GeoTerva

شرائح محاضرات الجيوتكنيك · ضغط التربة الجانبي

ضغط التربة الزلزالي وفق Mononobe–Okabe

المحاضرة: القوى شبه الاستاتيكية الأفقية والرأسية المؤثرة في الإسفين خلف الجدار أثناء الزلزال، ومعامل Mononobe–Okabe للضغط الفعال، وحد الاتزان، وخط التأثير؛ الحمل الإضافي والمياه الجوفية؛ مثال محلول في كل موضوع.

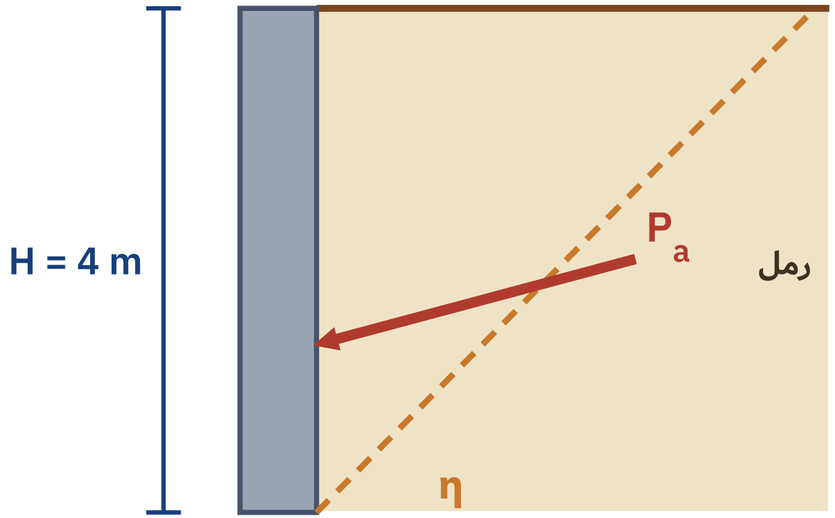
الإسفين شبه الاستاتيكي

$\psi = \tan^{-1} k_h/(1 - k_v)$

Seed – Whitman

الحمل الإضافي · الماء

حد التوازن



يستند إلى صفحة النظرية في GeoTerva · geoterva.com

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

تمثيل الزلزال بقوى **شبه استاتيكية** أفقية ($k_h W$) ورأسية ($k_v W$)

الزاوية الزلزالية ψ ومعامل Mononobe–Okabe **K'_a**؛ $P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma H^2(1 - k_v)K'_a$

حد التوازن: $k'_{h,cr} = (1 - k_v)\tan\varphi$؛ وإذا تم تجاوزه لا يبقى أي إسفين في حالة توازن

تعيين **موضع** القوة بطريقة Seed–Whitman: $P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae}$، مع تأثير ΔP_{ae} عند $0.6H$

مراعاة الحمل الإضافي و**منسوب المياه الجوفية** (سواء تحرك مع التربة أو لم يتحرك)

رؤية كيف تتغير القوة عند تغير k_h و k_v والهندسة

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 معطاة لكل وحدة طول من الجدار (kN/m)؛ و k_h و k_v نسبتا التسارع إلى g؛ وتكون k_v موجبة إلى الأعلى.

النظرية

Mononobe–Matsuo (1929) و Okabe (1926)

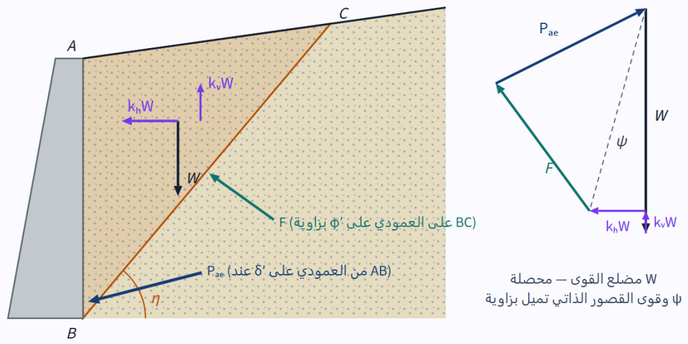
أثناء الزلزال يتسارع الإسفين خلف الجدار. وتمثل الطريقة شبه الاستاتيكية الاهتزاز بقوتين **جسميتين ثابتتين** تؤثران على إسفين Coulomb:

- **$k_h W$**: أفقي، باتجاه الجدار (k_h = التسارع الأفقي / g)
- **$k_v W$**: رأسية (هنا إلى الأعلى؛ تقلل الوزن)
- W و F (مائلة بزاوية φ′) و P_{ae} (مائلة بزاوية δ′) كما في Coulomb.

مجموع W و $k_h W$ و $k_v W$ قوة مائلة عن الرأسي بالزاوية الزلزالية **ψ**؛ أي أن الإسفين الزلزالي هو إسفين Coulomb تدور جاذبيته بمقدار ψ (وجه الجدار θ + ψ، والردم الخلفي α + ψ):

$$\psi = \tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v} \qquad W' = \frac{W(1-k_v)}{\cos\psi}$$

القوة الفعالة هي مرة أخرى **أكبر** الإسفينات التجريبية.



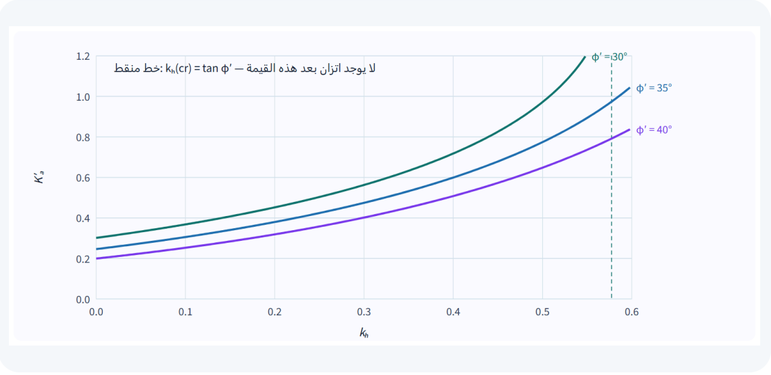
W مضلع القوى — محصلة
ψ وقوى القصور الذاتي تميل بزاوية

النظرية

القوة الفعالة الديناميكية

$$P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma H^2 (1 - k_v) K'_a$$

$$K'_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta' + \theta + \psi)\left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\varphi' + \delta')\sin(\varphi' - \alpha - \psi)}{\cos(\delta' + \theta + \psi)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2}$$



45°	40°	35°	30°	φ′ = 28°	k_h
0.207	0.253	0.306	0.368	0.396	0.1
0.267	0.319	0.380	0.452	0.485	0.2
0.340	0.402	0.474	0.563	0.604	0.3
0.433	0.508	0.599	0.718	0.778	0.4
0.552	0.648	0.774	0.972	1.115	0.5

عند $k_h = k_v = 0$ تكون $\psi = 0$ وتساوي K'_a قيمة K_a حسب Coulomb. الجدول: $\delta' = \varphi'/2$، $\theta = \alpha = 0$.

يزداد K'_a بسرعة مع k_h؛ ويتزايد دون حد عند الاقتراب من الحد.

المسألة

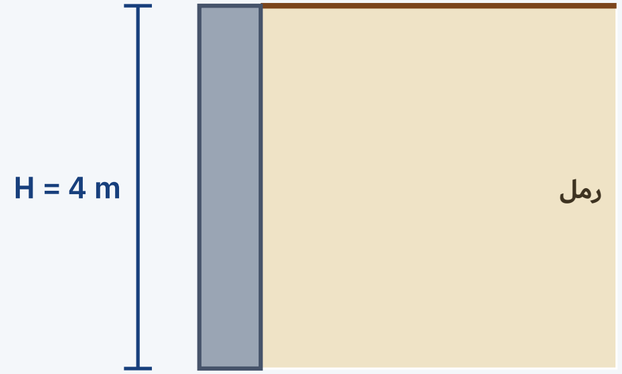
مثال

المعطيات

الجدار	**رأسي؛ ردم أفقي؛ دون حمل إضافي**، $H = 4$ m
التربة	**رمل جاف:** $\gamma = 15.5$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$, $\delta' = 15^\circ$
الزلزال	$k_h = 0.2$,$k_v = 0$

المطلوب

ψ و**K'_a** و**P_{ae}** والإسفين الحرج؛ المقارنة مع Coulomb الاستاتيكي. هذا الجدار هو المثال الابتدائي للوحدة.



γ = 15.5 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15°, k_h = 0.2

الحل (1/2)

الحل

1 الزاوية الزلزالية

$$\psi = \tan^{-1}\frac{0.2}{1-0} = \mathbf{11.31^\circ}$$

2 معامل Mononobe–Okabe (θ = α = 0)

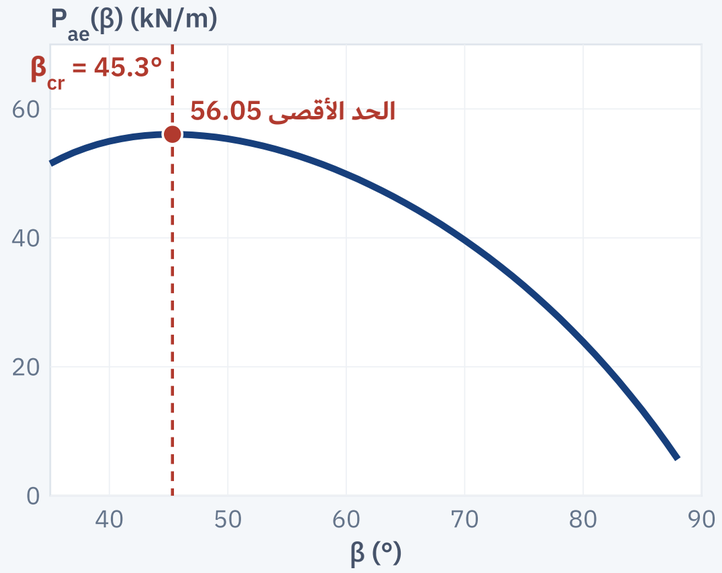
$$\cos^2(30^\circ - 11.31^\circ) = 0.8973 \qquad \cos\psi = 0.9806 \qquad \cos(15^\circ + 11.31^\circ) = 0.8964$$

$$\sqrt{\frac{\sin 45^\circ \sin(30^\circ - 11.31^\circ)}{\cos(15^\circ + 11.31^\circ)}} = \sqrt{0.2528} = 0.5028$$

$$K'_a = \frac{0.8973}{0.9806(0.8964)(1+0.5028)^2} = \mathbf{0.4520}$$

الحل (2/2)

الحل



3 القوة الديناميكية

$$P_{ae} = \tfrac{1}{2}\gamma H^2(1-k_v)K'_a$$
$$= \tfrac{1}{2}(15.5)(4)^2(1-0)(0.4520) = \mathbf{56.05}\ \text{kN/m}$$

4 الإسفين الحرج (رأس الأسافين التجريبية)

$$\beta_{cr} = \mathbf{45.3}^\circ \text{ (مع الأفقي)}$$

P_{ae} = **56.05 kN/m**؛ وكانت قوة Coulomb الاستاتيكية (K_a = 0.3014) تساوي 37.38 kN/m: أي إن القوة الزلزالية **زادتها بنسبة 50%**. ويصنع الإسفين الحرج زاوية 45.3° مع الأفقي.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

التسارع الأفقي الحرج

النظرية

التعبير $\sin(\varphi' - \alpha - \psi)$ تحت الجذر التربيعي غير حقيقي عندما $\varphi' - \alpha - \psi < 0$: **لا يمكن أن يكون أي إسفين في حالة توازن**، بصرف النظر عن سلوك الجدار. ولا يكون الردم مستقراً إلا بالشرط الآتي:

$$\alpha \leq \varphi' - \psi$$

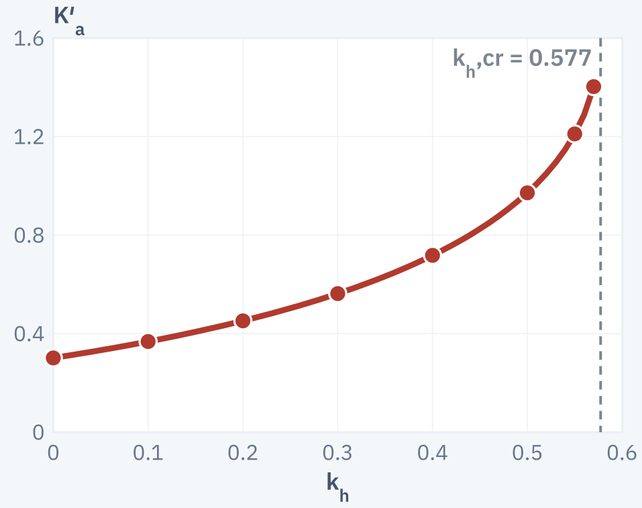
في حالة الردم الأفقي يتطلب ذلك $\varphi \geq \psi'$، أي أن التسارع الأفقي لا يمكن أن يتجاوز القيمة التالية:

$$k_{h(cr)} = (1 - k_v)\tan\varphi' \qquad (\alpha \neq 0 :\ \tan(\varphi' - \alpha))$$

عند الاقتراب من الحد تزداد K'_a بسرعة كبيرة ($k_{h,cr} = 0.577$ من أجل $\varphi' = 30°$).

إذا كان k_h أعلى من الحد فإن الوحدة توقف الحساب مع إظهار رسالة.

$K'_a - k_h$ ($\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$)



المسألة

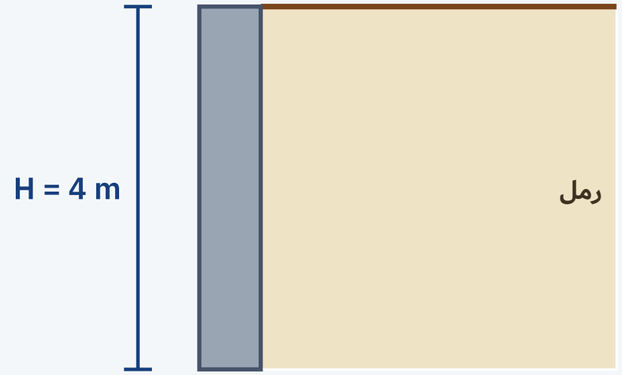
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار في المثال 1:** $H = 4$ m، $\gamma = 15.5$ kN/m^3، $\varphi' = 30^\circ$، $\delta' = 15^\circ$، $k_v = 0$
المتغير	$k_h = 0;\ 0.1;\ 0.2;\ 0.3;\ 0.4;\ 0.5;\ 0.55;\ 0.57$

المطلوب

لكل قيمة k_h: **Ψ** و**K′a** و**Pae**؛ قيمة k_h الحرجة؛ والنتيجة عند $k_h = 0.6$.



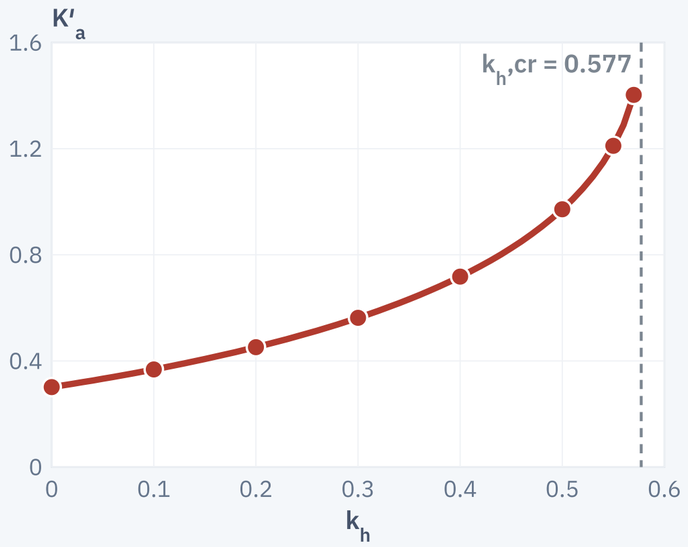
الحل

الحل

1

$\psi = \tan^{-1} k_h$; $k_{h,cr} = \tan 30° = 0.577$

P_{ae} (kN/m)	K'_a	(°) ψ	k_h
37.4	0.301	0.0	0.00
45.6	0.368	5.7	0.10
56.1	0.452	11.3	0.20
69.8	0.563	16.7	0.30
89.0	0.718	21.8	0.40
120.5	0.972	26.6	0.50
150.1	1.211	28.8	0.55
174.0	1.403	29.7	0.57



عند زيادة k_h من 0 إلى 0.2 ترتفع P_{ae} من 37.4 إلى 56.1 kN/m (50%)، وعند 0.5 تبلغ 120.5 kN/m (3.2 أمثال)؛ وعندما تقترب k_h من 0.57 يتزايد K'_a بلا حد. **$k_h = 0.6 > 0.577$**: الجذر التربيعي غير حقيقي ولا يوجد إسفين في حالة اتزان: فتوقف الوحدة الحساب.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

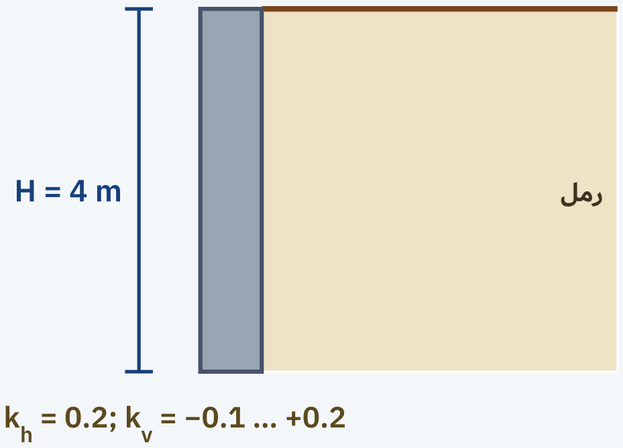
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار والتربة في المثال 1؛** $k_h = 0.2$
المتغير	$k_v = -0.1$ **(لأسفل)**، 0، $+0.1$، $+0.2$ **(لأعلى)**

المطلوب

لكل قيمة **Ψ** : k_v وK'_{ae} و$(k_v - 1)$ وP_{ae}؛ أي الاتجاهين أسوأ تأثيراً؟



الحل

الحل

1 $\psi = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$; $P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma H^2(1 - k_v)K'_a = 124\,(1 - k_v)\,K'_a$

k_v	ψ (°)	K'_a	$k_v - 1$	P_{ae} (kN/m)
0.1-	10.30	0.4351	1.1	59.35
0.0	11.31	0.4520	1.0	56.05
0.1	12.53	0.4739	0.9	52.89
0.2	14.04	0.5032	0.8	49.92

k_v الموجهة إلى أسفل (−0.1) ترفع القوة إلى 59.3 kN/m (+6%)، أما $k_v = 0.2$ الموجهة إلى أعلى فتخفضها إلى 49.9 kN/m. ومع أن ψ تزداد مع k_v الموجهة إلى أعلى فإن العامل $(k_v - 1)$ هو الغالب. وفي الممارسة العملية تؤخذ $k_v = \pm 0.5\,k_h$ ويختار الاتجاه الذي يعطي القوة الأكبر.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

Seed و Whitman (1970)

النظرية

يعطي تحليل Mononobe–Okabe مقدار القوة واتجاهها، لكنه **لا يحدد موضع تأثيرها**. ويجزّئ Seed و Whitman القوة إلى قوة Coulomb الاستاتيكية والزيادة الزلزالية:

$$P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae}$$

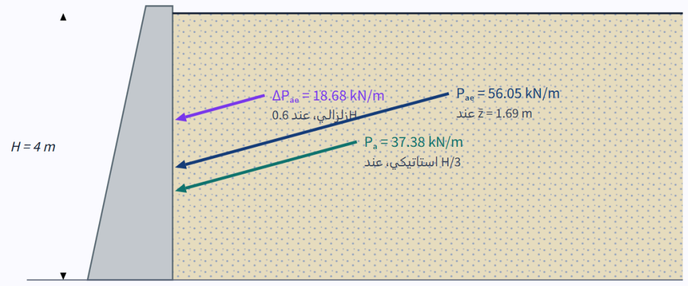
$$\bar{z} = \frac{P_a \dfrac{H}{3} + \Delta P_{ae}\,(0.6H)}{P_{ae}}$$

تؤثر P_a (بالقيم نفسها δ' و θ و α، أي $\tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2$) على ارتفاع **H/3** فوق القاع؛ وتؤثر ΔP_{ae} عند **0.6H** (المخطط المثلثي مثلث مقلوب يضيق نحو القاع).

ويكون المحصلة مرة أخرى مائلاً بزاوية δ' عن العمودي على وجه الجدار.

تؤخذ الزيادة أحياناً عند منتصف الارتفاع؛ وتعطي 0.6H عزم انقلاب أكبر لذا يعتمد.

الاستاتيكي + الزيادة الزلزالية



المسألة

مثال

المعطيات

الجدار والزلزال

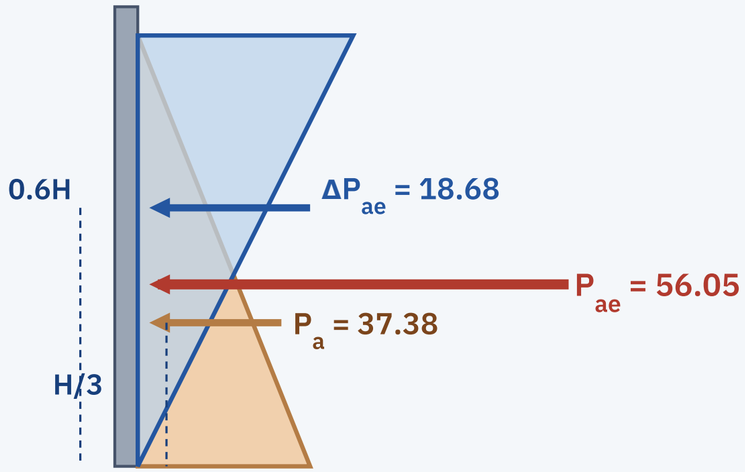
الجدار في المثال 1: $H = 4$ m، $\gamma = 15.5$ kN/m^3، $\varphi' = 30^\circ$، $\delta' = 15^\circ$، $k_h = 0.2$

المطلوب

P_a و **ΔP_{ae}** و **$\bar{z}$**؛ وقيمة $\bar{z}$ إذا أخذت ΔP_{ae} عند نصف الارتفاع.

الحل

الحل



1 القوة الساكنة ($K_a = 0.3014$) والزيادة الزلزالية

$$P_a = \tfrac{1}{2}(15.5)(4)^2(0.3014) = 37.38 \text{ kN/m}$$

$$\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a = 56.05 - 37.38 = \mathbf{18.68} \text{ kN/m}$$

2 ارتفاع تأثير الحمل (من قاع القاعدة)

$$\bar{z} = \frac{37.38(4/3) + 18.68(2.4)}{56.05} = \mathbf{1.69} \text{ m}$$

$\bar{z}$ = **1.69 m** (وكانت 1.33 m في الحالة الاستاتيكية). ولو أخذت الزيادة عند منتصف الارتفاع (2.0 m) لكانت $\bar{z}$ = 1.56 m: فالفرض 0.6H يرفع القوة إلى أعلى **ويزيد عزم الانقلاب**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

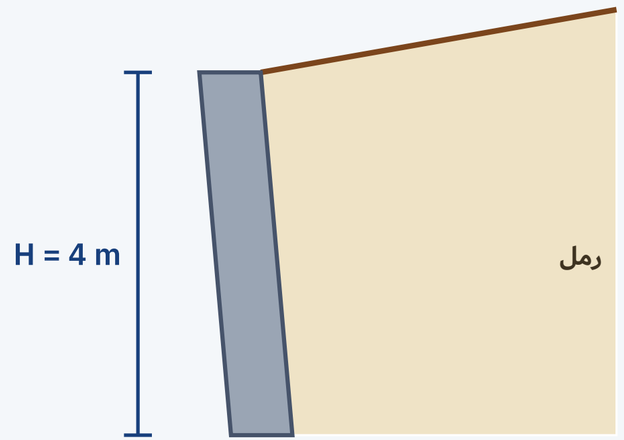
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 4$ m؛ الوجه مائل عن الرأسي بزاوية $\theta = 5^\circ$
الردم	ميل السطح $\alpha = 10^\circ$؛ $\gamma = 15$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$, $\delta' = 15^\circ$
الزلزال	$k_h = 0.15,\ k_v = 0$

المطلوب

ψ و K'_a و P_{ae} و ΔP_{ae} و $\bar{z}$؛ التحقق من حد التوازن.



γ = 15, φ′ = 30°, δ′ = 15°, k_h = 0.15

الحل

الحل

1 الزاوية الزلزالية وحد الاتزان

$$\psi = \tan^{-1} 0.15 = \mathbf{8.53}^\circ \qquad k_{h(cr)} = \tan 20^\circ = 0.364 > 0.15$$

2 المعامل والقوة (في الحالة الاستاتيكية $K_a = 0.3872$)

$$K'_a(\theta = 5^\circ, \alpha = 10^\circ, \psi = 8.53^\circ) = \mathbf{0.5435}$$

$$P_{ae} = \tfrac{1}{2}(15)(4)^2(0.5435) = \mathbf{65.22}\ \text{kN/m} \qquad P_a = 46.46\ \text{kN/m}$$

3 ارتفاع نقطة تأثير الحمل

$$\Delta P_{ae} = 18.76\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = \frac{46.46(1.33) + 18.76(2.4)}{65.22} = \mathbf{1.64}\ \text{m}$$

P_{ae} = 65.22 kN/m، على ارتفاع 1.64 m فوق القاعدة؛ الإسفين الحرج 44.2°؛ زادت القوة الزلزالية القيمة بنسبة 40%.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

امتداد الوحدة

النظرية

يُضاف **الحمل الإضافي** q أيضاً إلى القوة القصورية لكل إسفين مع وزنه؛ ولا يتغير إسفين الانهيار الحرج:

$$q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} \qquad P_{ae} = (1-k_v)K'_a\left(\tfrac{1}{2}\gamma H^2 + q_e H\right)$$

في وجود المياه الجوفية يتحرك ماء المسام مع التربة (**مقيد**، ردم ناعم الحبيبات) أو لا يتحرك (**حر**، $k > 5{\cdot}10^{-4}$ m/s). وتنسب قوة القصور الذاتي إلى الكتلة المشبعة أو الجافة، والإجهاد إلى الوزن المغمور؛ وتحت الماء تزداد الزاوية الزلزالية:

$$\tan\psi_w = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat}-\gamma_w}\frac{k_h}{1-k_v}\ \text{(مقيد)} \qquad \tan\psi_w = \frac{\gamma_{d}}{\gamma_{sat}-\gamma_w}\frac{k_h}{1-k_v}\ \text{(حر)}$$

$$p_{wd} = \tfrac{7}{8}k_h\gamma_w\sqrt{d_w z'} \qquad P_{wd} = \tfrac{7}{12}k_h\gamma_w d_w^2 \ \text{(0,4 } d_w \text{ عند الارتفاع، Westergaard)}$$

يضاف ضغط Westergaard الهيدروديناميكي في الماء الحر. وفي الردم الطبقي تأخذ كل طبقة K'_a الخاص بها بحيث $\sigma' = (1 - k_V)K'_{a,i}\sigma'_V\cos\theta$؛ ويجمع الجزء الاستاتيكي و ΔP_{ae} (0.6H) على حدة.

لماذا الماء مهم؟

يزيد الماء الزاوية الزلزالية ($\psi_W > \psi$) ويضيف إلى الضغط الهيدروستاتيكي **ضغطاً هيدروديناميكياً (في الحالة الحرة)**.

المسألة

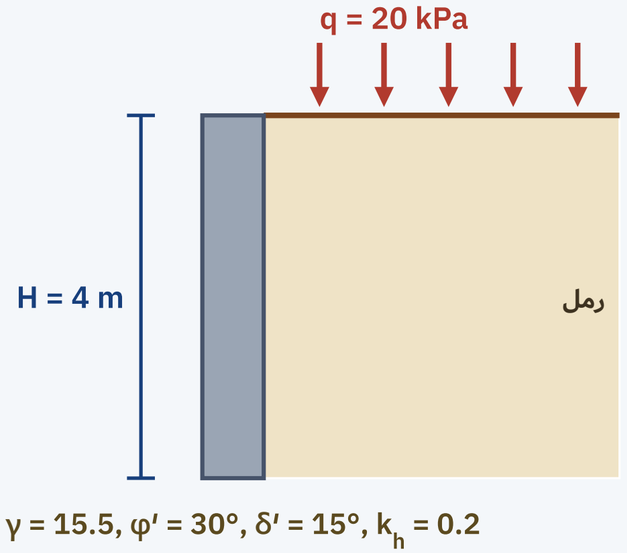
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار والتربة في المثال 1 ($k_h = 0.2$)**
الحمل الإضافي	**$q = 20$ kPa (على السطح الأفقي)**

المطلوب

الإجمالي P_{ae}، الجزء الاستاتيكي، الزيادة الزلزالية و$\bar{z}$.



الحل

الحل

1 الإجهاد والقوى المكافئة ($K'_a = 0.4520$)

$$q_e = q\cos 0^\circ / \cos 0^\circ = 20 \text{ kPa}$$

$$P_{ae} = K'_a\left(\tfrac{1}{2}\gamma H^2 + q_e H\right) = 0.4520(124 + 80) = 0.4520(204) = \mathbf{92.21} \text{ kN/m}$$

2 المركبة الساكنة ($K_a = 0.3014$ Coulomb) والزيادة

$$P_a = K_a(204) = 61.49 \text{ kN/m} \qquad \Delta P_{ae} = 30.73 \text{ kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{(37.38)(1.33) + (24.11)(2.0) + (30.73)(2.4)}{92.21} = \mathbf{1.86} \text{ m}$$

P_{ae} = 92.21 kN/m (56.05 دون حمل إضافي)؛ **$\bar{z}$ = 1.86 m**. ويؤثر الجزء الاستاتيكي من الحمل الإضافي عند H/2، وزيادته الزلزالية عند 0.6H.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

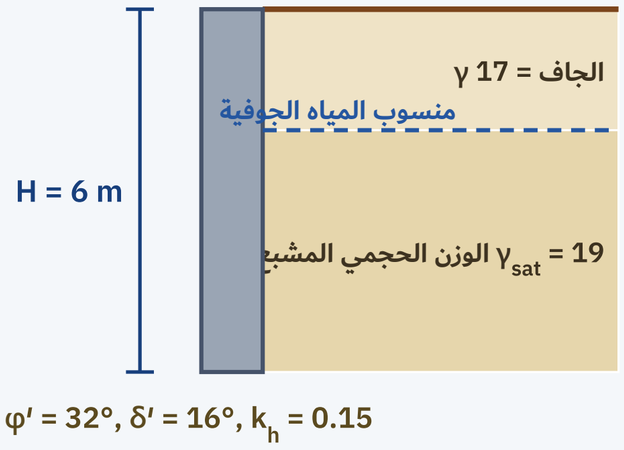
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 6$ m، رأسي؛ ردم أفقي؛ دون حمل إضافي
التربة	$\gamma = 17$ kN/m^3 (جاف، 0–2 m)، $\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3 (2–6 m)؛ $\varphi' = 32^\circ$, $\delta' = 16^\circ$
الزلزال	$k_h = 0.15$، $k_v = 0$؛ منسوب المياه الجوفية 2 m (dw = 4 m)

المطلوب

P الكلية و **z̄** في حالتي حركة الماء مع التربة (**مقيد**) وعدم حركته معها (**حر**)؛ ومقارنة بالقيمة الاستاتيكية.



الحل (1/2)

الحل

1 k_h و ψ_w المكافئان تحت الماء

$$\text{مقيد: } k_{h,w} = \frac{19}{19-9.81}(0.15) = 0.3101 \;\Rightarrow\; \psi_w = 17.23^\circ$$

$$\text{حر: } k_{h,w} = \frac{17}{19-9.81}(0.15) = 0.2775 \;\Rightarrow\; \psi_w = 15.51^\circ$$

2 المعاملات (المنطقة الجافة $\psi = 8.53^\circ$)

$$K'_a(\text{حر، مغمور}) = 0.4991 \qquad K'_a(\text{مقيد، مغمور}) = 0.5372 \qquad K'_a(\text{جاف}) = 0.3792$$

الحل (2/2)

الحل

3 القوى (kN/m)؛ $P_{wd} = (7/12)(0.15)(9.81)(4)^2 = 13.73$ kN/m، عند $d_w = 1.6$ m·0.4 فوق القاع

	التربة P_{ae}	الماء الهيدروستاتيكي	هيدروديناميكي (Westergaard)	مجموع P	$\bar{z}$ (m)
استاتيكي ($k_h = 0$)	67.74	78.48	–	144.80	1.71
ماء مقيد	125.46	78.48	–	202.06	2.24
ماء حر	117.47	78.48	13.73	207.67	2.15

زاد الزلزال القوة الكلية مقارنة بالحالة الاستاتيكية بنسبة **40%** (حالة الماء المقيد) و**43%** (حالة الماء الحر)؛ وارتفعت $\bar{z}$ من 1.71 إلى 2.24 m. وفي الحالة المقيدة تكون قوة التربة أكبر (ψ_w كبيرة)، أما في الحالة الحرة فيضاف الضغط الهيدروديناميكي؛ والمجموعان متقاربان جدا (202.1 و 207.7 kN/m).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

نطاق الحل

شبه استاتيكي: يُمثَّل الزلزال بالمعاملين الثابتين k_h و k_v؛ ولا يؤخذ في الحسبان اعتماد التسارع على الزمن وعلى حركة الجدار (انزلاق Newmark، التحليل الديناميكي).

الإسفين المستوي والردم الجاف عديم التماسك (Mononobe–Okabe)؛ أما الحالة الطبقية فهي امتداد للوحدة (لا يوجد حل مغلق للحالة الطبقية)، وتؤول في الطبقة الواحدة إلى الحل المغلق، وعند $k_h = k_v = 0$ إلى Coulomb الطبقي.

الماء: مقيد (في التربة ناعمة الحبيبات) أو حر ($k > 5{\cdot}10^{-4}$ m/s)؛ وفي الماء الحر يضاف ضغط Westergaard الهيدروديناميكي.

موقع التأثير وفق Seed–Whitman: تؤثر P_a عند $H/3$، وتؤثر ΔP_{ae} عند $0.6H$؛ ويعمل الماء بذراعه الخاص.

المنفعل للضغط، راجع وحدة المنفعل في الزلزال (Subba Rao–Choudhury).

النقاط الرئيسية

شبه استاتيكي: k_hW، k_vW؛ $\psi = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$؛ والإسفين الزلزالي هو إسفين Coulomb بعد تدويره بزاوية ψ

$P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma H^2(1 - k_v)K'_a$؛ تزداد K'_a بسرعة مع k_h؛ وعند $k_h = k_v = 0$ تؤول إلى Coulomb

حد التوازن: $k'_{h,cr} = (1 - k_v)\tan\varphi$ (و $\tan(\varphi' - \alpha)$ في حالة المنحدر)؛ وإذا تم تجاوزه فلا يوجد حل

k_v: يزيد القوة الموجهة إلى الأسفل؛ ويُختار عملياً الأسوأ من $\pm 0.5k_h$

الموضع: $P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae}$؛ تؤثر P_a عند $H/3$ و ΔP_{ae} عند $0.6H$؛ $\bar{z} = [P_a(H/3) + \Delta P_{ae}(0.6H)]/P_{ae}$

يضاف **الحمل الإضافي** بالعلاقة $q_e = q\cos\theta/\cos(\theta - \alpha)$؛ وتحت **الماء** تزداد ψ_w (الماء المحصور: γ_{sat}/γ، الماء الحر: γ'_d/γ)، ويضاف في الماء الحر الضغط الهيدروديناميكي $k_h\gamma_w d_w^2(7/12)$

المراجع

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

Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929). On the determination of earth pressure during earthquakes. Proceedings, World Engineering Congress, Tokyo, 9, 177–185.

Okabe, S. (1926). General theory of earth pressure. Journal of the Japan Society of Civil Engineering, 12(1).

Seed, H.B. and Whitman, R.V. (1970). Design of earth retaining structures for dynamic loads. Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, ASCE, 103–147.

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

Westergaard, H.M. (1933). Water pressures on dams during earthquakes. Transactions ASCE, 98, 418–433.

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية ناتجة عن محرك الحساب الخاص بالوحدة؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. والجدار الابتدائي للوحدة هو جدار المثال 1 ($k_h = 0.2$، $\delta' = 15°$).

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل الجدار ومعاملي الزلزال k_h و k_v والحمل الإضافي والطبقات والمياه الجوفية في GeoTerva؛ وتعطي الوحدة معاً P_{ae} وارتفاع نقطة التأثير والإسفين الحرج.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

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