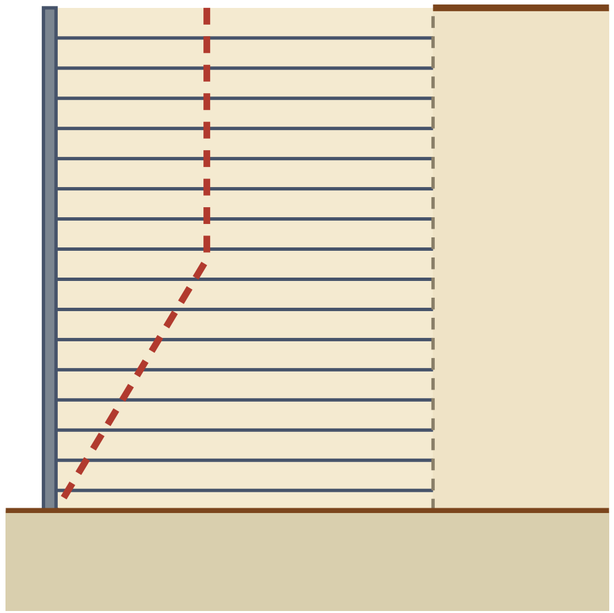
GeoTerva



شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الجدران الاستنادية

جدار تربةٍ مسلحة ميكانيكياً (MSE)

المحاضرة: الاستقرار الداخلي لجدار التربة المسلحة (الانقطاع، الانقلاع)، والاستقرار الخارجي (الانقلاب، الانزلاق، قدرة التحمل)، والتحقق الزلزالي؛ مع مثال محلول لكل موضوع.

التربة المسلحة

الانقطاع · الانقلاع

الانقلاب · الانزلاق · قدرة التحمل

الزلزال

يستند إلى صفحة النظرية في GeoTerva · geoterva.com

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

منطق التربة المسلحة: ضغط التربة يولد الشد في التسليح، والاحتكاك بينهما يربط الاثنين معاً؛ والواجهة تحتجز التربة فقط

الاستقرار الداخلي: الشد عند كل منسوب $T = \sigma'_h S_V S_H$، و**الانقطاع** (مع بدل التآكل)، و**الانقلاع** (الطول الفعال خلف سطح الانهيار)

سطح الانهيار (ثنائي الخطية أو إسفين Rankine) ونسبة K_r/K_a: في التسليح الصلب يكون الإجهاد الجانبي في الأعلى أكبر منه عند Rankine

الاستقرار الخارجي: تعامل الكتلة المسلحة H × L كجدار تثاقلي؛ الانقلاب، واللامركزية (L/6)، والانزلاق، وقدرة التحمل (العرض الفعال بحسب Meyerhof)

لماذا يُحمّل **الحمل الإضافي المتحرك** فقط، وأثر **الزلزال** على الكتلة والدفع ومستويات التسليح

كيف تصحح تصميماً غير كافٍ: طول التسليح، نوع التسليح

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

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

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

جدار المثال: H = 10 m، شرائط فولاذية مجلفنة 75 × (f_y = 6 mm (240 MPa)، L = 7.5 m، S_V = 0.6 m، S_H = 1.0 m؛ الردم γ = 16.5 kN/m³، φ′ = 36°، c′ = 50 kPa؛ تربة التأسيس φ′ = 28°. القوى لكل متر من طول الجدار (لكل شريط).

النظرية

ما وظيفته وما الذي يتم التحقق منه؟

لا يقف جدار التربة بمفرده إلا عند زاوية الاستقرار الطبيعي. وإذا وضعت أثناء الردم **عناصر شد** رقيقة (شرائط فولاذية مجلفنة، أو نسيج جيوتكستايل، أو شبكة جيوغريد) فإن التربة تحمل الضغط ويحمل التسليح الشد، ويجمع **الاحتكاك** بينهما. وتبقي الواجهة (ألواح خرسانية أو كتل أو لف التسليح) التربة في مكانها ولا تحمل حملاً آخر.

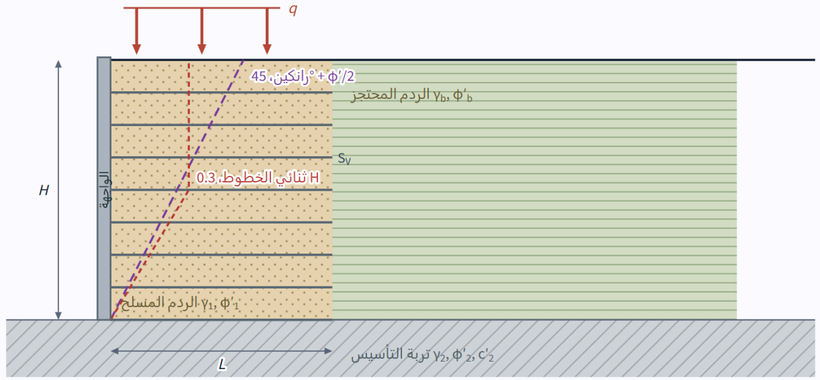
الاستقرار الداخلي: يجب أن يتحمل كل منسوب قوة الشد (1) **دون انقطاع**، (2) **دون انقلاع** من خلف سطح الانهيار، (3) **دون انقطاع** عند الواجهة (الوصلة).

الاستقرار الخارجي: الكتلة المسلحة ذات العرض L والارتفاع H هي **جدار تثاقلي**: يجب ألا ينقلب بدفع الردم الخلفي، وألا ينزلق عند القاعدة، وأن تتحمله تربة التأسيس.

الزلزال: مجموعتا التحقق مرة أخرى، مع الدفع الديناميكي + القصور الذاتي للكتلة والمنطقة الفعالة (معاملات الأمان المطلوبة 75% من نظيرتها الاستاتيكية).

يجب أن يكون **الردم** حبيبياً حر التصريف؛ أما **الاستقرار الكلي** (سطح انزلاق يمر عبر الأساس أو سطح انزلاق مركب) فخارج نطاق هذه الوحدة.

طريقتان: نهج **Rankine** الوارد في المرجع، و**الطريقة المبسطة** في البرنامج (FHWA/AASHTO) (الطريقة الابتدائية في الوحدة).



الإجهاد الرأسي والجانبي، ونسبة K_r/K_a

النظرية

z هو العمق مقاساً من قمة الجدار، و γ_1 و φ'_1 هما الوزن الحجمي وزاوية الاحتكاك للردم المسلح. يكون الردم في الحالة الفعالة:

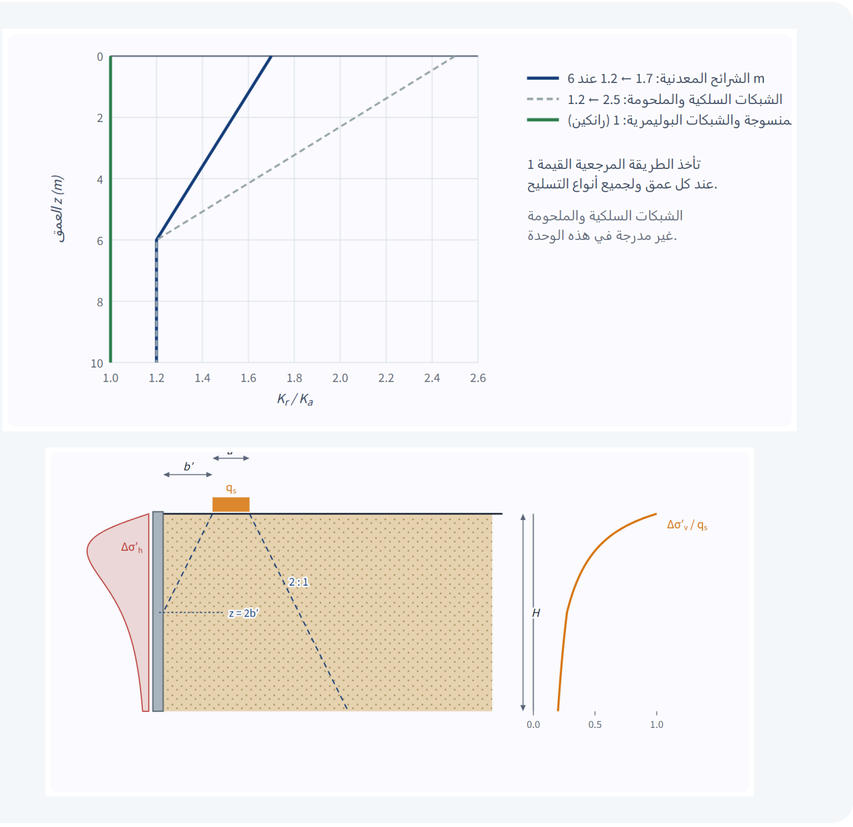
$$\sigma'_v = \gamma_1 z + q_D + q_L \qquad \sigma'_h = K_r\,(\gamma_1 z + q_D + q_L) \qquad K_a = \tan^2\!\left(45^\circ - \frac{\varphi'_1}{2}\right)$$

يبقي التسليح الصلب (غير القابل للاستطالة) — الأشرطة الفولاذية — الردم في الجزء العلوي **أكثر جساءة** مما في حالة Rankine؛ وفي الطريقة المبسطة تؤخذ K_r/K_a بحسب نوع التسليح:

الشرائح: $\dfrac{K_r}{K_a} = 1.7 - 0.5\dfrac{z}{6}\ (z \le 6\ \text{m})$، جيوسنتيتيك 1.2 تحت: $\dfrac{K_r}{K_a} = 1$

يزيد الحمل الإضافي المنتظم الإجهاد الرأسي بمقدار q عند كل عمق، ويزيد الإجهاد الجانبي أيضا عبر المعامل K_r. أما الحمل الإضافي **المتحرك** (q_L) فيضيف حملا لكنه **لا يسهم في المقاومة**: فلا يدخل في الوزن المعتمد في تحققي الانقلاب/الانزلاق، ولا في الإجهاد الرأسي المقاوم للانقلاع (في الجانب الآمن).

الحمل الشريطي (Laba–Kennedy): ينتشر الإجهاد الرأسي بنسبة 2:1، والضغط الجانبي هو الحل المرن لجدار جاسئ (M = 1.4 → 1).



المسألة

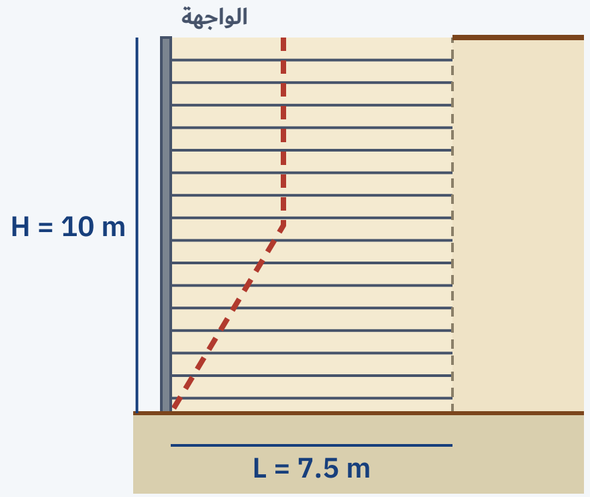
مثال

المعطيات

الردم	$\gamma_1 = 16.5\ \text{kN/m}^3,\ \varphi'_1 = 36^\circ$؛ **شرائح فولاذية؛ الطريقة المبسطة؛ لا يوجد حمل إضافي**
الأعماق	$z = 0.6;\ 3.0;\ 6.0$ و 10.0 **m (القاعدة)**

المطلوب

σ'_v، K_r/K_a، K_a و σ'_h عند كل عمق؛ أين يقع أكبر إجهاد جانبي؟



الحل

الحل

1 معامل الضغط الفعال

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 18^\circ) = \mathbf{0.2596}$$

2 عند كل عمق ($K_r/K_a = 1.7 - 0.5z/6$، $z \le 6$ m؛ بعد 6 m تساوي 1.2)

z (m)	$\sigma'_v = 16.5z$ (kPa)	K_r/K_a	K_r	$\sigma'_h = K_r\sigma'_v$ (kPa)
0.6	9.9	1.65	0.4284	4.24
3.0	49.5	1.45	0.3764	18.63
6.0	99.0	1.20	0.3115	30.84
10.0	165.0	1.20	0.3115	51.40

عند أسفل الجدار: σ'_h = **51.4 kPa**، $K_r = 1.2K_a = 0.3115$، σ'_v = **165 kPa**. وعند المستوى العلوي ($z = 0.6$ m) تكون $K_r/K_a = 1.65$: أي 1.65 ضعف قيمة Rankine. ويزداد σ'_h مع العمق؛ وتوجد أكبر قيمة للإجهاد الجانبي (والشد) عند الأسفل.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الطول الفعال $L_e = L - L_a$

النظرية

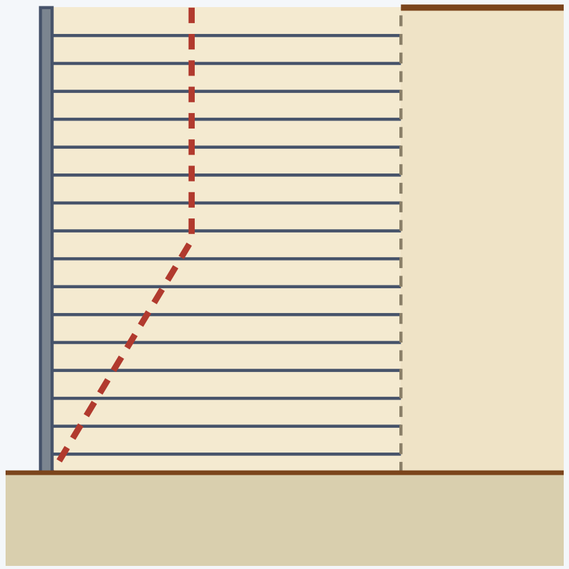
يعمل التسليح في الموضع الذي كان الردم سينهار فيه لولاه. أما **جزء كل مستوى الواقع داخل منطقة الانهيار** (بين الواجهة وسطح الانهيار) فيتحرك مع التربة المنزلقة ولا يمسك؛ وإنما **الجزء الواقع خلف السطح** هو الذي يثبت المستوى: الطول النشط L_a والطول الفعال $L_e = L - L_a$.

Rankine: $L_a = \dfrac{H - z}{\tan(45^\circ + \varphi'_1/2)}$ ثنائي الخطية: $L_a = 0.3H\ (z \le H/2),\ \ L_a = 0.6(H - z)\ (z > H/2)$

يأخذ **المرجع** لكل تسليح إسفين Rankine الذي يبدأ من الطرف الأمامي (بزاوية $45^\circ + \varphi'_1/2$ مع الأفقي): فعند $\varphi' = 36^\circ$ تكون المسافة 5.1 m من الواجهة عند قمة جدار ارتفاعه 10 m.

في التسليح الجاسئ (الشرائط الفولاذية) تظهر القياسات أن سطح الشد الأقصى أقرب كثيراً إلى الواجهة: يعتمد التطبيق سطحاً **ثنائي الخطية** — رأسياً على بعد 0.3H من الواجهة في النصف العلوي، ثم مستقيماً حتى الكعب. أما في الجيوسنتتيك فيبقى سطح Rankine معتمداً.

في الطريقة المبسطة للوحدة يعتمد الشريط الفولاذي السطح ثنائي الخطية، ويعتمد المسلح الجيوتركيبي سطح Rankine؛ أما طريقة المرجع فهي Rankine في الحالتين.



الخط الأحمر المتقطع: سطح انهيار ثنائي الخطي (شريطي). يبدأ إسفين Rankine على مسافة 5.1 m من الوجه.

المسألة

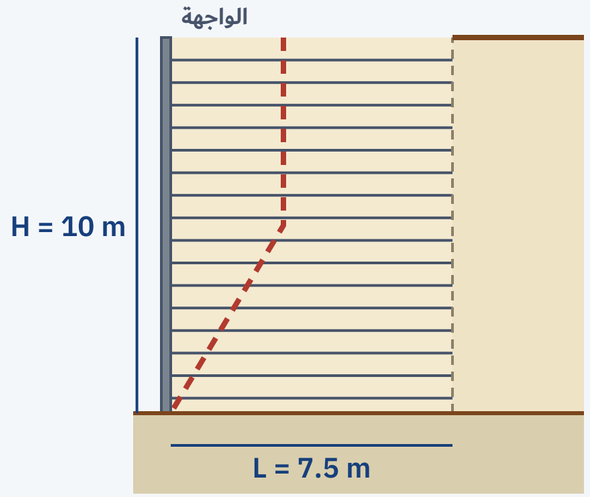
مثال

المطلوب

عند كل عمق: L_a (ثنائي الخطية و Rankine) و L_e مع السطح ثنائي الخطية.

المعطيات

الجدار	$H = 10\ \text{m}$، $L = 7.5\ \text{m}$، **شرائط فولاذية؛** $\varphi'_1 = 36^\circ$
الأعماق	$z = 0;\ 0.6;\ 3;\ 5;\ 6;\ 9.4\ \text{m}$



الحل

الحل

1 ثنائي الخطية: عندما $z \le 5\ m$ فإن $0.3H = 3.00\ m$؛ وعندما $z > 5\ m$ فإن $0.6(H - z) + .(H - z)$. Rankine: $(H - z)/\tan 63° = (H - z)/1.963$

z (m)	L_a ثنائي الخطية (m)	$L_e = 7.5 - L_a$ (m)	L_a وفق Rankine (m)	L_e وفق Rankine (m)
0.0	3.00	4.50	5.10	2.40
0.6	3.00	4.50	4.79	2.71
3.0	3.00	4.50	3.57	3.93
5.0	3.00	4.50	2.55	4.95
6.0	2.40	5.10	2.04	5.46
9.4	0.36	7.14	0.31	7.19

السطح ثنائي الخطية أقرب إلى وجه الجدار من سطح Rankine في المستويات العليا ($z = 0.6\ m$: $L_a = 3.00\ m$ مقابل $4.79\ m$ لـ Rankine)؛ ولذلك يكون **الطول الفعال أكبر** ($4.50\ m$ مقابل $2.71\ m$ لـ Rankine). أما المستويات العليا فتتحمل شدا أكبر بمعامل قدره K_r/K_a (المثال 4).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

شد المنسوب وقدرة تحمل التسليح

يتحمل كل مستوى الإجهاد الجانبي للردم الواقع ضمن **ارتفاع المساهمة** (S_V)، المحدود بمنتصف الارتفاع بينه وبين كل من المستويين المجاورين. ويسند الشريط عرضا من الردم يساوي التباعد الأفقي S_H؛ ولما كانت الطبقة والشبكة مستمرتين، فإن قوة الشد تحسب لكل متر من طول الجدار:

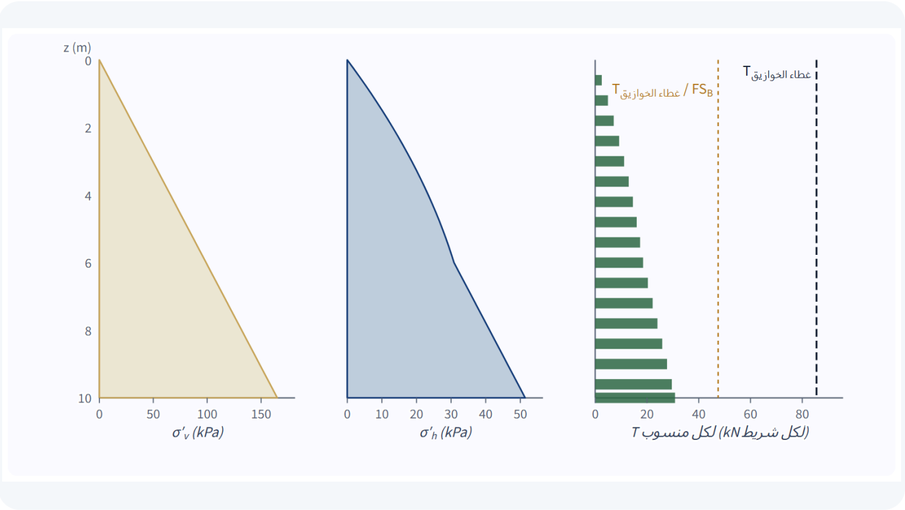
$$T = \sigma'_h S_V \quad \text{(لكل متر من الجدار)} \qquad T = \sigma'_h S_V S_H \quad \text{(لكل شريط)}$$

شريط التسليح (العرض w، السماكة t، حد الخضوع f_y): يتعرض الفولاذ المجلفن في الردم للتآكل بمعدل 0.025–0.050 mm في السنة؛ وخلال عمر التصميم n تنقص السماكة بمقدار r n:

$$t_{eff} = t - rn \qquad T_{diameter} = w\, t_{eff}\, f_y \qquad FS_B = \frac{T_{diameter}}{T} \qquad t_{req} = \frac{FS_B T_{max}}{w\, f_y} + rn$$

المواد الجيوتركيبية: المقاومة طويلة الأمد هي مقاومة الشد القصوى مقسومة على معاملات التلف والزحف والتدهور؛ ولا تغطي الشبكة كامل المسقط الأفقي دائما (C_r):

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF_{id}\, RF_{cr}\, RF_{cbd}} \qquad FS_B = \frac{T_{all} C_r}{T} \qquad S_{V,req} = \frac{T_{all} C_r}{\sigma'_h(H)\, FS_B}$$



المسألة

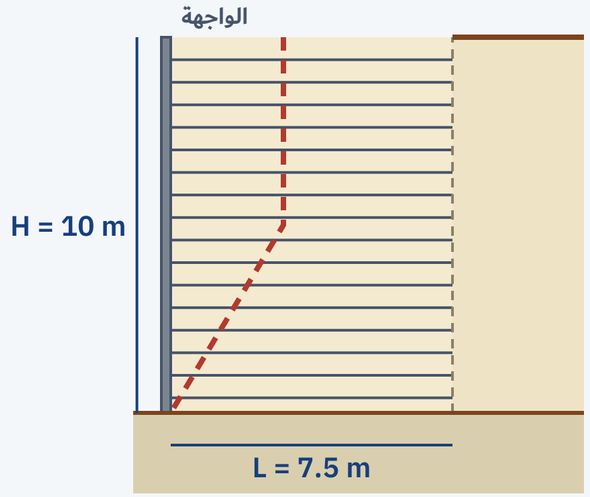
مثال

المعطيات

الشريط	75 × 6 mm مركّبة؛ $f_y = 240$ MPa؛ التآكل 0.025 mm/سنة، والعمر التصميمي 50 سنة؛ $S_V = 0.6$ m، $S_H = 1.0$ m
المطلوب	$FS_B \geq 1.8$ (التطبيق: f_y 0.55 في مقطع متآكل)

المطلوب

أكبر شد T_{max} (لكل شريط)؛ T_{cap} و FS_B؛ والسماكة المطلوبة t_{req}.



الحل

الحل

1 يكون أقصى شد عند منسوب القاعدة ($z = 10$ m؛ $\sigma'_h = 51.40$ kPa)

$$T_{max} = \sigma'_h S_V S_H = 51.40(0.6)(1.0) = \mathbf{30.84}\ \text{kN/شريط}$$

2 المقطع المتآكل وقدرة التحمل

$$t_{eff} = 6 - 0.025(50) = 4.75\ \text{mm} \quad (\text{فقد } 1.25\ \text{mm})$$

$$T_{diameter} = w\, t_{eff} f_y = 0.075(0.00475)(240\,000) = \mathbf{85.5}\ \text{kN}$$

$$FS_B = 85.5/30.84 = \mathbf{2.772} \ \geq 1.80\ \checkmark$$

3 السماكة المطلوبة (بإعادة بدل التآكل)

$$t_{req} = \frac{1.8(30.84)}{0.075(240\,000)} + rn = 3.084 + 1.25 = \mathbf{4.33}\ \text{mm}$$

FS_B = **2.77** ≥ 1.80: الشريط بسماكة 6 mm كاف؛ والسماكة المطلوبة **4.33 mm**. المنسوب الحرج هو القاع (k = 17).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الاحتكاك خلف سطح الانهيار

النظرية

قد يتعرض مستوى لم ينقطع تسليحه مع ذلك إلى **الانقلاع** من الردم. خلف سطح الانهيار يمسك الردم التسليح بالاحتكاك على وجهيه؛ والاحتكاك هو الإجهاد الرأسي فوق المستوى مضروباً في المعامل الذي يستنفره التسليح:

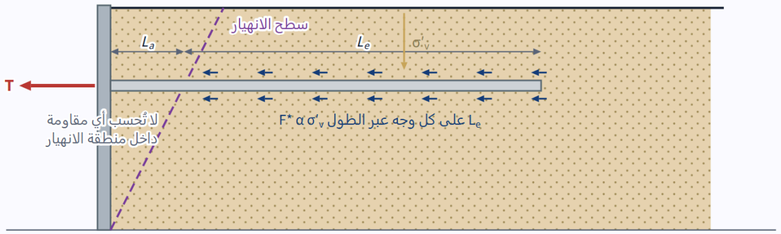
$$P_r = 2R_c\,F^*\alpha\,\sigma'_v\,L_e \qquad FS_P = \frac{P_r}{T} \qquad L_{req} = L_a + \frac{FS_P\,T}{2R_c F^*\alpha\,\sigma'_v}$$

F* معامل مقاومة الانقلاع: tan φ′ للشرائط (حد أدنى)، وتساوي ⅔ tan φ′ للمواد الجيوسنثتية (الحد الأدنى المعتمد في الوحدة؛ ويحدد باختبار الانقلاع). **α** تأثير المقياس: 1.0 للشرائط، 0.8 للجيوجريد، 0.6 للجيوتكستايل.

R_c (التغطية): في الشريط عرض الشريط w (لكل شريط)، وفي الشبكة الجيوتقنية C_r (لكل متر من الجدار)، وفي الغطاء 1. و**σ'_v** هو الإجهاد الرأسي في المنطقة المقاومة: $\gamma_1 z$ + الحمل الإضافي الدائم؛ و**لا يدخل الحمل المتحرك** (لأنه لا يسهم في المقاومة).

في الشرائط تزداد T و P_r مع العمق: وفي طريقة المصدر يكون الطول الفعال المطلوب نفسه عند كل مستوى؛ أما في الطريقة المبسطة فتتحمل المستويات العليا شداً أكبر بمقدار K_r/K_a مرة، ويزداد الطول الفعال بالنسبة نفسها.

الوصلة: ينتقل الشد T_{max} إلى الواجهة؛ وتدخل المقاومة من اختبارات الوصلة ويتحقق منها بمعامل الانقطاع.



المسألة

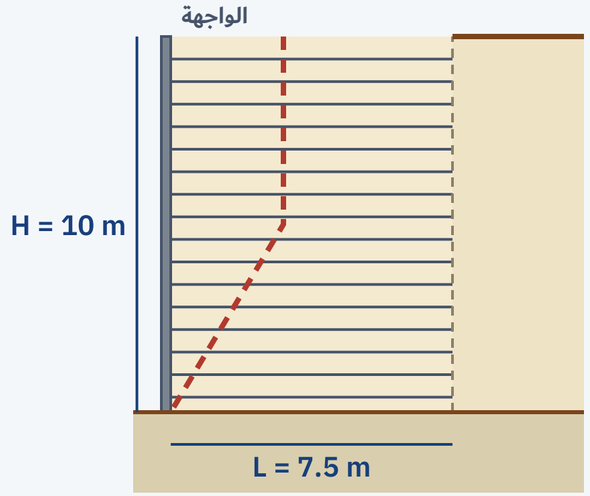
مثال

المعطيات

الشريط والتربة	**الجدار في الأمثلة 1–3؛** $F^* = \tan 36^\circ = 0.727$، $\alpha = 1$؛ $FS_P \geq 1.5$
المناسيب	**z = 0.6 m (المستوى 1) والمستويات الأخرى**

المطلوب

في المستوى 1: FS_P، P_r، الطول المطلوب L_{req}؛ وملخص جميع المستويات.



الحل (1/2)

الحل

1 المستوى 1 ($z = 0.6$ m): $K_r/K_a = 1.65$؛ $\sigma'_h = 4.24$ kPa

$$T = \sigma'_h S_V S_H = 4.24(0.6) = 2.54 \text{ kN} \qquad L_a = 0.3H = 3.00, \quad L_e = 4.50 \text{ m}$$

$$P_r = 2(0.075)(0.727)(1.0)(9.9)(4.50) = \mathbf{4.86} \text{ kN}$$

$$FS_P = \frac{4.86}{2.54} = \mathbf{1.908} \geq 1.5 \checkmark$$

2 الطول المطلوب: $L_{req} = L_a + FS_P T/(F^* \alpha \sigma'_v \cdot 2w)$

$$L_{req} = 3.00 + \frac{1.5(2.54)}{0.727(1)(9.9)(2)(0.075)} = 3.00 + 3.54 = \mathbf{6.54} \text{ m}$$

الحل (2/2)

الحل

3 خلاصة جميع المستويات

المنسوب	z (m)	T (kN)	L_a	L_e	P_r (kN)	FS_P	L_{req} (m)
1	0.6	2.54	3.00	4.50	4.86	1.91	6.54
2	1.2	4.93	3.00	4.50	9.71	1.97	6.43
5	3.0	11.18	3.00	4.50	24.28	2.17	6.11
10	6.0	18.51	2.40	5.10	55.02	2.97	4.97
17	10.0	30.84	0.00	7.50	134.86	4.37	2.57

أصغر معامل أمان ضد الانقلاع هو **FS_P = 1.91 في المستوى 1** (المطلوب 1.5)؛ وأطول طول مطلوب **6.54 m** (= L 7.5 m يكفي). في المستوى العلوي يكون الشد صغيراً، لكن لأن σ'_v صغير أيضاً فإن الانقلاع أضعف ما يكون هناك.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الكتلة جدار تثاقلي

النظرية

الكتلة المسلحة المحققة للاستقرار الداخلي هي **كتلة تربة أبعادها H × L** تسند الردم الواقع خلفها. ويضغط الردم المسنود (γ_b، φ'_b) على الوجه الخلفي الرأسي للكتلة بدفع Rankine الفعال؛ ويضيف الحمل الإضافي دفعاً إضافياً:

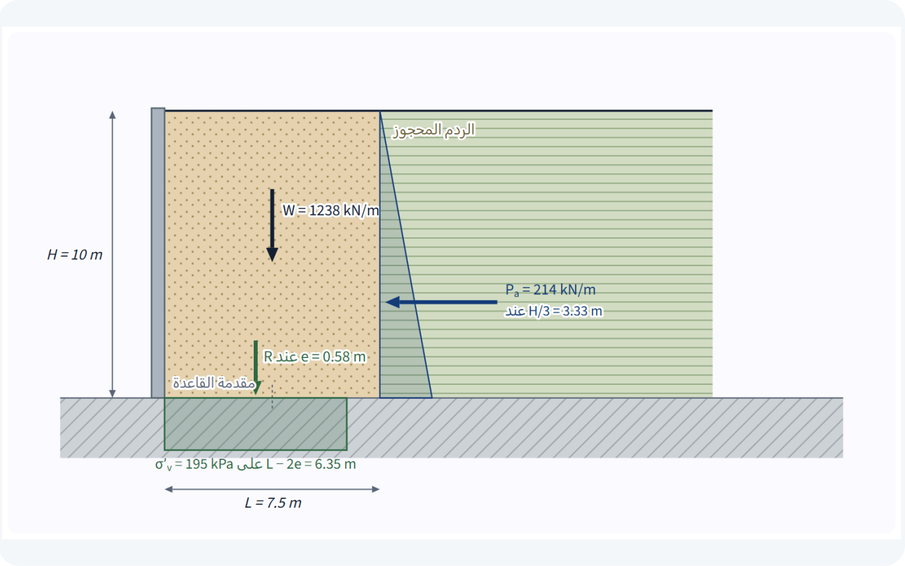
$$P_a = \tfrac{1}{2} K_a \gamma_b H^2 \ \ (H/3) \qquad P_q = K_a\, q\, H \ \ (H/2) \qquad W = \gamma_1 H L \ \ (L/2)$$

$$FS_{ot} = \frac{M_R}{M_o} = \frac{W\, L/2}{P_a H/3 + P_q H/2} \qquad x_R = \frac{M_R - M_o}{\Sigma V} \qquad e = \frac{L}{2} - x_R$$

المقاوم: وزن الكتلة والحمل الإضافي **الدائم**. أما **الحمل الحي فلا يقاوم** لأنه قد لا يكون موجوداً أثناء تأثير الدفع (في الأحمال فقط).

يمكن قراءة التحقق نفسه بصيغتين: **نسبة العزوم** ($FS_{ot} \geq 2$) وموضع المحصلة: **e ≤ L/6** لكي تبقى القاعدة بكاملها تحت ضغط (L/3 في حالة الزلزال).

لا تدخل كسوة الواجهة والجزء المدفون أمامها في الوزن المقاوم (في جانب الأمان).



المسألة

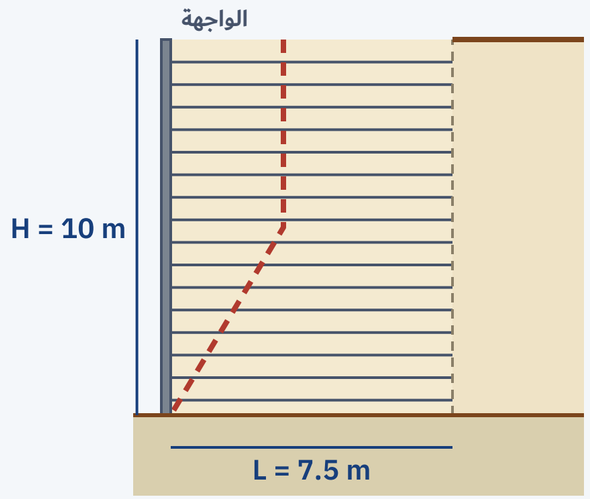
مثال

المعطيات

الكتلة	**الردم المسلح**؛ $H = 10$ m، $L = 7.5$ m، $\gamma_1 = 16.5$ kN/m³
الردم المحتجز	**التربة نفسها** ($\gamma_b = 16.5$، $\varphi'_b = 36^\circ$)؛ **لا يوجد حمل إضافي**

المطلوب

P_a و M_O؛ **W** و M_R؛ FS_{ot}؛ وموضع المحصلة x_R و **e** (الحد L/6).



الحل (1/2)

الحل

1 الدفع الفعال ($K_a = 0.2596$) وعزم الانقلاب

$$P_a = \tfrac{1}{2} K_a \gamma_b H^2 = \tfrac{1}{2}(0.2596)(16.5)(10)^2 = \mathbf{214.18}\ \text{kN/m}$$

$$M_o = P_a\, H/3 = 214.18(3.333) = \mathbf{713.9}\ \text{kN·m/m}$$

2 وزن الكتلة وعزم المقاومة

$$W = \gamma_1 H L = 16.5(10)(7.5) = \mathbf{1{,}237.5}\ \text{kN/m}$$

$$M_R = W\, L/2 = 1{,}237.5(3.75) = \mathbf{4{,}640.6}\ \text{kN·m/m}$$

الحل (2/2)

الحل

3 الانقلاب وموضع المحصلة

$$FS_{ot} = M_R / M_o = 4{,}640.6 / 713.9 = \mathbf{6.50} \ \geq 2.0 \ \checkmark$$

$$x_R = (M_R - M_o)/\Sigma V = (4{,}640.6 - 713.9)/1{,}237.5 = 3.173 \text{ m}$$

$$e = L/2 - x_R = 3.75 - 3.173 = \mathbf{0.577} \text{ m} \ \leq L/6 = 1.25 \ \checkmark$$

معامل الأمان ضد الانقلاب **6.50** (≥ 2.0)؛ وقد انزاحت المحصلة عن منتصف القاعدة نحو المقدمة بمقدار **0.58 m** فقط: فالقاعدة كلها في حالة انضغاط (e ≤ L/6 = 1.25 m).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

احتكاك القاعدة

النظرية

إذا تجاوزت قوة الدفع احتكاك القاعدة انزلقت الكتلة على قاعدتها. ويأخذ **المصدر** الاحتكاك بالقيمة k ≈ ⅔ كما في الجدار الخرساني المرتكز على التربة؛ أما عند قاعدة الكتلة المسلحة فترتكز **التربة على التربة**: وتعتمد الممارسة العملية على زاوية الاحتكاك **الأضعف** بين الردم المسلح وتربة التأسيس. وتحتفظ الوحدة بالمعامل ⅔، وتختار التربة الأضعف، ولا تحتسب تماسك تربة التأسيس:

$$FS_{sl} = \frac{\Sigma V \, \tan\left(\frac{2}{3}\varphi'_{min}\right)}{\Sigma H} \qquad \varphi'_{min} = \min\left(\varphi'_1, \varphi'_2\right)$$

ΣH: دفع الردم المسنود، ودفع الحمل الإضافي (إن وجد)؛ ΣV: وزن الكتلة والحمل الإضافي الدائم. **يدخل الحمل الحي في الدفع ولا يدخل في ΣV.**

يحسب كذلك مسار المصدر (الردم فقط، φ'_1)؛ وإذا كانت تربة الأساس ضعيفة فإن قيمة الوحدة أقل و**هي الحاكمة.**

يُحل الانزلاق بتوسيع الكتلة (يزداد ΣV خطياً مع L)؛ كما يُحسّن الطول مقاومة الانقلاع واللامركزية.

معاملات الأمان المطلوبة

التحقق	استاتيكي (مطلوب)	الزلزال (المطلوب، 75%)
الانقطاع FS_B	1.80	1.35
معامل الأمان ضد الانقلاع FS_P	1.50	1,125
الانقلاب FS_{ot}	2.00	1.50
اللامركزية e	≤ L/6	≤ L/3
الانزلاق FS_{sl}	1.50	1,125
قدرة التحمل FS_{bc}	2.50	1,875

القيم الزلزالية تساوي 75% من القيم الاستاتيكية (اللامركزية من L/6 → L/3). يبقى الحمل الحي في الحالتين.

المسألة

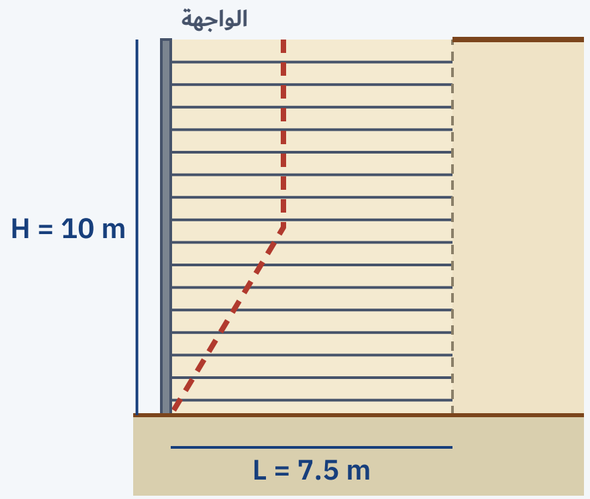
مثال

المعطيات

الكتلة	**الكتلة في المثال 5 (**$\Sigma V = 1\,237.5$ **kN/m،** $\Sigma H = P_a = 214.18$ **kN/m)**
التربة	**الردم المسلح** $\varphi'_1 = 36^\circ$**؛ تربة التأسيس** $\varphi'_2 = 28^\circ$ **،** $c'_2 = 50$ **kPa، لا يحتسب التماسك)**

المطلوب

FS$_{sl}$ من احتكاك القاعدة؛ ومقارنته بطريقة المصدر (الردم فقط).



الحل

الحل

1 التربة الضعيفة: $\varphi'_{min} = \min(36°, 28°) = 28°$ (تربة التأسيس)

$$\tan\left(\tfrac{2}{3}\cdot 28^\circ\right) = \tan 18.67^\circ = 0.3378$$

$$R = \Sigma V \tan(\ldots) = 1{,}237.5(0.3378) = 418.1 \text{ kN/m}$$

$$FS_{sl} = \frac{R}{\Sigma H} = \frac{418.1}{214.18} = \mathbf{1.952} \;\geq 1.5 \;\checkmark$$

2 مسار المصدر (الردم فقط، $\varphi'_1 = 36°$)

$$\tan\left(\tfrac{2}{3}\cdot 36^\circ\right) = \tan 24^\circ = 0.4452$$

$$FS_{sl} = \frac{1{,}237.5(0.4452)}{214.18} = \mathbf{2.572}$$

لما كانت تربة التأسيس أضعف، فإن معامل الأمان ضد الانزلاق **1.95** (2.57 بطريقة المرجع): وتعتمد الوحدة القيمة **الأصغر** قيمة حاكمة؛ وهي أعلى من القيمة المطلوبة 1.5.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

كتلة تربة التأسيس تحمل كقاعدة شريطية

النظرية

يقارن **المصدر** قدرة تحمل قاعدة بعرض L عند سطح الأرض، دون حد العمق، بالإجهاد الرأسي عند القاع. معاملات قدرة التحمل العامة (Vesic): $N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2(45° + \varphi'/2)$، $N_c = (N_q - 1)\cot \varphi'$، $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan \varphi'$:

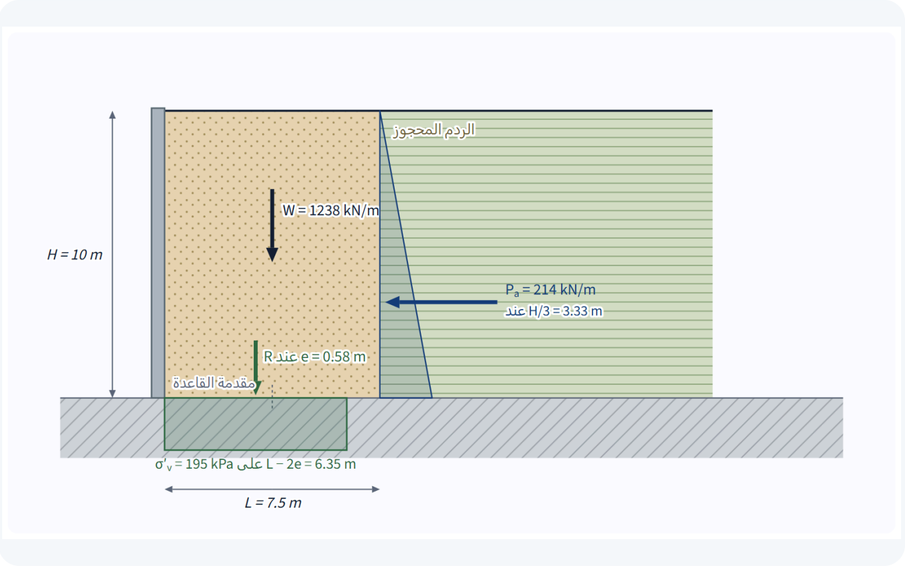
$$q_u = c'_2 N_c + \tfrac{1}{2}\gamma_2 L N_\gamma \qquad FS_{bc} = \frac{q_u}{\sigma'_o},\ \ \sigma'_o = \gamma_1 H + q_D$$

التطبيق (FHWA/AASHTO): لا تقع المحصلة في المنتصف (e)، ويكون الضغط عند الحافة الأمامية أكبر من المتوسط؛ ولذلك يوزع الحمل الرأسي الكلي توزيعاً منتظماً على **العرض الفعال وفق Meyerhof**، $L' = L - 2e$، وتحسب قدرة التحمل لقاعدة بهذا العرض:

$$L' = L - 2e \qquad \sigma'_v = \frac{\Sigma V}{L'} \qquad q_u = c'_2 N_c + \tfrac{1}{2}\gamma_2 L' N_\gamma \qquad FS_{bc} = \frac{q_u}{\sigma'_v}$$

الضغط أكبر والقاعدة أضيق: ومعامل أمان Meyerhof أقل؛ وتحسب الوحدة **كلتا الحالتين وتأخذ الأصغر** كقيمة حاكمة.

هذه الصفحة تحقق قصير الأمد (دون ضغط ماء المسام)؛ أما الاستقرار الكلي والهبوط فهما خارج نطاق الوحدة.



المسألة

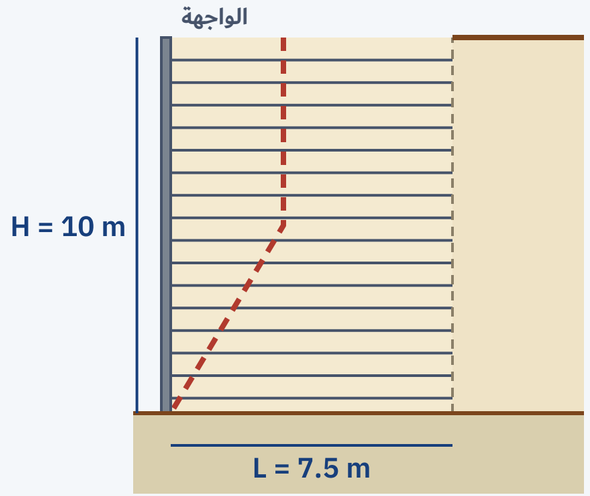
مثال

المطلوب

$\mathbf{FS_{bc}}$ بطريقة المصدر، و$\mathbf{FS_{bc}}$ بالعرض الفعال وفق Meyerhof؛ وأيهما حاكم.

المعطيات

الكتلة	**كتلة المثال 5:** $\Sigma V = 1\,237.5$ **kN/m**، $e = 0.577$ **m**
تربة التأسيس	$\varphi'_2 = 28^\circ$,$c'_2 = 50$ **kPa** ,$\gamma_2 = 17.3$ **kN/m³**



الحل

الحل

1 المعاملات (Vesic، $\varphi'_2 = 28°$): $N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2(45° + \varphi'/2)$، $N_c = (N_q - 1)\cot \varphi'$، $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan \varphi'$

$$N_q = 14.72 \qquad N_c = 25.80 \qquad N_\gamma = 16.72$$

2 مسار المصدر (العرض $L = 7.5$ m، $\sigma'_o = \gamma_1 H = 165$ kPa)

$$q_u = 50(25.80) + \tfrac{1}{2}(17.3)(7.5)(16.72) = 2{,}375 \text{ kPa} \qquad FS_{bc} = 2{,}375/165 = \mathbf{14.39}$$

3 العرض الفعال وفق Meyerhof ($e = 0.577$ m)

$$L' = 7.5 - 2(0.577) = 6.346 \text{ m} \qquad \sigma'_v = \Sigma V / L' = 1{,}237.5/6.346 = 195 \text{ kPa}$$

$$q_u = 50(25.80) + \tfrac{1}{2}(17.3)(6.346)(16.72) = 2{,}208 \text{ kPa}$$

$$FS_{bc} = 2{,}208/195 = \mathbf{11.32} \;\geq 2.5 \;\checkmark$$

يعطي مسار المصدر **14.39**، ويعطي العرض الفعال **11.32**: ولأن اللامركزية تزيد الضغط وتضيق القاعدة فإن **قيمة Meyerhof هي الحاكمة**؛ وكلتاهما أعلى بكثير من 2.5.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

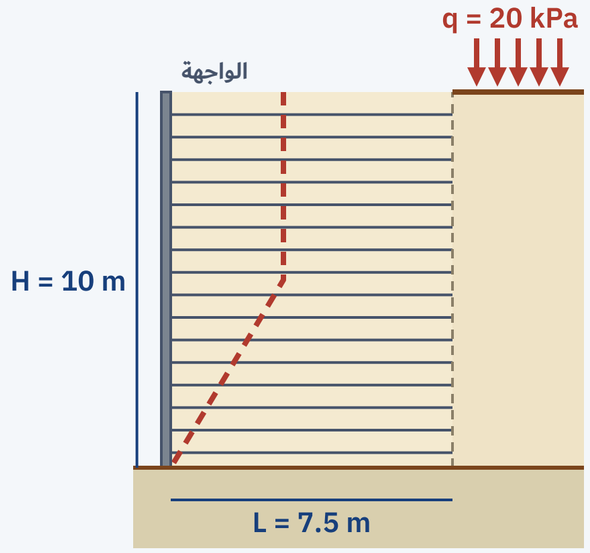
مثال

المعطيات

الجدار	**الجدار في المثال 1–7 (H = 10 m، L = 7.5 m، الشرائط)**
الحمل	**حمل إضافي حي موزع $q_L = 20$ kPa فوق الجدار (فوق الكتلة وخلفها)**

المطلوب

عند المستوى 1: **FS_P**؛ وعند القاعدة **T_{max}** و FS_B؛ التحققات الخارجية (الدفع والانقلاب والانزلاق وقدرة التحمل).



الحل (1/2)

الحل

1 المستوى 1 (z = 0.6 m): يزيد الحمل الإضافي الإجهاد الجانبي ولا يزيد مقاومة الانقلاع

$$\sigma'_h = K_r\,(\gamma_1 z + q_L) = 0.4284(9.9 + 20) = 12.81 \text{ kPa} \quad T = 12.81(0.6) = 7.68 \text{ kN}$$

$$P_r = 4.86 \text{ kN} \quad (\sigma'_v = \gamma_1 z = 9.9 \text{ kPa} \text{ في الحسبان لا يؤخذ الحمل الحي ؛})$$

$$FS_P = \frac{4.86}{7.68} = \mathbf{0.632} \;<\; 1.5 \;\; ✗$$

2 القاعدة: أقصى قوة شد والانقطاع

$$\sigma'_h = 0.3115(165 + 20) = 57.63 \text{ kPa} \quad T_{max} = 57.63(0.6) = 34.58 \text{ kN}$$

$$FS_B = \frac{85.5}{34.58} = \mathbf{2.47} \;\geq\; 1.8 \;\; ✓ \qquad L_{req} = 13.68 \text{ m} \;>\; 7.5 \;\; ✗$$

في المستوى 1 تزداد قوة الشد من 2.54 إلى **7.68 kN** بينما تبقى مقاومة الانقلاع **كما هي**: FS_P من 1.91 إلى **0.63**. والانقطاع كاف (2.47)، لكن الطول اللازم يصبح 13.68 m: الحمل المتحرك **يحمّل ولا يثبّت**.

الحل (2/2)

الحل

3 التحققات الخارجية: تزداد قوة الدفع؛ ولا تدخل ضمن الوزن

$$P_q = K_a q_L H = 0.2596(20)(10) = 51.92 \text{ kN/m} \ \ (H/2) \qquad P_a = 266.11 \text{ kN/m}$$

$$M_o = 713.9 + 51.92(5) = 973.6 \text{ kN·m/m} \qquad W = 1{,}237.5 \text{ kN/m (دون حمل حي)}$$

$$FS_{ot} = 4{,}640.6/973.6 = \mathbf{4.77} \qquad e = \mathbf{0.787} \text{ m} \ \le 1.25 \ \checkmark$$

4 الانزلاق وقدرة التحمل (في حساب قدرة التحمل يحمل الحمل الحي القاعدة أيضاً)

$$FS_{sl} = 1{,}237.5(0.3378)/266.11 = \mathbf{1.57} \ \ge 1.5 \ \checkmark$$

$$V = 1\,237.5 + 20(7.5) = 1{,}387.5 \ \Rightarrow \ e_b = 0.702, \ \ L' = 6.10 \text{ m}, \ \ \sigma'_v = 227.6 \text{ kPa}$$

$$q_u = 2{,}172 \text{ kPa} \qquad FS_{bc} = \mathbf{9.54} \ \ge 2.5 \ \checkmark$$

الاستقرار الخارجي كاف (الانقلاب 4.77، الانزلاق 1.57، قدرة التحمل 9.54)، لكن **التحقق من الانقلاع غير محقق** ($FS_P = 0.63$): ففي الجدار المعرض لحمل حي يكون طول المستويات العليا هو الحاكم.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

الدفع الديناميكي وعزم قصور كتلة الإسفين وعزم قصور المنطقة النشطة

يضيف الزلزال (شبه استاتيكي، k_h؛ $k_V = 0$) ثلاث قوى: الدفع الديناميكي للردم الخلفي المسنود (Mononobe–Okabe)، والقصور الذاتي للكتلة المسلحة، و**القصور الذاتي للمنطقة الفعالة** التي يحتجزها التسليح:

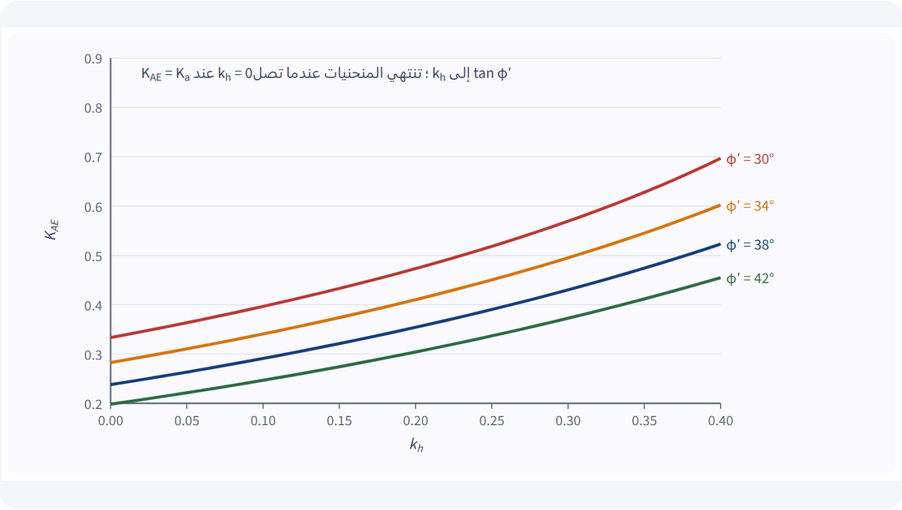
$$\psi = \tan^{-1} k_h \qquad K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi'_b - \psi)}{\cos^2\psi \left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin\varphi'_b \sin(\varphi'_b - \psi)}{\cos\psi}}\right]^2}$$

$$\Delta P_{AE} = \tfrac{1}{2}\gamma_b H^2 (K_{AE} - K_a) \quad (0.6H) \qquad P_{IR} = \tfrac{1}{2} k_h \gamma_1 H^2 \quad (H/2) \qquad P_i = k_h W_a \;\Rightarrow\; T_{md} = P_i \frac{L_e}{\Sigma L_e}$$

يؤخذ **نصف** ΔP_{AE} (لأن الدفع والقصور الذاتي لا يبلغان قيمتيهما العظميين في اللحظة نفسها)؛ وتُحسب P_{IR} للكتلة ذات العرض 0.5H خلف الواجهة فقط. ولا يولّد الحمل الإضافي قوة قصور ذاتي.

التحققات الخارجية: $\Sigma H = P_a + \tfrac{1}{2}\Delta P_{AE} + P_{IR}$؛ $e \le L/3$؛ ومعاملات الأمان تساوي 75% من نظيرتها الاستاتيكية.

التحققات الداخلية: يعاد التحقق لكل منسوب من الانقطاع باستخدام $T + T_{md}$، ومن الانقلاع باستخدام **80%** من F*؛ ويبقى الحمل الحي كما في الحالة الستاتيكية.



المسألة

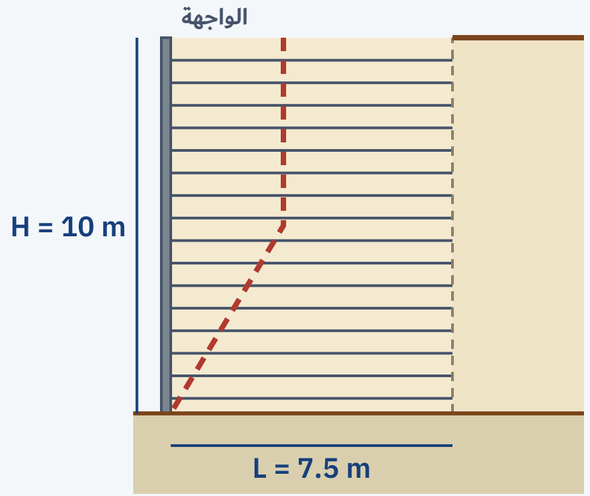
مثال

المعطيات

الجدار	**الجدار في الأمثلة 1–7؛ بلا حمل إضافي**
الزلزال	**$k_h = 0.15$ ($k_v = 0$)؛ FS المطلوب هو 75% من القيمة الاستاتيكية؛ $e \le L/3$؛ عند الانقلاع يكون F^* 80% من القيمة الاستاتيكية**

المطلوب

P_{IR}، ΔP_{AE}، **K_{AE}**؛ والتحققات الخارجية؛ وقوة القصور الذاتي للمنطقة الفعالة؛ والتحقق من الانقطاع والانقلاع لكل مستوى باستخدام **$T + T_{md}$**.



الحل (1/4)

الحل

1 الزاوية الزلزالية والمعامل

$$\psi = \tan^{-1} 0.15 = 8.53^\circ \qquad \sqrt{\sin 36^\circ \sin(27.47^\circ)/\cos 8.53^\circ} = 0.5236$$

$$K_{AE} = \cos^2(27.47^\circ)/\left[\cos^2 8.53^\circ (1+0.5236)^2\right] = \mathbf{0.3468} \quad (K_a = 0.2596)$$

2 زيادة الدفع الديناميكي وعزم قصور الكتلة والقوة الأفقية الكلية

$$\Delta P_{AE} = \tfrac{1}{2}(16.5)(10)^2(0.3468 - 0.2596) = \mathbf{71.89}\ \text{kN/m} \ \ (6.0\ \text{m})$$

$$P_{IR} = \tfrac{1}{2}(0.15)(16.5)(10)^2 = \mathbf{123.75}\ \text{kN/m} \ \ (5.0\ \text{m})$$

$$P_s = 214.18 + \tfrac{1}{2}(71.89) + 123.75 = \mathbf{373.88}\ \text{kN/m}$$

3 عزم الانقلاب

$$M_{o,E} = 214.18(3.333) + 35.94(6.0) + 123.75(5.0)$$

$$= 713.9 + 215.7 + 618.8 = \mathbf{1{,}548.4}\ \text{kN·m/m}$$

الحل (2/4)

الحل

4 الانقلاب واللامركزية (الحد L/3 = 2.50 m)

$$FS_{ot,E} = 4{,}640.6/1{,}548.4 = \mathbf{3.00} \;\geq 1.5 \;\checkmark$$

$$x_R = (4{,}640.6 - 1{,}548.4)/1{,}237.5 = 2.499 \text{ m} \qquad e = 3.75 - 2.499 = \mathbf{1.251} \text{ m} \;\leq 2.50 \;\checkmark$$

5 الانزلاق (دون مقاومة أمامية)

$$FS_{sl,E} = 1{,}237.5(0.3378)/373.88 = 418.1/373.88 = \mathbf{1.118} \;< 1.125 \;\;\text{✗}$$

6 قدرة التحمل (Meyerhof)

$$L' = 7.5 - 2(1.251) = 4.998 \text{ m} \qquad \sigma'_v = 1{,}237.5/4.998 = 247.6 \text{ kPa}$$

$$q_u = 50(25.80) + \tfrac{1}{2}(17.3)(4.998)(16.72) = 2{,}013 \text{ kPa} \quad FS_{bc,E} = \mathbf{8.13} \;\geq 1.875 \;\checkmark$$

الحل (3/4)

الحل

7 قصور المنطقة الفعالة وتوزيعه على المناسيب

$$W_a = \gamma_1 A_a = 16.5(22.50) = 371.25 \text{ kN/m} \qquad P_i = 0.15(371.25) = 55.69 \text{ kN/m}$$

$$T_{md} = P_i L_e / \Sigma L_e \qquad \Sigma L_e = 91.5 \text{ m} \quad \text{(المنسوب 17)}$$

8 المستوى 1 (z = 0.6 m، L_e = 4.50 m): قوة الانقطاع والانقلاع

$$T_{md} = 55.69(4.50)/91.5 = 2.739 \text{ kN} \qquad T + T_{md} = 2.54 + 2.739 = 5.283 \text{ kN}$$

$$P_{r,E} = 0.8(4.855) = 3.884 \text{ kN} \quad (F^* \text{ من القيمة الاستاتيكية } \%80)$$

$$FS_{P,E} = 3.884/5.283 = \mathbf{0.735} \; < 1.125 \quad ✗$$

9 المستوى 17 (القاع، L_e = 7.50 m): انقطاع

$$T_{md} = 55.69(7.50)/91.5 = 4.565 \text{ kN} \qquad FS_{B,E} = 85.5/(30.84 + 4.565) = \mathbf{2.415} \; \geq 1.35 \; ✓$$

الحل (4/4)

الحل

10 خلاصة النتائج ($k_h = 0.15$)

التحقق	استاتيكي	الزلزال	المطلوب (استاتيكي / زلزالي)	القرار (الزلزال)
الانقطاع FS_B (أصغر قيمة)	2.77	2.41	1.35 / 1.80	محقق
معامل أمان الانقلاع FS_P (الأدنى)	1.91	**0.74**	1,125 / 1.50	**غير محقق** (المستوى 1)
الانقلاب FS_{ot}	6.50	3.00	1.50 / 2.00	محقق
اللامركزية e (m)	0.58	1.25	≥ 2.50 / ≥ 1.25	محقق
الانزلاق FS_{sl}	1.95	**1.118**	1,125 / 1.50	**غير محقق** (عند الحد)
قدرة التحمل FS_{bc}	11.32	8.13	1,875 / 2.50	محقق

يخفض الزلزال **الانقلاع ($FS_{P,E} = 0.74$)** و**الانزلاق ($FS_{sl,E} = 1.12$)** إلى ما دون القيمة المطلوبة؛ أما الانقلاب واللامركزية وقدرة التحمل والانقطاع فمتحققة. وفي المستويات العليا يكون الشد صغيراً لكن σ'_v صغيرة أيضاً، ولذلك يكون **الانقلاع أضعف حلقة**: يجب زيادة طول التسليح (المثال 10).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

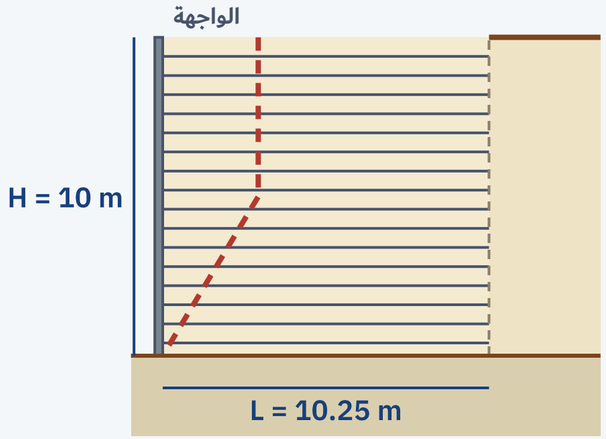
مثال

المعطيات

الابتدائي	**مثال 9: الانقلاع ($FS_{P,E} = 0.74$) والانزلاق ($FS_{sl,E} = 1.12$) غير كافيين في حالة الزلزال**
المتغير	**طول الشريط L (يزداد بخطوات 0.25 m)؛ S_V، S_H، ومقطع الشريط والردم يبقيان كما هما**

المطلوب

أصغر قيمة L تتحقق عندها التحققات الزلزالية ($FS_{P,E} \geq 1.125$؛ $FS_{sl,E} \geq 1.125$؛ $e \leq L/3$)؛ **جدول L.**



الحل (1/2)

الحل

1 معاملات الأمان مع ازدياد الطول (الخط الغامق: أقل من القيمة المطلوبة)

L (m)	$FS_{P,E}$ (≥ 1,125)	$FS_{sl,E}$ (≥ 1,125)	e_E / (L/3) (m)	FS_P الاستاتيكي	FS_{sl} الاستاتيكي	FS_{bc} الاستاتيكي
7.5	**0.735**	**1.118**	2.50 / 1.25	1.91	1.95	11.32
8.5	**0.884**	1.267	2.83 / 1.10	2.33	2.21	12.65
9.5	**1.033**	1.416	3.17 / 0.99	2.76	2.47	13.87
10.5	1.182	1.565	3.50 / 0.89	3.18	2.73	15.02
11.5	1.331	1.715	3.83 / 0.82	3.60	2.99	16.11
12.5	1.480	1.864	4.17 / 0.75	4.03	3.25	17.16

عند L = 7.5 m يكون الانقلاع (0.74) والانزلاق (1.12) غير كافيين؛ و**الانقلاع هو الحاكم**: حتى عند L = 9.5 m تبلغ القيمة 1.03 < 1.125. وكلما زاد الطول ازداد كل من الطول الفعال L_e (الانقلاع) ووزن الكتلة (الانزلاق، اللامركزية).

الحل (2/2)

الحل

2 أصغر طول بخطوات 0.25 m: L = 10.25 m

$$FS_{P,E} = 1.145 \geq 1.125 \checkmark \qquad FS_{sl,E} = 1.528 \geq 1.125 \checkmark$$

$$e_E = 0.916 \leq \frac{L}{3} = 3.42 \text{ m} \checkmark \qquad FS_{ot,E} = 5.60 \quad FS_{bc,E} = 12.48$$

3 الحالة الاستاتيكية بهذا الطول (تحقق)

$$FS_P = 3.07 \quad FS_{sl} = 2.67 \quad FS_{ot} = 12.14 \quad e = 0.422 \text{ m} \quad FS_{bc} = 14.74$$

في حالة الزلزال يلزم **L = 10.25 m** (≈ 1.02 H)؛ وتكون معاملات الأمان الاستاتيكية مرتفعة جداً بهذا الطول. ويمكن أيضاً السعي إلى النتيجة نفسها بتقليل تباعد التسليح (S_V و S_H) أو باستخدام تسليح شريطي أعرض أو مكسو؛ ويعد الطول أكثر العوامل مباشرة.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

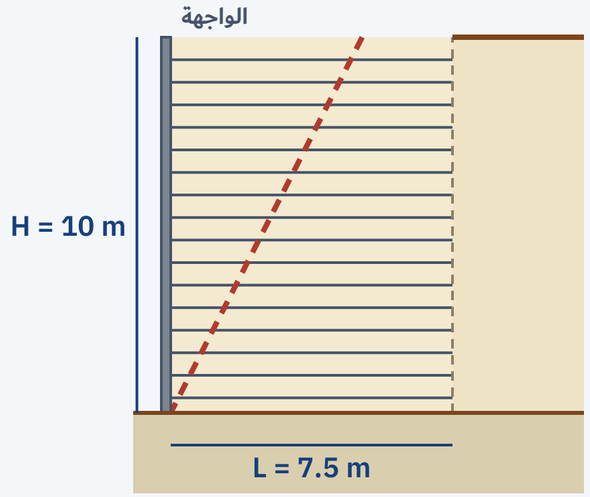
مثال

المعطيات

Geogrid	$T_{ult} = 150$ **kN/m**؛ $RF_{id} = 1.2$، $RF_{cr} = 2.5$، $RF_{cbd} = 1.25$؛ **طبقة التغطية** $C_r = 0.8$؛ $S_V = 0.6$ **m**
الانقلاع	$F^* = \frac{2}{3}\tan 36°$، $\alpha = 0.8$؛ **سطح انهيار Rankine** ($K_r = K_a$)؛ $FS_B \geq 1.8$، $FS_P \geq 1.5$

المطلوب

T_{max}، T_{cap}، T_{all} (لكل متر من الجدار)، $\mathbf{FS_B}$، وقيمة S_V المطلوبة؛ وفي المستوى 1: $\mathbf{FS_P}$ و L_{req}.



الحل (1/2)

الحل

1 المقاومة طويلة الأمد والقدرة التحميلية

$$RF = 1.2(2.5)(1.25) = 3.75 \qquad T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF} = \frac{150}{3.75} = 40.0 \text{ kN/m}$$

$$T_{diameter} = T_{all} C_r = 40.0(0.8) = 32.0 \text{ kN/m}$$

2 الشد والانقطاع ($K_r = K_a$)

$$\sigma'_h(H) = K_a(165) = 42.84 \text{ kPa} \qquad T_{max} = 42.84(0.6) = 25.70 \text{ kN/m}$$

$$FS_B = \frac{32.0}{25.70} = \mathbf{1.245} < 1.8 \quad ✗ \qquad S_{V,req} = \frac{T_{all} C_r}{\sigma'_h FS_B} = \frac{32.0}{42.84(1.8)} = \mathbf{0.415} \text{ m}$$

التباعد المنفذ (0.6 m) كبير: معامل الأمان ضد الانقطاع 1.25 < 1.8؛ والتباعد المطلوب **$S_V \le 0.415$ m** (أو جيوجريد أعلى مقاومة).

الحل (2/2)

الحل

3 المستوى 1 (z = 0.6 m): سطح Rankine

$$L_a = (H - z)/\tan 63^\circ = 4.79 \text{ m} \qquad L_e = 7.5 - 4.79 = 2.71 \text{ m}$$

$$\sigma'_h = K_a(9.9) = 2.57 \text{ kPa} \qquad T = 2.57(0.6) = 1.542 \text{ kN/m}$$

4 الانقلاب (لكل متر من الجدار، $R_c = C_r = 0.8$)

$$F^* = \tfrac{2}{3}\tan 36^\circ = 0.4844$$

$$P_r = 2C_rF^*\alpha\sigma'_vL_e = 2(0.8)(0.4844)(0.8)(9.9)(2.71) = 16.64 \text{ kN/m}$$

$$FS_P = 16.64/1.542 = \mathbf{10.79} \geq 1.5 \checkmark \qquad L_{req} = L_a + \frac{1.5\,T}{2C_rF^*\alpha\sigma'_v} = \mathbf{5.17} \text{ m}$$

في المادة الجيوسنثتية يتحقق الانقلاع بوفرة ($FS_P = 10.79$)، ويتبع الطول اللازم إسفين Rankine: **L_{req} = 5.17 m** (< 7.5 m). والحاكم هو **الانقطاع**: ويضبط بمقاومة التصميم والتباعد.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

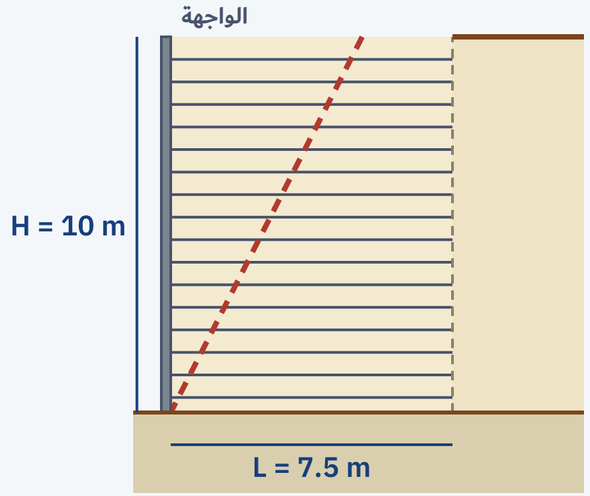
مثال

المعطيات

الجدار	H = 10 m، L = 7.5 m، $S_V = 0.6$ m؛ ردم $\varphi'_1 = 36^\circ$؛ تربة تأسيس واحدة
الحالات	الطريقة المبسطة، ونهج Rankine في المرجع، والحمل الحي، والحمل الشريطي، والشبكة الجيوتقنية، والتسليح القصير

المطلوب

اكتب **معاملات الأمان** للحالات السبع جنباً إلى جنب وفسر الفروق.



الحل

الحل

1 الجدار نفسه في سبع حالات (استاتيكية)

الحالة	FS_B	FS_P	L_{req} (m)	FS_{ot}	e (m)	FS_{sl}	FS_{bc}
الابتدائي: مبسّط، شرائح، L = 7.5 m	2.77	1.91	6.54	6.50	0.58	1.95	11.32
مقاربة Rankine للمصدر (الشرائط نفسها)	3.33	1.90	6.93	6.50	0.58	1.95	11.32
تقريب Rankine، L = 13.5 m	3.33	6.09	6.93	21.06	0.32	3.51	18.18
الحمل الإضافي المتحرك q_L = 20 kPa	2.47	0.63	13.68	4.77	0.79	1.57	9.54
حمل شريطي 60 kPa (a′ = 2 m، b′ = 1 m)	2.74	1.32	8.13	3.66	1.14	1.55	7.87
شبكة جيوجريد 150 kN/m (Rankine، α = 0.8)	1.25	10.79	5.17	6.50	0.58	1.95	11.32
الشرائح L = 7 m (0.7H)	2.77	1.70	6.54	5.66	0.62	1.82	10.60

يستخدم **نهج Rankine** المعامل K_a عند القاعدة: قوة الشد صغيرة (T_{max} 25.7 kN)، والأمان ضد الانقطاع مرتفع (3.33)، لكن الطول المطلوب في الأعلى 6.93 m. ويخفض **الحمل الحي** كل معاملات الأمان (FS_P 0.63: لا يصمد عند التحميل)؛ ويخفضها **الحمل الشريطي** بدرجة أقل (FS_P 1.32)، لأنه يقاوم بوصفه وزناً فوق الكتلة. وفي الجيوغريد الأمان ضد الانقلاع وافر، و**الانقطاع هو الحاكم** (FS_B 1.25). وبطول L = 7 m تبقى الشرائط كافية (FS_P 1.70، e = 0.62 m).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

نطاق الحل

الردم حبيبي حر التصريف (لا يوجد ضغط ماء مسام)؛ و**لا يوجد** ماء جوفي داخل الجدار أو خلفه، ولا ردم خلفي مائل فوق الجدار.

تقع **المستويات** على الأعماق S_V و $2S_V$ و ...؛ ولا تنمذج الحالات الآتية: طول التسليح الواحد، والمقطع شبه المنحرف، والمستويات المختلفة الأطوال. وتقع خارج النطاق الشبكات القضيبية/السلكية ($K_r/K_a \geq 2.5$) وقيمة F* للشرائط المضلعة المتغيرة مع العمق.

الأحمال: حمل إضافي موزع (دائم/حي) وأحمال شريطية (Laba–Kennedy؛ تجمع بالتراكب). ولا يمثل الحمل النقطي والحمل الخطي.

تكسية الواجهة لا تحمل أحمالاً؛ ويتحقق من الوصلة بمعامل الأمان ضد الانقطاع فقط عند إدخال مقاومة؛ ولا يحتسب الجزء المدفون أمامها.

ما لا يشمله التحقق: الاستقرار الكلي والمركب (تحليل استقرار المنحدرات)، والهبوط والهبوط التفاضلي، والصرف، وكسوة الواجهة، ومراحل التنفيذ.

التحققات بصيغة **الإجهادات المسموح بها** (معاملات أمان كلية)؛ ولا تستخدم معاملات الأحمال والمقاومة الواردة في AASHTO LRFD/GEC 11. وفي حالة الجدار المهم يجب التحقق بصورة مستقلة من بيانات المنتج والاستقرار الكلي والهبوط.

النقاط الرئيسية

التربة المسلحة: يتحمل شد التسليح ضغط التربة، ويربط الاحتكاك بين العنصرين. الاستقرار الداخلي: الانقطاع، الانقلاع، (الوصلة)؛ الاستقرار الخارجي: الانقلاب، الانزلاق، قدرة التحمل للكتلة L × H

الإجهاد: $\sigma'_h = K_r\sigma'_v$؛ وفي الشرائط $K_r/K_a = 1.7 \rightarrow 1.2$ (حتى عمق 6 m)، وفي الجيوسنتتيك 1. **الشد** $T = \sigma'_h S_V S_H$؛ وأكبر شد عند أسفل الجدار

الانقطاع: $T_{cap} = w(t - rn)f_y$ (شريط) أو $T_{all}C_r$ (جيوسنثتيك)؛ **الانقلاع:** $P_r = 2R_cF^*\alpha\sigma'_vL_e$، حيث L_e خلف سطح الانهيار (ثنائي الخطية / Rankine)

التحققات الخارجية: $FS_{sl} = \Sigma V \tan(\frac{2}{3}\varphi'_{min})/\Sigma H$، $e \le L/6$، FS_{ot}، وقدرة التحمل (بطريقة المرجع وبطريقة Meyerhof بالطول الفعال $L' = L - 2e$، وتؤخذ القيمة الأصغر)

الحمل الحي يزيد الأحمال ولا يسهم في المقاومة: فهو يزيد الشد والدفع ولا يدخل في مقاومة الانقلاع ولا في الوزن؛ وفي المثال FS_P من 1.91 إلى 0.63

الزلزال: ΔP_{AE} (نصفها عند 0.6H)، $P_i \rightarrow T_{md}$، P_{IR}؛ وقيمة FS المطلوبة 75% من القيمة الاستاتيكية؛ ويفشل جدار المثال في **الانقلاع (0.74) والانزلاق (1.12)**، ويتحقق عند L = 10.25 m

الجيوجريد: $T_{all} = T_{ult}/(RF_{id}RF_{cr}RF_{cbd})$؛ الانقطاع هو الحاكم ($S_{V,req} = 0.415$ m)، ومقاومة الانقلاع كبيرة

المراجع

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning, Boston. Chapter 13, Sections 13.10 to 13.17: soil reinforcement, the design of walls with metallic strips, geotextiles and geogrids; Table 4.2 for the bearing capacity factors.

Berg, R.R., Christopher, B.R. and Samtani, N.C. (2009). Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Vol. I, FHWA-NHI-10-024. Federal Highway Administration, Washington, D.C.

American Association of State Highway and Transportation Officials (2012). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th ed., Section 11.10, Mechanically stabilized earth walls.

Vidal, H. (1966). La terre armée. Annales de l’Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris, July–August, 888–938.

Laba, J.T. and Kennedy, J.B. (1986). Reinforced earth retaining wall analysis and design. Canadian Geotechnical Journal, 23(3), 317–326.

Koerner, R.M. (2005). Designing with Geosynthetics, 5th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Binquet, J. and Lee, K.L. (1975). Bearing capacity analysis of reinforced earth slabs. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101(GT12), 1257–1276.

Martin, J.P., Koerner, R.M. and Whitty, J.E. (1984). Experimental friction evaluation of slippage between geomembranes, geotextiles and soils. Proceedings, International Conference on Geomembranes, Denver, 191–196.

Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929). On the determination of earth pressures during earthquakes. Proceedings, 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).

Vesic, A.S. (1973). Analysis of ultimate loads of shallow foundations. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 99(SM1), 45–73.

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية مولدة بمحرك الحساب الخاص بالوحدة نفسها؛ وتعطي الوحدة القيم ذاتها. والمثال أيضاً هذا الجدار ($H = 10$ m، شريط مجلفن 75×6 mm، $L = 7.5$ m، $S_H = 1.0$ m، $S_V = 0.6$ m).

GeoTerva

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل في GeoTerva ارتفاع الجدار الخاص بك وتسليحه (شريط أو جيوجريد أو جيوتكستايل) والردم والحمل الإضافي والمعامل الزلزالي؛ وتعطي الوحدة معاً معامل الأمان ضد الانقطاع والانقلاع لكل منسوب والتحققات الخارجية للكتلة والطول اللازم.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←



افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

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