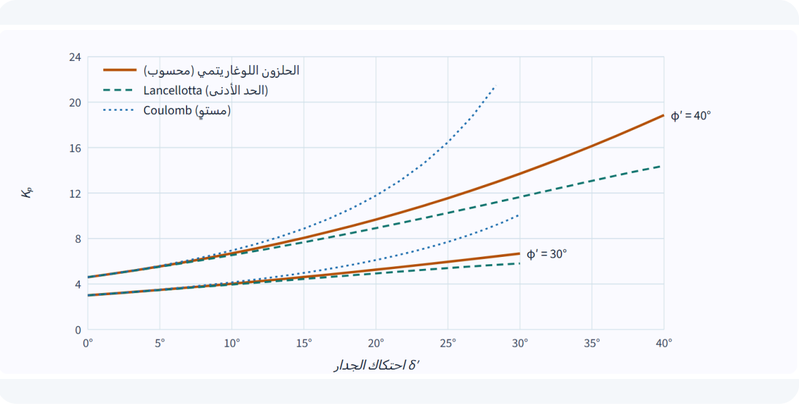
جدار رأسي وردم أفقي: حلول أخرى (جميعها $P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2$): Shields–Tolunay (طريقة الشرائح، جدول)، Sokolowskiĭ (طريقة الخطوط المميزة، جدول)، Zhu–Qian (شريحة مثلثية، جدول)، وحل **Lancellotta (2002)** بصيغة مغلقة (الحد الأدنى):

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

φ′	δ′	حلزون لوغاريتمي	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 هو الحد الأدنى، والحلزون اللوغاريتمي هو الحد الأعلى؛ وتقع طريقة الخطوط المميزة بينهما، وهي قريبة جداً من الحلزون.

يعطي Coulomb قيمة مبالغاً فيها عند قيم δ′ الكبيرة (92.6 :φ′ = δ′ = 40°).



المسألة

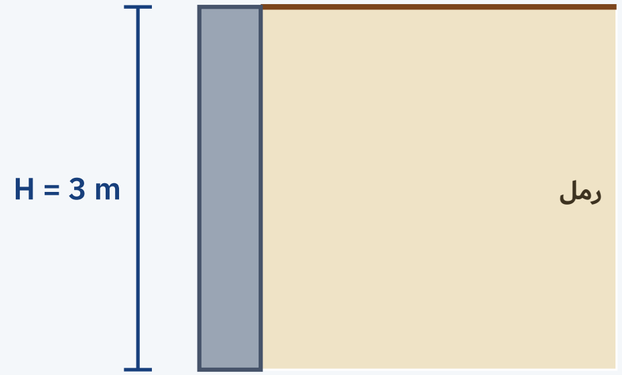
مثال

المطلوب

Lancellotta لقيمة K_p خطوة بخطوة؛ قيم P_p للحلول الخمسة وترتيبها.

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار في المثال 2:** $H = 3$ m، $\gamma = 15.7$ kN/m^3، $\varphi' = 30^\circ$، $\delta' = 15^\circ$



γ = 15.7 kN/m³، φ′ = 30°، δ′ = 15° (منفعل)

الحل (1/2)

الحل

1 Lancellotta (الحد الأدنى): 2θ و K_p

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

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

الحل (2/2)

الحل

2 خمسة حلول ($P_p = ½K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$)

الحل	K_p	P_p (kN/m)
Coulomb (1776)، السطح المستوي	4.977	351.6
Terzaghi & Peck (الحلزون اللوغاريتمي)	4.615	326.0
Shields & Tolunay (1973)	4.280	302.4
Zhu & Qian (2000)	4.575	323.2
Lancellotta (2002)	4.439	313.6

يعطي حل Coulomb المستوي القيمة الأكبر (351.6 kN/m)؛ وتتجمع حلول السطوح المنحنية في المدى **302–326 kN/m**. ويعطي Lancellotta (الحد الأدنى) 313.6، والحلزون اللوغاريتمي (الحد الأعلى) 326.0 kN/m.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

المعطيات

التربة	**رمل، $\varphi' = 30^\circ$؛ جدار رأسي، ردم أفقي**
المتغير	$\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 30^\circ$

المطلوب

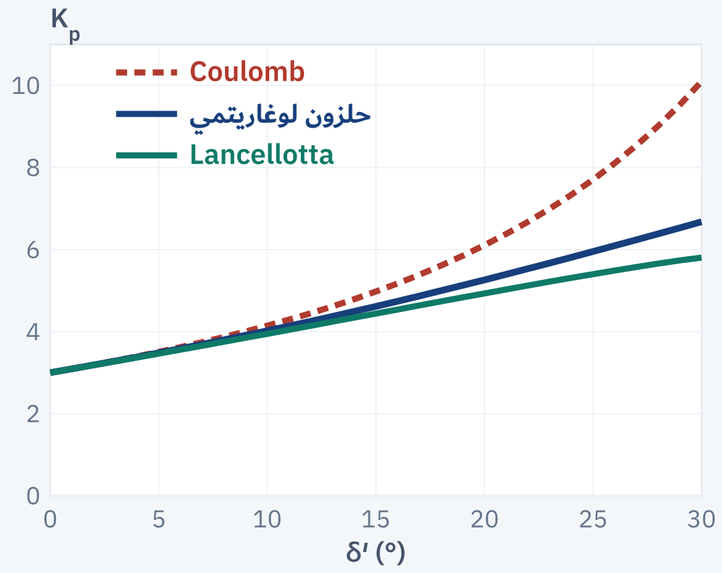
لكل K_p، δ' (اللولب اللوغاريتمي، Lancellotta، Coulomb) والزيادة على Coulomb.

الحل

الحل

1 أربع طرق لقيمة $\varphi' = 30°$ نفسها

δ'	حلزون لوغاريتمي	Lancellotta	Coulomb	Coulomb / حلزوني
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



عند $\delta' = 0$ تتساوى الطرق الثلاث مع Rankine (3.00)؛ وكلما ازدادت δ' يتجاوزه حلزون Coulomb بسرعة: بزيادة 8% عند $\delta' = 15°$ و 51% عند $\delta' = 30°$ (غير آمن). وعملياً يُستخدم للمقاومة المنفعلة الحلزون اللوغاريتمي أو $\delta' \le \varphi'/2$.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

ظهر الجدار المائل، السطح المائل، الحمل الإضافي، الطبقة والماء

النظرية

توسع الوحدة إسفين Terzaghi–Peck ليشمل ظهرا مائلا بزاوية θ وسطحا مائلا بزاوية α: فالمنطقة الواقعة بين AC والسطح في حالة Rankine المنفعلة للسطح المائل؛ ويرسم الحلزون من النقطة O الواقعة على AC؛ ويمكن أن يتحول الحلزون إلى مستو (ومستوي Coulomb آلية انهيار أيضا، ويؤخذ الأصغر من الاثنين).

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

تحسب مساهمتا وزن التربة (H/3) والحمل الإضافي (H/2) من إسفينيهما التجريبيين الأصغر لكل منهما. وفي الردم **المتعدد الطبقات** تأخذ كل طبقة قيمتي $K_{p\gamma}$ و K_{pq} الخاصتين بها؛ ويؤثر وزن التربة التي تعلوها كحمل إضافي؛ وتحت **الماء** تضاف γ′ و u عموديا على ظهر الجدار:

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

الحالة (δ′ = φ′ = 30°)	مخططات K_p (Caquot–Kerisel)	معامل K_p	الفرق
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% −

(وفي طريقة Caquot–Kerisel يؤخذ طول الظهر $H_1 = H/\cos\theta$ بدلاً من H). وهذا الامتداد الطبقي هو الامتداد الهندسي للوحدة. $K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$

CAQUOT – KERISEL R′

مخططات Caquot–Kerisel معدة للحالة δ′ = φ′؛ ولقيم δ′ الأخرى تكون $K_p = R'K_{p(\delta'=\varphi')}$. وعند φ′ = 30° و δ′/φ′ = 0.5 تكون R′ = 0.746.

المسألة

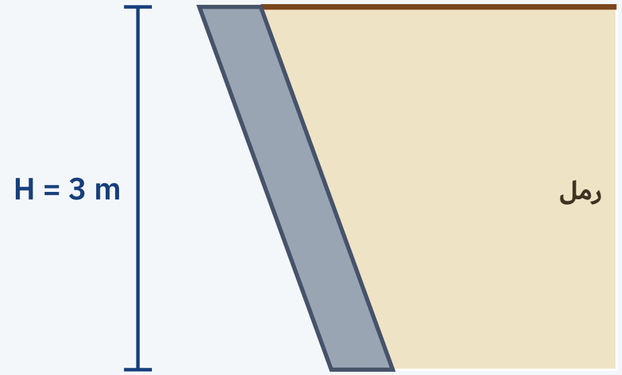
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 3$ m؛ **الظهر مائل بزاوية** $\theta = 20^\circ$ **عن الرأسي؛ ردم أفقي**
التربة	**رمل جاف:** $\gamma = 15.7$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$؛ $\delta' = 30^\circ = \varphi'$

المطلوب

P_p، $K_{p\gamma}$؛ المقارنة مع K_p من المخطط البياني؛ المقارنة مع جدار ذي ظهر رأسي.



θ = 20°، φ′ = 30°، δ′ = 30° (المنفعل)

الحل

الحل

1 معامل الحلزون (الوحدة؛ $\delta' = \varphi' = 30°$، $\theta = 20°$)

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

2 المقارنة بالقوة وبالمخطط

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

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

P_p = **305.3 kN/m**؛ وفي التربة نفسها كان الجدار ذو الظهر الرأسي ($\theta = 0$، $\delta' = 30°$) سيعطي 471.8 kN/m: أي إن الظهر المائل بزاوية 20° **يخفض** المقاومة المنفعلة بنسبة 35%. والفرق عن المخطط البياني 0.6%.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

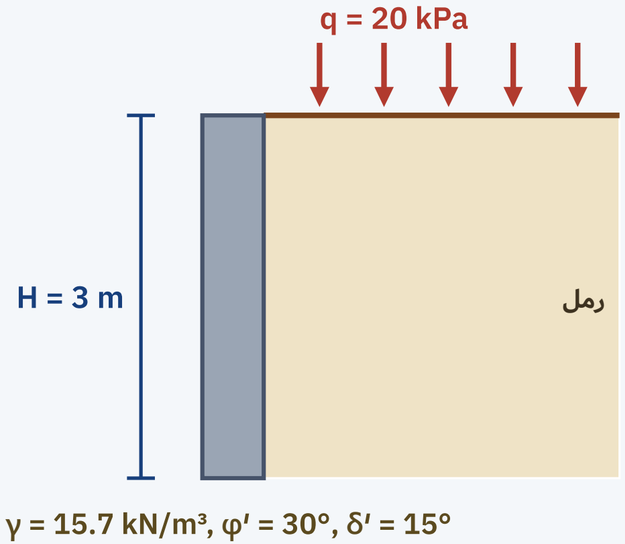
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار في المثال 2:** $H = 3$ m، $\gamma = 15.7$ kN/m^3، $\varphi' = 30^\circ$، $\delta' = 15^\circ$
الحمل الإضافي	$q = 20$ kPa **(على السطح الأفقي)**

المطلوب

حصتا التربة والحمل الإضافي، والمجموع P_p و $\bar{z}$.



الحل

الحل

1 المعاملات (معامل المرونة، $\delta' = 15°$)

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

2 القوى: التربة (ذراع العزم $H/3 = 1.00$ m) + الحمل الإضافي (ذراع العزم $H/2 = 1.50$ m)

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = 326.03 \text{ kN/m}$$

$$P_q = K_{pq} q_e H = 4.532(20)(3) = 271.90 \text{ kN/m}$$

3 الإجمالي والموقع

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

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

P_p = **597.9 kN/m**، $\bar{z}$ = **1.23 m** (بدون حمل إضافي 1.00 m)؛ وحصة الحمل الإضافي 83% من حصة التربة.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

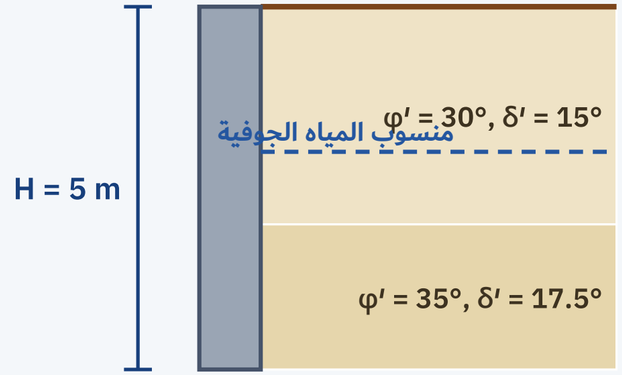
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 5$ m، رأسي؛ ردم أفقي؛ دون حمل إضافي
الطبقة 1 (0–3 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19\ \text{kN/m}^3,\ \varphi' = 30^\circ,\ \delta' = 15^\circ$
الطبقة 2 (3–5 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19.5\ \text{kN/m}^3,\ \varphi' = 35^\circ,\ \delta' = 17.5^\circ$
المياه الجوفية	**عند عمق 2 m**

المطلوب

قفزة الضغط عند حد الطبقة، المركبات، **P** وβ و**z̄**.



$\gamma = 17 \cdot \gamma_{sat} = 19 \mid 19.5\ \text{kN/m}^3$

الحل (1/2)

الحل

1 المعاملات (معامل المرونة)

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

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

2 الإجهادات: $\sigma'_v(2) = 34$؛ $\sigma'_v(3) = 43.19$؛ $\sigma'_v(5) = 62.57$ kPa

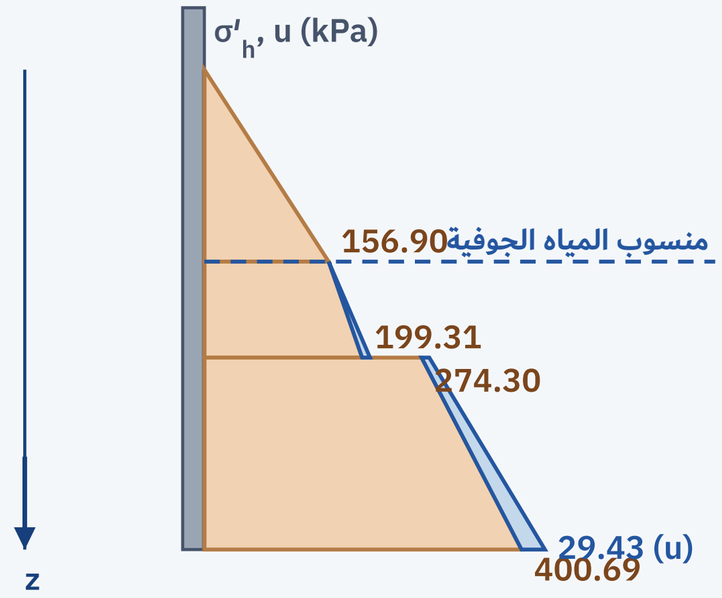
$$p(2) = 4.615(34) = 156.90$$

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

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

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

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



الحل (2/2)

الحل

3 القوى والمركبات على طول الظهر (مع زاوية احتكاك الجدار δ′ للطبقة)

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

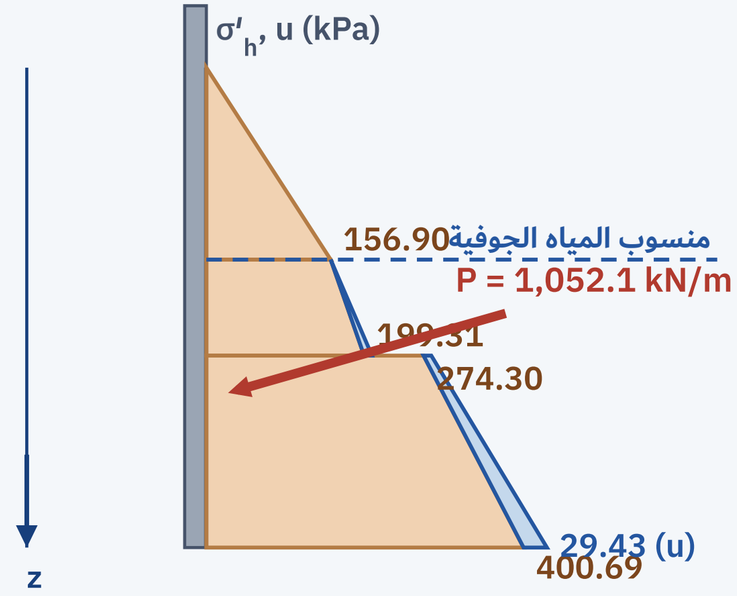
$$N_s = 967.3 \qquad T = 289.7 \text{ kN/m}$$

$$N_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.15 \text{ kN/m} \quad \text{(عمودي على الحافة)}$$

4 المحصلة وموقعها

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

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



β = 16.0°، P = **1,052.1 kN/m**، على ارتفاع 1.61 m فوق القاعدة. وحصة الماء 44.1 kN/m فقط (4%): ففي الحالة المنفعلة تكون مقاومة التربة كبيرة جداً مقارنة بالماء؛ وعند الحد يقفز p من 199.3 إلى 274.3 kPa.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

نطاق الحل

النظرية

تربة حبيبية ($c' = 0$)؛ للضغط المنفعل المتماسك راجع وحدتي Rankine وCoulomb.

اللولب اللوغاريتمي هو الحد الأعلى، ويمثل Lancellotta الحد الأدنى؛ وتقع المقاومة الفعلية بين الاثنين. ويكون حل Coulomb المستوي غير آمن عند قيم δ' الكبيرة.

الإسفين المعمم (ظهر مائل، سطح مائل، طبقات، ماء، حمل إضافي) هو امتداد هندسي للوحدة، ولا يوجد حل مغلق للتربة الطبقية؛ وتحسب حصتا وزن التربة والحمل الإضافي من إسفين أدنى خاص بكل منهما.

حدود الصلاحية: $\alpha' < \varphi$؛ ويجب أن يتقاطع ظهر الجدار مع السطح بزاوية كافية؛ وإذا خرج المنحنى الحلزوني من التربة أو كان دورانه في الاتجاه الخاطئ فلا يمثل آلية انهيار (والمستوي هو الحالة الحدية).

من أجل **الزلزال**، تُستخدم وحدة المنفعل الزلزالي.

النقاط الرئيسية

الإسفين المستوي غير آمن في الحالة المنفعلة: فمع احتكاك الجدار يكون سطح الانهيار منحنياً (حلزونياً) عند الكعب ومستوياً قرب السطح (منطقة Rankine)

الحلزون: $r' = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$؛ يلاقي كل نصف قطر المنحنى بزاوية φ'، وتمر المحصلة بالنقطة O؛ والمساحة $(r_1^2 - r_0^2)/(4 \tan \varphi')$

Terzaghi–Peck: $P = (W\, l_W + P_d\, l_1)/l_P$؛ والقوة P في **أصغر** إسفين تجريبي هي القوة المنفعلة؛ $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$

Lancellotta (الحد الأدنى، حل مغلق)، الحلزون (الحد الأعلى)؛ يعطي Coulomb قيمة أكبر 5 مرات عند $\varphi' = \delta' = 40°$

الإسفين المعمم: $P = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq}$؛ $K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (تعريف المخطط البياني)؛ طبقة بعد طبقة $\sigma' = [K_{pq}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma}(\sigma'_v - \sigma'_{v,top})]\cos\theta$

جدار المثال ($H = 3$ m, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$): Coulomb 351.6 · الحلزوني 326.0 · Lancellotta 313.6 kN/m

المراجع

.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

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية مولدة بمحرك الحساب الخاص بالوحدة؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. وتفتح الوحدة على الجدار الوارد في المثال 2-3 (H = 3 m، δ′ = 15°).

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل ميل ظهر الجدار الخاص بك وميل الردم والطبقات والحمل الإضافي والمياه الجوفية في GeoTerva؛ وتعطي الوحدة الحلزون الحرج و P_p وارتفاع نقطة تأثير المحصلة معاً.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

إذا رغبت في استخدامها في محاضراتك: info@geoterva.com