

أساسات (2)

* الجدران الاستنادية *

◆ مقدمة:

الجدران الاستنادية هي منشآت تستخدم لحجز التربة أو أية مواد أخرى ، عندما لا تسمح الظروف للمواد بأن تأخذ ميلها الطبيعي .

تستخدم الجدران الاستنادية أيضاً كعناصر إنشائية حاملة ، تنقل الحمولات المؤثرة عليها إلى التربة ، مثل « الركائز الجانبية للجسور ، جدران الأقبية التي تنقل حمولة البلاطات المستندة عليها إلى التربة » .

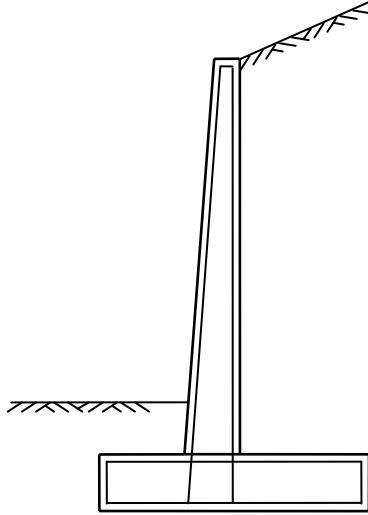
تصنف الجدران الاستنادية بالاعتماد على طريقة تأمين الاستقرار ، ومن أصنافها:

١- الجدران الاستنادية الكتلية:

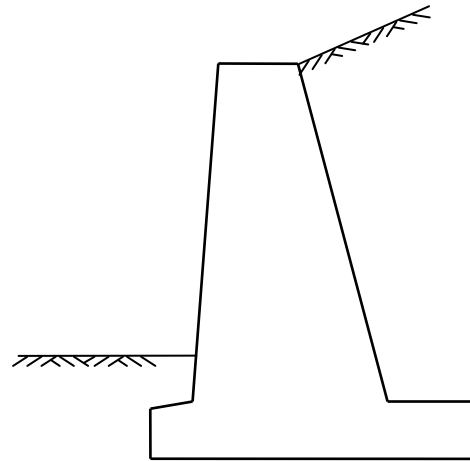
يعتمد هذا النوع من الجدران على كتلته لتأمين التوازن .

٢- الجدران الاستنادية الظرفية:

هي جدران من البيتون المسلح ، تعتمد على العمل الظرفي لجسم الجدار من أجل حجز التربة .



الشكل (١- ب) الجدران الاستنادية الظرفية



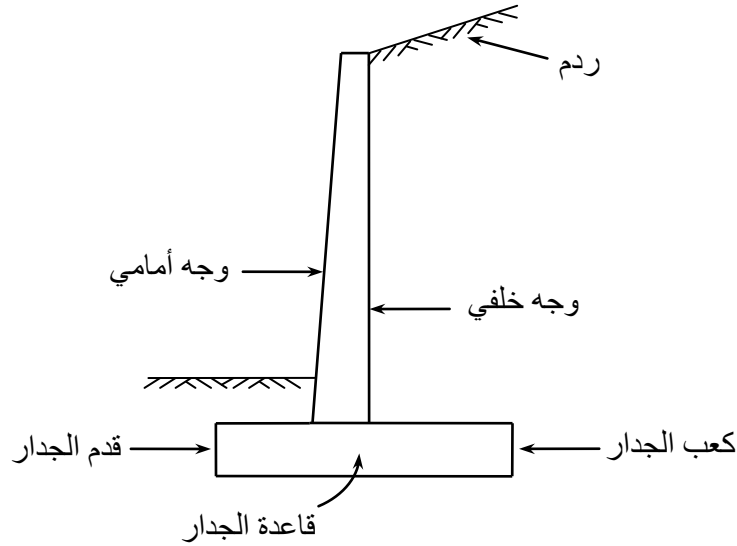
الشكل (١- أ) الجدران الاستنادية الكتلية

وهناك أنواع أخرى ...

◆ تعاريف

سنورد فيما يلي بعض التعاريف الخاصة بالجدران الاستنادية:

- ١- بلاطة القاعدة أو القاعدة أو الأساس: وهي القاعدة التي يرتكز عليها الجدار الاستنادي .
- ٢- البلاطة الشاقولية: هي الجزء الشاقولي من الجدار ، المعرض لدفع التربة .
- ٣- وجه الجدار: قد يكون الوجه الظاهر أو الوجه المردوم حسبما يُشار إلى ذلك .
- ٤- قدم الجدار: هو الجزء من قاعدة الجدار الممتد اعتباراً من الوجه الظاهر .
- ٥- كعب الجدار: هو الجزء من قاعدة الجدار الممتد اعتباراً من الوجه المردوم .
- ٦- السن: هو بروز في قاعدة الجدار ، يستخدم لتحقيق شرط الانزلاق عندما يكون سطح القاعدة غير كافٍ لمقاومة الانزلاق .



الشكل (٢)

* مراحل تصميم الجدران الاستنادية

- ١- فرض الأبعاد المناسبة للجدار .
- ٢- دراسة الجدار كجسم طليق من أجل تحديد القوى المؤثرة عليه .
- ٣- دراسة توازن الجدار: أ- تحقيق شرط الانزلاق .
ب- تحقيق شرط الانقلاب .
- ٤- تحقيق الإجهادات المطبقة على التربة .

٥- التصميم الإنشائي للجدران الاستنادية .

* مراحل تصميم الجدران الاستنادية

١- فرض الأبعاد المناسبة للجدار

هنالك أبعاد تقريبية لكل نوع من أنواع الجدران الاستنادية ، سنوردها عند دراسة كل نوع .

٢- حساب القوى المؤثرة على الجدار:

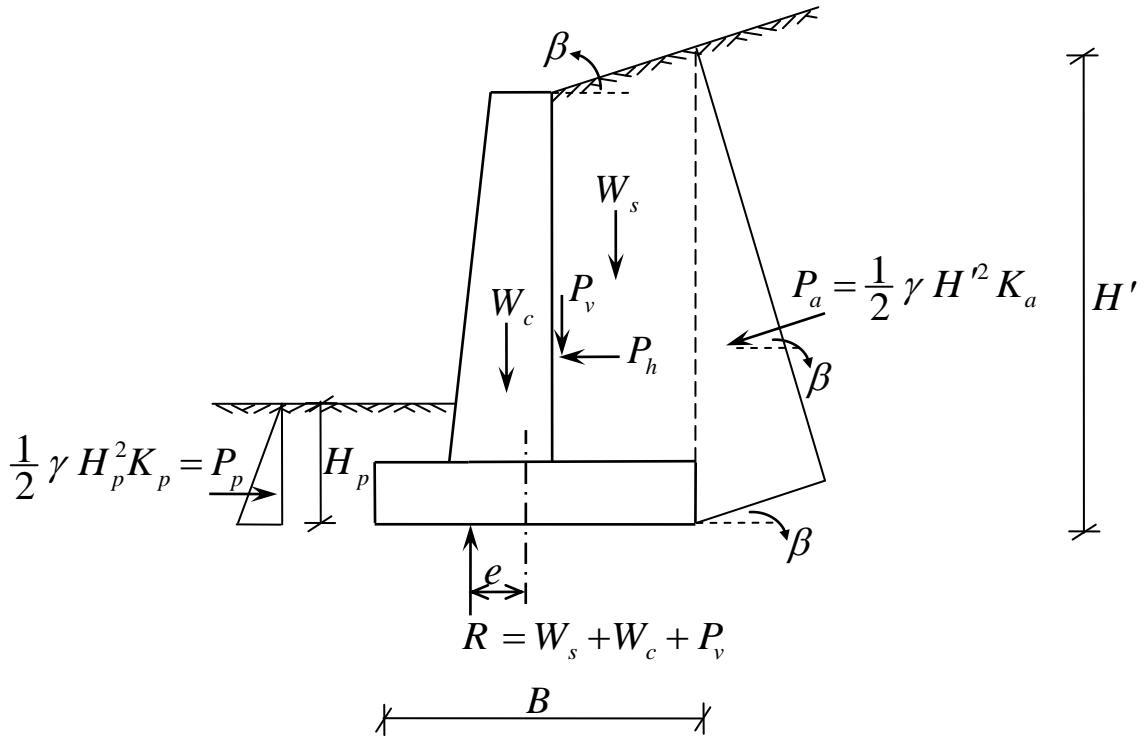
يوضح الشكل (٣) القوى المؤثرة على الجدار الاستنادي عند دراسته كجسم طليق ، وهي كما يلي:

أ- ضغط التربة الفعال على الجدار P_a .

ب- وزن الجدار W_c .

ج- وزن التربة فوق بلاطة الكعب W_s .

د- ضغط التربة السلبي المؤثر على مقدمة الجدار ، عند وجود ردم فوق بلاطة القدم .



الشكل (٣) القوى المؤثرة على الجدار الاستنادي

٣- دراسة توازن الجدار:

يتضمن: أ- تحقيق شرط الانزلاق .

ب- تحقيق شرط الانقلاب .

⊙ أ- تحقيق شرط الانزلاق:

يجب تأمين عامل أمان مناسب ضد الانزلاق وذلك من أجل تأمين استقرار الجدار ضد الانزلاق .
عند حساب الانزلاق نهمل غالباً الردم الموجود فوق بلاطة القدم ، وذلك لاحتمال إزالة الردم بعد إنشاء الجدار .

إن مقاومة الانزلاق على طول القاعدة تساوي إلى جداء مجموع كافة القوى الشاقولية بمعامل الاحتكاك بين التربة و الجدار .

يعطى معامل الاحتكاك بين التربة و الجدار بالعلاقة:

$$f = \tan \left(\frac{2}{3} \phi \right)$$

حيث ϕ زاوية الاحتكاك الداخلي لتربة التأسيس .

يعطى عامل الأمان ضد الانزلاق بالعلاقة التالية:

$$SF = \frac{\text{مجموع القوى المقاومة للانزلاق}}{\text{مجموع القوى الزاقة}} = \frac{f \sum V}{\sum H} \geq 1.5$$

حيث:

$\sum V$ مجموع القوى الشاقولية المؤثرة على مستوى التأسيس .

$\sum H$ مجموع القوى الأفقية المؤثرة على الجدار .

يجب أن يكون عامل الأمان ضد الانزلاق أكبر أو مساوٍ إلى القيمة 1.5 ، إلا أنه يفضل أخذ قيمة مساوية إلى 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية ، لاحتمال وجود مياه والتي تقوم بتخفيض زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

⊙ ب- تحقيق شرط الانقلاب:

يجب تحقيق عامل أمان مناسب ضد الانقلاب حول مركز الدوران O الواقع عند نهاية بلاطة القدم .

يعطى عامل الأمان ضد الانقلاب بالعلاقة التالية:

$$SF = \frac{\text{مجموع العزوم المثبتة}}{\text{مجموع العزوم التي تحاول قلب الجدار حول } O} = \frac{M_r}{M_o} \geq 1.5$$

يجب أن يكون عامل الأمان ضد الانقلاب أكبر أو مساوٍ إلى القيمة 1.5 ، ويفضل أخذ القيمة 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية .

٤- تحقيق الإجهادات في مستوى القاعدة:

تعطى الإجهادات المطبقة على التربة بالعلاقة التالية:

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{\sum M}{W} \leq \sigma_{all}$$

حيث:

A مساحة قاعدة الجدار لشريحة عرضها 1 m من الجدار:

$$A = (B \times 100) \text{ cm}^2$$

$\sum V$ مجموع الحمولات الشاقولية المؤثرة على مستوى التأسيس .

$\sum M$ المجموع الجبري لعزوم جميع القوى المؤثرة على الجدار حول المحور المار من منتصف

القاعدة $(B/2)$.

W العزم المقاوم لشريحة عرضها 1 m من الجدار:

$$W = \frac{100 \times B^2}{6}$$

B عرض قاعدة الجدار .

باعتبار أن توزع الإجهادات خطي أسفل الجدار ، يمكننا أن نكتب قانون الإجهادات بعد وضع

$\sum M = e \cdot \sum V$ كما يلي:

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{\sum V}{B \times 100} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq \sigma_{all}$$

حيث e لامركزية محصلة القوى $\sum V$ بالنسبة للمحور المار من منتصف القاعدة .

لحساب اللامركزية e نأخذ عزوم جميع القوى حول نهاية بلاطة القدم O فيكون:

$$\bar{X} = \frac{\text{المجموع الجبري لعزوم جميع القوى حول } O}{\sum V}$$

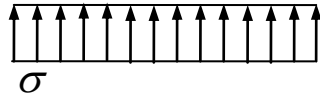
حيث \bar{X} بعد محصلة القوى $\sum V$ عن النقطة O .

ومنه نجد:

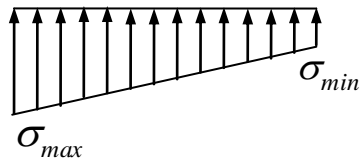
$$e = \frac{B}{2} - \bar{X}$$

♦ الحالات المختلفة للاجهادات المطبقة على التربة:

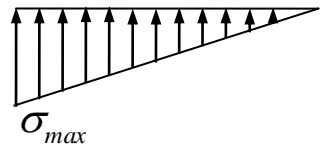
هناك أربع حالات للاجهادات المطبقة على التربة ، موضحة على الأشكال التالية:



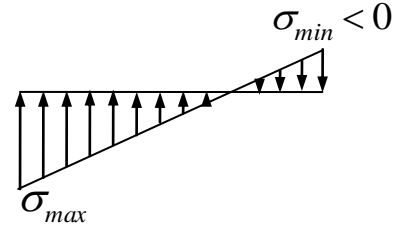
- تنتج الحالة الأولى عندما $e = 0$



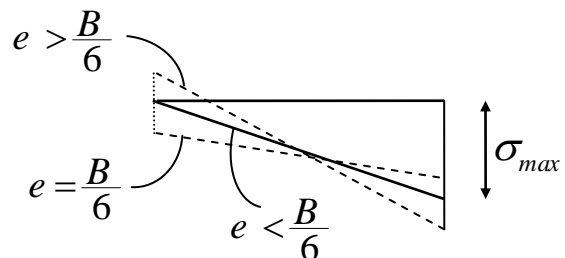
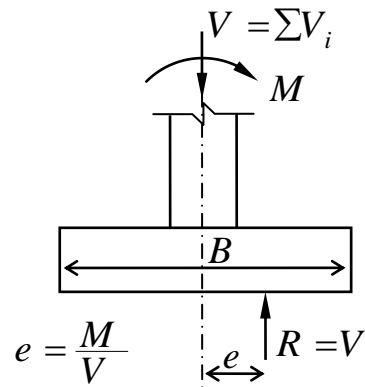
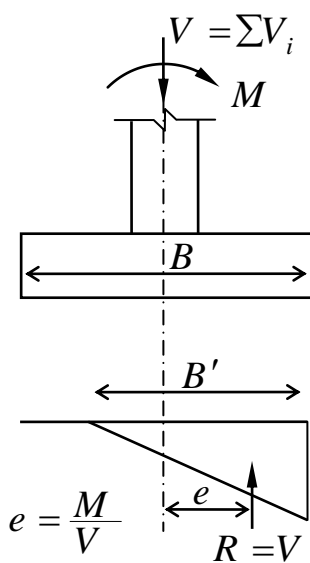
- تنتج الحالة الثانية عندما $e < \frac{B}{6}$



- تنتج الحالة الثالثة عندما $e = \frac{B}{6}$



- تنتج الحالة الرابعة عندما $e > \frac{B}{6}$



بالنسبة للحالة الرابعة يجب ألا يقل الجزء المضغوط من القاعدة عن:

$$B' \geq \left(\frac{2}{3} \rightarrow \frac{3}{4} \right) B$$

(٤) من التوازن ، انظر الشكل (٤) $\Sigma V = \frac{B' \sigma_{max}}{2}$

$$\Rightarrow \sigma_{max} = \frac{2 \Sigma V}{B'} \leq \sigma_{all}$$

٥- تحقيق الجدار على المتانة

يتم تحقيق الجدار على المتانة بتصميم مقاطع الجدار إنشائياً من أجل تحقيق متطلبات:

١- العزم

٢- القص

٣- التماسك

يمكن الاعتماد على ملحق البيتون المسلح من أجل التصميم وتحقيق المتطلبات المذكورة .

أما إذا كان الجدار من البيتون العادي فيمكننا اعتبار مادة الجدار متجانسة ثم نطبق العلاقة:

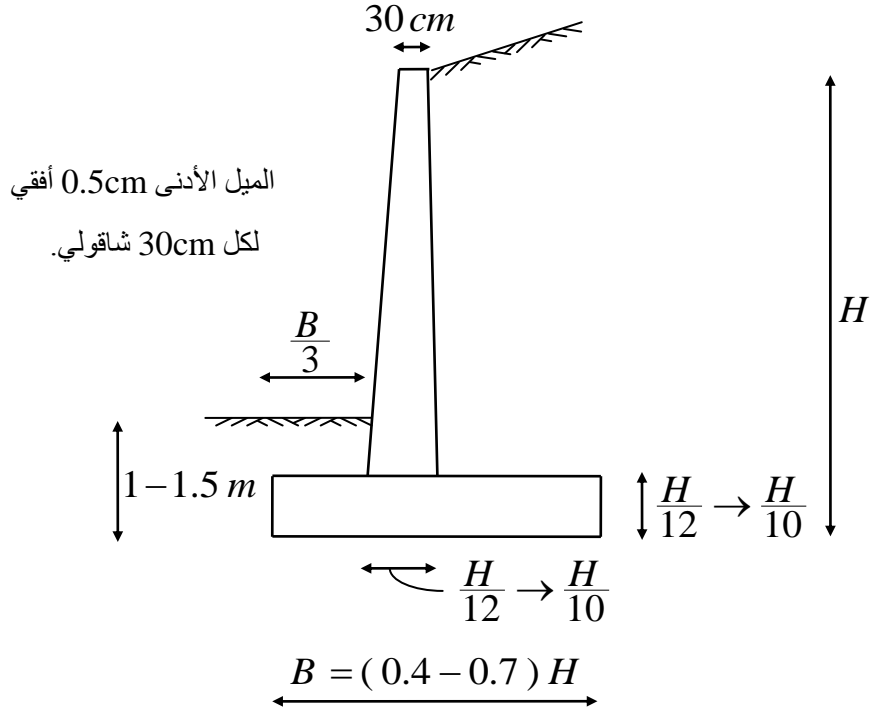
$$\sigma_{max} = \frac{\Sigma V}{A} \pm \frac{\Sigma M}{W} \leq \sigma_{all}$$

وذلك لحساب الاجهادات المتولدة في مختلف مقاطع الجدار .

* الجدران الاستنادية الظرفية *

* تحديد الأبعاد الأولية للجدران الظرفية *

يوضح الشكل (١٦) الأبعاد الأولية المقترحة للجدران الاستنادية الظرفية.



الشكل (١٦) الأبعاد الأولية للجدران الاستنادية الظرفية

يوضح الشكل (١٧) مخططاً لإيجاد أبعاد القاعدة (a, b) بحيث تقع محصلة القوى تقريباً ضمن الثلث الأوسط من القاعدة.

© توازن الجدران الاستنادية الظرفية

© أ- التوازن ضد الانزلاق:

إن مقاومة الانزلاق على طول القاعدة تساوي إلى $f \cdot R$:

حيث: R مجموع كافة القوى الشاقولية

f معامل الاحتكاك بين القاعدة والتربة ، ويؤخذ من العلاقة:

$$f = \tan \left(\frac{2}{3} \phi \right)$$

حيث ϕ زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة .

يعطى عامل الأمان ضد الانزلاق بالعلاقة التالية:

$$SF = \frac{\text{القوى المقاومة للانزلاق}}{\text{القوى الزالقة}} \geq 1.5$$

ويؤخذ مساوياً إلى 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية ، لاحتتمال وجود الماء الذي يخفض زاوية الاحتكاك والتلاصق.

إن وجود سن أسفل القاعدة يساعد على تحقيق التوازن ضد الانزلاق ، ونختار عملياً عمق السن D من المنحنيات الموضحة على الشكل (١٨) . (حيث نجد زاوية السن θ من الشكل)

$$D = B \cdot \tan \theta \quad \text{ويكون:}$$

ثم نحسب قوة الضغط السلبي المؤثرة P_p ، وندخلها في حساب التوازن ضد الانزلاق ، وإن لم يتحقق عامل الأمان يجب زيادة ارتفاع السن.

© ب- التوازن ضد الانقلاب:

يجب تحقيق عامل أمان مناسب ضد الانقلاب حول مركز الدوران O الواقع عند نهاية قدم الجدار .
يعطى عامل الأمان ضد الانقلاب بالعلاقة:

$$SF = \frac{\text{مجموع العزوم المثبتة}}{\text{مجموع العزوم التي تحاول قلب الجدار حول } O} = \frac{M_r}{M_o} \geq 1.5$$

ويفضل أخذ القيمة 2.0 عند التأسيس على التربة الغضارية .

✦ مثال:

المطلوب تصميم جدار استنادي ظفري وفقاً للمعطيات التالية:

إجهادات الشد المسموحة في الحديد المستخدم: $f_s = 1400 \text{ Kg/cm}^2$

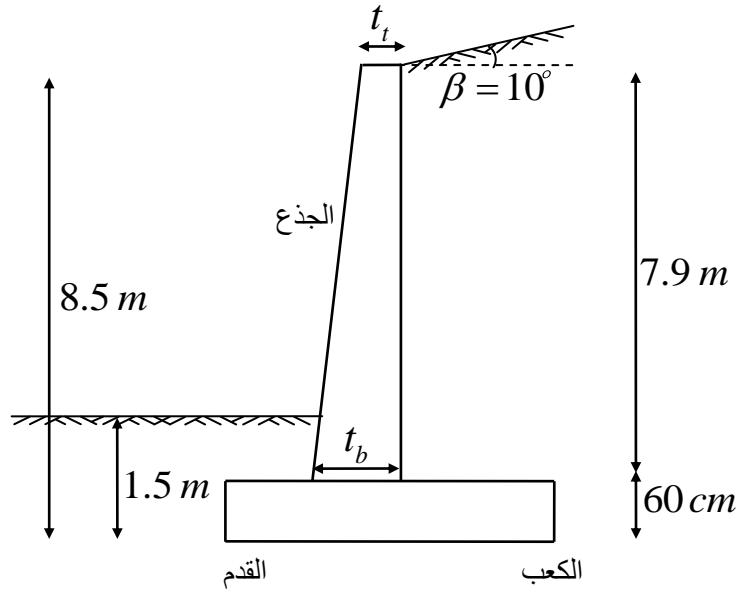
المقاومة المميزة للبيتون: $f_c' = 200 \text{ Kg/cm}^2$

الوزن الحجمي للبيتون: $\gamma_c = 2.4 \text{ t/m}^3$

ارتفاع الجدار: $H = 8.5 \text{ m}$

مواصفات التربة المردومة: $\phi = 34$, $\gamma = 1.84 \text{ t/m}^3$

مواصفات تربة القاعدة: $\phi = 34$, $\gamma = 1.76 \text{ t/m}^3$



الشكل (١٩)

✦ الحل:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = 0.289$$

نفرض $t_b = 75 \text{ cm}$ حيث $t_b = H/12$ ، كما نفرض عرض الجدار من الأعلى $t_t = 30 \text{ cm}$.

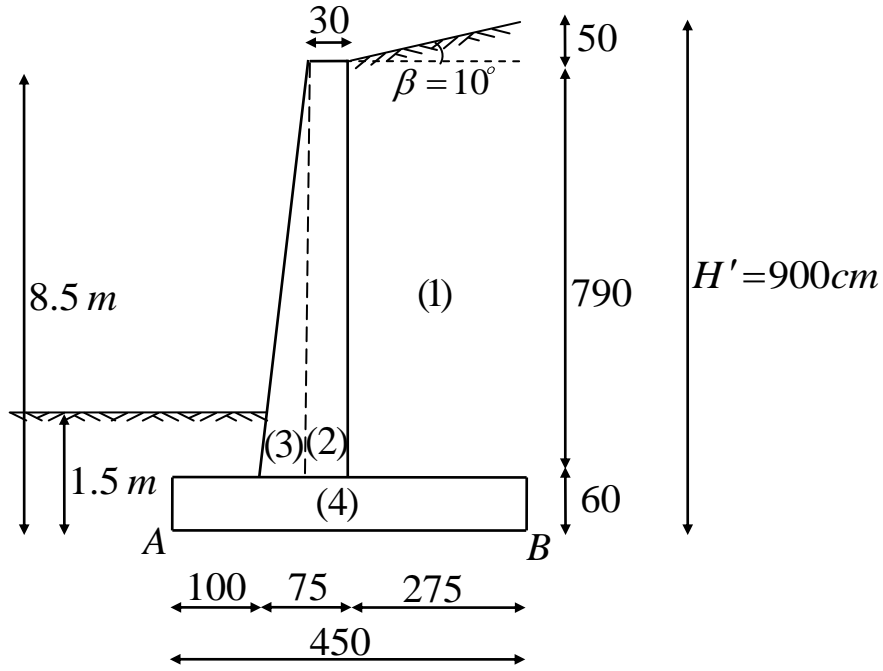
حساب عرض القاعدة B :

نختار:

طول القدم: يتراوح من 50-100 سم ، نختارها 100 cm

عرض الجدار: من الأسفل يتراوح من 50-100 سم نختارها 75 cm

$$\text{يبقى طول الكعب} \quad 275 \text{ cm} = 450 - 100 - 75 = 275$$



الشكل (٢٠)

$$H' = 60 + 790 + 275 \cdot \tan(10) = 900 \text{ cm}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H'^2 \cdot K_a$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times 1.84 \times (9)^2 \times 0.289 = 21.54 \text{ t}$$

الدكتور المهندس: فراس المقداد - مقرر أساسيات (2) سنة رابعة - فصل ثاني ٢٠١٨-٢٠١٩

$$P_h = P_a \cos 10 = 21.21 \text{ المركبة الأفقية}$$

$$P_v = P_a \sin 10 = 3.74t \text{ المركبة الشاقولية}$$

♦ حساب عامل الأمان ضد الانقلاب:

نأخذ عزوم جميع القوى المثبتة حول النقطة A ثم ننظم النتائج في الجدول التالي:

| رقم الجزء | اسم الجزء | الوزن (t) | الذراع (m) | العزم (t.m) |
|-----------|----------------------------------|--|------------|--------------------|
| 1 | التربة فوق الكعب | $\frac{(8.4+7.9)}{2} \times 2.75 \times 1.84 = 41.94$ | 3.125 | 131.063 |
| 2 | الجزء المستطيل من الجذع | $7.9 \times 0.3 \times 2.4 = 5.69$ | 1.6 | 9.1 |
| 3 | الجزء المثلثي من الجذع | $\frac{1}{2} \times 7.9 \times 0.45 \times 2.4 = 4.27$ | 1.3 | 5.55 |
| 4 | القاعدة | $4.5 \times 0.6 \times 2.4 = 6.48$ | 2.25 | 14.58 |
| 5 | المركبة الشاقولية $P_a \perp$ | 3.74 | 4.5 | 16.83 |
| | المجموع | $\Sigma V = 62.12$ | | $\Sigma M = 177.1$ |

وبالتالي يكون:

- العزم المثبت:

$$M_f = 177.1t m$$

- العزم القالب الناتج عن P_h :

$$M_0 = 21.21 \times \frac{9}{3} = 63.63t m$$

عامل الأمان ضد الانقلاب:

$$SF_{(o)} = \frac{177.1}{63.63} = 2.78 > 1.5 \quad \underline{\underline{ok}}$$

العزم الصافي:

$$M_n = 177.1 - 63.63 = 113.47 \text{ t m}$$

• حساب بعد نقطة تطبيق محصلة القوى عن النقطة A :

$$\bar{x} = \frac{M_n}{\Sigma V} = \frac{113.47}{62.12} = 1.827 \text{ m}$$

$$e = \frac{B}{2} - \bar{x}$$

$$e = \frac{450}{2} - 182.7 = 42.3 \text{ cm} < \frac{B}{6} = \frac{450}{6} = 75 \text{ cm}$$

أي أن محصلة القوى تقع ضمن الثلث الأوسط للقاعدة.

♦ تحقيق الانزلاق عند مستوي القاعدة:

بإهمال الضغط السلبي P_p عند القدم نجد:

$$F = f \cdot \Sigma V = \tan(2\phi/3) \times \Sigma V \\ = 0.418 \times 62.12 = 25.97 \text{ t}$$

$$SF_{(s)} = \frac{\text{القوى الممانعة لحركة الجدار}}{\text{القوى الزالقة}} = \frac{25.97}{21.21} = 1.22 < 1.5 \text{ not ok}$$

بما أن عامل الأمان غير محقق ، نضع سن في نهاية الكعب ، الهدف منه توليد قوة جديدة ممانعة لحركة الجدار هي قوة ضغط التربة السلبي P_p المؤثرة على السن.

✓ اختيار عمق السن تحقيق عامل أمان مناسب:

نأخذ ارتفاع السن مساوياً إلى $D = 60 \text{ cm}$

ثم نقوم بحساب الضغط السلبي المتولد:

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \times 1.76 \times (0.6 + 0.6)^2 \times 3.5 = 4.44 \text{ t}$$

$$\Rightarrow SF_{(s)} = \frac{4.44 + 25.97}{21.21} = 1.43 < 1.5 \text{ not ok}$$

نزيد ارتفاع السن: $D = 90 \text{ cm}$

$$P_p = \frac{1}{2} \times 1.76 \times (0.6 + 0.9)^2 \times 3.5 = 6.93 \text{ t}$$

$$\Rightarrow SF_{(s)} = \frac{6.93 + 25.97}{21.21} = 1.54 > 1.5 \quad \underline{\underline{ok}}$$

✳ إيجاد قدرة تحمل التربة:

نطبق المعادلة التالية:

$$\sigma_{ult} = \gamma D N_q (1 + 0.35 \frac{D}{B'}) (1 - 0.5 \frac{H}{V}) + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma (1 - 0.5 \frac{H}{V})^2$$

حيث:

σ_{ult} قدرة تحمل التربة الحدية.

D عمق التأسيس.

V مجموع الحمولات الشاقولية المؤثرة على الجدار.

$$B' = B - 2e \quad : B'$$

e لامركزية محصلة القوى الشاقولية بالنسبة لمحور B .

N_q, N_γ عاملا قدرة تحمل التربة ، وتؤخذ القيم من الجدول الوارد في بحث قدرة تحمل التربة

بدلالة ϕ .

$$D = 1.5 \text{ m} , B' = 4.5 - 2 \times 0.423 = 3.654$$

من الجداول ومن أجل $\phi = 34^\circ$ نجد:

$$N_q = 30.3 , N_\gamma = 36.2$$

$$\frac{H}{V} = \frac{21.21}{62.12} = 0.341 , \frac{D}{B'} = \frac{1.5}{3.644} = 0.412$$

$$0.412 < \tan(2\phi/3) = 0.418 \quad ok$$

$$\sigma_{ult} = 1.76 \times 1.5 \times 30.3 (1 + 0.35 \times 0.411) (1 - 0.5 \times 0.341) + \frac{1}{2} \times 1.76 \times 3.654 \times 36.2 (1 - 0.5 \times 0.341)^2$$

$$\sigma_{ult} = 155.99 t / m^2 = 15.6 Kg / cm^2$$

بالتقسيم على عامل أمان يساوي (3) نحصل على قدرة التحمل المسموحة.

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_{ult}}{3} = \frac{15.60}{3} = 5.2 Kg / cm^2$$

ملاحظة: في حالة إزالة التربة عن القدم يصبح عمق التأسيس:

$$D = 1.5 - 0.6 = 0.9$$

$$\sigma_{ult} = 9 Kg / cm^2 \Rightarrow \sigma_{all} = \frac{9}{3} = 3 Kg / cm^2$$

وهذا يدل على مدى تأثير عمق التأسيس على قدرة تحمل التربة.

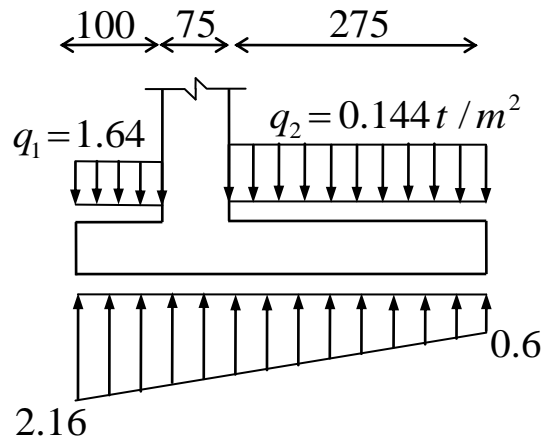
* حساب الاجهادات أسفل قاعدة الجدار:

$$\sigma_{max} = \frac{V}{B \cdot L} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) = \frac{62.12}{4.5 \times 1} \left(1 + \frac{6 \times 0.423}{4.5} \right)$$

$$\sigma_{max} = 21.6 t / m^2 = 2.16 Kg / cm^2 < 5 \quad \underline{ok}$$

$$\sigma_{min} = \frac{V}{B \cdot L} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) = \frac{62.12}{4.5 \times 1} \left(1 - \frac{6 \times 0.423}{4.5} \right)$$

$$\sigma_{min} = 6.02 t / m^2 = 0.6 Kg / cm^2$$



الشكل (٢١)

- حساب الحمولة الموزعة فوق القدم:

نهمل وزن التربة فوق القدم وبذلك تكون الحمولة الموزعة تساوي إلى وزن البيتون فقط.

$$q_1 = 0.6 \times 2.4 = 1.44 \text{ t/m}^2 = 0.144 \text{ Kg/cm}^2$$

الحمولة الموزعة فوق الكعب:

$$q_2 = 0.6 \times 2.4 + 1.84 (7.9 + 0.25) = 16.44 \text{ t/m}^2 = 1.644 \text{ Kg/cm}^2$$

← معادلة القوى الموزعة بالنسبة لقدم الجدار:

$$\begin{aligned} q_x &= 21.14 - 1.44 - \frac{(21.4 - 5.8)}{4.5} x \\ &= 19.7 - 3.467 x \end{aligned}$$

تقدر x بالأمتار.

← معادلة القوى القاصة بالنسبة لقدم الجدار:

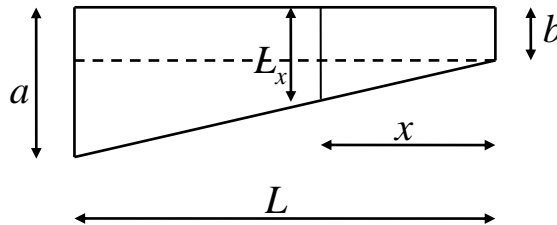
$$\begin{aligned} Q_x &= \int q_x dx = 19.7 x - 3.467 \frac{x^2}{2} \\ &= 19.7 x - 1.734 x^2 \end{aligned}$$

← معادلة العزم بالنسبة لقدم الجدار:

$$\begin{aligned} M_x &= \int Q_x dx = 19.7 \frac{x^2}{2} - 1.734 \frac{x^3}{3} \\ &= 9.85 x^2 - 0.578 x^3 \end{aligned}$$

لحساب قيم العزم والقص عند نهاية القدم نضع ($x = 1 \text{ m}$)

تحسب معادلة القوى الموزعة للكعب كما يلي:



الشكل (٢٢)

$$L_x = b + \frac{(a-b)}{L} x$$

لحساب قيم العزم والقص عند نهاية الكعب نضع ($x = 2.75 m$)

$$Q_{(x=2.75 m)} = 16.04 t \quad , \quad M_{(x=2.75 m)} = 28.1 t m$$

- حساب الاجهادات القاصة عند الكعب:

$$d = 60 - 10 = 50 cm$$

$$\tau = \frac{16.04}{1 \times 0.5} = 32.08 t / m^2 = 3.21 Kg / cm^2$$

$$\bar{\tau} = 0.55 \sqrt{f'_c} > 3.21 \quad \underline{ok}$$

◆ تصميم المقاطع البيتونية لقاعدة الجدار:

١- المقطع الواقع عند نهاية القدم:

$$M = 9.27 t m$$

أبعاد المقطع: $50 \times 100 cm$

$$W_a = \frac{n \cdot M}{\bar{\sigma}_s \cdot b \cdot d^2} = \frac{15 \times 9.27 \times 10^5}{1400 \times 100 \times 50^2} = 0.04$$

من الجداول وبدلالة wa نجد:

($W_b = 0.119$, $\gamma_z = 0.913$) سوف يكون معطى ضمن جداول

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z \cdot \bar{\sigma}_s \cdot d} = \frac{9.27 \times 10^5}{0.913 \times 1400 \times 50} = 14.5 cm^2$$

التحقق من الاجهادات في البيتون:

$$\sigma'_c = \frac{M}{W_b \cdot b \cdot d^2} = \frac{9.27 \times 10^5}{0.119 \times 100 \times 50^2} = 31.2$$

$$\bar{\sigma}'_c = 0.4 f'_c = 0.4 \times 200 = 80 > 31.2 Kg / cm^2 \quad \underline{ok}$$

١- المقطع الواقع عند نهاية الكعب:

$$M = 28.1 \text{ t m}$$

أبعاد المقطع: $50 \times 100 \text{ cm}$

$$W_a = \frac{n \cdot M}{\bar{\sigma}_s \cdot b \cdot d^2} = \frac{15 \times 28.1 \times 10^5}{1400 \times 100 \times 50^2} = 0.12$$

من الجداول وبدلالة wa نجد: $\Rightarrow W_b = 0.177$, $\gamma_z = 0.864$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z \cdot \bar{\sigma}_s \cdot d} = \frac{28.1 \times 10^5}{0.864 \times 1400 \times 50} = 46.5 \text{ cm}^2$$

التحقق من الإجهادات في البيتون:

$$\sigma'_c = \frac{M}{W_b \cdot b \cdot d^2} = \frac{28.1 \times 10^5}{0.177 \times 100 \times 50^2} = 63.2$$

$$\Rightarrow \sigma'_c = 63.2 < \bar{\sigma}'_c = 80 \quad \underline{\text{ok}}$$

◆ تصميم المقاطع البيتونية للجذع:

بإهمال المركبة الشاقولية P_v والوزن الذاتي للجدار ، نكتب معادلات الحمولة الموزعة والقص

والعزم عند أي نقطة من الجذع بالشكل التالي:

شدة الحمولة الموزعة:

$$q_h = \gamma \cdot h \cdot K_a \cdot \cos \beta$$

$$Q_h = \int_0^H q_h \cdot dh = \int_0^H \gamma \cdot h \cdot K_a \cdot \cos \beta \cdot dh$$

$$M_h = \int_0^H Q_h = \int_0^H \gamma \cdot K_a \cdot \cos \beta \cdot \frac{h^2}{2}$$

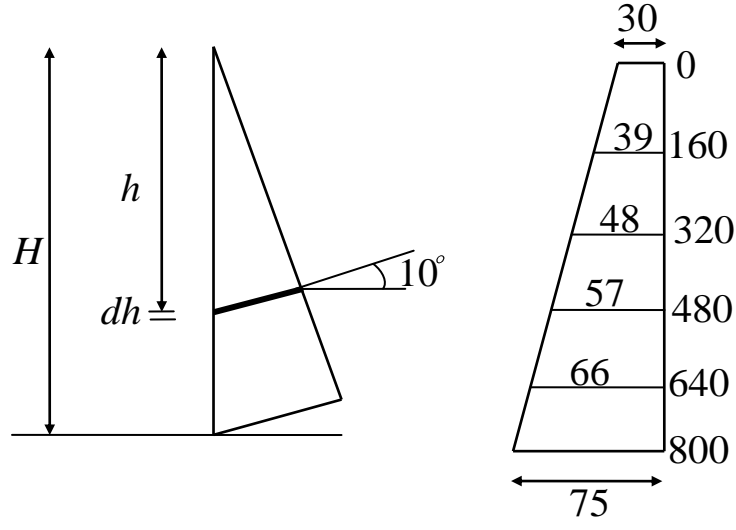
$$M_h = \gamma \cdot K_a \cdot \cos \beta \cdot \frac{h^3}{6} \Big|_0^H$$

$$K_a = 0.29 , \cos 10 = 0.99 , \gamma = 1.844 \text{ t / m}^3$$

$$\Rightarrow M_h = 0.088 h^3$$

ثم ننظم النتائج في جدول ، حيث يتم حساب التسليح على مختلف الارتفاعات والتأكد من الإجهادات

في البيتون.



الشكل (٢٣) أبعاد مقاطع الجذع

| h (cm) | M (t.m) | b (cm) | d (cm) | W_a | W_b | z | A_s (cm ²) | σ'_c |
|-----------|------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------------|
| 0 | - | 30 | | | | | تسليح إنشائي | |
| 160 | 0.361 | 39 | 32 | | | | تسليح إنشائي | |
| 320 | 2.885 | 48 | 40 | 0.019 | 0.087 | 0.938 | تسليح إنشائي | 20.8 |
| 480 | 9.737 | 57 | 47 | 0.047 | 0.125 | 0.908 | 16.3 | 35.3 |
| 640 | 23.1 | 66 | 56 | 0.079 | 0.151 | 0.886 | 33.3 | 48.8 |
| 800 | 45.1 | 75 | 65 | 0.114 | 0.173 | 0.867 | 57.2 | 61.7 |

تعطى نسبة التسليح الدنيا مقطع ما من البلاطة الشاقولية بالعلاقة التالية:

$$\mu = 0.025 \cdot b \cdot d$$

