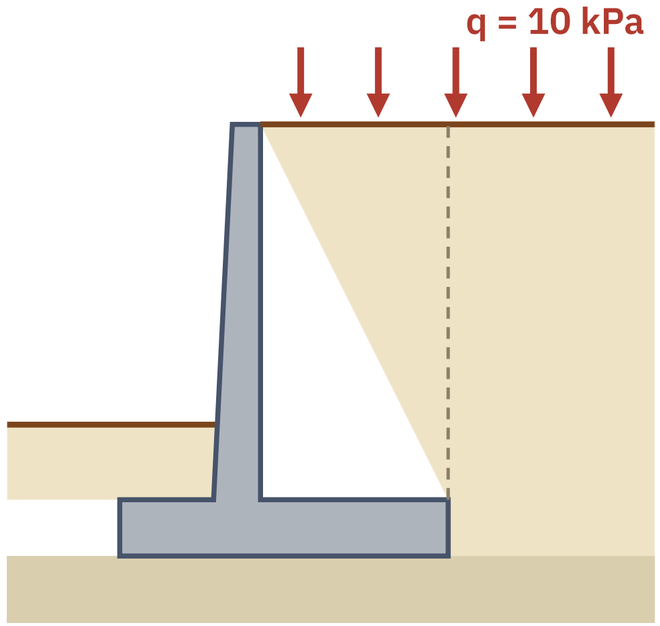
شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الجدران الاستنادية

جدار ساند كابولي

المحاضرة: الاستقرار الخارجي لجدار ساند كابولي من الخرسانة المسلحة (الانزلاق والانقلاب وقدرة التحمل) والقوى الداخلية في ساق الجدار وبلاطتي مقدمة القاعدة وكعبها؛ وكتلة الكعب وضغط التربة والماء والزلزال ومفتاح القص ورف تخفيف الضغط؛ ومثال محلول في كل موضوع.



ساق الجدار + بلاطة القاعدة

الانزلاق · الانقلاب · قدرة التحمل

القوى الداخلية في ساق الجدار والمقدمة والكعب

مفتاح القص · رف تخفيف الضغط

الماء والزلزال

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

الجدار الساند الكابولي: **الساق + بلاطة القاعدة** (مقدمة القاعدة L_t وكعبها L_h)، وإيجاد وزنه ومركز ثقله من الأجزاء المكونة له

كتلة التربة الواقعة فوق الكعب و**مستوى الضغط الرأسي** عند الحافة الخلفية للقاعدة؛ والدفع الفعال والحمل الإضافي والمقاومة المنفعلة الأمامية

قراءة تحققات **الانزلاق والانقلاب واللامركزية وقدرة التحمل** وحالة الزلزال (Mononobe–Okabe + القصور الذاتي)

إيجاد تأثيرات القص والعزم في بلاطتي المقدمة والكعب **من إجهاد القاعدة**، وفي **الساق** من الدفع

كيف يزيد **مفتاح القص** و**رف تخفيف الضغط** من الأمان؛ وأثر الماء وضغط الرفع

معرفة **كيفية مراجعة** مقطع غير محقق (الانزلاق واللامركزية في الزلزال)

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

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

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

جميع القيم لكل 1.00 m من طول الجدار. مثال: ساق ارتفاعها $H = 4.0$ m، وبلاطة القاعدة 0.60 m، وجدار من الخرسانة المسلحة $q = 10$ kPa، $B = 3.5$ m (24 kN/m³).

ساق الجدار وبلاطة القاعدة وبنية مقدمة القاعدة

النظرية

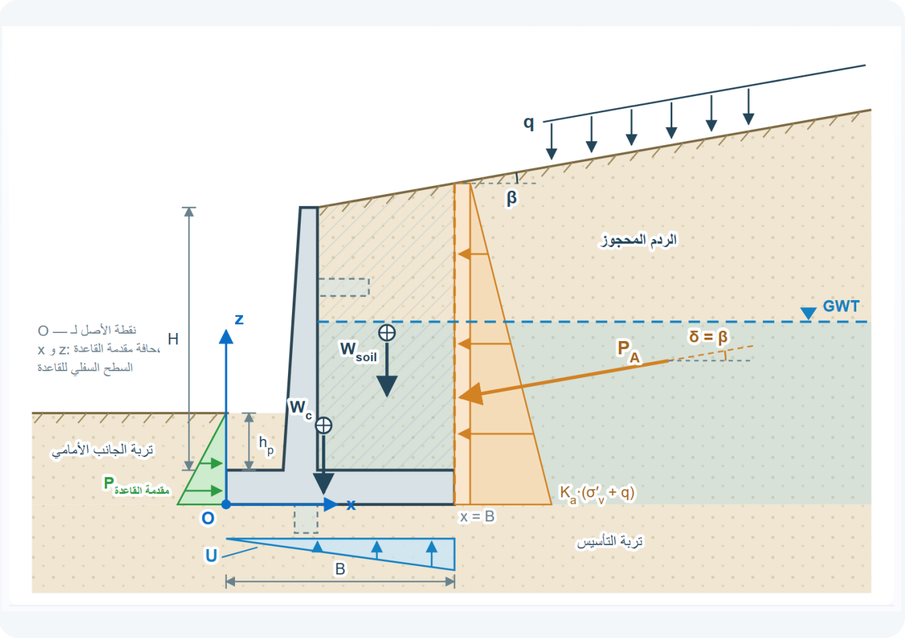
يقاوم الجدار الساند الكابولي الانزلاق والانقلاب أيضاً **بوزن التربة الواقعة فوق بلاطة القاعدة**: فليس وزن الجدار نفسه وحده، بل كتلة التربة الواقعة فوق كعب القاعدة أيضاً عنصر مقاوم. الوحدة:

$$B = L_t + t_b + L_h \qquad z_T = t_f + H$$

ساق الجدار: الارتفاع H؛ السماكة t_t في الأعلى، t_b في الأسفل (الظهر رأسي والواجهة مائلة)؛ **بلاطة القاعدة**: السماكة t_f، المقدمة L_t، الكعب L_h؛ الخرسانة 24 kN/m³.

التربة: ردم غير متماسك ($c' = 0$)، وسطح أفقي أو مائل، وحمل إضافي q، ومياه جوفية، وردم بارتفاع h_p فوق بلاطة القاعدة في المقدمة.

الخيارات: مفتاح القص، رف تخفيف الضغط؛ **التحققات**: الانزلاق، الانقلاب، اللامركزية، قدرة التحمل؛ **القوى الداخلية في المقاطع**: الساق، المقدمة، الكعب، الرف، المفتاح.



بلاطة القاعدة + مستطيل الساق + مثلث الساق

النظرية

يقسم وزن الجدار إلى ثلاثة أشكال بسيطة (المساحة ومركز الثقل معلومان)؛ وعزمه حول مقدمة القاعدة مقاوم:

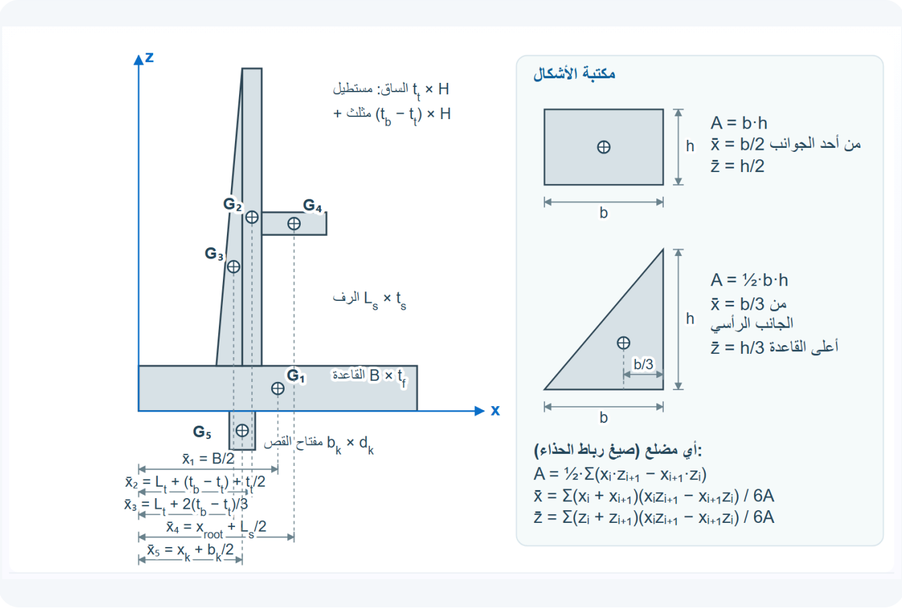
$$W_i = \gamma_c A_i \qquad W_c = \sum W_i \qquad \bar{x}_c = \frac{\sum W_i \bar{x}_i}{W_c} \qquad \bar{z}_c = \frac{\sum W_i \bar{z}_i}{W_c}$$

بلاطة القاعدة: $A = B\ t_f$، $\bar{x} = B/2$، $\bar{z} = t_f/2$.

مستطيل الساق (المجاور للظهر): $A = t_t H$، $\bar{x} = L_t + (t_b - t_t) + t_t/2$، $\bar{z} = t_f + H/2$.

مثلث الساق (الميل في الواجهة الأمامية): $A = ½(t_b - t_t)H$، $\bar{x} = L_t + 2(t_b - t_t)/3$، $\bar{z} = t_f + H/3$.

في جدول القوى يمثل الجدار بنداً واحداً: $F_z = -W_c$ عند $\bar{x}_c$؛ ولا يستخدم $\bar{z}_c$ إلا للقوة العطالية الأفقية (الزلزال).



المسألة

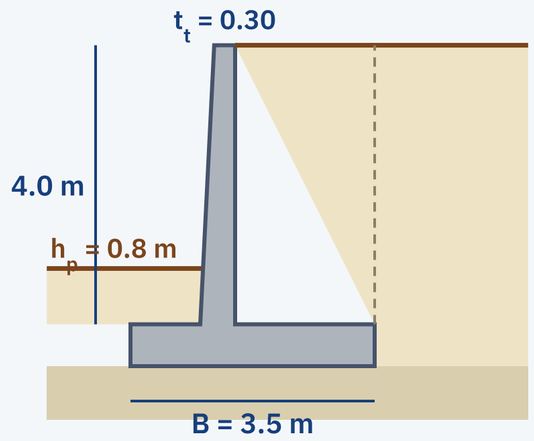
مثال

المطلوب

مساحة الأجزاء الثلاثة ووزنها وموضعها؛ W_C، $\bar{x}_C$، $\bar{z}_C$.

المعطيات

المقطع	$H = 4.0$ m ؛$t_t = 0.30$ m ،$t_b = 0.50$ m ؛$L_t =$ 1.00، $L_h = 2.00$ m ؛$t_f = 0.60$ m (B = 3.5 m)
المادة	**خرسانة مسلحة:** $\gamma_c = 24$ kN/m^3



الحل

الحل

1 الأجزاء (مثل المثلث: $A = \tfrac{1}{2}(0.50 - 0.30)(4.0) = 0.40$؛ $\bar{x} = 1.00 + 2(0.20)/3 = 1.133$؛ $\bar{z} = 0.60 + 4.0/3 = 1.933$)

القطعة	A (m²)	$\bar{x}$ (m)	$\bar{z}$ (m)	W = 24A (kN/m)	W·$\bar{x}$	W·$\bar{z}$
بلاطة القاعدة	2.100	1.750	0.300	50.40	88.20	15.12
مستطيل الجذع	1.200	1.350	2.600	28.80	38.88	74.88
مثلث الجذع	0.400	1.133	1.933	9.60	10.88	18.56
الإجمالي				**88.80**	**137.96**	**108.56**

2 مركز الثقل

$$\bar{x}_c = \frac{137.96}{88.80} = \mathbf{1.554}\ \text{m} \qquad \bar{z}_c = \frac{108.56}{88.80} = \mathbf{1.223}\ \text{m}$$

وزن الجدار **$W_c = 88.80$ kN/m**، على بعد $\bar{x}_c = 1.55$ m من مقدمة القاعدة و $\bar{z}_c = 1.22$ m من قاع القاعدة؛ وعزمه $M = -137.96$ kN·m/m (مقاوم).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

التربة ومستوى الضغط المتحركان مع الجدار

النظرية

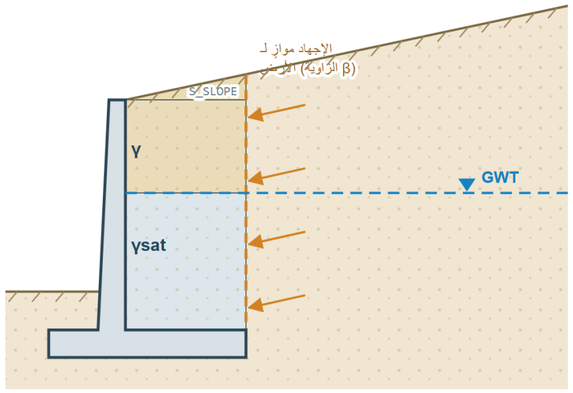
لا تنزلق التربة الواقعة فوق كعب بلاطة القاعدة بالنسبة إلى البلاطة: فإذا تحرك الجدار تحركت **معه**. ولا تبدأ مستويات الانهيار من ظهر الساق بل **من الحافة الخلفية للكعب**. الجسم الحر = الجدار + كتلة الكعب؛ ووجهه الخارجي هو **مستوى الضغط الرأسي** عند x = B (تربة في مواجهة تربة: لا يوجد احتكاك للجدار، والدفع δ = β):

وزن كتلة الكعب $W_s = \gamma\, L_h\, H$ (تُقسَّم إلى منطقتين رطبة ومشبعة؛ ولأن العمل يجري بالإجهاد الكلي يُستخدم γ_{sat} تحت الماء، ويكون دفع الماء بنداً مستقلاً).

عند مقدمة القاعدة، يتحرك الردم الواقع فوق بلاطة القاعدة (h_p) مع البلاطة: حمل رأسي W_{toe}.

الحمل الإضافي فوق الكعب $Q_{heel} = qL_h$ في صالح الأمان، لكنه حمل قد يغيب أيضاً، ولذلك **لا يدخل في أي تحقق**؛ أما أثره الجانبي فيُحتسب دائماً.

ارتفاع مستوى الضغط $h = t_f + H$ (بما في ذلك ارتفاع السطح).



المسألة

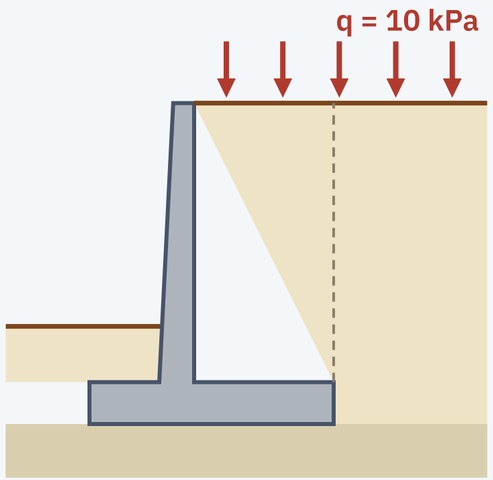
مثال

المعطيات

الجدار	**المقطع في المثال 1؛ ارتفاع الردم الأمامي** $h_p = 0.80$ **m (فوق بلاطة القاعدة)**
التربة	**ردم جاف:** $\gamma = 18\ \text{kN/m}^3,\ \varphi' = 30^\circ$**؛ سطح أفقي**
الحمل الإضافي	$q = 10$ **kPa**

المطلوب

الوزن والموضع لكتلة الكعب؛ **الردم الأمامي**؛ Q_{heel}؛ الحمل الرأسي الكلي N.



الحل

الحل

1 كتلة الكعب (مستطيل $L_h \times H$، خلف ساق الجدار)

$$A_s = L_h H = 2.00(4.0) = 8.0\ \text{m}^2 \qquad W_s = 18(8.0) = \mathbf{144.0}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{x}_s = L_t + t_b + \frac{L_h}{2} = 2.50\ \text{m} \qquad \bar{z}_s = t_f + \frac{H}{2} = 2.60\ \text{m}$$

2 الردم الأمامي (شبه منحرف: عند القاعدة $L_t = 1.00$، وعند الأعلى $x_{toe}(h_p) = 1.04$ والحمل الإضافي)

$$A_{toe} = \tfrac{1}{2}(1.00 + 1.04)(0.80) = 0.816\ \text{m}^2 \qquad W_{toe} = 18(0.816) = \mathbf{14.69}\ \text{kN/m}\ (\bar{x} = 0.510)$$

$$Q_{heel} = qL_h = 10(2.00) = \mathbf{20.0}\ \text{kN/m}\ \text{(لا يدخل في أي تحقق)}$$

$N = W_c + W_s + W_{toe} = 88.80 + 144.00 + 14.69 = \mathbf{247.49\ kN/m}$؛ والقيمة $Q_{heel} = 20.00\ \text{kN/m}$ هي البند «غير المستخدم» في الجدول.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الدفع في المستوى الرأسي، والحمل الإضافي، والضغط المنفعل المركب

النظرية

يقع مستوى الضغط عند الارتفاع $h = t_f + H$. ولما كان الردم الخلفي أفقياً و $\delta = \beta = 0$، فإن Rankine = Coulomb:

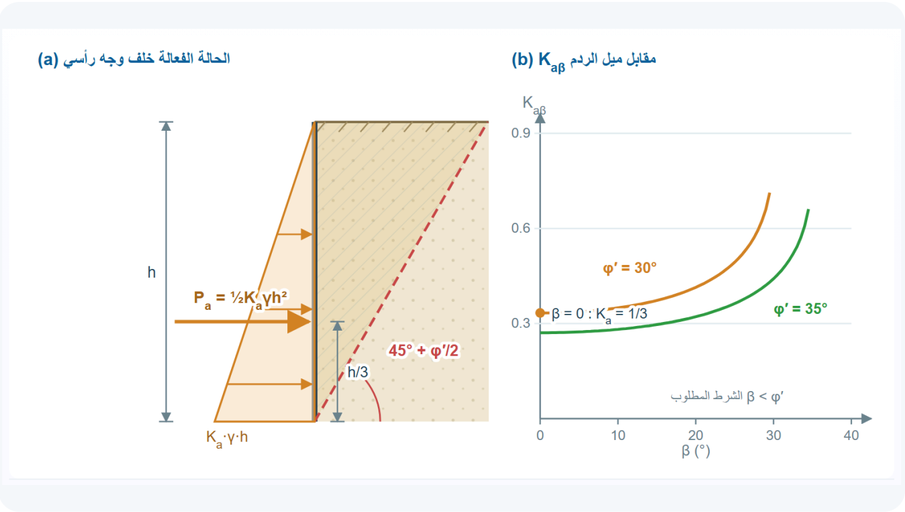
$$K_a = \frac{1 - \sin\varphi'}{1 + \sin\varphi'} \qquad P_A = \tfrac{1}{2} K_a \gamma h^2 \; (h/3) \qquad P_Q = K_a q h \; (h/2)$$

في الردم المائل يكون الإجهاد على المستوى موازياً للسطح ($K_{a\beta}$)، وتكون المركبة الرأسية للدفع مقاومة. المقاومة الأمامية (في الانزلاق فقط):

$$K_{mob} = wK_p + (1 - w)K_0 \qquad P_P = \tfrac{1}{2} K_{mob} \gamma D_p^2 \; (D_p/3) \qquad D_p = t_f + h_p$$

$w = 1/3$ قيمة افتراضية؛ وإذا أمكن إزالة التربة الأمامية يُخفَّض المقدار المحتسب من مقاومتها بجعل $h_p = 0$ أو باستخدام h_{ignore}؛ **ولا تُستخدم المقاومة الأمامية في تحقق الانقلاب وقدرة التحمل.**

التفاصيل (تكافؤ h_{ignore}، K_{mob}، Rankine/Coulomb) موجودة في عرض الجدار الساند التثاقلي.



المسألة

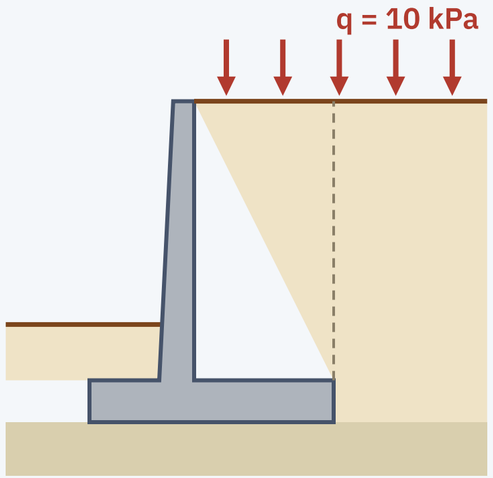
مثال

المطلوب

P_A وP_Q وP_P وعزم الانقلاب حول مقدمة القاعدة.

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار في المثالين 1–2:** $h = t_f + H = 4.60$ m؛ $\gamma = 18$ kN/m^3، $\varphi' = 30^\circ$؛ **سطح أفقي؛** $q = 10$ kPa
التربة الأمامية	$D_p = t_f + h_p = 1.40$ m؛ **w = 1/3**



الحل

الحل

1 القوى الدافعة (h = 4.60 m)؛ $K_a = 0.3333$

$$P_A = \tfrac{1}{2} K_a \gamma h^2 = \tfrac{1}{2}(0.3333)(18)(21.16) = \mathbf{63.48}\ \text{kN/m} \quad (z = 1.533\ \text{m})$$

$$P_Q = K_a q h = 0.3333(10)(4.6) = \mathbf{15.33}\ \text{kN/m} \quad (z = 2.30\ \text{m})$$

2 مقاومة المقدمة: $K_{mob} = \tfrac{1}{3}(3.00) + \tfrac{2}{3}(0.50) = 1.333$

$$P_P = \tfrac{1}{2}(1.333)(18)(1.40)^2 = \mathbf{23.52}\ \text{kN/m} \quad (z = D_p/3 = 0.467\ \text{m})$$

3 الدفع الأفقي وعزم الانقلاب (حول مقدمة القاعدة)

$$\Sigma H_{drive} = 63.48 + 15.33 = \mathbf{78.81}\ \text{kN/m}$$

$$M_o = 63.48(1.533) + 15.33(2.30) = 97.34 + 35.27 = \mathbf{132.60}\ \text{kN·m/m}$$

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

أربع عمليات تحقق من جدول القوى نفسه

$$FS_s = \frac{\mu_b N + P_{toe}}{\Sigma H_{drive}} \qquad FS_o = \frac{\Sigma M_{res}}{\Sigma M_{ov}} \qquad x_R = -\frac{\Sigma M}{V} \qquad e = \frac{B}{2} - x_R$$

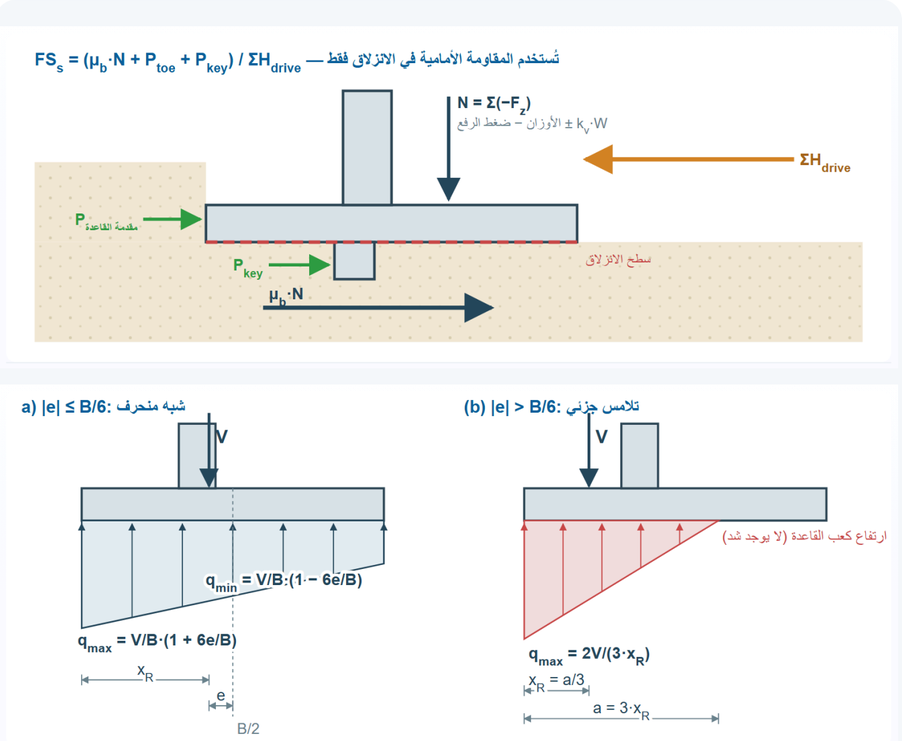
$$|e| \le \frac{B}{6}: \quad q_{max,min} = \frac{V}{B}\left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \qquad |e| > \frac{B}{6}: \quad q_{max} = \frac{2V}{3x_R}$$

الانزلاق: N هي القوة العمودية الفعالة (باستثناء Q_{heel} ومع طرح قوة الرفع)؛ $\mu_b = \tan \delta_b$؛ دون التصاق.

الانقلاب: حول المقدمة (الركن السفلي الأمامي لبلاطة القاعدة)؛ وتُحتسب مركبتا كل بند $-zF_x$ و xF_z بإشارتيهما؛ ولا تدخل المقاومة الأمامية.

قدرة التحمل: إذا وقعت المحصلة ضمن الثلث الأوسط من القاعدة ($|e| \le B/6$) كانت القاعدة بكاملها في حالة تلامس؛ وإلا فإن التربة لا تتحمل الشد ويقتصر التلامس على الطول $a = 3x_R$.

المطلوب: في الحالة الساكنة $FS_s \ge 1.5$ و$FS_o \ge 2.0$؛ وفي حالة الزلزال ≤ 1.1؛ $q_{max} \le q_{all}$.



المسألة

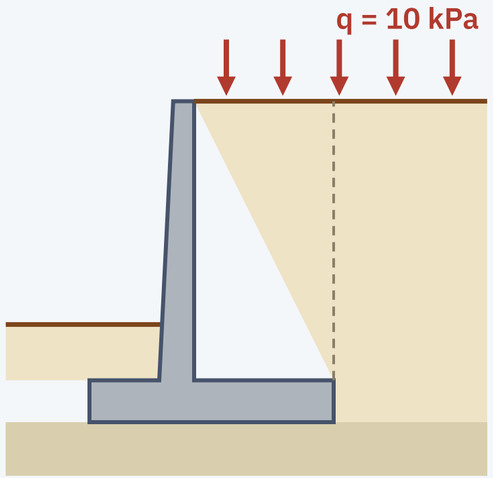
مثال

المعطيات

الجدار والأحمال	**الجدار في الأمثلة 1–3:** $B = 3.5$ m؛ $W_c =$ 88.8، $W_s = 144.0$، $W_{toe} = 14.69$ kN/m؛ $P_A = 63.48$، $P_Q = 15.33$ kN/m
المقاومة	$\mu_b = 0.55$؛ $P_P = 23.52$ kN/m؛ $q_{all} = 200$ kPa
المطلوب	$FS_s \geq 1.5$، $FS_o \geq 2.0$؛ **القاعدة في تلامس كامل**

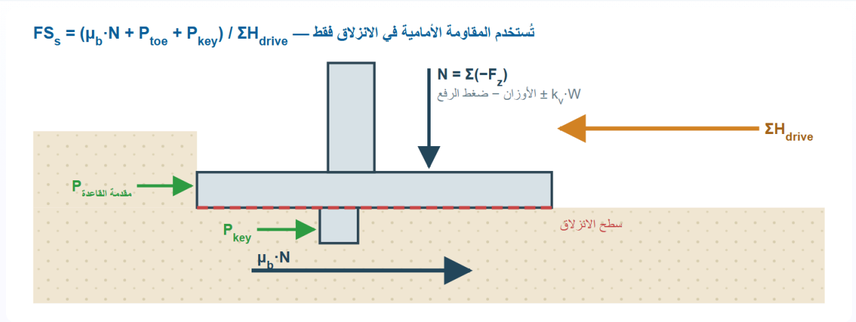
المطلوب

FS_s وFS_o وx_R وe وq_{max} وq_{min} والنتائج.



الحل (1/3)

الحل



1 احتكاك القاعدة ($N = W_c + W_s + W_{toe}$)

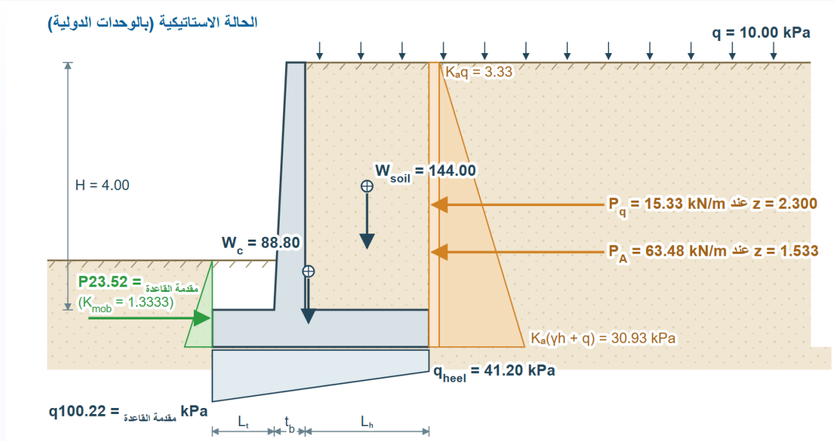
$$N = 88.8 + 144.0 + 14.69 = \mathbf{247.49}\ \text{kN/m}$$

$$\mu_b N = 0.55(247.49) = 136.12\ \text{kN/m}$$

$$FS_s = \frac{136.12 + 23.52}{78.81} = \mathbf{2.026} \ \geq 1.5\ \checkmark$$

الحل (2/3)

الحل



2 عزم الانقلاب (الدفعات) وعزم المقاومة (الجدار، كتلة الكعب، الردم الأمامي)

$$M_o = 97.34 + 35.27 = \mathbf{132.60}$$

$$M_r = 137.96 + 360.00 + 7.49 = \mathbf{505.45}\ \text{kN·m/m}$$

$$FS_o = \frac{505.45}{132.60} = \mathbf{3.812}\ \geq 2.0\ \checkmark$$

الحل (3/3)

الحل

3 موضع المحصلة واللامركزية

$$\Sigma M = M_o - M_r = -372.85$$

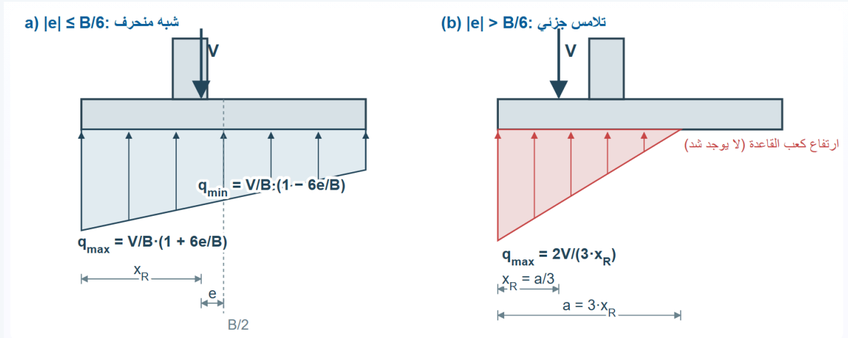
$$x_R = -\frac{\Sigma M}{V} = \frac{372.85}{247.49} = \mathbf{1.5065}\ \text{m}$$

$$e = \frac{B}{2} - x_R = \mathbf{0.2435}\ \text{m} \ \le\ \frac{B}{6} = 0.583\ \checkmark$$

4 إجهادات القاعدة (تلامس كامل)

$$q_{max} = \frac{247.49}{3.5}\left(1 + \frac{6(0.2435)}{3.5}\right) = \mathbf{100.22}\ \text{kPa}$$

$$q_{min} = \mathbf{41.20}\ \text{kPa}$$



FS_S = **2.03**، FS_O = **3.81**، e = 0.243 m، q_{max} = **100.2 kPa** ≤ 200، q_{min} = 41.2 kPa > 0: **جميع التحققات محققة في الحالة الاستاتيكية.**

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

قوة دفع Mononobe–Okabe وإضافة قوة القصور الذاتي

النظرية

في حالة الزلزال يؤخذ **دفع Mononobe–Okabe** P_{AE} بدلاً من الدفع الاستاتيكي $P_A + P_Q$؛ كما أن قوة القصور الذاتي k_hW للجدار وكتلة الكعب والردم الأمامي تدفع إلى الأمام عند مراكز ثقلها (وإذا كانت $k_v > 0$ درس الاتجاهان معاً). في المستوى الرأسي، وللردم الأفقي:

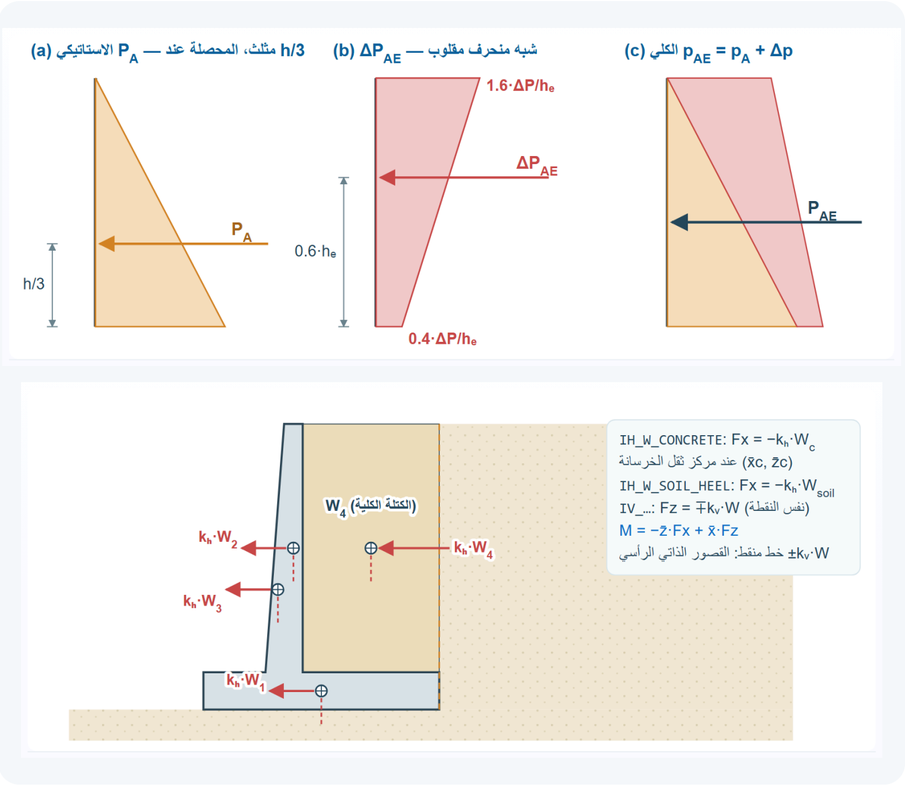
$$\theta = \tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v} \qquad K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi'-\theta)}{\cos^2\theta\left[1+\sqrt{\dfrac{\sin\varphi'\sin(\varphi'-\theta)}{\cos\theta}}\right]^2}$$

$$P_{AE} = \left(\tfrac{1}{2}\gamma h^2 + qh\right)K_{AE} \qquad \Delta P_{AE} = P_{AE} - (P_A + P_Q)\ \ (0.6h)$$

يتوزع ΔP_{AE} على شكل شبه منحرف مقلوب ($1.6\Delta P/h$ في الأعلى و $0.4\Delta P/h$ في الأسفل)؛ ويحتفظ الجزء الاستاتيكي بشكله. وإذا وجد ماء يضاف الضغط الهيدروديناميي $(7/12)k_h\gamma_w h_w^2$.

يُضرب رصيد المقاومة المنفعلة الأمامية في $\eta_{p,E}$؛ **والقيمة الافتراضية 0** (إذ يأتي أمان الانزلاق من احتكاك القاعدة وحده).

إذا خرجت المحصلة من الثلث الأوسط للقاعدة حدث **تلامس جزئي** ($q_{max} = 2V/(3x_R)$).



المسألة

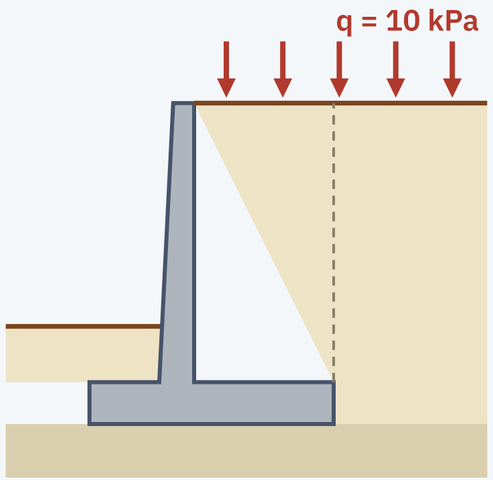
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار في الأمثلة 1–4 (الحالة الساكنة $FS_s = 2.03$؛ $FS_o = 3.81$)**
الزلزال	$k_h = 0.15$، $k_v = 0$؛ $\eta_{p,E} = 0$؛ $FS_s,\ FS_o \geq 1.1$ **المطلوب؛ يجب أن تكون القاعدة على تلامس كامل ($\|e\| \leq B/6$)**

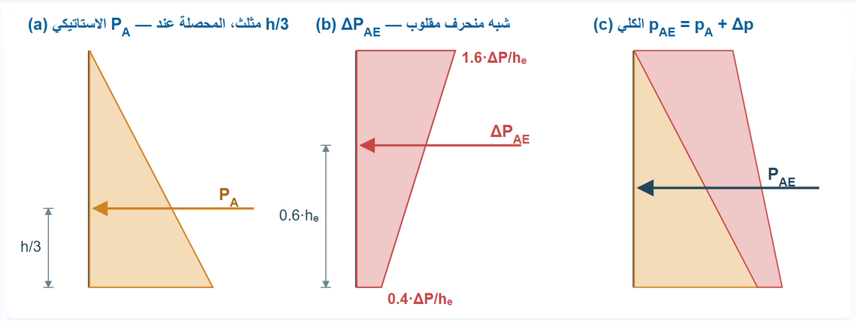
المطلوب

$\bar{z}$، P_{AE}، K_{AE}، القوى العطالية؛ q_{max}، e، FS_o، FS_s ونتيجة كل تحقق.



الحل (1/4)

الحل



1 الزاوية الزلزالية والمعامل

$$\theta = \tan^{-1} 0.15 = 8.53^\circ$$

$$\sqrt{\sin 30^\circ \sin(30^\circ - 8.53^\circ)/\cos 8.53^\circ} = 0.4302$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(21.47^\circ)}{\cos^2 8.53^\circ (1 + 0.4302)^2} = \mathbf{0.4329}$$

2 الدفع الديناميكي (الساكن $P_A + P_Q = 78.81$ kN/m) وموضعه

$$P_{AE} = (190.44 + 46.0)(0.4329) = \mathbf{102.36}\ \text{kN/m}$$

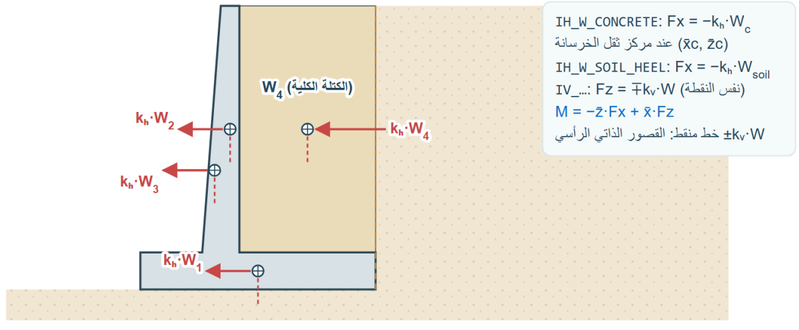
$$\Delta P_{AE} = 102.36 - 78.81 = 23.55\ \text{kN/m}\ \ (0.6h)$$

$$\bar{z}_{AE} = [63.48(1.533) + 15.33(2.30) + 23.55(2.76)]/102.36$$

$$= \mathbf{1.930}\ \text{m}$$

الحل (2/4)

الحل



3 قوى القصور الذاتي $k_h W$ والانزلاق (دون احتساب المقاومة المنفعلة الأمامية)

$$IH_c = 0.15(88.8) = 13.32 \quad (z = 1.223\ \text{m})$$

$$IH_s = 0.15(144.0) = 21.60 \quad (z = 2.60\ \text{m})$$

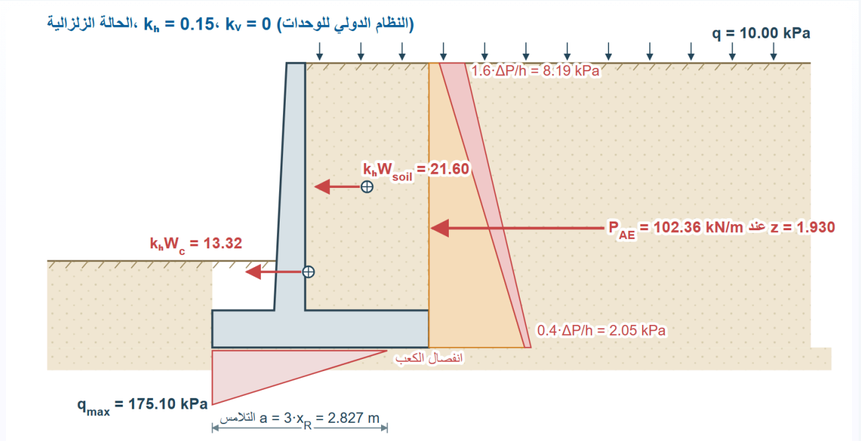
$$IH_{toe} = 0.15(14.69) = 2.20\ \text{kN/m}$$

$$\Sigma H_{drive} = 102.36 + 13.32 + 21.60 + 2.20 = 139.49$$

$$FS_{s,E} = \frac{\mu_b N}{\Sigma H_{drive}} = \frac{136.12}{139.49} = \mathbf{0.976} \ < 1.1 \ \text{✗}$$

الحل (3/4)

الحل



4 الانقلاب (أذرع العزوم: $\bar{z}_{AE} = 1.930$؛ $z_c = 1.223$؛ 2.60؛ 1.003 m)

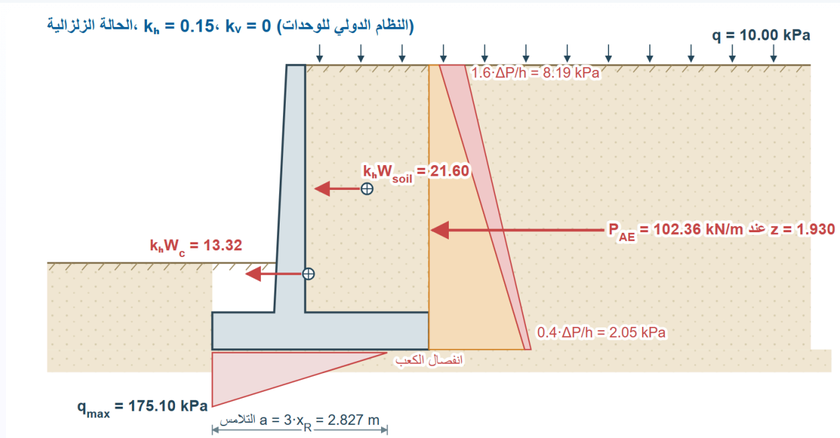
$$M_{o,E} = 197.60 + 16.28 + 56.16 + 2.21 = 272.26$$

$$FS_{o,E} = \frac{505.45}{272.26} = \mathbf{1.857} \;\geq 1.1 \;\checkmark$$

$$x_R = \frac{505.45 - 272.26}{247.5} = 0.942 \text{ m}$$

الحل (4/4)

الحل



5 اللامركزية والتلامس الجزئي

$$e = \frac{B}{2} - x_R = 1.750 - 0.942 = \mathbf{0.808}\ \text{m} > \frac{B}{6} = 0.583 \quad \text{X}$$

$$a = 3x_R = 2.827\ \text{m} \quad \text{(هذا الطول فقط في حالة تلامس)}$$

$$q_{max} = \frac{2V}{a} = \frac{2(247.5)}{2.827} = \mathbf{175.1}\ \text{kPa} \qquad q_{min} = 0$$

في الزلزال لا يتحقق **الانزلاق** ($FS_s = 0.98 < 1.1$) ولا **اللامركزية** (e = **0.81 m > B/6**)؛ أما الانقلاب ($FS_o = 1.86$) و $q_{max} = 175.1$ kPa فكافيان. **يجب تعديل المقطع** (المثال 6).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

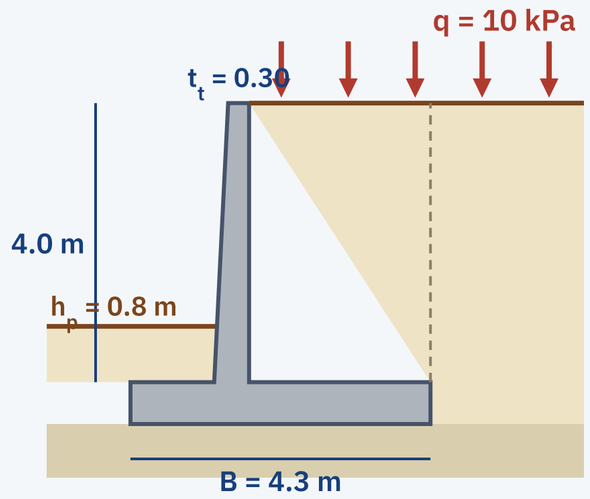
مثال

المعطيات

المشكلة	في المثال 5 تحت الزلزال: $FS_s = 0.98 < 1.1$ و $e = 0.81\ \text{m} > B/6 = 0.58\ \text{m}$
التعديل المقترح	تمديد مقدمة القاعدة وكعبها: $L_t = 1.20\ \text{m}$، $L_h = 2.60\ \text{m}$ ($B = 4.30\ \text{m}$)؛ بقية الأبعاد والتربة كما هي

المطلوب

بالمقطع الجديد: FS_s و FS_o و e و q_{max} في الحالتين الاستاتيكية والزلزالية؛ هل المقطع كاف؟



الحل

الحل

1 الحمل نفسه، هندسة جديدة (البرنامج؛ $B = 4.30\ m$، $W_c = 100.3\ kN/m$، $N = 305.1\ kN/m$)

	الحالي ($B = 3.5\ m$)	المراجع ($B = 4.3\ m$)	المطلوب
الاستاتيكي FS_s	2.026	2.427	≥ 1.5
الاستاتيكي FS_o	3.812	5.753	≥ 2.0
الحالة الساكنة e (m) / q_{max} (kPa)	100.2 / 0.243	79.3 / 0.084	$\lvert e\rvert \le B/6$
الزلزالي FS_s	✗ 0.976	✓ 1.133	≥ 1.1
الزلزالي FS_o	1.857	2.630	≥ 1.1
الزلزال e (m) / التلامس	✗ جزئي / 0.808	✓ كامل / 0.600 ($B/6 = 0.717$)	$\lvert e\rvert \le B/6$
q_{max} الزلزالي (kPa)	175.1	130.4	≥ 200

أدى تمديد المقدمة والكعب إلى رفع N من 247 إلى 305 kN/m وزيادة الاحتكاك: ففي حالة الزلزال **$FS_s = 1.13 \ge 1.1$**، ودخلت المحصلة في الثلث الأوسط ($e = 0.60 \le B/6 = 0.717$): **تستوفي جميع التحققات**. البدائل: مفتاح القص + $\eta_{p,E}$ (المثال 9)، أو كعب أعرض.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

ساق الجدار ومقدمة القاعدة وكعب القاعدة: المقاطع الحرجة

النظرية

بعد تحقق الاستقرار الخارجي تُحدد **القوى الداخلية في مقاطع** العناصر. و **ساق الجدار** عبارة عن كابولي محمّل بضغط التربة على الظهر ومثبّت تثبيتاً كاملاً عند قاعدته (فوق بلاطة القاعدة):

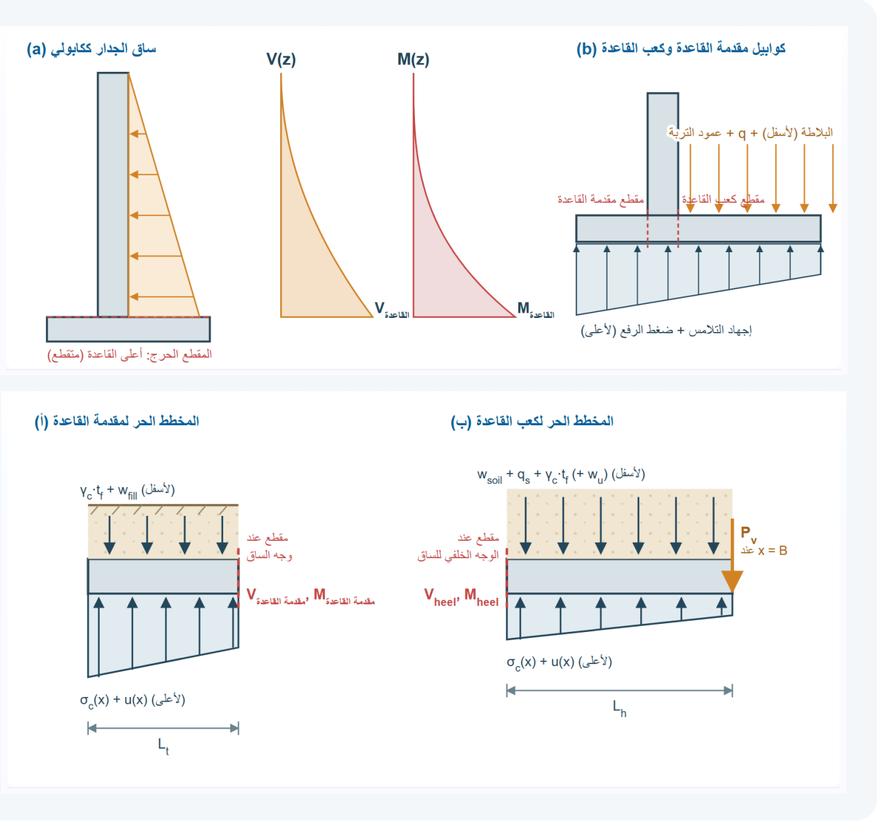
$$V_{st} = K_a\left(\tfrac{1}{2}\gamma H^2 + qH\right) \qquad M_{st} = K_a\left(\frac{\gamma H^3}{6} + \frac{qH^2}{2}\right)$$

في حالة الزلزال: $\Delta P_{AE,st} = K_{AE}(\tfrac{1}{2}\gamma H^2 + qH) - V_{st}$، $V_E = V + \Delta P_{AE,st} + k_h W_{body}$، $M_E = M + \Delta P_{AE,st}(0.6H) + k_h W_{body}\bar{z}$. و**مقدمة القاعدة وكعبها** بلاطتان مثبتتان تثبيتاً كاملاً عند وجهي الساق؛ والحمل = إجهاد القاعدة − وزن البلاطة والتربة التي فوقها:

$$V_{toe} = L_t\frac{q_0 + q_L}{2} - w_{toe}L_t \qquad M_{toe} = \frac{L_t^2(2q_0 + q_L)}{6} - \frac{w_{toe}L_t^2}{2}$$

$$V_{heel} = w_h L_h - L_h\frac{q_a + q_b}{2} \qquad M_{heel} = \frac{w_h L_h^2}{2} - \frac{L_h^2(q_a + 2q_b)}{6}$$

$w_{toe} = \gamma_c t_f + \gamma h_p$؛ $w_h = \gamma H + q + \gamma_c t_f$؛ q_0 و q_L و q_a و q_b هي الإجهادات عند قاع القاعدة في المقاطع الحرجة (توزيع خطي).



المسألة

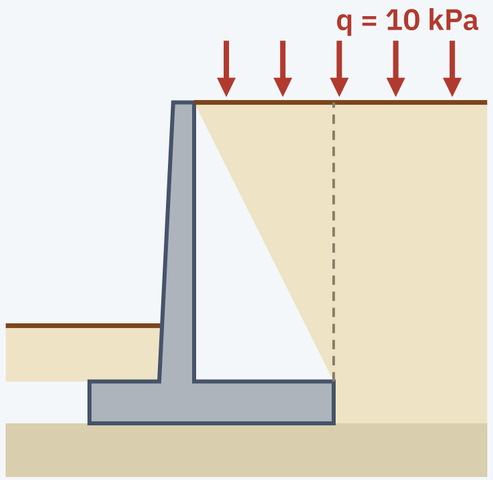
مثال

المعطيات

	الجدار في الأمثلة 1–5: $H = 4.0$ m؛ $\gamma =$
الجدار والتربة	18 kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$؛ **ساق الجدار:** $q = 10$ kPa؛ $t_t = 0.30$، $t_b = 0.50$ m
الزلزال	$k_h = 0.15$ $(K_{AE} = 0.4329)$

المطلوب

V و **M** عند قاعدة ساق الجدار: في الحالة الاستاتيكية والحالة الزلزالية.



الحل (1/2)

الحل

1 ستاتيكي (عند قاعدة الجدار، H = 4.0 m)

$$V_{st} = K_a\left(\tfrac{1}{2}\gamma H^2 + qH\right) = 0.3333(144 + 40) = \mathbf{61.33}\ \text{kN/m}$$

$$M_{st} = K_a\left(\frac{\gamma H^3}{6} + \frac{qH^2}{2}\right) = 0.3333(192 + 80) = \mathbf{90.67}\ \text{kN·m/m}$$

الحل (2/2)

الحل

2 الزلزال: الزيادة الزلزالية والقصور الذاتي لساق الجدار

$$\Delta P_{AE,st} = K_{AE}(184) - V_{st} = 79.66 - 61.33 = 18.33 \text{ kN/m} \quad (0.6H = 2.40 \text{ m})$$

$$k_h W_{st} = 0.15(24)(1.2 + 0.4) = 5.76 \text{ kN/m}; \qquad M_i = 10.56 \text{ kN·m/m}$$

3 إجمالي التأثيرات الزلزالية

$$V_E = 61.33 + 18.33 + 5.76 = \mathbf{85.42} \text{ kN/m}$$

$$M_E = 90.67 + 18.33(2.40) + 10.56 = \mathbf{145.21} \text{ kN·m/m}$$

عند قاع ساق الجدار تكون القيم الاستاتيكية **V = 61.33 kN/m، M = 90.67 kN·m/m**؛ وفي الزلزال **V_E = 85.42**، **M_E = 145.21** (زيادة 60% في العزم). ويجرى تصميم الخرسانة المسلحة بهذه الآثار الإنشائية.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

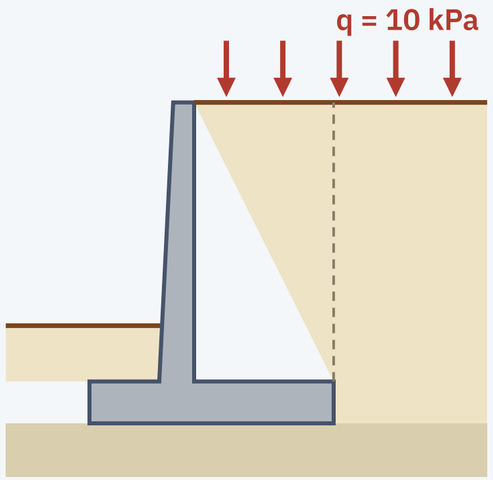
مثال

المعطيات

إجهادات القاعدة (المثال 4)	$q_{max} = 100.22$ **kPa (مقدمة القاعدة)،** $q_{min} = 41.20$ **kPa (طرف كعب القاعدة)؛** $B = 3.5$ **m**
أحمال البلاطة	$L_t = 1.00$ **m،** $L_h = 2.00$ **m،** $t_b = 0.50$ **m،** $t_f = 0.60$ **m؛** $\gamma_c = 24$ **؛ الردم الأمامي** $h_p = 0.8$ **m**

المطلوب

قيم **V** و **M** لبلاطتي المقدمة والكعب عند وجه ساق الجدار (استاتيكياً)؛ والقيم الزلزالية.



الحل (1/2)

الحل

1 إجهادات القاعدة عند المقاطع الحرجة (خطية): q_0 عند المقدمة، و q_L و q_a عند وجه ساق الجدار، و q_b عند طرف الكعب

$$q_0 = 100.22 \qquad q_L = q_0 + (q_{min} - q_0)\frac{L_t}{B} = 83.36$$

$$q_a = q_0 + (q_{min} - q_0)\frac{L_t + t_b}{B} = 74.93 \qquad q_b = 41.20 \text{ kPa}$$

2 مقدمة القاعدة ($w_{toe} = 24(0.60) + 18(0.80) = 28.8$ kPa)

$$V_{toe} = 1.00\frac{100.22 + 83.36}{2} - 28.8(1.00) = \mathbf{62.99} \text{ kN/m}$$

$$M_{toe} = \frac{1^2(2\cdot 100.22 + 83.36)}{6} - \frac{28.8(1)^2}{2} = \mathbf{32.90} \text{ kN·m/m}$$

الحل (2/2)

الحل

3 كعب القاعدة ($w_h = 18(4.0) + 10 + 24(0.60) = 96.4$ kPa؛ الحمل لأسفل، وإجهاد القاعدة لأعلى)

$$V_{heel} = 96.4(2.00) - 2.00\frac{74.93+41.20}{2} = \mathbf{76.67}\ \text{kN/m}$$

$$M_{heel} = \frac{96.4(2)^2}{2} - \frac{2^2(74.93+2\cdot 41.20)}{6} = \mathbf{87.92}\ \text{kN·m/m}$$

المقدمة: **V = 62.99، M = 32.90**؛ الكعب: **V = 76.67، M = 87.92** (المقدمة تنحني إلى أعلى والكعب ينحني إلى أسفل). وفي حالة الزلزال (تلامس جزئي، الوحدة): المقدمة V = 115.33، M = 62.83؛ الكعب V = 138.28، M = 168.69: **يزداد عزم الكعب 1.9 مرة**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

طريقة مفتاح القص المبسطة

إذا لم يكف احتكاك القاعدة يصب أسفلها، في التربة غير المضطربة، **مفتاح قص**؛ ويضيف وجه المفتاح الأمامي المقاومة المنفعلة للتربة التي أمامه إلى سطح الانزلاق. والطريقة بسيطة عن قصد: يتلقى وجه المفتاح ضغطاً **معبأ** $K_{mob}\sigma'_v$ ويحتسب كاملاً في الانزلاق؛ أما **القوى الداخلية للمفتاح** فتؤخذ من مخطط **الضغط المنفعل الكامل الإجمالي**:

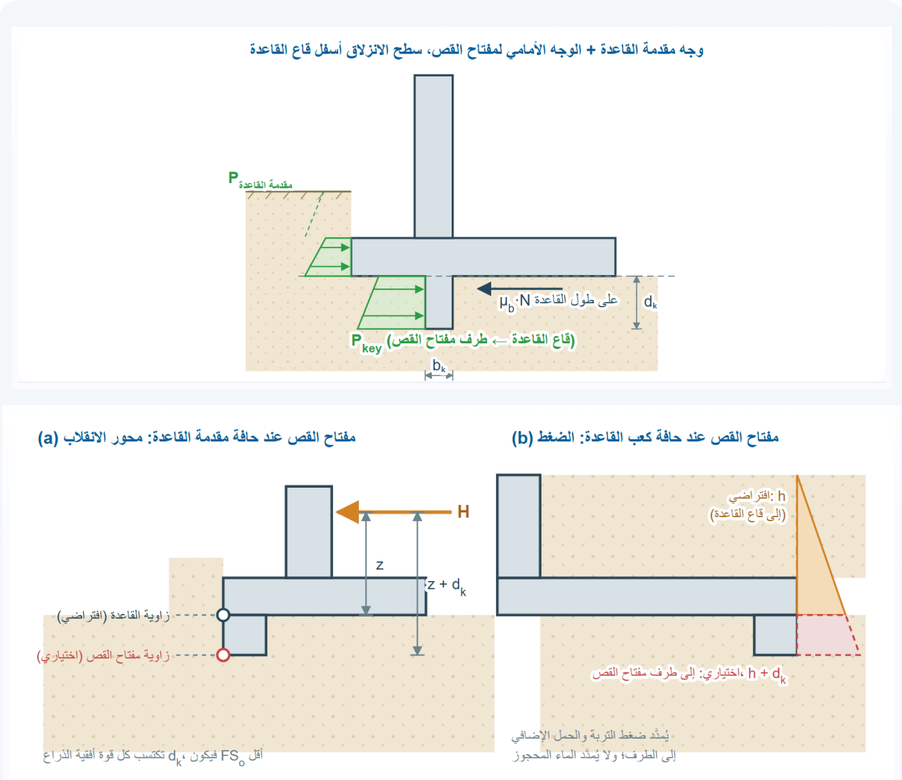
$$P_{key} = \tfrac{1}{2}\left(p_{top} + p_{bot}\right) d_k \quad (p = K_{mob}\sigma'_v) \qquad V_{key} = \tfrac{1}{2}\left(p^g_{top} + p^g_{bot}\right) d_k \quad (p^g = K_p\sigma'_v)$$

$$M_{key} = p^g_{top}\frac{d_k^2}{2} + \left(p^g_{bot} - p^g_{top}\right)\frac{d_k^2}{3}$$

يدخل وزن مفتاح القص (في N_{eff}) في الحالتين الاستاتيكية والزلزالية. وتُستخدم المقاومات المنفعلة **في الانزلاق فقط**؛ وفي الزلزال تُضرب كلتاهما في $\eta_{p,E}$ (القيمة الافتراضية 0، أي لا اعتماد لها).

مركز الدوران: في حالة مفتاح القص الواقع عند حافة المقدمة، يمكن اختيار محور الانقلاب عند الركن السفلي الأمامي لبلاطة القاعدة (الافتراضي) أو عند الركن السفلي الأمامي للمفتاح؛ وفي حالة المفتاح الواقع عند حافة الكعب يمكن تمديد ضغط التربة الفعال حتى طرف المفتاح.

تعرض قيمة $\Delta FS = P_{key}/\Sigma H_{drive}$ في كل حالة.



المسألة

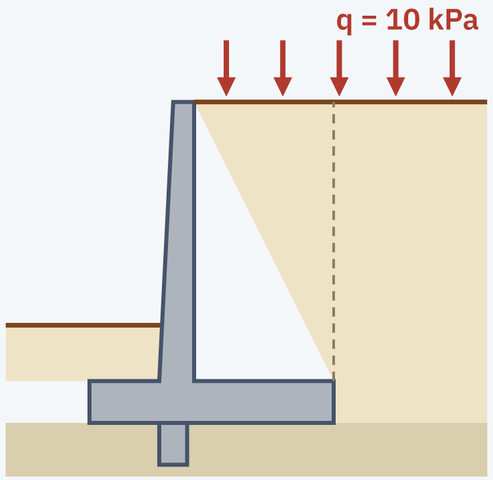
مثال

المعطيات

الجدار	**الجدار في الأمثلة 1–5؛ مفتاح القص قرب حافة المقدمة:** $x_k = 1.0$ m، $b_k = 0.40$ m، $d_k = 0.60$ m **(تحت القاعدة)**
التربة	$\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$؛ **تربة المقدمة** $D_f = 1.4$ m **(أسفل القاعدة 2.0 m)**؛ $w = 1/3$ $(K_{mob} = 1.333)$
الزلزال	$\eta_{p,E} = 0$ **(الافتراضي)** و $\eta_{p,E} = 0.5$

المطلوب

مقاومة مفتاح القص P_{key}، ومعامل الأمان الستاتيكي FS_s؛ والقوى الداخلية في المفتاح V_{key}، M_{key}؛ وتأثير $\eta_{p,E}$ في الحالة الزلزالية.



الحل (1/2)

الحل

1 الضغط المركب على وجه مفتاح القص ($\sigma'_v = 18\,z$؛ $z = 1.4 \to 2.0$ m)

$$p_{top} = K_{mob}(25.2) = 33.6 \qquad p_{bot} = K_{mob}(36.0) = 48.0 \text{ kPa}$$

$$P_{key} = \tfrac{1}{2}(33.6 + 48.0)(0.60) = \mathbf{24.48} \text{ kN/m}$$

2 الانزلاق الاستاتيكي (يدخل وزن مفتاح القص 5.76 kN/m في N؛ ويحتسب المنفعل عند مقدمة القاعدة بمقدار 23.52)

$$N_{eff} = 253.25 \qquad \mu_b N = 139.29 \text{ kN/m}$$

$$FS_s = \frac{139.29 + 23.52 + 24.48}{78.81} = \mathbf{2.376} \quad (\text{بدون أسنان } 2.066)$$

الحل (2/2)

الحل

3 القوى الداخلية في مقطع مفتاح القص: الضغط المنفعل الكامل الإجمالي ($K_p = 3.00$): $p^g_{top} = 75.6$؛ $p^g_{bot} = 108.0$ kPa

$$V_{key} = \tfrac{1}{2}(75.6 + 108.0)(0.60) = \mathbf{55.08}\ \text{kN/m}$$

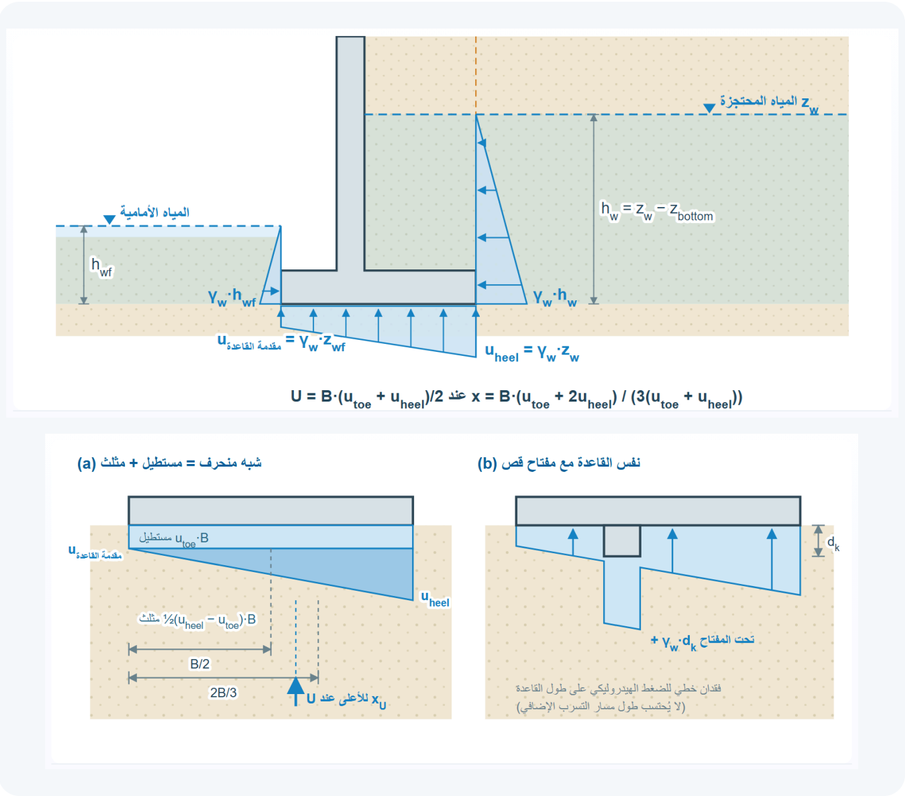
$$M_{key} = 45.36(0.30) + 9.72(0.40) = \mathbf{17.50}\ \text{kN·m/m}$$

رفع مفتاح القص معامل الأمان ضد الانزلاق الاستاتيكي من 2.07 إلى **2.38** ($\Delta FS = 0.31$). وفي حالة الزلزال، عندما تكون $\eta_{p,E} = 0$ **لا يحتسب للمفتاح أي إسهام**؛ وعند $\eta_{p,E} = 0.5$ يرتفع $FS_{s,E}$ من 0.98 إلى **1.16** (يتحقق الشرط ≥ 1.1)، لكن اللامركزية ($0.80\ \text{m} > B/6$) تبقى: ولذلك فإن تغيير الهندسة في المثال 6 أكثر فاعلية.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

ماء هيدروستاتيكي على كلا الجانبين، وضغط رفع خطي عند القاعدة

النظرية



ضغط الماء متساوي الخواص ويؤثر عمودياً على كل سطح. ويحيط الماء بالجسم الحر من ثلاثة حدود: مستوى الضغط الخلفي والوجه الأمامي للجدار والسطح السفلي للقاعدة. ويشكل كل منها بنداً مستقلاً في جدول القوى؛ ويحسب وزن التربة بالإجهاد الكلي (γ_{sat}):

$$U_{rear} = \tfrac{1}{2}\gamma_w h_w^2 \;\; (h_w/3) \qquad U = \frac{B(u_{toe} + u_{heel})}{2} \qquad x_U = \frac{B(u_{toe} + 2u_{heel})}{3(u_{toe} + u_{heel})}$$

يؤثر ضغط الرفع إلى أعلى: فيقلل N′ (ومعها الاحتكاك) ويضيف عزم انقلاب. ويتغير الضغط تحت القاعدة خطياً بين ضغطي الماء عند المقدمة وعند الكعب.

في حالة الزلزال يضاف أيضاً الضغط الهيدروديناميكي لماء المسام الحر $(7/12)(0.4h_W)k_h\gamma_W h_W^2$.

المسألة

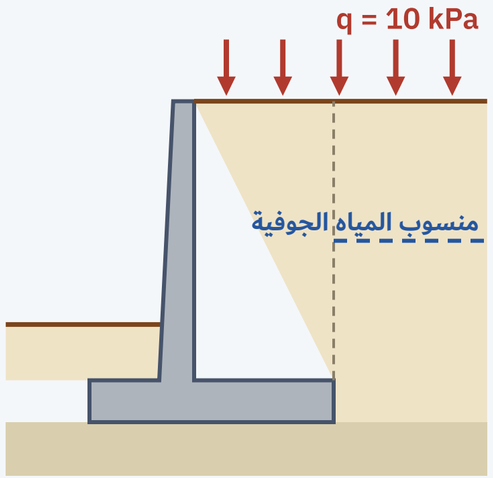
مثال

المطلوب

جدول القوى؛ q_{max}، e، FS_o، FS_s؛ تأثير الماء.

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار والردم في الأمثلة 1–4 (** $\gamma = 18,\ \gamma_{sat} = 20\ \text{kN/m}^3$**)؛ الحالة الاستاتيكية**
الماء	**في الردم يقع منسوب المياه الجوفية 2.0 m تحت قمة الجدار؛ والضغط الرافع خطي تحت القاعدة**



الحل (1/2)

الحل

1 جدول القوى (معامل؛ $M = xF_Z - zF_X$، الانقلاب +)

البند	F_x (kN/m)	F_z (kN/m)	x (m)	z (m)	M (kN·m/m)
الجدار	0.00	88.80−	1.55	1.22	137.96−
كتلة كعب القاعدة (باستخدام γ_{sat})	0.00	152.00−	2.50	2.55	380.00−
Q_{heel} (لا يستخدم)	0.00	20.00−	2.50	4.60	50.00−
الردم الأمامي	0.00	14.69−	0.51	1.00	7.49−
دفع التربة P_A	54.68−	0.00	3.50	1.64	89.71
دفع الحمل الإضافي P_Q	15.33−	0.00	3.50	2.30	35.27
دفع المياه الخلفي	33.16−	0.00	3.50	0.87	28.74
قوة الرفع	0.00	44.64	2.33	0.00	104.15
مقاومة المقدمة	23.52	0.00	0.00	0.47	10.98−

الحل (2/2)

الحل

2 التحققات

$$N = 210.85 \text{ kN/m} \quad FS_s = \frac{116.0 + 23.5}{103.2} = \mathbf{1.352} \quad FS_o = \frac{525.5}{257.9} = \mathbf{2.038}$$

$$e = 0.481 \text{ m } (\leq B/6 = 0.583) \qquad q_{max} = 109.9 \text{ kPa} \qquad q_{min} = 10.6 \text{ kPa}$$

أدى الماء إلى تغير معامل الأمان ضد الانزلاق من 2.03 → **1.35** (< 1.5 ✗)، ومعامل الأمان ضد الانقلاب من 3.81 → **2.04**، وقيمة e من 0.243 → 0.481 m؛ كما أدت قوة الرفع إلى نقص N بمقدار 44.6 kN/m. **لا يتحقق الأمان الاستاتيكي ضد الانزلاق**: ويلزم تصريف أو مفتاح قص أو قاعدة أعرض.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

البلاطة الكابولية التي تخفف الحمل عن ساق الجدار

النظرية

رف تخفيف الضغط لوح من الخرسانة المسلحة يمتد من ظهر الساق إلى الردم؛ ويستخدم في الجدران العالية (إذ يزداد عزم الساق بنسبة H^3) أو لتقوية جدار غير كاف. وله ثلاثة تأثيرات: (1) يحمل التربة التي فوقه؛ (2) **يخفف** الضغط عن الساق الواقعة تحته: إذ يبدأ ضغط الوزن الذاتي للتربة من جديد أسفل الرف؛ (3) يضيف وزناً إلى الجدار.

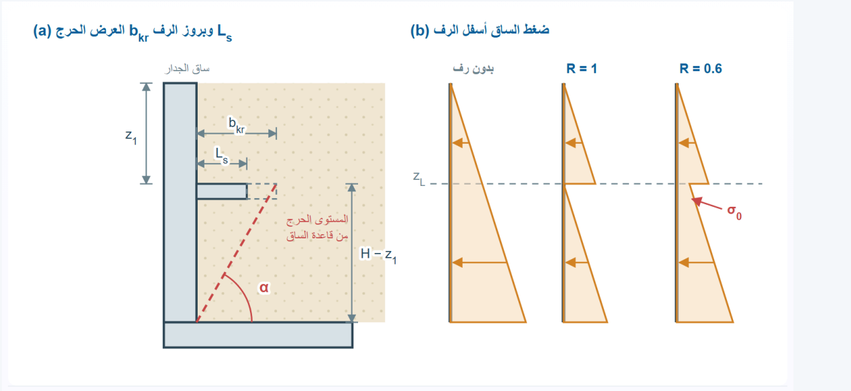
لا يكون الرف فعالاً بالكامل إلا إذا بلغ طرفه **مستوى الانزلاق الحرج** الصاعد من أسفل ظهر ساق الجدار (Rankine، ردم أفقي: $\alpha = 45° + \varphi'/2$). والعرض الحرج اللازم للرف ونسبة التخفيف:

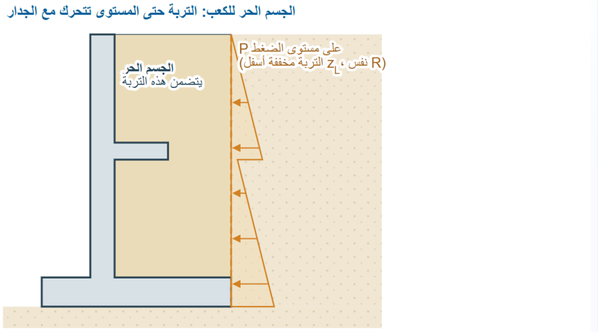
$$b_{kr} = (H - z_1)\,(\cot\alpha - \tan\beta_w) \qquad R = \min\left(\frac{L_s}{b_{kr}}, 1\right)$$

$$p(z) = K\,[\sigma'_v(z) - R\,\sigma'_v(z_L)] \qquad z > z_L \ \text{(أسفل الكابولي)}$$

R = 1: مثلثان منفصلان (تخفيف كامل)؛ R < 1: تخفيف جزئي، استكمال خطي بين جدار بلا رف تخفيف وجدار ذي تخفيف كامل. يخفف فقط ضغط **وزن التربة** الاستاتيكي؛ أما الحمل الإضافي والماء وزيادة الزلزال فلا تخفف.

لا يحتسب عزم حمل الكابولي حول الساق لصالح الساق (جانب الأمان)؛ ويعامل الكابولي ككابولي مستقل تحت حمله الخاص (M_{root}).





المسألة

مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار في المثال 1–4 ($H = 4.0$ m)؛ استاتيكي)؛ ردم خلفي أفقي، $\varphi' = 30^\circ$**
كابولي	**العمق تحت رف تخفيف الضغط $z_1 = 2.15$ m (من قمة الجدار)، البروز $L_s = 1.00$ m، السماكة $t_s = 0.30$ m**

المطلوب

الزاوية الحرجة α، والعرض الحرج **b_{kr}**، و**R**؛ وتغير V وM عند قاعدة ساق الجدار؛ والاستقرار الخارجي.

الحل (1/2)

الحل

1 المستوى والاتساع الحرجان (الظهر الرأسي: $\beta_W = 0$)

$$\alpha = 45^\circ + \frac{\varphi'}{2} = 60.0^\circ \qquad b_{kr} = (4.0 - 2.15)\cot 60^\circ = 1.068 \text{ m}$$

$$R = \min(1.00/1.068,\ 1) = \mathbf{0.9362} \ \ \text{(تخفيف جزئي)}$$

2 التأثيرات عند قاعدة الساق (دون رف تخفيف → مع رف تخفيف)

$$V:\ 61.33 \rightarrow 38.99 \text{ kN/m} \ \ (-\%36.4)$$

$$M:\ 90.67 \rightarrow 70.00 \text{ kN·m/m} \ \ (-\%22.8)$$

الحل (2/2)

الحل

3 حمل رف تخفيف الضغط والاستقرار الخارجي (التخفيف نفسه في مستوى الضغط)

$$W_{soil} = 43.3\ \text{kN/m}, \quad W_{self} = 7.2\ \text{kN/m}, \quad M_{root} = 25.25\ \text{kN·m/m}$$

$$FS_s:\ 2.03 \rightarrow 3.26 \qquad FS_o:\ 3.81 \rightarrow 5.28 \qquad e:\ 0.243 \rightarrow 0.094\ \text{m}$$

يخفض رف تخفيف الضغط (L_s = 1.00 m < b_{cr} = 1.07 m: R = 0.94) قوة القص عند قاعدة ساق الجدار بنسبة 36% والعزم بنسبة 23%؛ ويضاف حمل الرف ووزنه إلى الجدار: ترتفع FS للانزلاق من 2.03 إلى 3.26، وتنخفض اللامركزية من 0.243 إلى 0.094 m. كما يصمم الرف عند جذره الخاص لعزم M_{root} = 25.3 kN·m/m.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

نطاق الحل

النظرية

الاستقرار الخارجي يعد الجدار كتلة جاسئة واحدة؛ أما **القوى الداخلية في المقاطع** (ساق الجدار، المقدمة، الكعب، الرف، مفتاح القص) فتؤخذ من التأثيرات التي تعطيها هذه الوحدة، ويقع التصميم الإنشائي للخرسانة المسلحة (التسليح، القص) خارج نطاق هذا العرض التقديمي.

ردم غير متماسك ($c' = 0$)؛ طبقة واحدة، وسطح أفقي أو ذو ميل واحد؛ ومنسوب الماء أفقي والضغط هيدروستاتيكي؛ والحمل الإضافي موزع بانتظام (وتضاف الضغوط الجانبية للحمل الشريطي والنقطي بطريقة Boussinesq).

احتكاك القاعدة $\mu_b = \tan \delta_b$؛ ولا التصاق. ولا تستخدم المقاومة المنفعلة الأمامية إلا في الانزلاق، ولا تستخدم في الانقلاب ولا في قدرة التحمل؛ وفي الزلزال تطبق بالمعامل $\eta_{p,E}$ (الافتراضي 0).

زلزال شبه استاتيكي: Mononobe–Okabe + القصور الذاتي + ضغط الماء الهيدروديناميكي؛ وإذا كان $k_v > 0$ فيدرس الاتجاهان معاً.

تُنمذج **رف تخفيف الضغط ومفتاح القص** بطرق مبسطة (الرف: تخفيف جزئي/كلي، المفتاح: مقاومة منفعلة مركبة)؛ أما الاستقرار الكلي والهبوط فخارج النطاق.

النقاط الرئيسية

الجدار: بلاطة القاعدة + الساق؛ $W_c = \Sigma \gamma_c A_i$؛ وتتحرك **كتلة الكعب** والردم الأمامي مع الجدار؛ ويؤثر الضغط على المستوى الرأسي عند الحافة الخلفية للقاعدة ($h = t_f + H$)؛ ولا تدخل Q_{heel} في أي تحقق

التحققات من جدول القوى نفسه: $q = V/B(1 \pm 6e/B)$، x_R، $FS_o = \Sigma M_{res}/\Sigma M_{ov}$، $FS_s = (\mu_b N + P_P)/\Sigma H$؛ وإذا كانت $|e| > B/6$ فإن $q_{max} = 2V/(3x_R)$

الزلزال: P_{AE} (Mononobe–Okabe) + ΔP_{AE} عند $0.6h$ + قوى القصور $k_h W$؛ ويفشل جدار المثال في الزلزال **في الانزلاق واللامركزية**، ويتحقق عند تعديله بمقدمة وكعب أعرض

القوى الداخلية في المقاطع: الساق $M = K_a(\gamma H^3/6 + qH^2/2)$، $V = K_a(½\gamma H^2 + qH)$؛ والمقدمة والكعب مثبتان تثبيتاً كاملاً عند وجه الساق: إجهاد القاعدة – وزن البلاطة والتربة

مفتاح القص: تؤخذ P_{key} من الضغط المقاوم المختلط (في الانزلاق)، وتؤخذ V و M من K_p الإجمالي؛ وفي الزلزال باستخدام $\eta_{p,E}$

رف تخفيف الضغط: $R = \min(L_s/b_{kr}, 1)$، $b_{kr} = (H - z_1)(\cot \alpha - \tan \beta_w)$؛ يعود ضغط الوزن إلى الظهور تحت الرف؛ ولا يخف تأثير الماء ولا الحمل الإضافي

الماء: الوزن باستخدام γ_{sat} + دفع مياه خلفي مستقل؛ يقلل الرفع قيمة N ويضيف عزم انقلاب (في المثال لا يتحقق الانزلاق الاستاتيكي)

المراجع

النظريات الثلاث المستعملة في الأداة والمصدر الذي تم اتباع عرضه للصيغ المغلقة (Ka, Kp, KAE) في الدليل. كل ما لم يُشتق منها يُعد فرضية خاصة بهذه الوحدة ومُشار إليه كذلك في النص.

Coulomb C.A. (1776) Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences 7, Paris.

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

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

Rankine W.J.M. (1857) On the stability of loose earth. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 147:9–27.

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية مستخرجة بمحرك الحساب الخاص بالوحدة؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. والمثال أيضاً هذا الجدار (H = 4 m، q = 10 kPa، k_h = 0.15).

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل في GeoTerva ساق الجدار وبلاطة القاعدة والردم والماء والمعاملات الزلزالية ومفتاح القص ورف تخفيف الضغط الخاصة بجدارك؛ وتعطي الوحدة جدول القوى والتحققات والقوى الداخلية في المقاطع معاً.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

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