GeoTerva

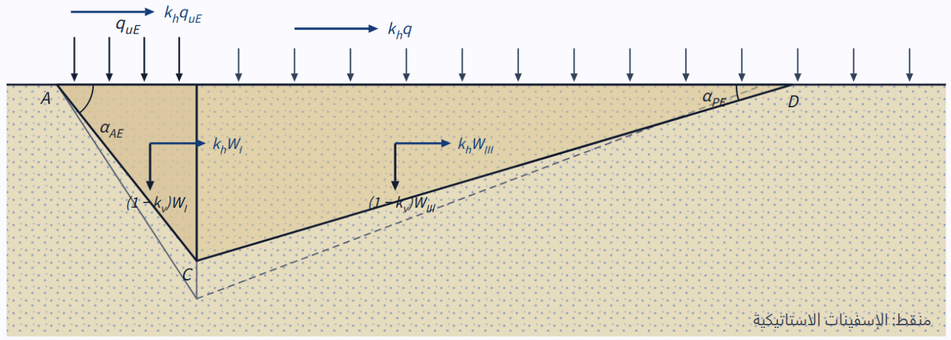
شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الأساسات

# قدرة تحمل القاعدة الشريطية أثناء الزلزال

المحاضرة: من إسفيني Coulomb لدى Richards و Elms و Budhu إلى معاملات قدرة التحمل الاستاتيكية، ثم إلى معاملات Mononobe–Okabe في الزلزال، وإلى مقدار ما ينقصه الزلزال؛ مع مثال محلول لكل موضوع.

إسفينا Coulomb | $K_A \cdot K_P \cdot \alpha_A$ | Mononobe–Okabe

$\theta = \tan^{-1} k_h/(1-k_v)$ | تأثير الزلزال | أمثلة محلولة



منقط: الإسفينات الاستاتيكية

يستند إلى صفحة النظرية في GeoTerva · geoterva.com

# ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

- بناء آلية قدرة التحمل لقاعدة شريطية مستمرة **بإسفينين من Coulomb** (فعال ABC ومنفعل BCD)
- إيجاد قيم $K_A$, $K_P$, $\alpha_A$, $\alpha_P$ ومنها المعاملات $N_q$, $N_\gamma$, $N_c$ بصيغ مغلقة
- اعتبار الزلزال قوة **شبه استاتيكية**: $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$ ومعاملات **Mononobe–Okabe** $K_{AE}$، $K_{PE}$
- حساب **قدرة التحمل الزلزالية** $q_{uE}$ ونسبتها إلى القيمة الاستاتيكية
- تفسير حساسية $k_h$ و $k_v$ و **حد $\theta \geq \varphi$**
- أخذ إجهاد التحمل المسموح به من $q_{uE}$ و**التحقق** من قاعدة الأساس

### تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

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

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

قاعدة المثال، أي النموذج الذي تفتح عليه الوحدة: قاعدة شريطية عرضها $B = 1.5$ m، $D_f = 1$ m، $c = 30$ kPa، $\varphi' = 25°$، $\gamma = 17$ kN/m³، $k_h = 0.25$.

النظرية

# إسفينان من Coulomb بدلاً من اللولب اللوغاريتمي

اقترح Richards و Elms و Budhu (1993) نظرية لقاعدة مستمرة **يمكن تطبيقها على الأحمال الزلزالية أيضا**. وهي تستخدم، بدلا من الحلزون اللوغاريتمي عند Terzaghi أو Meyerhof، سطح انهيار بسيطا يتكون من **إسفينين من نوع Coulomb**؛ ولذلك يستخرج كل معامل **بصيغة مغلقة**.

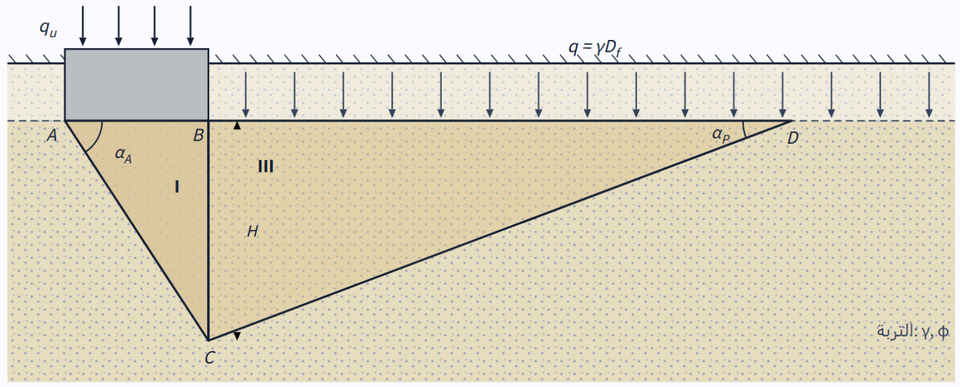
**قاعدة شريطية**، العرض B، العمق $D_f$؛ تعمل التربة فوق القاعدة كحمل إضافي فقط $q = \gamma D_f$.

**تربة** $c$–$\varphi$، $\varphi > 0$؛ لا توجد مياه جوفية في منطقة الانهيار.

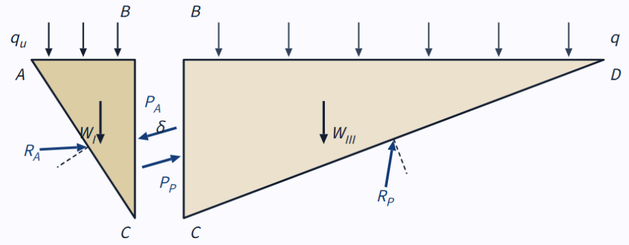
**قوة الكتلة شبه الاستاتيكية** الزلزالية: يؤثر المعاملان الأفقي والرأسي $k_h$ و $k_v$ في الإسفينات والأحمال.

**احتكاك الجدار** $\delta = \varphi/2$ على السطح الرأسي بين الإسفينين (توصية المؤلفين).

الإسفين **الفعال** (ABC) أسفل القاعدة والإسفين **المقاوم** (BCD) بجانبها؛ يلتقي الإسفينان على الوجه BC (الارتفاع H).




(أ)




(ب)

# زوايا الإسفين ومعاملات Coulomb

النظرية

ميلا الإسفينين αA و αP هما زاويتا **إسفيني Coulomb الحرجين** (تقاسان من الأفقي):

$$\alpha_A = \varphi + \tan^{-1}\left\{\frac{[\tan\varphi(\tan\varphi+\cot\varphi)(1+\tan\delta\cot\varphi)]^{0.5}-\tan\varphi}{1+\tan\delta(\tan\varphi+\cot\varphi)}\right\}$$

$$\alpha_P = -\varphi + \tan^{-1}\left\{\frac{[\tan\varphi(\tan\varphi+\cot\varphi)(1+\tan\delta\cot\varphi)]^{0.5}+\tan\varphi}{1+\tan\delta(\tan\varphi+\cot\varphi)}\right\}$$

تكتب المركبات الأفقية لقوى Coulomb بالمعاملات التالية:

$$K_A = \frac{\cos^2\varphi}{\cos\delta\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\varphi}{\cos\delta}}\right]^2} \qquad K_P = \frac{\cos^2\varphi}{\cos\delta\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\varphi}{\cos\delta}}\right]^2}$$

**الرموز**

- $\delta = \varphi/2$: احتكاك الجدار بين الأسافين
- $\alpha_A$: زاوية المستوى المائل AC مع الأفقي
- $\alpha_P$: زاوية المستوى المائل CD مع الأفقي
- $P_A$، $P_P$: قوتا Coulomb على الوجه BC
- $R_A$، $R_P$: المحصلتان على المستويين المائلين
- $W_I$، $W_{III}$: أوزان الأسافين

# المسألة

مثال

**المعطيات**

التربة — $\varphi' = 25^\circ$ **(النموذج الذي تفتح به الوحدة)**

احتكاك الجدار — $\delta = \varphi/2 = 12.5^\circ$

**المطلوب**

أوجد المعاملين $K_A$, $K_P$ وزاويتي الإسفين $\alpha_A$, $\alpha_P$.

# الحل (1/2)

الحل

**1** الحد الجذري المشترك ($\sin 37.5° = 0.6088$؛ $\sin 25° = 0.4226$؛ $\cos 12.5° = 0.9763$)

$$\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\varphi}{\cos\delta}} = \sqrt{\frac{0.6088 \cdot 0.4226}{0.9763}} = \mathbf{0.5133}$$

**2** $K_A$ و $K_P$ ($\cos^2 25° = 0.8214$)

$$K_A = \frac{0.8214}{0.9763(1+0.5133)^2} = \mathbf{0.3674} \qquad K_P = \frac{0.8214}{0.9763(1-0.5133)^2} = \mathbf{3.5524}$$

# الحل (2/2)

الحل

**3** الحد الجذري ($\tan\varphi = 0.4663$؛ $\cot\varphi = 2.1445$؛ $\tan\delta = 0.2217$)

$$[\tan\varphi(\tan\varphi + \cot\varphi)(1 + \tan\delta\cot\varphi)]^{0.5} = [0.4663(2.6108)(1.4754)]^{0.5} = 1.3402$$

$$1 + \tan\delta(\tan\varphi + \cot\varphi) = 1.5788$$

**4** زوايا الإسفين

$$\alpha_A = 25^\circ + \tan^{-1}\frac{1.3402 - 0.4663}{1.5788} = 25^\circ + 28.97^\circ = \mathbf{53.97^\circ}$$

$$\alpha_P = -25^\circ + \tan^{-1}\frac{1.3402 + 0.4663}{1.5788} = -25^\circ + 48.85^\circ = \mathbf{23.85^\circ}$$

الإسفين الفعال شديد الانحدار ($\alpha_A = 53.97^\circ$)، والإسفين المنفعل قليل الانحدار ($\alpha_P = 23.85^\circ$). ارتفاع الإسفين H $= B\tan\alpha_A = 1.5 \times 1.375 =$ **2.06 m**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

# الاتزان الأفقي عند الوجه BC

النظرية

نأخذ الحمل الإضافي وحده ($\varphi \neq 0, \gamma = 0, q \neq 0$)؛ وليكن ضغط الأساس $q'_u$. على الوجه BC تكون القوى الأفقية في حالة اتزان:

$$P_A \cos\delta = P_P \cos\delta$$

مع الحمل الإضافي المنتظم تكون كل قوة = معامل الضغط × الحمل الإضافي × H: $q'_u$ على الجانب الفعال، و$q$ على الجانب المقاوم:

$$P_A \cos\delta = q'_u K_A H \qquad P_P \cos\delta = q\, K_P H$$

عند مساواة الاثنين يُختصر H ويصبح **$N_q$** نسبة معاملي Coulomb:

$$q'_u = q\,\frac{K_P}{K_A} = q\,N_q \qquad N_q = \frac{K_P}{K_A}$$

**?NEDEN ORAN**

يدفع الإسفين الفعال الواقع أسفل القاعدة الإسفين المنفعل المجاور له إلى الجانب. ويستند الطرفان أحدهما إلى الآخر عند الارتفاع H نفسه وبزاوية الاحتكاك δ نفسها؛ ولذلك لا يحدد الاتزان سوى **نسبة** مقاومتي التربة.

النظرية

# يدخل وزن الإسفين من خلال $H = B \tan \alpha_A$

يؤخذ الآن الوزن وحده ($q = 0$، $\gamma \neq 0$، $\varphi \neq 0$)؛ وضغط القاعدة هو $q''_u$. ففي الجانب الفعال يضاف فوق الوزن كحمل إضافي، وفي الجانب المنفعل يؤثر الوزن وحده:

$$P_A \cos\delta = q''_u H K_A + \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_A \qquad P_P \cos\delta = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_P$$

عند المساواة:

$$q''_u = \tfrac{1}{2}\gamma H \left( \frac{K_P}{K_A} - 1 \right)$$

ارتفاع الوجه يأتي من الإسفين الفعال، $H = B \tan \alpha_A$؛ وبذلك نحصل على **$N_\gamma$**:

$$q''_u = \tfrac{1}{2}\gamma B\, N_\gamma \qquad N_\gamma = \tan\alpha_A \left( \frac{K_P}{K_A} - 1 \right)$$

**تعليق**

يعتمد $N_\gamma$ على عمق الإسفين: يبين المعامل **$\tan \alpha_A$** مدى انحدار الإسفين. فالإسفين الشديد الانحدار ($\alpha_A$ كبيرة) يمتد أعمق ويكبر حد الوزن الذاتي.

# التراكب و $N_c$

النظرية

تُجمع حدود الحمل الإضافي والوزن (التراكب):

$$q_u = q'_u + q''_u = q\,N_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$$

بالنسبة للتماسك عند φ = 0 يعطي تحليل إسفين Coulomb القيمة $N_c = 6$؛ ويستخدم المؤلفون العلاقة المعروفة اختصاراً:

$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi \qquad q_u = c\,N_c + q\,N_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$$

هذه القيمة **الاستاتيكية** هي قدرة التحمل لهذين الإسفينين؛ وهي **تختلف** عن معاملات Terzaghi أو Meyerhof أو Hansen أو Vesic من نوع Prandtl ($N_q = 9.67$ :φ = 25°؛ Prandtl–Reissner 10.66).

تحدد قدرة التحمل الزلزالية **بتخفيض** هذه القيمة؛ وتعرض الوحدة القيمتين جنباً إلى جنب.

### المعاملات الاستاتيكية (δ = φ/2)

| $N_c$ | $N_\gamma$ | $N_q$ | $\alpha_A$ | δ | φ′ |
|---|---|---|---|---|---|
| 6.11 | 0.49 | 1.53 | 42.22 | 2.5 | 5 |
| 7.77 | 1.38 | 2.37 | 45.19 | 5.0 | 10 |
| 10.09 | 3.02 | 3.70 | 48.13 | 7.5 | 15 |
| 13.46 | 6.06 | 5.90 | 51.06 | 10.0 | 20 |
| 18.59 | 11.92 | 9.67 | 53.97 | 12.5 | 25 |
| 26.86 | 23.76 | 16.51 | 56.86 | 15.0 | 30 |
| 41.26 | 49.52 | 29.89 | 59.74 | 17.5 | 35 |
| 69.16 | 111.96 | 59.03 | 62.60 | 20.0 | 40 |
| 132.87 | 290.89 | 133.87 | 65.45 | 22.5 | 45 |

# المسألة

مثال

**المعطيات**

| | |
|---|---|
| الأساس | **قاعدة شريطية (مستمرة)، B = 1.5 m، عمق التأسيس $D_f$ = 1.0 m** |
| التربة | $c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$ |
| الوزن الحجمي | $\gamma = 17$ kN/m$^3$؛ **منسوب المياه الجوفية خارج منطقة الانهيار** |
| المثال السابق | $K_A = 0.3674,\ K_P = 3.5524,\ \alpha_A = 53.97^\circ$ |

**المطلوب**

أوجد قيم $N_q$, $N_\gamma$, $N_c$ و $q_u$ الاستاتيكية.

# الحل

الحل

**1** معاملات قدرة التحمل ($\tan 53.97° = 1.3748$)

$$N_q = \frac{K_P}{K_A} = \frac{3.5524}{0.3674} = \mathbf{9.67} \qquad N_c = \frac{9.67 - 1}{0.4663} = \mathbf{18.59}$$

$$N_\gamma = 1.3748(9.67 - 1) = \mathbf{11.92}$$

**2** قدرة التحمل الاستاتيكية ($q = \gamma D_f = 17$ kPa)

$$q_u = 30(18.59) + 17(9.67) + \tfrac{1}{2}(17)(1.5)(11.92)$$

$$= 557.8 + 164.4 + 152.0 = \mathbf{874.14}\ \text{kPa}$$

قدرة التحمل الاستاتيكية **874.14 kPa**؛ حد التماسك 64% وحد الحمل الإضافي 19% وحد الوزن الذاتي 17%. وسيقلل الزلزال هذه القيمة (في القسم التالي).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

# الزاوية θ ومعاملات Mononobe–Okabe

تحت الحمل الزلزالي يحل الإسفينان نفسهما **بقوى القصور الذاتي شبه الاستاتيكية**. وتميل محصلة الوزن وقوة القصور الذاتي بزاوية θ عن الرأسي؛ ويحسب الإسفينان بالزاوية α = φ − θ بدلاً من φ:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v} \qquad \alpha = \varphi - \theta$$

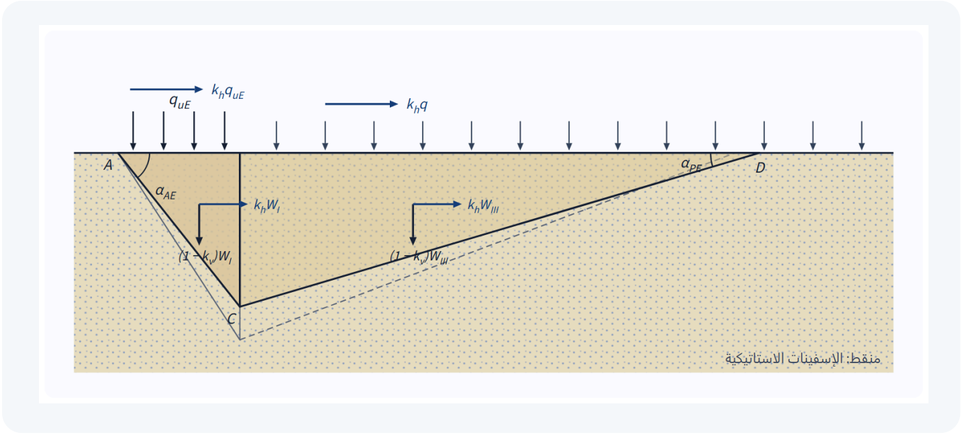
تصبح معاملات Coulomb هي معاملات **Mononobe–Okabe**:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi-\theta)}{\cos\theta\cos(\delta+\theta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\theta)}{\cos(\delta+\theta)}}\right]^2}$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\varphi-\theta)}{\cos\theta\cos(\delta+\theta)\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\theta)}{\cos(\delta+\theta)}}\right]^2}$$

عندما θ = 0 يتحول كل تعبير زلزالي إلى صيغته الاستاتيكية: $K_{AE} = K_A$، و$K_{PE} = K_P$.

كلما زاد التسارع الأفقي قلّت α: تصبح الإسفينات أكثر انبساطاً، ويصبح ميكانيزم الانهيار أقل عمقاً.



# المسألة

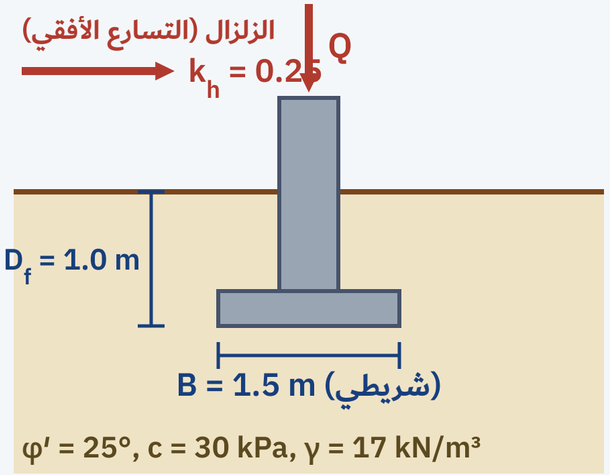
مثال

**المعطيات**

| | |
|---|---|
| الأساس | **قاعدة شريطية (مستمرة)، B = 1.5 m، عمق التأسيس $D_f$ = 1.0 m** |
| التربة | $c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$ |
| الوزن الحجمي | $\gamma = 17$ kN/m$^3$؛ **منسوب المياه الجوفية خارج منطقة الانهيار** |
| الزلزال | **$k_h$ = 0.25; $k_v$ = 0** |
| احتكاك الجدار | $\delta = 12.5^\circ$ |

**المطلوب**

أوجد **θ** و $\alpha = \varphi - \theta$ وقيمتي $K_{AE}$, $K_{PE}$.



# الحل

الحل

**1** زاوية الميل والحد الجذري (sin 37.5° = 0.6088؛ sin α = 0.1901؛ cos(δ + θ) = cos 26.54° = 0.8945)

$$\theta = \tan^{-1}\frac{0.25}{1-0} = \mathbf{14.04}^\circ \qquad \alpha = \varphi - \theta = 10.96^\circ$$

$$\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\alpha}{\cos(\delta+\theta)}} = \sqrt{\frac{0.6088\cdot 0.1902}{0.8947}} = \mathbf{0.3597}$$

**2** $K_{AE}$ و $K_{PE}$ ($\cos^2\alpha = 0.9638$؛ $\cos\theta = 0.9701$)

$$K_{AE} = \frac{0.9638}{0.9701(0.8947)(1+0.3597)^2} = \mathbf{0.6006}$$

$$K_{PE} = \frac{0.9638}{0.9701(0.8947)(1-0.3597)^2} = \mathbf{2.7089}$$

يؤدي الزلزال إلى **زيادة** $K_A$ من 0.367 → 0.601، و**إنقاص** $K_P$ من 3.552 → 2.709.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

# زوايا الإسفين والمعاملات و $q_{uE}$

النظرية

$$\alpha_{AE} = \alpha + \tan^{-1}\left\{\frac{\sqrt{(1+\tan^2\alpha)\,[1+\tan(\delta+\theta)\cot\alpha]} - \tan\alpha}{1+\tan(\delta+\theta)(\tan\alpha+\cot\alpha)}\right\}$$

$$\alpha_{PE} = -\alpha + \tan^{-1}\left\{\frac{\sqrt{(1+\tan^2\alpha)\,[1+\tan(\delta-\theta)\cot\alpha]} + \tan\alpha}{1+\tan(\delta+\theta)(\tan\alpha+\cot\alpha)}\right\}$$

لما كان التوازن هو نفسه، تحتفظ المعاملات بالصيغة نفسها:

$$N_{qE} = \frac{K_{PE}}{K_{AE}} \qquad N_{\gamma E} = \tan\alpha_{AE}\left(\frac{K_{PE}}{K_{AE}} - 1\right) \qquad N_{cE} \approx (N_{qE}-1)\cot\varphi$$

$$q_{uE} = c\,N_{cE} + q\,N_{qE} + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_{\gamma E}$$

**ملاحظة**

بالنسبة إلى $N_{cE}$ **تُنقل** العلاقة الاستاتيكية إلى الحالة الزلزالية (إذ صاغ المؤلفون النظرية للتربة الحبيبية). وعندما $c > 0$ تُبلغ الوحدة عن ذلك بوصفه فرضية وتعطي الحساسية عند $c = 0$.

# المسألة

مثال

**المعطيات**

| | |
|---|---|
| الأساس | **قاعدة شريطية (مستمرة)، B = 1.5 m، عمق التأسيس $D_f$ = 1.0 m** |
| التربة | $c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$ |
| الوزن الحجمي | $\gamma = 17$ kN/m$^3$؛ **منسوب المياه الجوفية خارج منطقة الانهيار** |
| الزلزال | **$k_h$ = 0.25; $k_v$ = 0** |
| المثال السابق | $\theta = 14.04^\circ,\ K_{AE} = 0.6006,\ K_{PE} = 2.7089$ |

**المطلوب**

أوجد $\alpha_{AE}$ و $N_{qE}$, $N_{\gamma E}$, $N_{cE}$ ونسبها إلى المعاملات الاستاتيكية.

# الحل (1/2)

الحل

**1** α = 10.96°: tan α = 0.1937, cot α = 5.1620, tan(δ + θ) = tan 26.54° = 0.4994

$$\sqrt{(1+\tan^2\alpha)(1+\tan(\delta+\theta)\cot\alpha)} = \sqrt{1.0375(3.5777)} = 1.9267$$

$$1+\tan(\delta+\theta)(\tan\alpha+\cot\alpha) = 3.6745$$

**2** زاوية الإسفين الزلزالية (في الحالة الاستاتيكية $\alpha_A = 53.97°$)

$$\alpha_{AE} = 10.96^\circ + \tan^{-1}\frac{1.9267-0.1937}{3.6745} = 10.96^\circ + 25.25^\circ = \mathbf{36.21^\circ}$$

# الحل (2/2)

الحل

**3** معاملات قدرة التحمل الزلزالية ($\tan\alpha_{AE} = 0.7322$)

$$N_{qE} = \frac{2.7089}{0.6006} = \mathbf{4.51} \qquad N_{\gamma E} = 0.7322(4.51 - 1) = \mathbf{2.57} \qquad N_{cE} = \frac{4.51 - 1}{0.4663} = \mathbf{7.53}$$

| $N_c$ | $N_\gamma$ | $N_q$ | |
|---|---|---|---|
| 18.59 | 11.92 | 9.67 | استاتيكي |
| 7.53 | 2.57 | 4.51 | زلزال ($k_h = 0.25$) |
| **0.405** | **0.216** | **0.466** | نسبة |

يخفض الزلزال **حد الوزن الذاتي أكثر من غيره** (قيمة $N_{\gamma E}$ لا تتجاوز 22% من القيمة الاستاتيكية)؛ بينما يحتفظ كل من $N_{qE}$ و $N_{cE}$ بنحو النصف.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

# المسألة

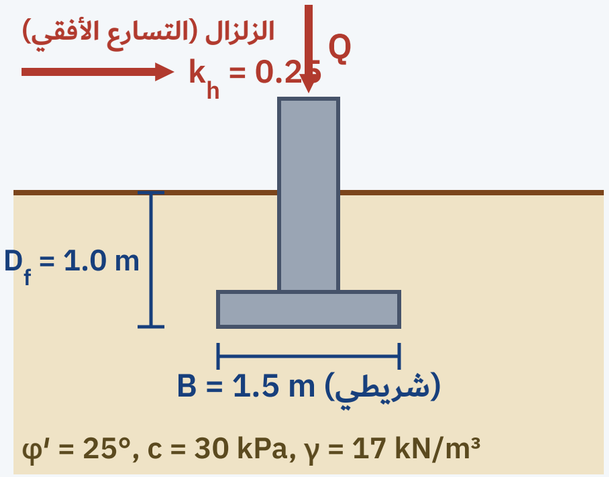
مثال

### المعطيات

| | |
|---|---|
| الأساس | **قاعدة شريطية (مستمرة)، B = 1.5 m، عمق التأسيس $D_f$ = 1.0 m** |
| التربة | $c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$ |
| الوزن الحجمي | $\gamma = 17$ kN/m$^3$؛ **منسوب المياه الجوفية خارج منطقة الانهيار** |
| الزلزال | **$k_h = 0.25$; $k_v = 0$** |
| الأمان | **FS = 3** |

### المطلوب

$q_{uE}$، ونسبتها إلى $q_u$ الاستاتيكية، و $q_{all}$ الإجمالية والصافية، والحمل المسموح به $Q_{all}$ (لوحدة الطول).



# الحل

الحل

**1** قدرة التحمل الزلزالية (q = 17 kPa)

$$q_{uE} = 30(7.53) + 17(4.51) + \tfrac{1}{2}(17)(1.5)(2.57)$$
$$= 225.83 + 76.67 + 32.77 = \mathbf{335.28}\ \text{kPa}$$

**2** إجهاد التحمل المسموح به والحمل المسموح به

$$q_{all,g} = \frac{335.28}{3} = \mathbf{111.76}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{335.28 - 17}{3} = 106.09\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = q_{all,g}\, B = 111.76(1.5) = \mathbf{167.6}\ \text{kN/m}$$

يخفض الزلزال قدرة التحمل من **874.14 kPa** إلى **335.28 kPa**، أي إلى **38%** من القيمة الاستاتيكية (وتعطي الوحدة $q_u$ الاستاتيكية بجانبها). وتؤخذ إجهادات التحمل المسموح بها من $q_{uE}$.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

# ما مقدار الانخفاض الذي يسببه الزلزال، وأين يقع الحد؟

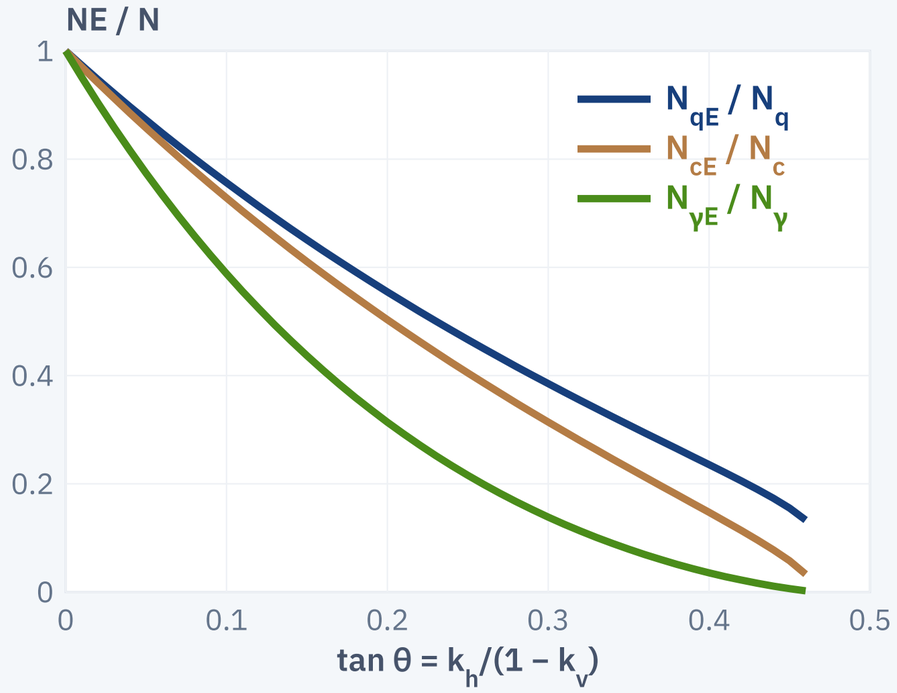
النظرية

يعطي المصدر التخفيضات بمخططات Richards وآخرين (1993)؛ وترسمها الصفحة من العلاقات التحليلية المغلقة (إلى الجانب). **يتناقص حد الوزن الذاتي أكثر من غيره**: عند $\tan\theta = 0.2$ تبلغ $N_{\gamma E}$ نحو ثلث قيمتها الاستاتيكية، وتبقى $N_{qE}$ و $N_{cE}$ بنحو النصف.

عندما $\theta \to \varphi$ يكون $\alpha = \varphi - \theta \to 0$: ينبسط الإسفين الفعال وتؤول المعاملات الثلاثة جميعها إلى الصفر؛ ولا يبقى للتربة الاحتكاكية احتياطي مقاومة للتسارع الأفقي.

تصح النظرية عندما يكون $k_h/(1 - k_v) < \tan\varphi$ فقط؛ و**تتوقف** الوحدة عندما $\theta \geq \varphi$. وهذه النسبة هي أيضاً النسبة التي تتنبأ النظرية عندها ببدء الهبوط الزلزالي.

عندما تقترب $\theta$ من $\varphi$ ($\theta > 0.85\varphi$) تصدر الوحدة تحذيراً: وهذا ليس قدرة تصميمية بل حد للطريقة.




مرسومة من العبارات المغلقة عند $\delta = \varphi/2$، $\varphi' = 25°$.

# المسألة

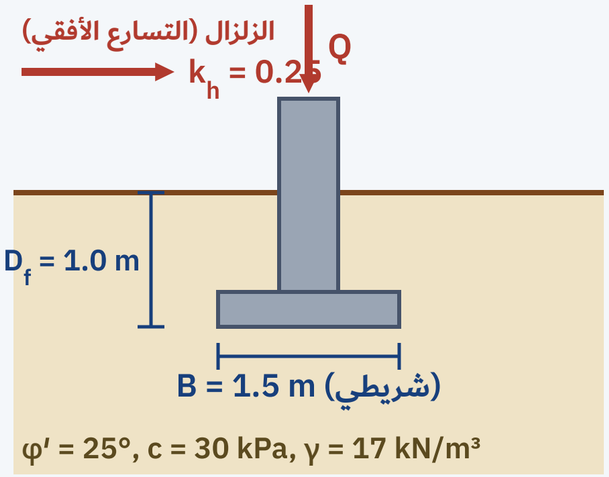
مثال

## المعطيات

| | |
|---|---|
| الأساس | **قاعدة شريطية (مستمرة)، B = 1.5 m، عمق التأسيس $D_f$ = 1.0 m** |
| التربة | $c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$ |
| الوزن الحجمي | $\gamma = 17$ kN/m$^3$؛ **منسوب المياه الجوفية خارج منطقة الانهيار** |
| الزلزال | **$k_v$ = 0; $k_h$ = 0, 0.05, … 0.45** |

## المطلوب

أوجد، لكل قيمة من $k_h$، قيم **$\theta$, $N_{qE}$, $N_{\gamma E}$, $N_{cE}$, $q_{uE}$** والنسبة $q_{uE}/q_u$؛ واحسب الحد الأقصى لـ $k_h$ الذي تتوقف عنده الوحدة.



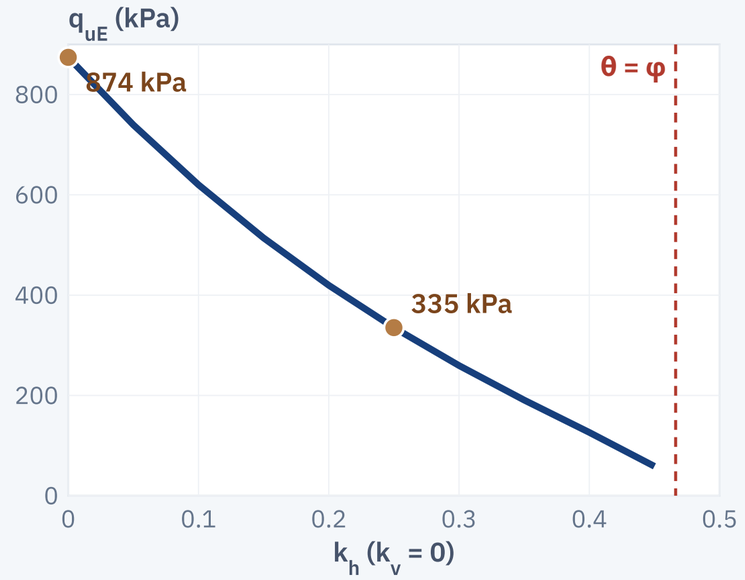
# الحل (1/2)

الحل

| $q_{uE}/q_u$ | $q_{uE}$ (kPa) | $N_{cE}$ | $N_{\gamma E}$ | $N_{qE}$ | (°) θ | $k_h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 | **874** | 18.59 | 11.92 | 9.67 | 0.0 | 0.00 |
| %85 | **739** | 15.94 | 9.23 | 8.44 | 2.9 | 0.05 |
| %71 | **620** | 13.54 | 7.01 | 7.31 | 5.7 | 0.10 |
| %59 | **514** | 11.35 | 5.20 | 6.29 | 8.5 | 0.15 |
| %48 | **420** | 9.36 | 3.74 | 5.36 | 11.3 | 0.20 |
| %38 | **335** | 7.53 | 2.57 | 4.51 | 14.0 | 0.25 |
| %30 | **260** | 5.84 | 1.65 | 3.72 | 16.7 | 0.30 |
| %22 | **191** | 4.26 | 0.94 | 2.99 | 19.3 | 0.35 |
| %14 | **126** | 2.74 | 0.42 | 2.28 | 21.8 | 0.40 |
| %7 | **59** | 1.07 | 0.07 | 1.50 | 24.2 | 0.45 |

# الحل (2/2)

الحل




**1** حد الصلاحية: θ < φ

$$\frac{k_h}{1-k_v} < \tan\varphi \;\Rightarrow\; k_{h,\max} = (1-k_v)\tan 25^\circ = \mathbf{0.4663}$$

عند $k_h$ = 0.25 تبلغ $q_{uE}$ نسبة 38% من القيمة الاستاتيكية؛ أما **عند $k_h$ = 0.45 فتبلغ 7% فقط**. وإذا أدخلت القيمة $k_h$ = 0.47 توقفت الوحدة عن الحساب (θ ≥ φ). ويهبط المنحنى بشدة في البداية: إذ تسبب **التسارعات الصغيرة أيضاً** فقداً كبيراً (85% ← $k_h$ = 0.05).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

# المسألة

مثال

**المعطيات**

| | |
|---|---|
| الأساس | **قاعدة شريطية (مستمرة)، B = 1.5 m، عمق التأسيس $D_f$ = 1.0 m** |
| التربة | $c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$ |
| الوزن الحجمي | $\gamma = 17$ kN/m$^3$؛ **منسوب المياه الجوفية خارج منطقة الانهيار** |
| الزلزال | **$k_h$ = 0.25; $k_v$ = 0, 0.1, 0.2, 0.3** |

**المطلوب**

أوجد قيم **θ** و**$q_{uE}$** لكل قيمة من $k_v$.

# الحل

الحل

**1** $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$؛ في المثال $k_v = 0.2$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{0.25}{1-0.2} = \tan^{-1}(0.3125) = \mathbf{17.35}^\circ$$

| $q_{uE}/q_u$ | $q_{uE}$ (kPa) | $N_{cE}$ | $N_{\gamma E}$ | $N_{qE}$ | (°) θ | $k_v$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %38 | **335** | 7.53 | 2.57 | 4.51 | 14.04 | 0.0 |
| %33 | **292** | 6.57 | 2.03 | 4.07 | 15.52 | 0.1 |
| %28 | **242** | 5.44 | 1.45 | 3.54 | 17.35 | 0.2 |
| %21 | **181** | 4.04 | 0.86 | 2.88 | 19.65 | 0.3 |

كلما زادت $k_v$ نقص $(1 - k_v)$ وزادت θ وانخفضت $q_{uE}$: إذ تخفض $k_v = 0.2$ قيمة $q_{uE}$ من 335 إلى 242 kPa (بنسبة 28%). وإهمال التسارع الرأسي يبقى **في الجانب غير الآمن**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

# إجهاد التحمل المسموح به من قدرة التحمل الزلزالية

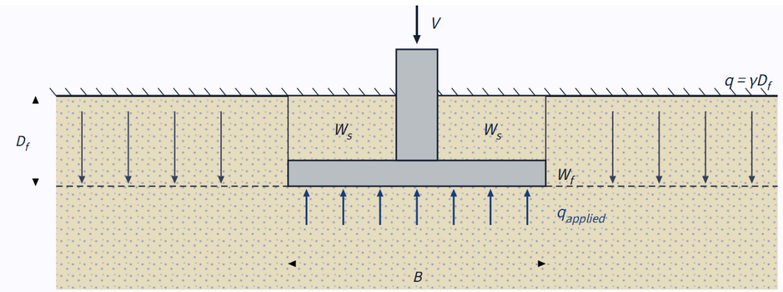
تأخذ الوحدة إجهادات التحمل المسموح بها من **قدرة التحمل الزلزالية $q_{uE}$**؛ وتفصل بين الإجهاد الإجمالي والصافي، وتعرض $q_u$ الاستاتيكية إلى جانبها:

$$q_{u,net} = q_{uE} - q \qquad q_{all,g} = \frac{q_{uE}}{FS} \qquad q_{all,n} = \frac{q_{u,net}}{FS}$$

الضغط المطبق $q_{app}$ هو **الضغط الرأسي الإجمالي عند قاع القاعدة** في حالة التحميل الزلزالي (V/B؛ حمل العمود + القاعدة + وزن التربة). وتكون القاعدة مقبولة عند تحقق الشروط الآتية:

$$q_{apply} \le q_{all,g} \quad (FS_{\text{الفعلي}} = q_{uE}/q_{apply}) \qquad q_{apply} - q \le q_{all,n}$$

الحمل المسموح به لكل وحدة طول $Q_{all} = q_{all,g}\,B$. ويدخل القصور الذاتي الأفقي الزلزالي في الحساب أصلاً عبر $k_h$؛ أما أي قوة أفقية مستقلة أو عزم أو لامركزية فهي **خارج نطاق** هذا الحساب.

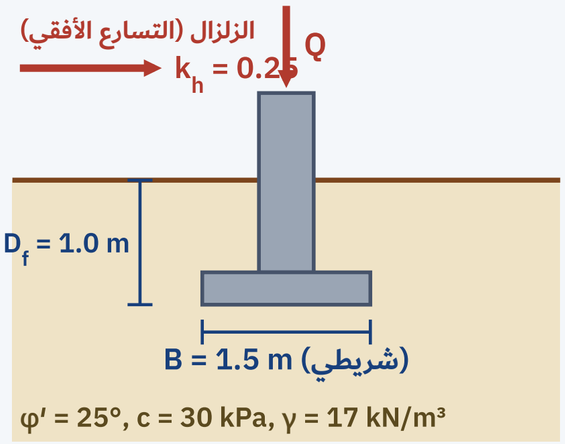


# المسألة

مثال

**المطلوب**

في كل حالة يتم التحقق من الشروط الثلاثة (الإجمالي، $FS_{actual}$، الصافي).




**المعطيات**

| | |
|---|---|
| النتيجة (مثال 5) | $q_{uE}$ = 335.28 kPa; q = 17 kPa; FS = 3 |
| الضغط المطبق | في حالة التحميل الزلزالية (a) (b) · $q_{app}$ = 100 kPa<br>$q_{app}$ = 150 kPa |

# الحل

الحل

**1** $q_{appl}$ = 100 kPa (أ)

$$100 \le q_{all,g} = 111.76 \Rightarrow \textbf{صالح} \qquad FS_{\text{الفعلي}} = \frac{335.28}{100} = \mathbf{3.35} \ge 3$$

$$100 - 17 = 83 \le q_{all,n} = 106.09 \Rightarrow \textbf{صالح}$$

**2** $q_{appl}$ = 150 kPa (ب)

$$150 > q_{all,g} = 111.76 \Rightarrow \textbf{لا يتحقق} \qquad FS_{\text{الفعلي}} = \frac{335.28}{150} = \mathbf{2.24} < 3$$

$$150 - 17 = 133 > q_{all,n} = 106.09 \Rightarrow \textbf{لا يتحقق}$$

تحت الحمل الزلزالي لا تجتاز التحقق إلا القاعدة التي يكون فيها **$q_{app}$ ≤ 111.8 kPa**. وكانت القاعدة نفسها تتحمل حتى 291 kPa في الحالة الستاتيكية ($q_{all,g}$ = 291.4).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

# المسألة

مثال

**المعطيات**

| | |
|---|---|
| الأساس | **قاعدة شريطية (مستمرة)، B = 1.5 m، عمق التأسيس $D_f$ = 1.0 m** |
| التربة | $c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$ |
| الوزن الحجمي | $\gamma = 17$ kN/m$^3$**؛ منسوب المياه الجوفية خارج منطقة الانهيار** |
| الزلزال | **$k_h$ = 0.25; $k_v$ = 0** |
| المقارنة | **c = 30 kPa و c = 0** |

**المطلوب**

أوجد قدرة التحمل الاستاتيكية والزلزالية عند c = 30 و c = 0؛ وفسر حصة حدود التماسك.

# الحل

الحل

| | $c\,N_c$ | $q\,N_q$ | $\gamma B\,N_\gamma$½ | المجموع |
|---|---|---|---|---|
| استاتيكي، c = 30 | 557.8 | 164.4 | 152.0 | **874.1** |
| الزلزال، c = 30 | 225.8 | 76.7 | 32.8 | **335.3** |
| استاتيكي، c = 0 | 0 | 164.4 | 152.0 | **316.4** |
| الزلزال، c = 0 | 0 | 76.7 | 32.8 | **109.4** |

في حالة الزلزال يشكل حد التماسك **67%** من $q_{uE}$؛ ويؤثر افتراض $N_{cE} = (N_{qE} - 1)\cot\varphi$ في النتيجة تأثيراً واضحاً. وكاختبار حساسية محافظ، عند c = 0 تكون $q_{uE}$ = **109.4 kPa** (وتبلغ 335.3 kPa عند c = 30).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

# النقاط الرئيسية

**إسفينا Coulomb** (الفعال ABC والمنفعل BCD) مع احتكاك جدار $\delta = \varphi/2$ بينهما؛ $H = B \tan \alpha_A$؛ كل معامل بصيغة مغلقة

**الحالة الاستاتيكية:** $N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$، $N_\gamma = \tan\alpha_A(K_P/K_A - 1)$، $N_q = K_P/K_A$؛ $q_u = cN_c + qN_q + \tfrac{1}{2}\gamma B N_\gamma$ (مثال: 874.14 kPa)

**الزلزال:** $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$، $\alpha = \varphi - \theta$؛ $K_{PE}$، $K_{AE}$ حسب Mononobe–Okabe؛ $N_{cE}$، $N_{\gamma E}$، $N_{qE}$ بالصيغة نفسها؛ $q_{uE} = 335.28$ kPa (38% من القيمة الاستاتيكية)

**يتناقص حد الوزن الذاتي أكثر من غيره** ($N_{\gamma E}/N_\gamma = 0.22$)؛ بينما تحتفظ $N_{qE}$ و $N_{cE}$ بنحو النصف

**الحد:** $k_h/(1 - k_v) < \tan\varphi$؛ وعند $\theta \geq \varphi$ تتوقف الوحدة، وعند $\theta > 0.85\varphi$ تصدر تحذيرا؛ وإذا أهملت $k_v$ بقيت النتيجة في الجانب غير الآمن

**التحقق:** إجهاد التحمل المسموح به من $q_{uE}$؛ $FS_{actual}$، $q_{appl} \leq q_{all,g}$ والصافي؛ $Q_{all} = q_{all,g}\, B$

# المراجع

Richards, R., Elms, D.G. and Budhu, M. (1993). Seismic bearing capacity and settlements of foundations. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 119(4), 662–674.

Das, B.M. (2017). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement, 3rd ed. CRC Press — Section 6.3.1؛ تتبع هذه الصفحة ترتيب اشتقاقها.

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

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

رُسمت الأشكال بمقياس رسم دقيق اعتماداً على معادلات هذه الصفحة.

**ملاحظة**

بعض الأشكال مأخوذ من صفحة النظرية في GeoTerva؛ وجميع الأمثلة العددية ناتجة عن مكتبة الحساب الخاصة بالوحدة، وتعطي الوحدة القيم نفسها.

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

# من النظرية إلى التطبيق

احسب قاعدة المثال الواردة في هذا العرض خطوة بخطوة في GeoTerva: تفتح الوحدة بهذا النموذج.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

**افتح على الهاتف**

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

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