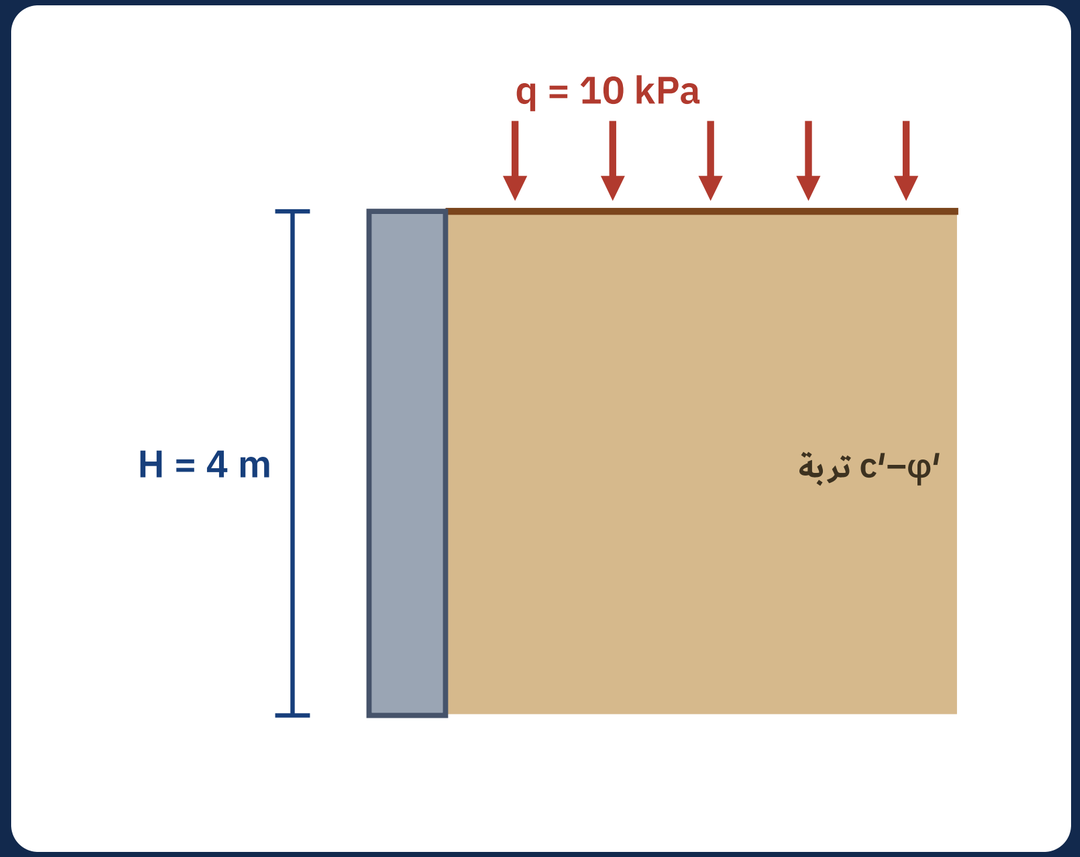


شرائح محاضرات الجيوتكنيك · ضغط التربة الجانبي

ضغط التربة المنفعل في الزلزال

المحاضرة: الحساب شبه الاستاتيكي للمقاومة المنفعلة للتربة أمام الجدار أثناء الزلزال (Subba Rao و Choudhury 2005): المعاملات $K_{p\gamma(e)}$ و $K_{pq(e)}$ و $K_{pc'(e)}$، و k_v، والطبقات، والماء، والحمل الإضافي؛ ومثال محلول في كل موضوع.

$$P'_{pe} = [\tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma(e)} + qHK_{pq(e)} + 2c'HK_{pc'(e)}]/\cos\delta$$

Subba Rao – Choudhury

k_h و k_v

الطبقة · الماء · الحمل الإضافي

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

لماذا **تقل** المقاومة المنفعلة أثناء الزلزال: تساعد قوة القصور الذاتي للإسفين على إبعاد التربة عن الجدار

حساب القوة المنفعلة **بثلاثة معاملات**: $P_{pe} = [\frac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma(e)} + qHK_{pq(e)} + 2c'HK_{pc'}$ $/\cos\delta'_{(e)}]$

مخططات المعاملات ($\varphi' = 10–40°$ و $\delta'/\varphi' = 0.5$ و 1 و $k_v = 0$ و k_h) وكيفية قراءة القيم الوسيطة

تحديد موضع القوة ($H/3$ و $H/2$) واتجاهها (δ' عن العمودي)

تأثير k_v و**الماء** (محصور أو حر) والطبقات والحمل الإضافي

حد k_h الذي تنتهي عنده المخططات، وسبب توقف الوحدة عنده

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)؛ جدار رأسي وسطح أفقي؛ k_v موجب إلى الأعلى، $0 \le k_h \le k_v$.

Subba Rao وChoudhury (2005)

النظرية

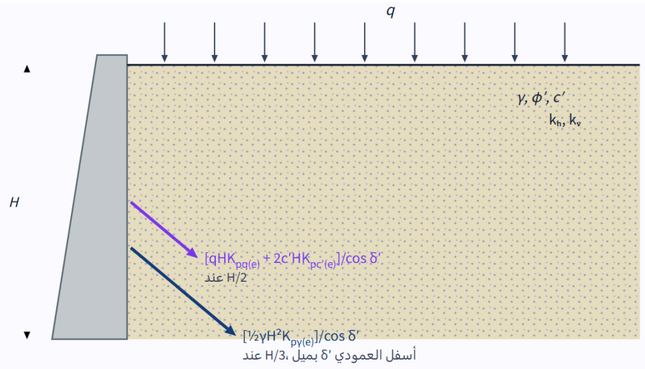
أثناء الزلزال يساعد القصور الذاتي للإسفين الواقع أمام الجدار على إبعاد التربة عن الجدار؛ فتنخفض **المقاومة المنفعلة**. وقد وسّع Subba Rao و Choudhury الاتزان الحدي للضغط المنفعل ذي السطح المنحني (حلزون + جزء مستقيم) ليشمل القوتين $k_h W$ و $k_v W$ (جدار رأسي، وردم أفقي φ–c'، وحمل إضافي q، واحتكاك الجدار δ'، والالتصاق c'_a):

$$P_{pe} = \left[\frac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma(e)} + qHK_{pq(e)} + 2c'HK_{pc'(e)}\right]\frac{1}{\cos\delta'}$$

المعاملات الثلاثة هي مركبات **عمودية** على الجدار؛ ولذلك تُقسم على $\cos\delta'$. ويؤثر الجزء المتعلق بـ γ عند H/3، والجزء المتعلق بـ q وc′ عند H/2:

$$\bar{z} = \frac{P_\gamma\,(H/3) + (P_q + P_{c'})\,(H/2)}{P_{pe}}$$

تميل القوة بزاوية δ' **إلى الأسفل** عن العمودي على وجه الجدار.



المخططات البيانية وقراءة القيم البينية

النظرية

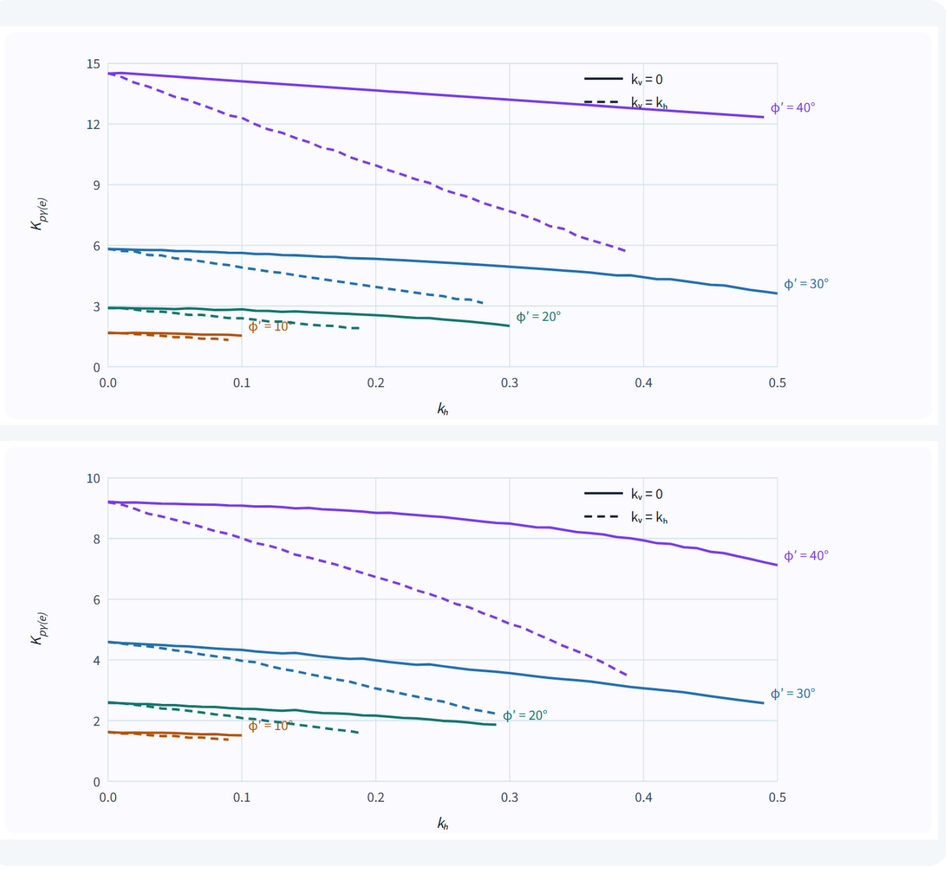
تعطى $K_{p\gamma(e)}$ و $K_{pq(e)}$ على هيئة **منحنيات المخططات** لقيم $\varphi' = 10°، 20°، 30°، 40°$؛ ولقيمتي $\delta'/\varphi' =$ 0.5 و 1؛ ولحالتي $k_v = 0$ و $k_v = k_h$ (وتخزن الوحدة هذه المنحنيات بخطوة $\Delta k_h = 0.01$). والقيم الوسيطة: خطية في k_h وفي δ'/φ'، و**لوغاريتمية–خطية** في φ'؛ ولا يوجد استقراء خارج المجال (φ' من 10 إلى 40°، δ' من $\varphi'/2$ إلى φ').

تنخفض المعاملات بازدياد k_h؛ و**بمعدل أسرع بكثير عندما $k_v = k_h$**. وينتهي كل منحنى عند قيمة k_h التي تنفد عندها المقاومة المنفعلة؛ وتتوقف الوحدة عندها.

عند $k_h = 0$ تعطي المخططات معامل الضغط المنفعل الاستاتيكي: ففي حالة $\varphi' = \delta' = 40°$ يكون $K_{p\gamma(e)} =$ 14.49؛ وفي وحدة اللولب اللوغاريتمي $K_p \cos \delta' = 14.45$.

$0 \le k_v \le k_h$ (اتجاه صاعد، غير ملائم للضغط المنفعل): استكمال خطي بين المنحنيين $k_v = 0$ و $k_v = k_h$؛ جرى اختباره بمعامل Coulomb، والخطأ < 0.4% (بالنقصان).

قيمة $K_{pc'(e)}$ في الجدول: من أجل $\varphi' = 40°$ و $\delta'/\varphi' = 1$ تكون 5.95 عند $c'_a = 0$، و5.97 في حالة الالتصاق.



المسألة

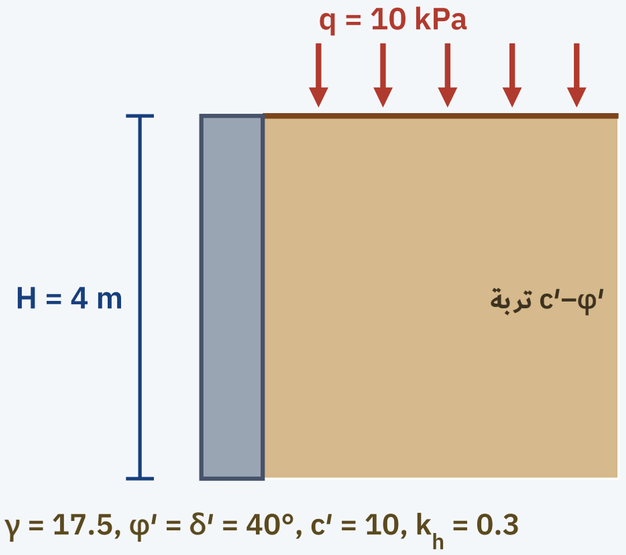
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 4$ m، رأسي؛ سطح أفقي؛ $q = 10$ kPa
التربة	$\gamma = 17.5$ kN/m^3، $\varphi' = 40^\circ$، $c' = 10$ kPa؛ $\delta' = 40^\circ$، $c'_a = 0$
الزلزال	$k_h = 0.3$، $k_v = 0$

المطلوب

معاملات المخطط، P_{pe}، واتجاهه، و$\bar{z}$. يفتح البرنامج بهذا الجدار.



الحل (1/2)

الحل

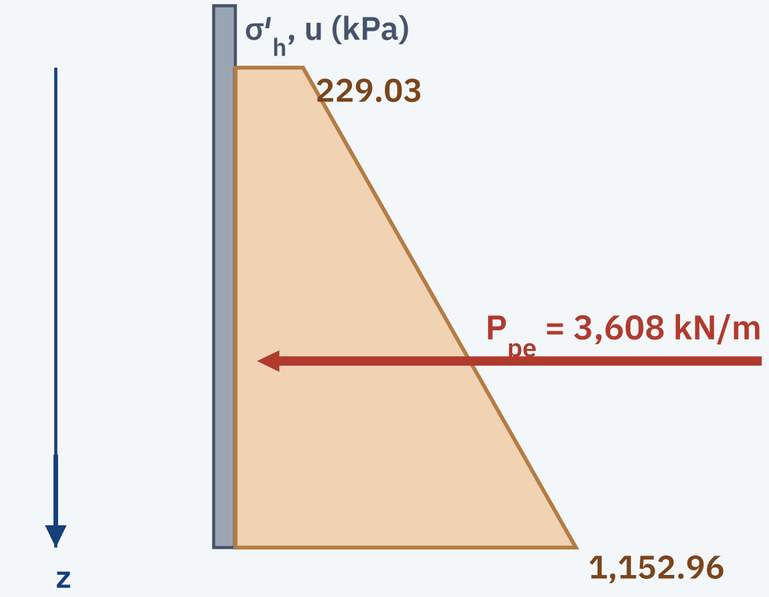
1 المعاملات ($k_h = 0.3$، $k_v = 0$، $\varphi'/\delta' = 1$؛ تقرأ الوحدة من المخططات البيانية)

$$K_{p\gamma(e)} = \mathbf{13.20} \qquad K_{pq(e)} = \mathbf{11.00} \qquad K_{pc'(e)} = \mathbf{5.95}$$

($k_h = 0$: $K_{p\gamma} = 14.49,\ K_{pq} = 11.11$، استاتيكي)

الحل (2/2)

الحل



2 المركبات العمودية والمجموع

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}(17.5)(4)^2(13.20) = 1{,}848 \text{ kN/m}$$

$$P_q = 10(4)(11.00) = 440 \qquad P_{c'} = 2(10)(4)(5.95) = 476$$

$$P_{pe} = \frac{1{,}848 + 440 + 476}{\cos 40^\circ} = \frac{2{,}764}{0.766} = \mathbf{3{,}608} \text{ kN/m}$$

3 الموقع والمكونات

$$\bar{z} = \frac{2{,}412.2(4/3) + 1{,}195.9(2)}{3{,}608} = \mathbf{1.554} \text{ m}$$

$$P_h = P_{pe}\cos 40^\circ = 2{,}764 \qquad P_v = P_{pe}\sin 40^\circ = 2{,}319 \text{ kN/m}$$

P_{pe} ≈ 3,608 kN/m، مائلة بزاوية 40° إلى الأسفل عن العمودي، وتقع على ارتفاع **1.554 m** فوق القاع؛ وحصة وزن التربة 2,412 وحصة q و c′ 1,196 kN/m (عند القسمة على المركبة العمودية).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

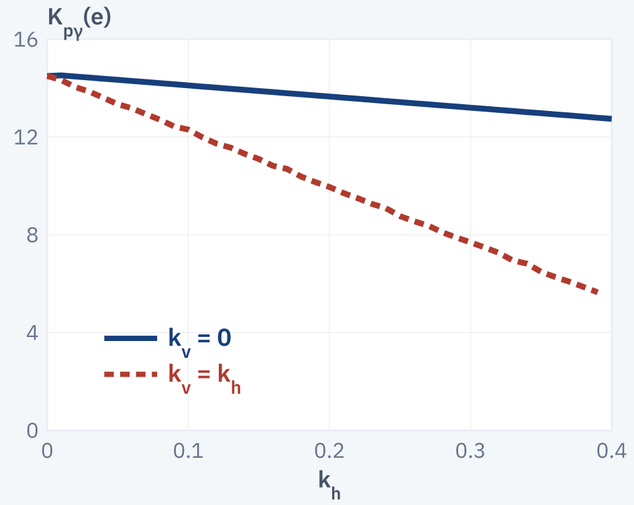
مثال

المعطيات

التربة	$\varphi' = \delta' = 40^\circ$ ($\delta'/\varphi' = 1$)؛ **رمل جاف، غير متماسك**
المتغير k_h	$k_h = 0,\ 0.1,\ 0.2,\ 0.3,\ 0.35$ و$k_v = 0$ **أو** $k_v = k_h$

المطلوب

قيم $K_{p\gamma(e)}$؛ نسب الانخفاض عند $k_h = 0.3$.



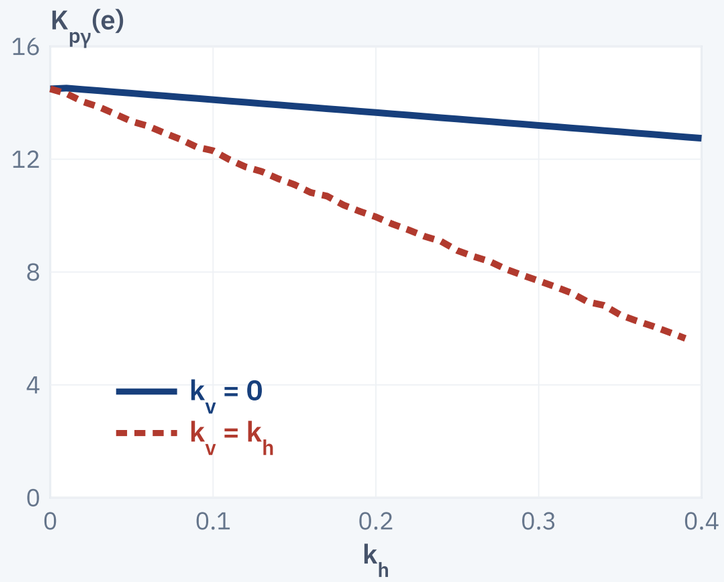
الحل

الحل

1 قراءات المخطط ($\delta'/\varphi' = 1$)

k_h	$K_{p\gamma(e)}$ ($k_v = 0$)	$K_{p\gamma(e)}$ ($k_v = k_h$)
0.00	14.49	14.49
0.10	14.11	12.30
0.20	13.65	9.95
0.30	13.20	7.69
0.35	12.97	6.48

من $k_h = 0$ إلى 0.3 تتغير $K_{p\gamma(e)}$ من 14.49 إلى 13.20 (انخفاض 9%، $k_v = 0$)؛ وعندما $k_v = k_h$ تهبط إلى 7.69 (47%). وفي الحالة الاستاتيكية تتسق القيمة 14.49 مع $K_p \cos \delta' = 14.45$ في وحدة الحلزون اللوغاريتمي.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

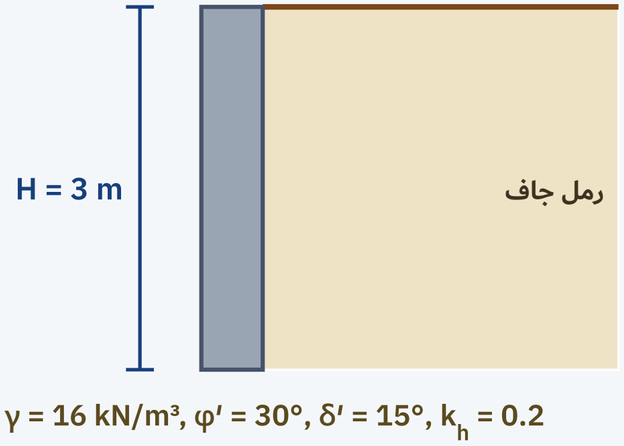
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 3$ m، رأسي؛ سطح أفقي؛ دون حمل إضافي
التربة	**رمل جاف:** $\gamma = 16$ kN/m^3، $\varphi' = 30^\circ$؛ $\delta' = 15^\circ$ $(\delta'/\varphi' = 0.5)$
الزلزال	$k_h = 0.2$,$k_v = 0$

المطلوب

P_{pe} و $\bar{z}$ والمركبات؛ مقارنة مع القوة المنفعلة الاستاتيكية.



الحل

الحل

1 المعاملات ($\delta'/\varphi' = 0.5$)

$$k_h = 0: \; K_{p\gamma} = 4.592 \qquad k_h = 0.2: \; K_{p\gamma(e)} = \mathbf{3.987}$$

2 القوة ($c' = q = 0$)

$$P_{pe} = \frac{\frac{1}{2}(16)(3)^2(3.987)}{\cos 15^\circ} = \frac{287.1}{0.9659} = \mathbf{297.2}\ \text{kN/m}$$

استاتيكي: $P_p = 342.3$ kN/m $(K_p = 4.592)$

3 الموقع والمكونات

$$\bar{z} = \frac{H}{3} = \mathbf{1.00}\ \text{m} \qquad P_h = P_{pe}\cos 15^\circ = 287.1 \qquad P_v = P_{pe}\sin 15^\circ = 76.9\ \text{kN/m}$$

P_{pe} = **297.2 kN/m**؛ وكانت القيمة الاستاتيكية 342.3 kN/m: فقد أدى k_h = 0.2 إلى **خفض** المقاومة بنسبة 13%.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

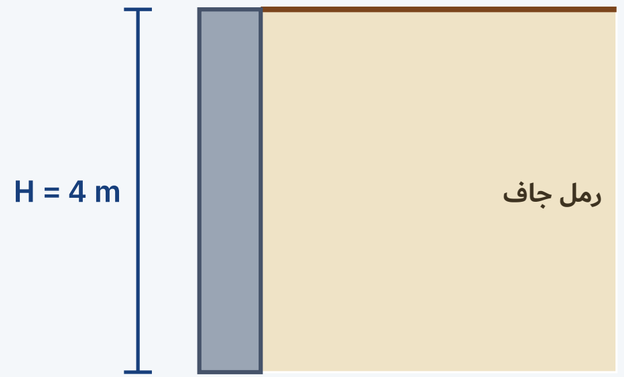
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	$H = 4$ m؛ **رمل جاف:** $\gamma = 17.5$ kN/m^3, $\varphi' = \delta' = 40^\circ$
الزلزال	$k_h = 0.3$؛ $k_v = 0,\ 0.15\ (= 0.5k_h),\ 0.30\ (= k_h)$

المطلوب

لكل $K_{p\gamma(e)}$، k_v وP_{pe}؛ كيف تجد القيمة البينية؟



γ = 17.5, φ′ = δ′ = 40°, k_h = 0.3

الحل

الحل

1 الاستكمال الداخلي: $K(k_v) = K(0) + [K(k_h) - K(0)]\cdot k_v/k_h$؛ $P_{pe} = ½(17.5)(16)K_{p\gamma(e)}/\cos 40° = 182.7\ K_{p\gamma(e)}$

P_{pe} (kN/m)	$K_{pq(e)}$	$K_{p\gamma(e)}$	k_v/k_h	k_v
2,412	11.00	13.20	0.0	0.00
1,909	9.29	10.44	0.5	0.15
1,405	7.58	7.69	1.0	0.30

عند $k_v = 0.5k_h$ تنخفض القوة 2,412 → 1,909 kN/m (21%)، وعند $k_v = k_h$ تصبح 1,405 kN/m (42%).
ولأن التسارع الرأسي الموجه إلى أعلى يقلل الوزن فهو **غير ملائم للحالة المنفعلة**؛ ويعد $k_v = 0.5k_h$ اختياراً شائعاً.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

امتداد الطبقات في الوحدة

النظرية

المخططات معدة لتربة واحدة وجدار رأسي وسطح أفقي؛ وتبقى الهندسة كذلك. وتقسم الوحدة التربة إلى **طبقات محدودة أفقياً**؛ وتأخذ كل طبقة معاملها الخاص، إذ يؤثر وزن الطبقات العلوية (و q) كحمل إضافي بالمعامل $K_{pq(e)}$، ووزنها الذاتي بالمعامل $K_{p\gamma(e)}$، وتماسكها بالمعامل $K_{pc'(e)}$:

$$\sigma_n = K_{pq(e)}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma(e)}\left(\sigma'_v - \sigma'_{v,top}\right) + 2c'K_{pc'(e)} \qquad \text{على امتداد الوجه: } \sigma_n \tan\delta'$$

تحت منسوب الماء $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$، ويكون u عمودياً على الجدار. وفي الزلزال يتحرك ماء المسام مع التربة (**مقيد**) أو لا يتحرك معها (**حر**)؛ وتقرأ المخططات عند قيمة k_h أكبر:

$$k_{h,w} = \frac{\gamma_d}{\gamma_{sat} - \gamma_w}k_h \text{ (حر)} \qquad k_{h,w} = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w}k_h \text{ (مقيد)}$$

في الماء الحر يطرح ضغط Westergaard الهيدروديناميكي $(7/8)k_h\gamma_w\sqrt{(d_w z')}$ **من المقاومة** (حالة غير ملائمة للضغط المنفعل). وتقرأ k_v تحت الماء بالنسبة $k_v/k_{h,w}$.

هذه الصيغة الطبقية امتداد هندسي للوحدة؛ وتتوقف الوحدة عند انتهاء منحنى المخطط البياني.

التكوين

الطبقة: K_{pq} (الحمل الواقع فوقها) + $K_{p\gamma}$ (وزنها الذاتي) + K_{pc}، (التماسك)؛ الماء: γ' و u؛ الزلزال: $k_{h,w}$.

المسألة

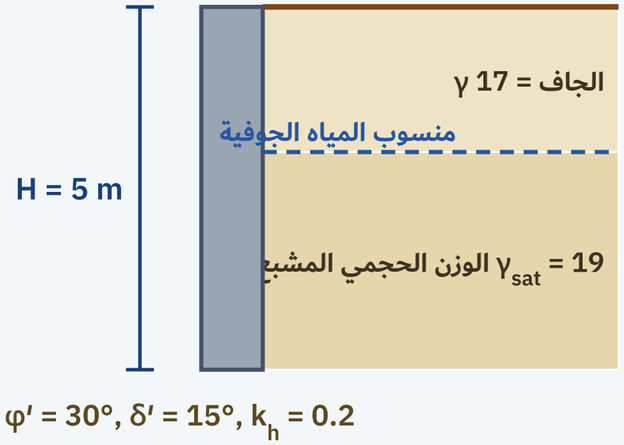
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 5$ m، رأسي؛ سطح أفقي؛ دون حمل إضافي
التربة	$\gamma = 17$ kN/m^3 (جاف)، $\gamma_{sat} = 19$، $\gamma_d =$ 17 kN/m^3؛ $\varphi' = 30^\circ$, $\delta' = 15^\circ$
الزلزال والماء	$k_h = 0.2$، $k_v = 0$؛ منسوب المياه الجوفية 2 m (d_w = 3 m)

المطلوب

P_{pe} و $\bar{z}$ في حالتي الماء المقيد والماء الحر؛ والمقارنة مع القيم الجافة والاستاتيكية.



الحل (1/2)

الحل

1 قيمة k_h المقروءة تحت الماء

حر: $k_{h,w} = \dfrac{17}{19 - 9.81}(0.2) = \mathbf{0.370}$

مقيد: $k_{h,w} = \dfrac{19}{19 - 9.81}(0.2) = \mathbf{0.413}$

الحل (2/2)

الحل

2 المعاملات والقوى ($\sigma_n = K_{p\gamma(e)}\sigma'_v$)، ولا يوجد حمل عند رأس الطبقة؛ وتحت الماء $u = 9.81(z - 2)$؛ وتُطرح $P_{wd} = (7/12)(0.2)(9.81)(3)^2 = 10.30$ kN/m من المقاومة)

	k_h المقروء	$K_{p\gamma(e)}$	تربة N_s	الماء	هيدروديناميكي	P (kN/m)	$\bar{z}$ (m)
أعلى منسوب المياه (0–2 m)	0.200	3.987					
تحت الماء المقيد	0.413	3.008	566.8	44.1	–	629.5	1.84
تحت الماء الحر	0.370	3.230	598.6	44.1	10.3	652.5	1.83

في حالة الماء المقيد تبلغ **$P = 629.5$ kN/m**، وفي حالة الماء الحر **652.5 kN/m**؛ وفي التربة الخالية من المياه الجوفية 877.1، وفي الحالة الاستاتيكية ($k_h = 0$) مع وجود الماء 885.9 kN/m. ولأن قيمة $k_{h,w}$ المقروءة تحت الماء كبيرة، فإن $K_{p\gamma(e)}$ تنخفض من 3.99 إلى 3.01 و**تتناقص** المقاومة.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

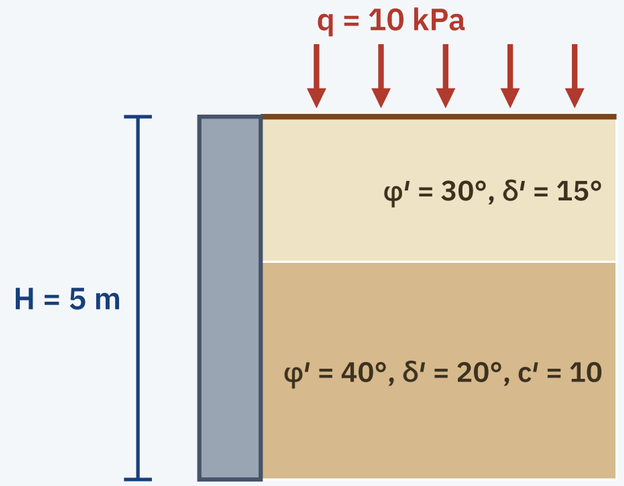
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 5$ m، رأسي؛ سطح أفقي؛ $q = 10$ kPa؛ لا يوجد ماء
الطبقة 1 (2 m–0)	$\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$, $\delta' = 15^\circ$, $c' = 0$
الطبقة 2 (5 m–2)	$\gamma = 19$ kN/m^3, $\varphi' = 40^\circ$, $\delta' = 20^\circ$, $c' = 10$ kPa
الزلزال	$k_v = 0$,$k_h = 0.2$

المطلوب

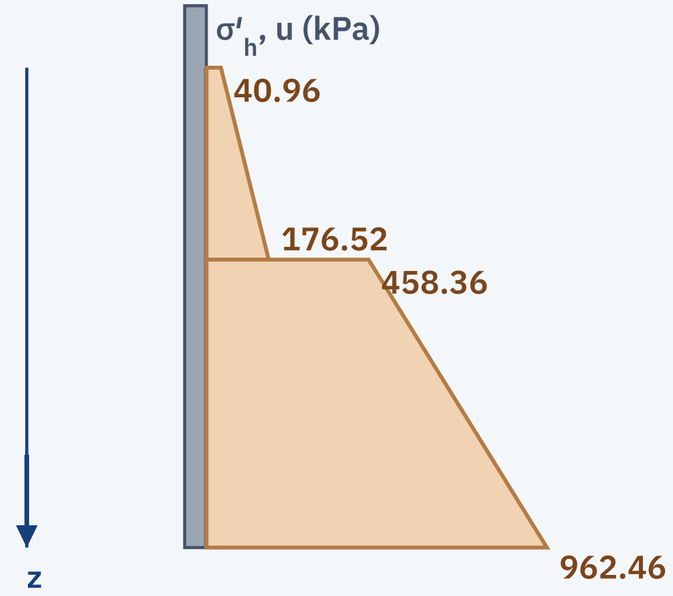
قفزة الضغط عند الحد، وقوى الطبقات، **P**، وβ، و**z̄**.



γ = 17 | 19 kN/m³, k_h = 0.2

الحل (1/2)

الحل



1 المعاملات ($k_h = 0.2$)

الطبقة 1: $K_{p\gamma} = 3.987,\ K_{pq} = 4.096$

الطبقة 2: $K_{p\gamma} = 8.844,\ K_{pq} = 8.449,\ K_{pc'} = 4.33$

2 الإجهاد العمودي σ_n ($\sigma'_v = 10$؛ 44؛ 101 kPa: الأعلى، الحد، القاع)

$$\sigma_n(0) = K_{pq} q = 4.096(10) = 40.96$$

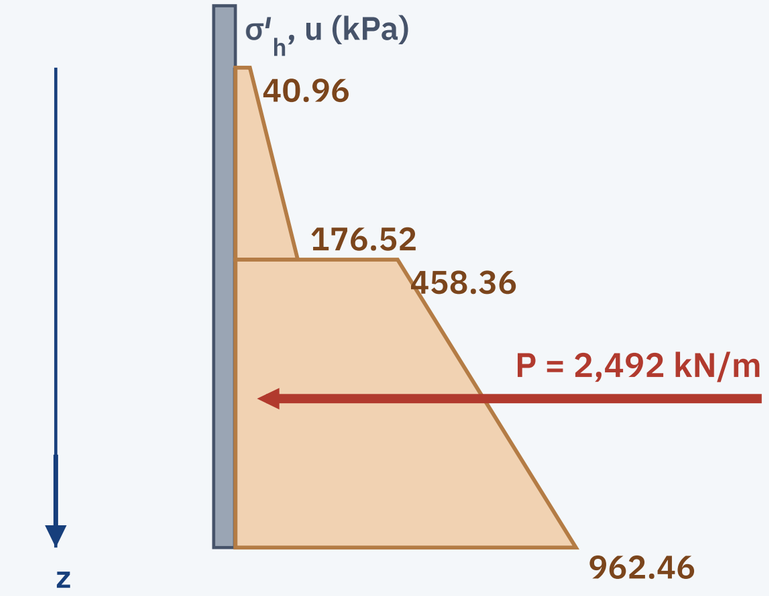
$$\sigma_n(2^-) = 40.96 + 3.987(34) = 176.52$$

$$\sigma_n(2^+) = 8.449(44) + 2(10)(4.33) = \mathbf{458.36}$$

$$\sigma_n(5) = 458.36 + 8.844(57) = \mathbf{962.46}\ \text{kPa}$$

الحل (2/2)

الحل



3 المركبات العمودية وعلى طول الوجه (باستخدام δ′ للطبقة؛ الأذرع من القاعدة)

$$N_1 = 217.5\ (3.79 \text{ ذراع m})$$

$$N_2 = 2{,}131.2\ (1.32 \text{ ذراع m})$$

$$N = 2{,}348.7 \qquad T = 834.0 \text{ kN/m}$$

4 المحصلة وموقعها

$$P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{2{,}492.4} \text{ kN/m} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 19.55^\circ$$

$$\bar{z} = \frac{217.5(3.79) + 2{,}131.2(1.32)}{2{,}348.7} = \mathbf{1.55} \text{ m}$$

P = **2,492 kN/m**، β = 19.5° (بين δ′ = 15° و 20°)، على ارتفاع 1.55 m فوق القاع. وعند الحد **تقفز** σ_n من 176.5 إلى 458.4 kPa (تتغير φ′ و δ′ و c′).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

أين يقع موقع الوحدة؟

النظرية

تنتهي كل منحنيات المخطط البياني عند قيمة k_h التي تُستنفد عندها المقاومة المنفعلة؛ وتتوقف الوحدة عند هذه القيمة (ولا تجري استكمالاً خارجياً). ويتوقف هذا الحد على φ' و δ'/φ' و k_v:

φ'	$k_v = 0,\ \delta'/\varphi' = 0.5$	$k_v = 0,\ \delta'/\varphi' = 1$	$k_v = k_h,\ \delta'/\varphi' = 0.5$	$k_v = k_h,\ \delta'/\varphi' = 1$
10°	0.108	0.098	0.085	0.079
20°	0.292	0.279	0.185	0.198
30°	0.494	0.463	0.288	0.282
40°	0.500	0.463	0.393	0.397

تنتهي منحنيات $k_v = k_h$ أبكر بكثير ($\varphi' = 30°$، $\delta' = \varphi'/2$: 0.29).

المقاسة تحت الماء $k_{h,w} = k_h\gamma_{sat}/\gamma' \approx 2k_h$ تتجاوز هذا الحد بسهولة.

المسألة

مثال

المعطيات

التربة	$\varphi' = 30^\circ$، $\delta' = 15^\circ$؛ $\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3؛ **منسوب المياه الجوفية عند قمة الجدار (z_w = 0)**
الزلزال	$k_h = 0.3$، $k_v = 0$؛ **ماء المسام مقيد**

المطلوب

قيمة $k_{h,w}$ التي تقرأ تحت الماء؛ حد المخطط البياني؛ ماذا تفعل الوحدة؟

الحل

الحل

1 قيمة k_h المقروءة وحد المخطط

$$k_{h,w} = \frac{19}{19 - 9.81}(0.3) = \mathbf{0.620}$$

$$k_{h,lim}(30^\circ,\ \delta'/\varphi' = 0.5,\ k_v = 0) = 0.494$$

$k_{h,w} = 0.620 > 0.494$: المخطط البياني لا يشمل هذه القيمة (وهي المنطقة التي تستنفد فيها المقاومة المنفعلة)، لذا **توقف الوحدة الحساب.** والحل: خفض منسوب المياه الجوفية أو تقليل k_h؛ ففي حالة $k_h = 0.2$ تكون $k_{h,w} = 0.41$ ضمن الحد (المثال 5).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

نطاق الحل

النظرية

شبه استاتيكي: k_h و k_v ثابتتان؛ لا اعتماد على الزمن ولا إزاحة دائمة.

الشكل الهندسي: جدار رأسي وسطح أفقي؛ والمخططات البيانية معدّة للمدى $\varphi' = 10–40°$ و $\delta'/\varphi' = 0.5–1$؛ و k_v في الاتجاه الصاعد فقط (وهو غير ملائم للحالة المنفعلة)، $0 \le k_h \le k_v$.

التماسك: جدول $K_{pc'(e)}$؛ والالتصاق إما صفر أو $c'_a/c' = \tan\delta'/\tan\varphi'$.

الطبقات والماء والحمل الإضافي امتداد هندسي للوحدة (لا يوجد حل مغلق في الأدبيات)؛ والماء إما مقيد أو حر، وفي حالة الماء الحر تطرح قيمة Westergaard من المقاومة.

الضغط المنفعل الاستاتيكي: الحلزون اللوغاريتمي و Coulomb؛ **الضغط الفعال الزلزالي**: وحدات Mononobe–Okabe.

النقاط الرئيسية

$P'_{pe} = [½\gamma H^2 K_{p\gamma(e)} + qHK_{pq(e)} + 2c'HK_{pc'(e)}] / \cos\delta$؛ يؤثر الجزء المنسوب إلى γ عند $H/3$، والجزء المنسوب إلى q و c' عند $H/2$؛ وتنحرف بزاوية δ' إلى الأسفل عن العمودي على الوجه

تقرأ المعاملات من المخططات البيانية (φ' من 10 إلى 40°، δ'/φ' من 0.5 إلى 1، $k_v = 0$ و k_h): k_h خطية بالنسبة إلى δ'/φ' ولوغاريتمية-خطية بالنسبة إلى φ'؛ وتنقص المعاملات كلما ازدادت k_h

k_v (إلى أعلى) غير مواتية للحالة المنفعلة: عند $k_v = k_h$ و $\varphi' = \delta' = 40°$ و $k_h = 0.3$ تنخفض $K_{p\gamma(e)}$ من 13.2 إلى 7.7

في الطبقات $\sigma_n = K_{pq}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma}(\sigma'_v - \sigma'_{v,top}) + 2c'K_{pc}$؛ قفزة عند الحد؛ على امتداد الوجه $\sigma_n \tan\delta'$

الماء: γ' و u؛ يقرأ المخطط بالقيمة $k_{h,w} = k_h\gamma_{sat}/\gamma'$ (في الحالة المقيدة) أو γ_d/γ' (في الحالة الحرة)؛ وفي الحالة الحرة يطرح الضغط الهيدروديناميكي من المقاومة

الحد: إذا انتهى منحنى المخطط (عندما تكون $k_{h,w}$ كبيرة، $k_v = k_h$) تتوقف الوحدة

المراجع

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

Subba Rao, K.S. and Choudhury, D. (2005). Seismic passive earth pressures in soils. Journal of Geotechnical and .Geoenvironmental Engineering, ASCE, 131(1), 131–135

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

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية مأخوذة من شيفرة الحساب الخاصة بالوحدة؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. وتُفتح الوحدة بالجدار الوارد في المثال 1 (H = 4 m، $\varphi' = \delta' = 40°$، k_h = 0.3).

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل طبقات جدارك والتماسك والحمل الإضافي والمياه الجوفية ومعاملات الزلزال في GeoTerva؛ وتعطي الوحدة P_{pe} 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