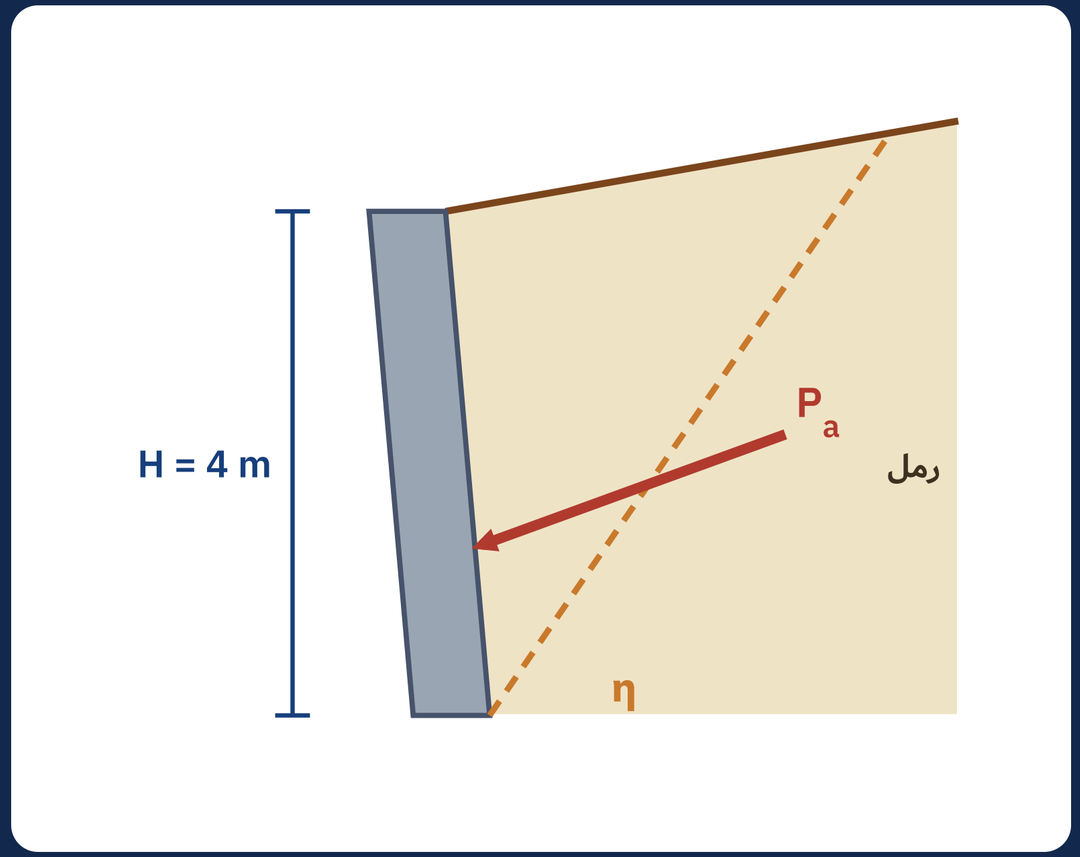


شرائح محاضرات الجيوتكنيك · ضغط التربة الجانبي

ضغط التربة الجانبي وفق Coulomb

المحاضرة: ضغط التربة الفعال والمنفعل وفق Coulomb لإسفين انزلاق مستوٍ خلف الجدار، مع احتكاك الجدار ووجه الجدار المائل والردم المائل؛ والحمل الإضافي والمياه الجوفية والردم الطبقي؛ مثال محلول في كل موضوع.

الإسفين التجريبي · احتكاك الجدار δ′ · الفعال والمنفعل · الحمل الإضافي · الماء · الطبقة · طبقة متماسكة

يستند إلى صفحة النظرية في GeoTerva · geoterva.com

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

- فكرة **الإسفين التجريبي** عند Coulomb: توازن القوى الثلاث (W, F, P_a) وأخطر إسفين
- كيفية تأثير احتكاك الجدار (δ') وميل وجه الجدار (θ) وميل الردم (α) في المعاملين K_a و K_p
- إدراك أن القوة **الفعالة** هي **الأكبر** بين الأسافين، وأن القوة **المنفعلة** هي **الأصغر** بين الأسافين
- إيجاد موضع القوة ($H/3$)، واتجاهها (δ' عن العمودي على الوجه)، ومركبتيها الأفقية والرأسية
- **الحمل الإضافي** ($q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$)، و**منسوب المياه الجوفية**، والردم الطبقي
- متى يكون حل Coulomb **غير آمن** في حالة الضغط المنفعل

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)؛ والزوايا بالدرجات؛ θ زاوية وجه الجدار مع الرأسي، و α زاوية الردم مع الأفقي.

إسفين Coulomb المستوي

النظرية

يعد Coulomb (1776) التربة خلف الجدار **إسفيناً جاسئاً** ينزلق على مستوى يمر بالكعب، ويأخذ في الحساب، خلافاً لـ Rankine، **الاحتكاك** بين الجدار والتربة. وفي الردم غير المتماسك تؤثر ثلاث قوى في الإسفين التجريبي:

W: وزن الإسفين

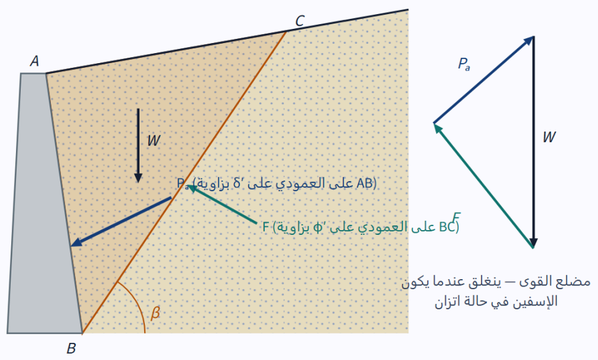
F: المحصلة المؤثرة على سطح الانزلاق BC، مائلة بزاوية φ′ عن العمودي على السطح

P_a: قوة الجدار، مائلة بزاوية δ′ عن العمودي على وجه الجدار

إذا كان المستوي يصنع مع الأفقي زاوية β فيطبق قانون الجيب على مضلع القوى:

$$\frac{W}{\sin(90^\circ + \theta + \delta' - \beta + \varphi')} = \frac{P_a}{\sin(\beta - \varphi')}$$

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \, \frac{\cos(\theta-\beta)\cos(\theta-\alpha)\sin(\beta-\varphi')}{\cos^2\theta \, \sin(\beta-\alpha) \, \sin(90^\circ+\theta+\delta'-\beta+\varphi')}$$



المسألة

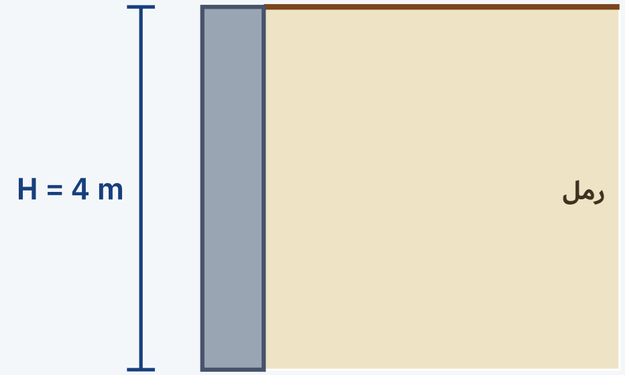
مثال

المعطيات

الجدار	**رأسي** ($\theta = 0$)؛ **سطح الردم أفقي** ($\alpha = 0$)، $H = 4$ m
التربة	**رمل جاف:** $\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 32^\circ$؛ **احتكاك الجدار** $\delta' = 16^\circ = \varphi'/2$

المطلوب

$P_a(\beta)$ لمستويات التجربة $\beta = 45^\circ$ و 60° و 75°؛ و**أكبر** قوة وزاويتها β.



الحل

الحل

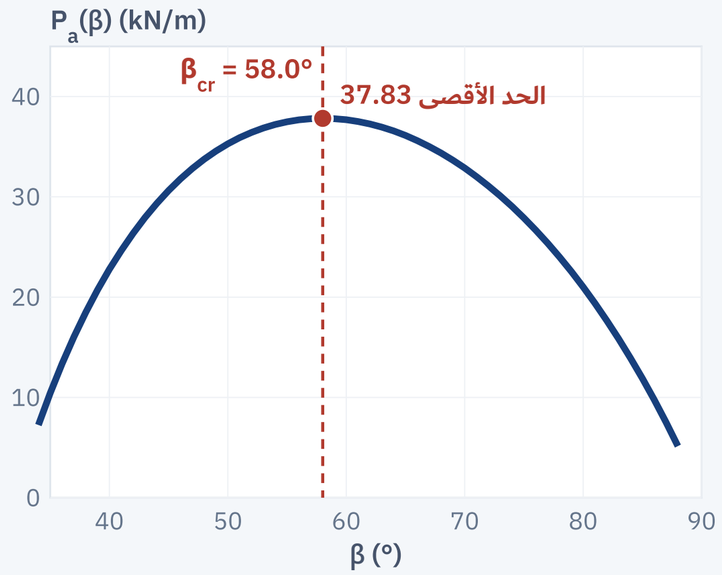
1 جدار رأسي، ردم أفقي: $\theta = \alpha = 0 \Rightarrow P_a(\beta) = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \cdot \cos\beta \sin(\beta - \varphi') / [\sin\beta \cos(\beta - \varphi' - \delta')]$

$$\beta = 45^\circ : \; P_a = \mathbf{30.64}\ \text{kN/m} \qquad \beta = 60^\circ : \; P_a = \mathbf{37.69}\ \text{kN/m}$$

$$\beta = 75^\circ : \; P_a = \mathbf{27.89}\ \text{kN/m}$$

2 أكبر إسفين تجريبي ($dP_a/d\beta = 0$)

$$\beta_{cr} = \mathbf{58.0^\circ} \qquad P_{a,max} = \mathbf{37.83}\ \text{kN/m}$$



أكبر الأسافين التجريبية ($\beta = 58.0^\circ$) هو قوة **37.83 kN/m** Coulomb الفعالة؛ أما الأسافين الأشد انحداراً أو الأكثر تسطحاً فتتطلب قوة أصغر. ويكفي أن يكون الجدار قادراً على احتجاز الإسفين الأخطر فقط.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

معامل الضغط الفعال لـ Coulomb K_a

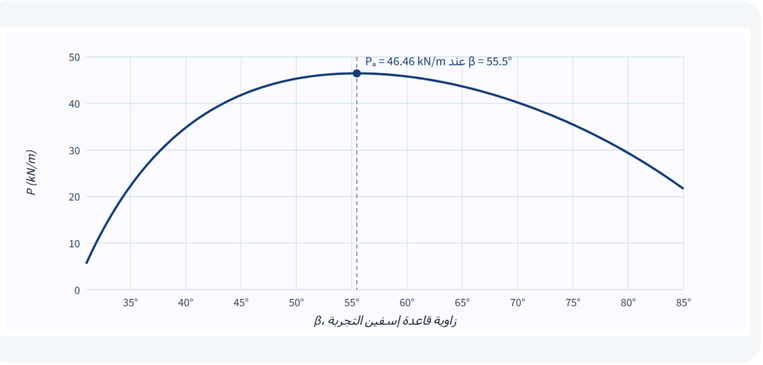
كان المجهول الوحيد هو β. والإسفين الأخطر الذي يجب أن يسنده الجدار هو الذي تبلغ عنده $P_a(\beta)$ أكبر قيمة ($dP_a/d\beta = 0$)؛ وحله:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' + \theta)\left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\delta' + \varphi')\sin(\varphi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2$$

δ′ = 25°	δ′ = 20°	δ′ = 15°	δ′ = 10°	δ′ = 5°	δ′ = 0°	φ′
0.3186	0.3203	0.3251	0.3330	0.3448	0.3610	28°
0.2745	0.2755	0.2791	0.2852	0.2945	0.3073	32°
0.2350	0.2354	0.2379	0.2426	0.2497	0.2596	36°
0.1995	0.1994	0.2011	0.2045	0.2098	0.2174	40°

تؤثر القوة على ارتفاع **H/3** فوق القاعدة، مائلة بزاوية **δ′** عن العمودي على وجه الجدار؛ وتصنع مع الأفق زاوية δ + θ′.

حالة Rankine من أجل α = θ = δ′ = 0. إن احتكاك الجدار **يُقلل** القوة الفعالة.



المسألة

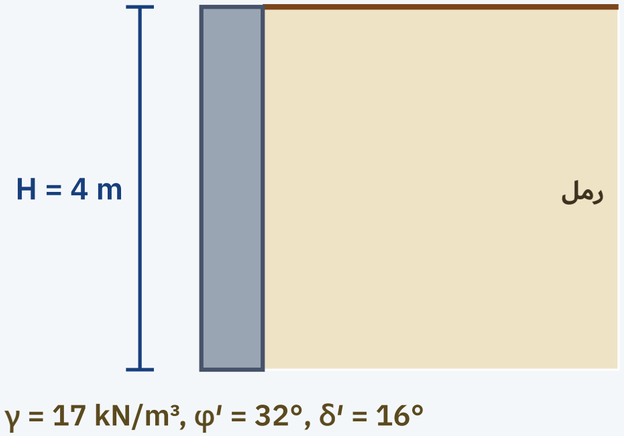
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار في المثال 1:** $H = 4$ m، $\theta = \alpha = 0$؛ $\gamma = 17$ kN/m^3، $\varphi' = 32^\circ$، $\delta' = 16^\circ$

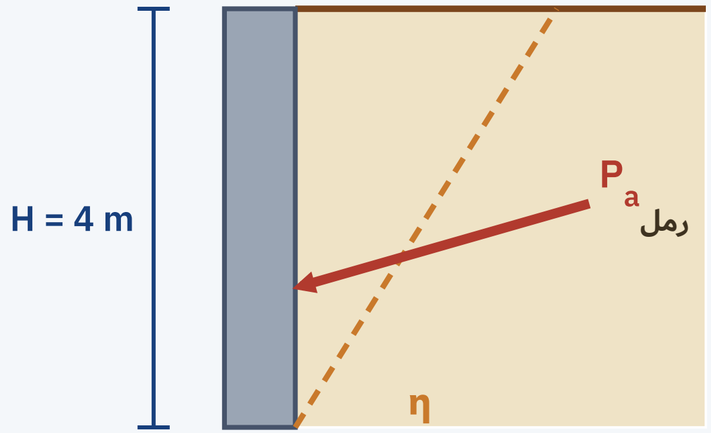
المطلوب

P_a، K_a، ارتفاع تأثير القوة، المركبتان الأفقية والرأسية؛ المقارنة مع Rankine.



الحل

الحل



1 المعامل (θ = α = 0)

$$\sqrt{\frac{\sin 48^\circ \sin 32^\circ}{\cos 16^\circ}} = 0.6401$$

$$K_a = \frac{\cos^2 32^\circ}{\cos 16^\circ \,(1+0.6401)^2} = \frac{0.7192}{2.5856} = \mathbf{0.2782}$$

2 القوة والموقع والمركبات (δ′ = 16° مع الأفق)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(0.2782)(17)(4)^2 = \mathbf{37.83}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = \tfrac{4}{3} = 1.33\ \text{m}$$

$$P_h = P_a \cos 16^\circ = 36.36 \qquad P_v = P_a \sin 16^\circ = 10.43\ \text{kN/m}$$

P_a = **37.83 kN/m**؛ وهي مطابقة لأكبر الأسافين التجريبية (المثال 1). وكانت طريقة Rankine ($\delta' = 0$، $K_a = 0.3073$) ستعطي 41.79 kN/m: أي أن احتكاك الجدار خفض القوة بنسبة 9%.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

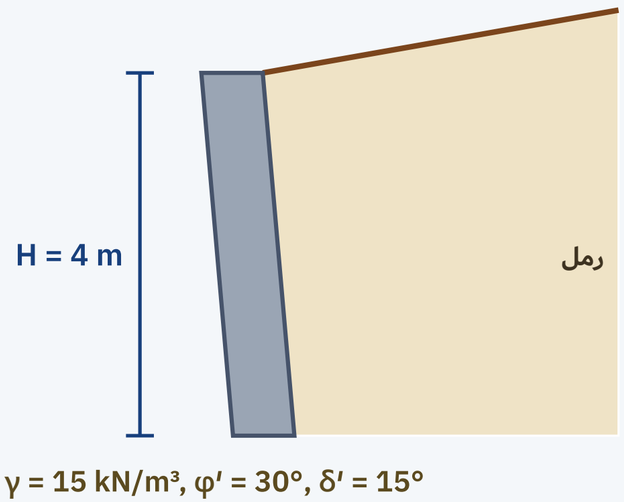
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 4$ m؛ **الوجه مائل عن الرأسي بزاوية** $\theta = 5^\circ$
الردم	$\gamma = 15$ kN/m^3، $\varphi' = 30^\circ$؛ **ميل السطح** $\alpha = 10^\circ$
احتكاك الجدار	$\delta' = 15^\circ$ $(\delta'/\varphi' = \frac{1}{2})$

المطلوب

K_a و P_a، واتجاهها وموضعها؛ والإسفين الحرج β. تبدأ الوحدة بهذا الجدار.



الحل (1/2)

الحل

1 حد البسط وحد الجذر

$$\cos^2(30^\circ - 5^\circ) = 0.8214 \qquad \cos^2 5^\circ \cos(15^\circ + 5^\circ) = 0.9326$$

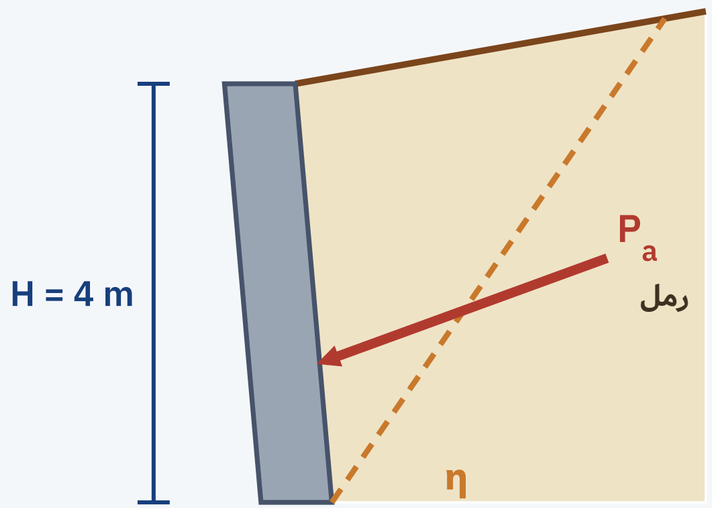
$$\sqrt{\frac{\sin 45^\circ \sin 20^\circ}{\cos 20^\circ \cos(-5^\circ)}} = \sqrt{0.2583} = 0.5083$$

2 المعامل

$$K_a = \frac{0.8214}{0.9326\,(1 + 0.5083)^2} = \mathbf{0.3872}$$

الحل (2/2)

الحل



3 القوة والموقع

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_a = \tfrac{1}{2}(15)(4)^2(0.3872) = \mathbf{46.46}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{H}{3} = \mathbf{1.33}\ \text{m}$$

4 الاتجاه: $\delta' = 15°$ عن العمودي، و $\theta + \delta' = 20°$ مع الأفقي

$$P_h = P_a \cos 20^\circ = 43.66\ \text{kN/m}$$

$$P_v = P_a \sin 20^\circ = 15.89\ \text{kN/m}$$

P_a = **46.46 kN/m**، وتقع على ارتفاع 1.33 m فوق القاعدة. يصنع الإسفين الحرج زاوية **$\beta \approx 55.5°$** مع الأفقي (رأس الأسافين التجريبية).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

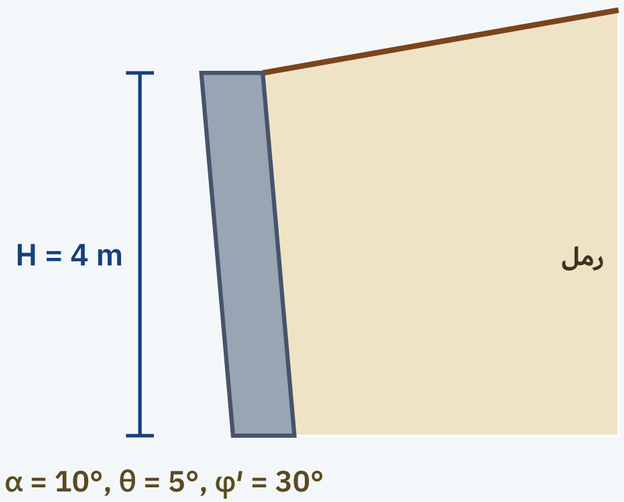
مثال

المعطيات

الجدار والردم	**الجدار في المثال 3:** $\theta = 5^\circ,\ \alpha = 10^\circ,\ \varphi' = 30^\circ$؛ **وللمقارنة، جدار رأسي وردم أفقي** $(\theta = \alpha = 0)$
المتغير	$\delta' = 0^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 25^\circ,\ 30^\circ$

المطلوب

K_a لكل قيمة δ'؛ عند أي δ' تكون K_a **الأصغر؟** نطاق δ'/φ الموصى به.



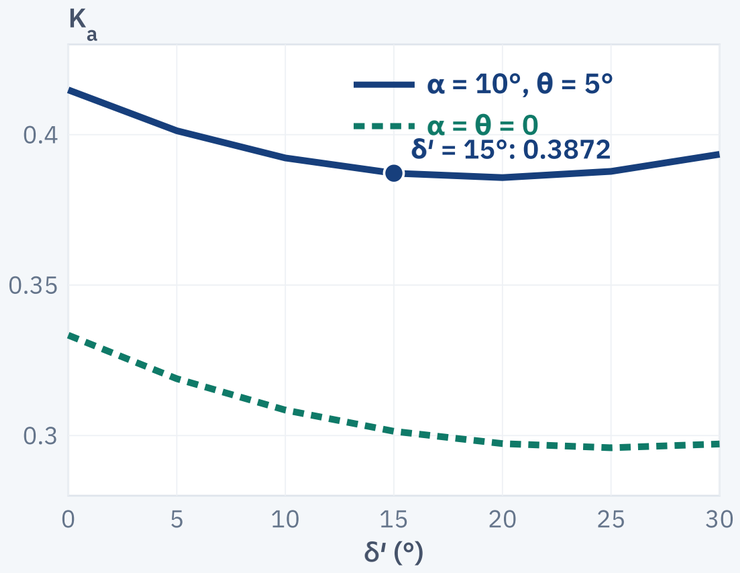
الحل

الحل

1 سبع قيم لـ δ' بالمعادلة نفسها

δ'	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
K_a ($\theta = 5°, \alpha = 10°$)	0.4149	0.4013	0.3923	0.3872	0.3857	0.3878	0.3935
K_a ($\theta = \alpha = 0$)	0.3333	0.3189	0.3085	0.3014	0.2973	0.2959	0.2972

بازدياد δ' **يتناقص** K_a أولا (من 0.415 عند $\delta' = 0$ إلى 0.387 عند $\delta' \approx 20–25°$)، ثم يبلغ أصغر قيمة عند $\delta' = 15°$ ثم **يزداد** من جديد. وفي التطبيق العملي يؤخذ $\delta' = (1/2 – 2/3)\varphi$؛ أما أخذ $\delta' = \varphi$ فلا يقع في الجانب الآمن، لأنه مشروط بانزلاق الجدار إلى الأسفل بالنسبة إلى التربة.



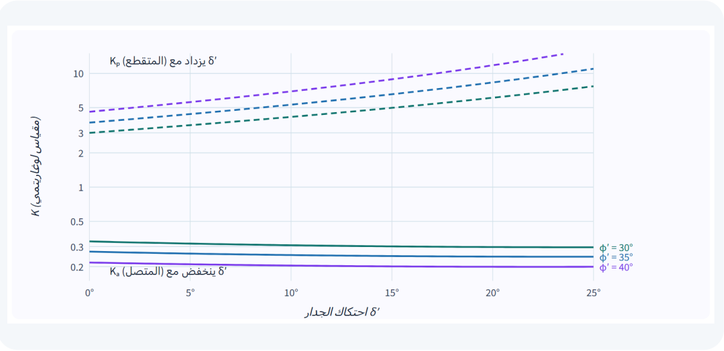
تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

معامل الضغط المقاوم لـ Coulomb K_p

عندما يدفع الجدار نحو التربة تنتقل المحصلة وقوة الجدار إلى **الجانب الآخر** من ناظميهما؛ وتكون القوة المنفعلة **أصغر** قيمة بين الأسافين التجريبية:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi' + \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' - \theta)\left[1 - \sqrt{\dfrac{\sin(\varphi' + \delta')\sin(\varphi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta)\cos(\alpha - \theta)}}\right]^2} \qquad P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2$$



δ′ = 20°	δ′ = 15°	δ′ = 10°	δ′ = 5°	δ′ = 0°	φ′
2.735	2.403	2.131	1.901	1.698	15°
3.525	3.029	2.635	2.313	2.040	20°
4.597	3.855	3.285	2.833	2.464	25°
6.105	4.977	4.143	3.505	3.000	30°
8.324	6.555	5.309	4.391	3.690	35°
11.771	8.872	6.946	5.593	4.599	40°

يؤدي احتكاك الجدار إلى **زيادة القوة المنفعلة بسرعة** (φ′ = 30°: من δ′ = 0 إلى 20° يزداد K_p من 3.00 إلى 6.11).

من أجل δ′ كبيرة يعطي إسفين الانهيار المستوي مقاومة منفعلة **أكبر من** القيمة الصحيحة (غير آمن): فتستخدم وحدة الحلزون اللوغاريتمي.

المسألة

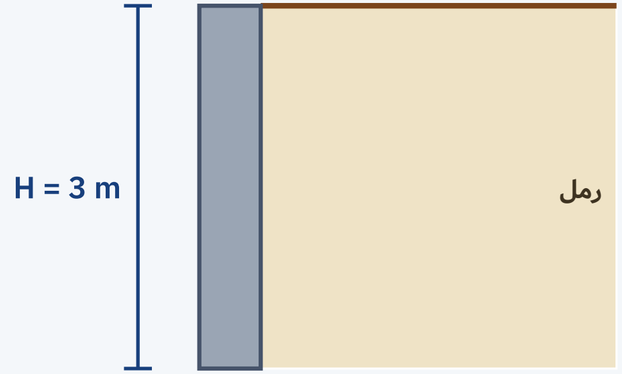
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 3$ m، **رأسي؛ ردم أفقي**
التربة	**رمل جاف:** $\gamma = 15.7$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$
احتكاك الجدار	$\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ$

المطلوب

لكل قيمة K_p :δ' و P_p ومركباتهما؛ ومن أجل $\delta' = 15^\circ$ مقارنة مع حلول السطح المنحني (302–326 kN/m).



γ = 15.7 kN/m³، φ′ = 30° (المنفعل)

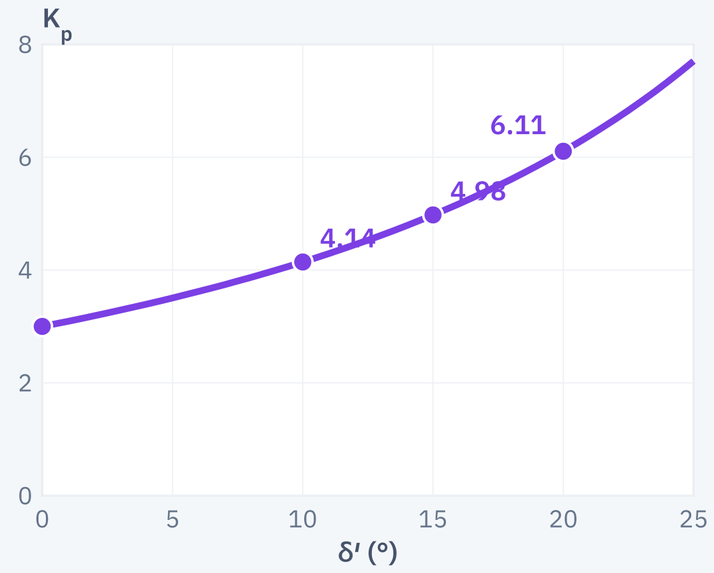
الحل

الحل

1 صيغة K_p، $P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2 = \tfrac{1}{2}K_p(15.7)(9) = 70.65\,K_p$

δ'	K_p	P_p (kN/m)	P_h	P_v	β (الإسفين الحرج)
0°	3.000	212.0	212.0	0.0	30.0°
10°	4.143	292.7	288.3	50.8	23.4°
15°	4.977	351.6	339.6	91.0	20.7°
20°	6.105	431.3	405.3	147.5	18.1°

من $\delta' = 0$ إلى 20° تتغير P_p من 212.0 إلى 431.3 kN/m: أي ترتفع إلى **2.0 مرة** قيمتها. وعند $\delta' = 15°$ يعطي Coulomb القيمة 351.6 kN/m؛ وتقع حلول السطح المنحني في المدى 302–326 kN/m، أي أن الإسفين المستوي يبالغ في تقدير المقاومة المنفعلة بنحو **8 %** (في الجانب غير الآمن).



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

توسعة حل Coulomb في الوحدة

النظرية

الحمل الإضافي q (رأسي لكل وحدة مساحة من السطح المائل) يُضاف إلى وزن كل إسفين تجريبي بالنسبة نفسها التي يُضاف بها وزن التربة؛ ولا يتغير الإسفين الحرج ولا K_a. والإجهاد المكافئ لكل وحدة عمق رأسي:

$$q_e = q\,\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 + K_a q_e H$$

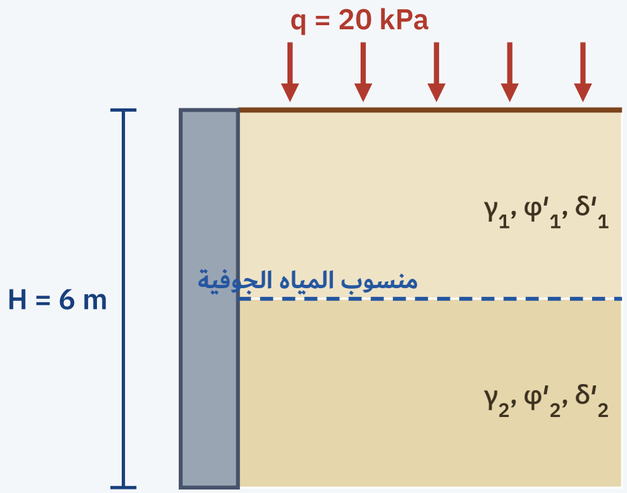
الجزء الأول على ارتفاع H/3 فوق القاعدة، والجزء الثاني على ارتفاع H/2. **في الردم الطبقي** (الحدود أفقية، وتقاس السماكات رأسياً من قمة وجه الجدار A) تأخذ كل طبقة معامل K_i الخاص بها بقيم γ و φ′ و δ′ الخاصة بها:

$$\sigma'_v = q_e + \sum \gamma_i h_i \qquad \sigma' = K_i\,\sigma'_v\cos\theta$$

يؤثر σ′ على وحدة الطول من وجه الجدار مائلاً عن العمودي بزاوية الطبقة δ′؛ ويقفز K عند الحد الذي يتغير عنده.

المياه الجوفية (أفقية، z_w): تحتها $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$؛ ويضاف $u = \gamma_w(z - z_w)$ **عمودياً** على الجدار. وتحلل القوى إلى مركبات عمودية على الوجه (N) وموازية له (T) ثم تجمع: $\beta = \tan^{-1}(T/N)$، $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$.

الردم الطبقي والماء



المسألة

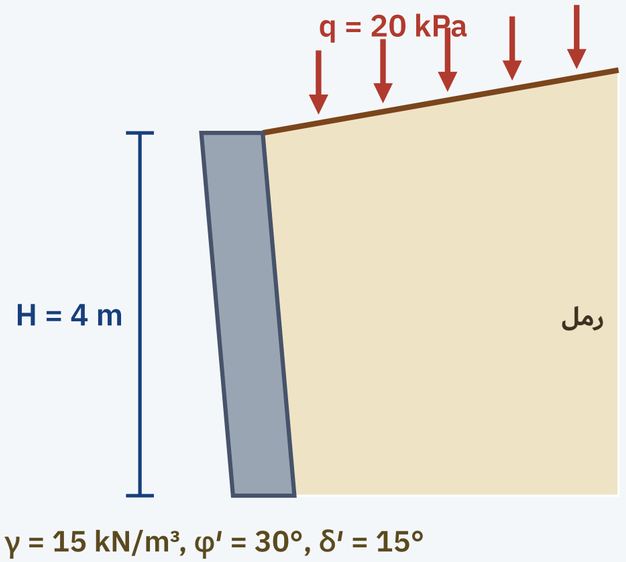
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار في المثال 3:** $H = 4$ m، $\alpha = 10^\circ$، $\theta = 5^\circ$؛ $\gamma = 15$ kN/m^3، $\varphi' = 30^\circ$، $\delta' = 15^\circ$
الحمل الإضافي	**حمل منتظم موزع** $q = 20$ kPa **على سطح مائل (عمودي على السطح)**

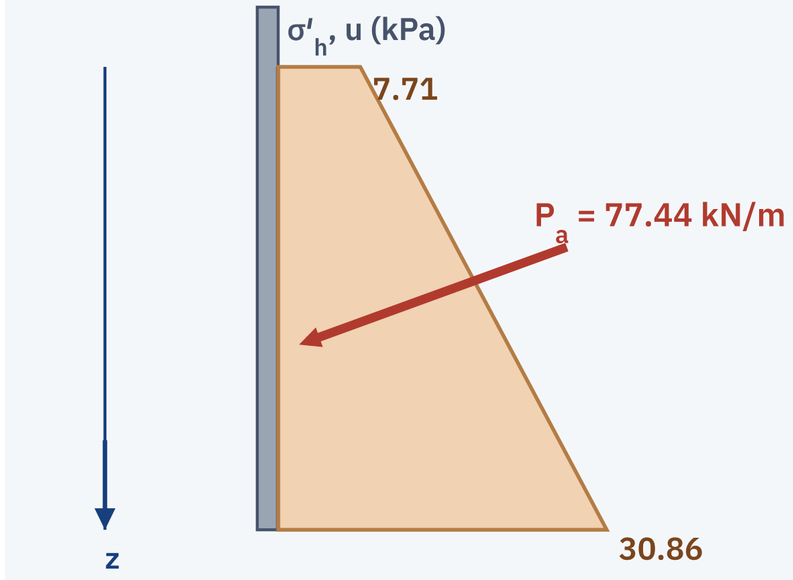
المطلوب

q_e و P_a الكلية وارتفاع نقطة التأثير؛ حصة الحمل الإضافي.



الحل

الحل



1 الإجهاد الرأسي المكافئ

$$q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} = 20\frac{\cos 5^\circ}{\cos(-5^\circ)} = \mathbf{20.00}\ \text{kPa}$$

2 قوى التربة والحمل الإضافي ($K_a = 0.3872$)

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 = 46.46\ \text{kN/m}\quad (H/3 = 1.33\ \text{m})$$

$$P_q = K_a q_e H = 0.3872(20)(4) = 30.97\ \text{kN/m}\quad (H/2 = 2.00\ \text{m})$$

3 الإجمالي والموقع

$$P_a = 46.46 + 30.97 = \mathbf{77.44}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{46.46(1.33) + 30.97(2.00)}{77.44} = \mathbf{1.60}\ \text{m}$$

زاد الحمل الإضافي القوة بنسبة 67% (P_a = 77.44 kN/m)؛ وارتفعت نقطة التأثير من 1.33 m إلى **1.60 m**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

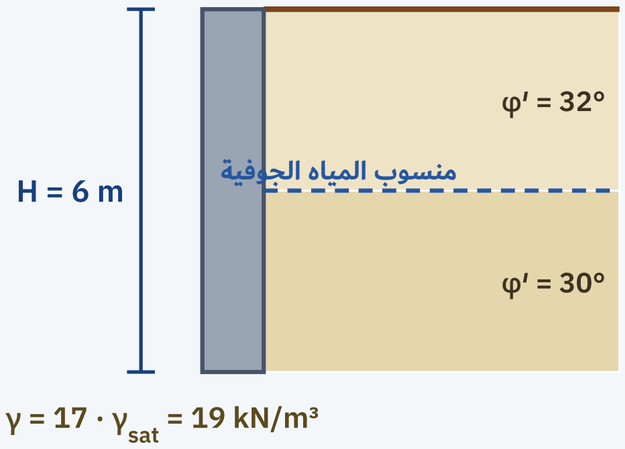
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 6$ m، رأسي؛ ردم أفقي؛ دون حمل إضافي
الطبقة 1 (0–3 m)	$\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 32°$, $\delta' = 16°$
الطبقة 2 (3–6 m)	$\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$
منسوب المياه الجوفية	عند عمق 3 m

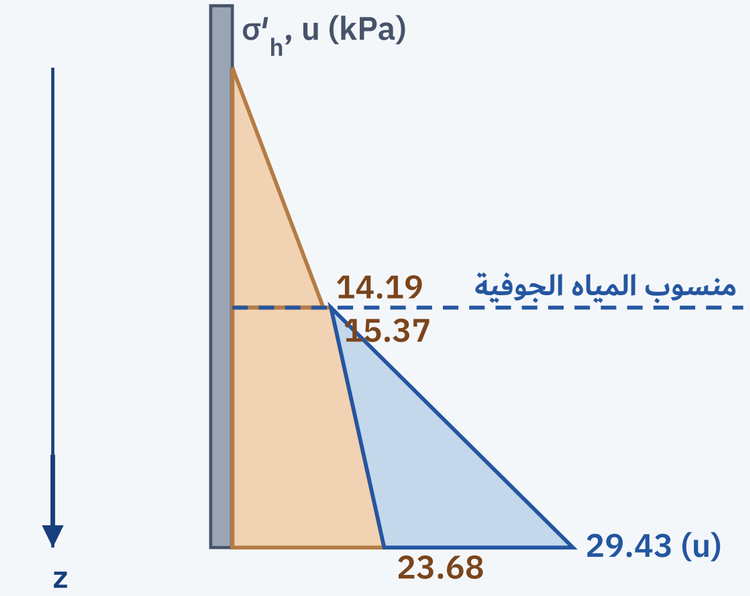
المطلوب

الضغوط في كل طبقة؛ قوى التربة والماء؛ **P** و β وارتفاع نقطة التأثير.



الحل (1/2)

الحل



1 المعاملات

$$K_1(32^\circ, 16^\circ) = \mathbf{0.2782} \qquad K_2(30^\circ, 15^\circ) = \mathbf{0.3014}$$

2 الإجهادات: $\sigma'_v(3) = 17(3) = 51$؛ $\sigma'_v(6) = 51 + 3(19 - 9.81) = 78.57$ kPa

$$p_1 = 0.2782(51) = \mathbf{14.19}\ \text{kPa}\ \text{(في الأعلى)}$$

$$p_2 = 0.3014(51) = \mathbf{15.37}\ \text{kPa}\ \text{(الأسفل)}$$

$$p(6) = 0.3014(78.57) = \mathbf{23.68}\ \text{kPa}$$

$$u(6) = 9.81(3) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$

الحل (2/2)

الحل

3 قوى التربة (المؤثرة على الوجه، ولكل طبقة زاوية δ′ الخاصة بها): مثلث · مستطيل · مثلث

$$P_s = \tfrac{1}{2}(3)(14.19) + 3(15.37) + \tfrac{1}{2}(3)(8.31) = 21.28 + 46.12 + 12.47 = 79.86 \text{ kN/m}$$

$$P_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.14 \text{ kN/m} \quad \text{(عمودي على الجدار)}$$

4 المركبات والمحصلة وموضعها

$$N = N_s + N_w = 77.04 + 44.14 = 121.18 \qquad T = 21.03 \text{ kN/m}$$

$$P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{123.00} \text{ kN/m} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 9.84^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.69} \text{ m}$$

المحصلة **123.00 kN/m** (التربة 79.86 + الماء 44.14)، وتقع على ارتفاع 1.69 m فوق القاع. وقوة الماء تساوي 55% من قوة التربة؛ وعند الحد الفاصل تقفز قيمة p من 14.19 إلى 15.37 kPa (إذ تتغير K).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

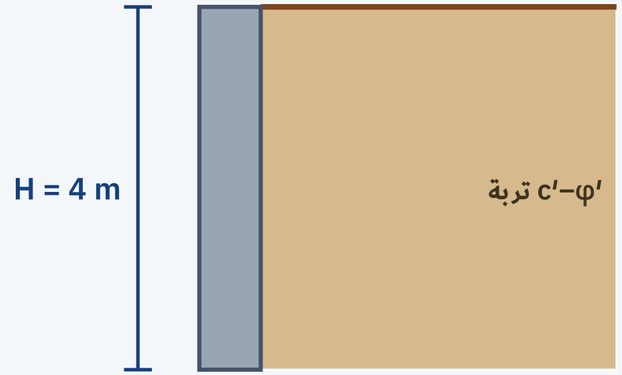
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 4$ m، رأسي؛ ردم أفقي
التربة	$\gamma = 18$ kN/m^3، $\varphi' = 25^\circ$، $c' = 10$ kPa؛ $\delta' = \varphi'/2 = 12.5^\circ$

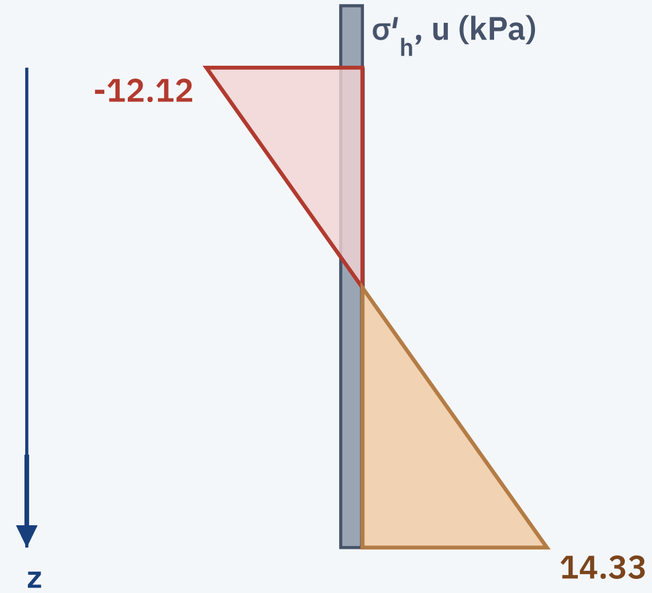
المطلوب

K_a وعمق الشد z_0 و P_a مع شق الشد وبدونه؛ والمقارنة مع Rankine.



الحل (1/2)

الحل



1 معامل Coulomb وحد التماسك (يُهمل الالتصاق)

$$K_a(25^\circ, 12.5^\circ) = \mathbf{0.3674} \qquad \sigma' = K_a\sigma'_v - 2c'\sqrt{K_a}$$

$$2c'\sqrt{K_a} = 2(10)(0.6061) = 12.12 \text{ kPa}$$

2 عند القمة وعند القاعدة وعند عمق الشد

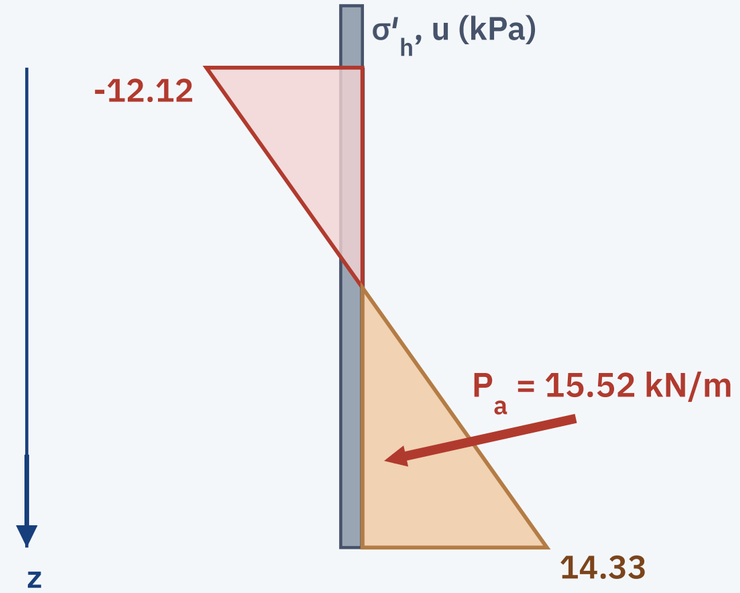
$$\sigma'(0) = -\mathbf{12.12} \text{ kPa (شد)}$$

$$\sigma'(4) = 0.3674(18)(4) - 12.12 = \mathbf{14.33} \text{ kPa}$$

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{20}{18(0.6061)} = \mathbf{1.83} \text{ m}$$

الحل (2/2)

الحل



3 القوة بوجود شق الشد (المثلث الموجب فقط)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(14.33)(4 - 1.83) = \mathbf{15.52}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = 0.72\ \text{m}$$

دون شق: $P_a = 4.41\ \text{kN/m}$

P_a مع وجود الشق = **15.52 kN/m**؛ وبدون شق (بما فيه المنطقة السالبة) 4.41 kN/m: فإذا احتسبت منطقة الشد خرجت القوة أصغر بكثير من حقيقتها. وكانت طريقة Rankine (δ′ = 0) ستعطي 18.59 kN/m.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

نطاق حل Coulomb

النظرية

يفترض سطح الانزلاق مستوياً. وهذا تقريب جيد للسطح الفعلي في الحالة الفعالة؛ أما في الحالة المنفعلة فيبتعد عن السطح المنحني عند δ′ الكبيرة وتحسب المقاومة **أكبر مما هي عليه** (يلزم الحذر عند δ′ > φ′/3؛ انظر وحدة الحلزون اللوغاريتمي).

احتكاك الجدار δ′ مدخل: يتوقف على مادة الجدار وعلى حركة التربة بالنسبة إلى الجدار؛ والقيم التقريبية المفترضة δ′ = (1/2 – 2/3)φ (خرسانة–رمل).

الطبقة المتماسكة: يؤخذ حد التماسك بصيغة Rankine وبقيمة K حسب Coulomb لتلك الطبقة؛ ويهمل التصاق الجدار بالتربة؛ وتستبعد منطقة الشد بفرض وجود شق.

الحل الطبقي امتداد هندسي للوحدة (لا يوجد في الأدبيات حل Coulomb طبقي مغلق)؛ ويؤول في الطبقة الواحدة إلى الحل المغلق، وعند δ′ = 0 مع ردم أفقي إلى حل Rankine.

الزلزال مشمول في وحدة Mononobe–Okabe؛ أما Coulomb فهو حل استاتيكي.

النقاط الرئيسية

الإسفين: W، F (بزاوية φ′ عن الناظم)، P (بزاوية δ′ عن الناظم)؛ وتحسب $P_a(\beta)$ بقانون الجيوب؛ **الفعال = أكبر** إسفين، **المنفعل = أصغر** إسفين

$K_a = \cos^2(\varphi' - \theta) / \{\cos^2\theta \cos(\delta' + \theta)[1 + \sqrt{(...)}]^2\}$؛ تؤثر القوة على ارتفاع H/3 من القاعدة، وبزاوية δ + θ′ مع الأفقي؛ وعند δ′ = 0 والهندسة المستقيمة تؤول إلى Rankine

احتكاك الجدار يقلل الضغط الفعال (حتى $\delta' \approx 2\varphi'/3$) ويزيد الضغط المنفعل بسرعة؛ وفي الحالة المنفعلة يكون الإسفين المستوي غير آمن عند قيم δ′ الكبيرة

الحمل الإضافي $q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$: $P = \frac{1}{2}K\gamma H^2 (H/3) + K\, q_e\, H\, (H/2)$

تربة متعددة الطبقات + ماء: $\sigma' = K_i \sigma'_v \cos\theta$، مع قفزة عند الحد الفاصل؛ و u عمودي على الجدار؛ $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$، $\beta = \tan^{-1}(T/N)$

الطبقة المتماسكة: $\sigma' = K\sigma'_v - 2c'\sqrt{K}$، ويستبعد الجزء السالب عند شق الشد

المراجع

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

Coulomb, C.A. (1776). Essai sur une application des règles de Maximis et Minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Mémoires de Mathématique et de Physique, Académie Royale des Sciences, .Paris, 7, 343–382

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning — a surcharge on a sloping .backfill

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية ناتجة عن محرك الحساب الخاص بالوحدة؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. والجدار الابتدائي للوحدة هو جدار المثال 3 (θ = 5°، α = 10°، δ′ = 15°).

GeoTerva

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل في GeoTerva ميل جدارك ومنحدر الردم والاحتكاك والطبقات والحمل الإضافي والمياه الجوفية؛ وتعطي الوحدة القوة واتجاهها وارتفاع نقطة تأثيرها معاً.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←



افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

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