Soil Mechanics-Theoretical
Third Year- Lec. (3)

Dr. MAIASA MLHEM

الضغط الجانبي

مقدمة:

❖الجدار الاستنادي هو منشأة تدعم التربة ذات الواجهة الشاقولية أو شبه الشاقولية ويستخدم لتقبل التغيرات الرئيسية في مستوى الأرض الطبيعية.

❖إن محصلة القوى الأفقية من التربة على الجدار تعرف بأنها: **ضغط التربة الجانبي.**

❖في تقييم قيمة وتوزع ضغط التربة الجانبي، نعتبر أن التربة خلف الجدار على حد الانهيار وأنها تخضع لمعيار تريسكا أو موركولومب للانهيار.

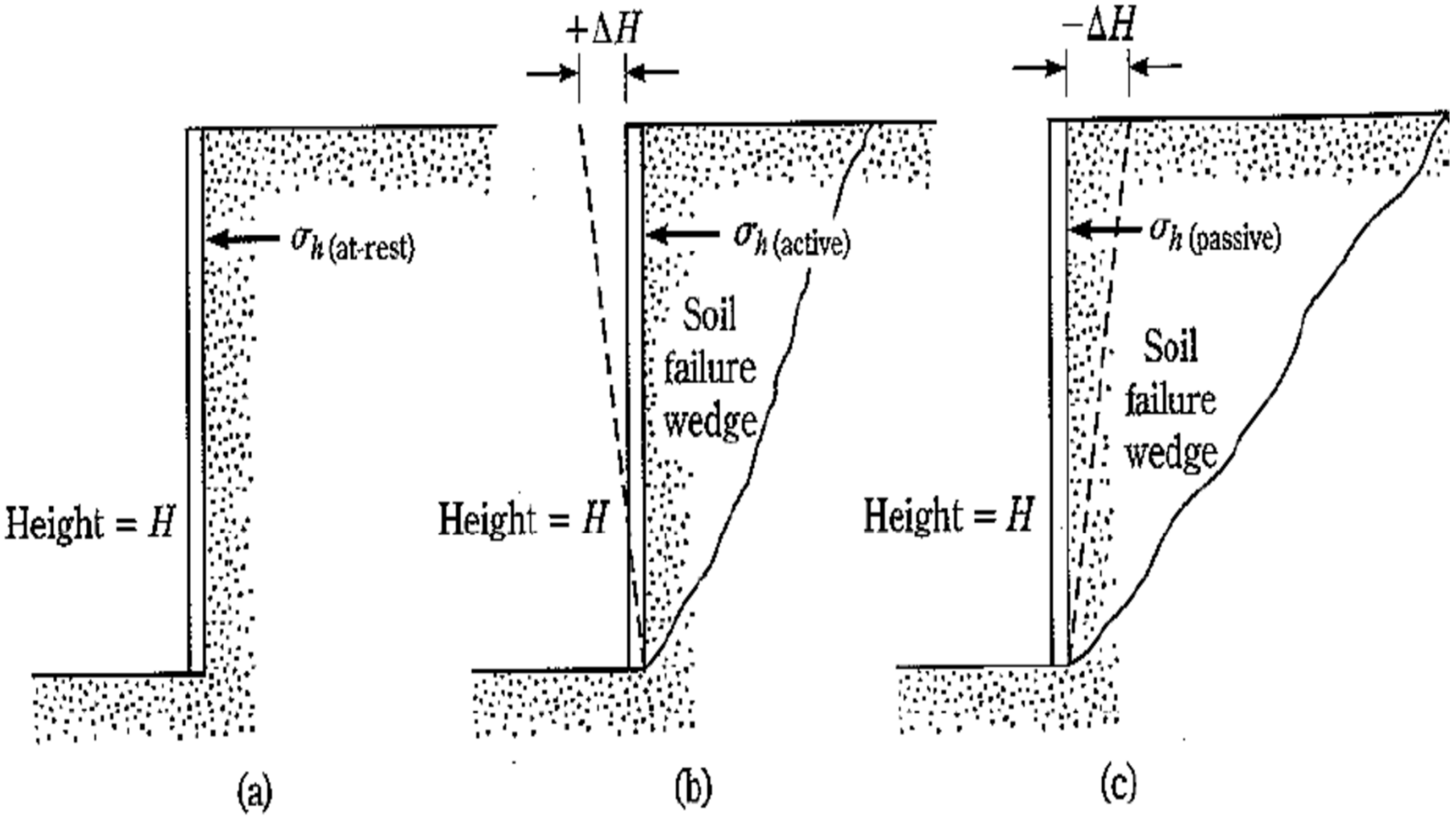
❖يحدث الانهيار في الردم بميكانيكيتين تعتمد على اتجاه انزياح الجدار.

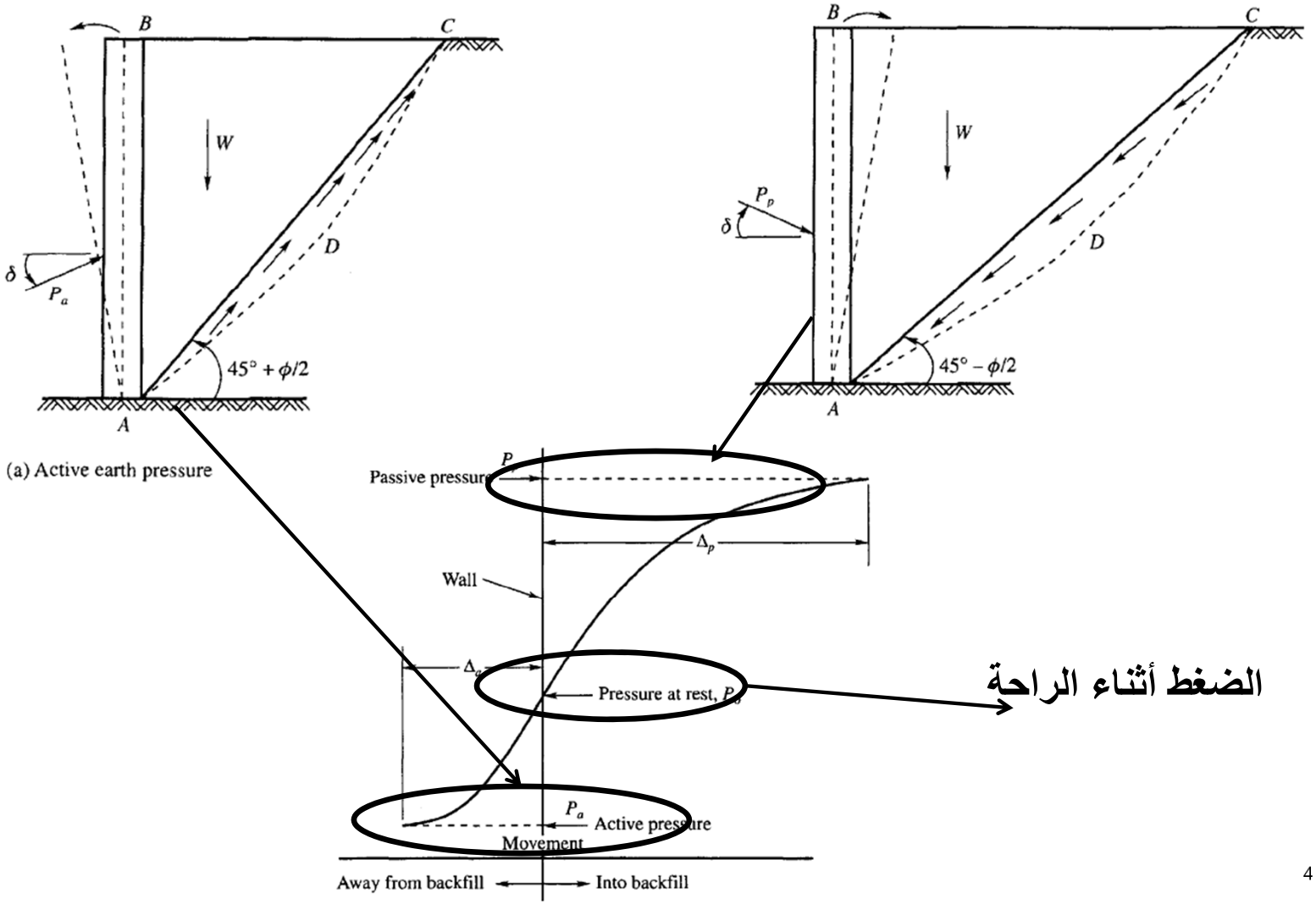
-إذا كان انزياح الجدار عن التربة المردومة فإن الانهيار الناتج يدعى **ايجابي.**

-الانهيار **السلبي** يحدث إذا كان الجدار يتحرك تجاه الردم حتى يحصل الانزياح الحدي.

-عندما لايحدث انزياح للجدار، فإننا نسمي ضغط التربة الجانبي **عند الراحة و** يقدر من التوازن المرن أو القياسات الحقلية.

-بشكل عام هناك نظريات أساسية تستخدم لتقدر الضغط الجانبي للتربة.


+ΔH
−ΔH
σh (at-rest)
σh (active)
σh (passive)
Soil failure wedge
Soil failure wedge
Height = H
Height = H
Height = H
(a)
(b)
(c)



الضغط أثناء الراحة

طريقة Rankine و Terzaghi و Peck:

نظرية Rankine تفترض الجدار **طويل** و**أملس السطح** و**شاقولي** وبذلك يزداد الضغط الجانبي بشكل خطي مع العمق. هذا التحليل، بالرغم من أنه مناسب، إلا أنه يفرض حدودا للاستخدام حيث لا يصلح لكل الحالات الموجودة.

من أجل جدار باحتكاك مناسب أو إذا كان هناك سطح تربة غير منتظم، يطبق تحليل الجناح التابع لكولومب بالتوافق مع المخططات الناتجة عن Terzaghi & Peck (1967).

في هذه الطريقة توزع الضغط الجانبي الفعلي لايحدد ولكن، بالاعتماد على البيانات التجريبية، يحدد موقع محصلة هذا الضغط. إلا أنه، للجدران الطويلة الاحتكاكية مثل الصفائح الوتدية، تطبق نظرية Rankine باستخدام معامل ضغط التربة الذي نحصل عليه من تحليل جناح Coulomb.

ضغط التربة أثناء الراحة:

معامل ضغط التربة أثناء الراحة:

إن قيمة الضغط الجانبي يعتمد على:

1) نوع الجدار، 2) مقدار انزياح الجدار، 3) نوع الردم الترابي، 4) ظروف التصريف خلف الجدار، 5) مقدار الحمولة الخارجية المطبقة على السطح.

عند عدم وجود أي تمدد جانبي أو ضغط جانبي للتربة، تعرف الحالة الاجهادية ضمن التربة بأنها **أثناء الراحة**. وبما أن الاجهاد ثنائي البعد المتوضع مباشرة خلف الجدار الاستنادي غير محدد وبما أنه فقط الاجهاد الفعال الشاقولي يكن أن يحدد في حالات بسيطة، فإن في نصف الفراغ الاجهاد الفعال الشاقولي على عمق z يحدد بالمعادلة:

حيث γ الوزن الحجمي للتربة و u الضغط المسامي $\sigma'_z = \gamma * z - u$

على العمق z.

للتربة المرنة الايزوتروبية المتجانسة والتي تشوهها الجانبي يساوي الصفر

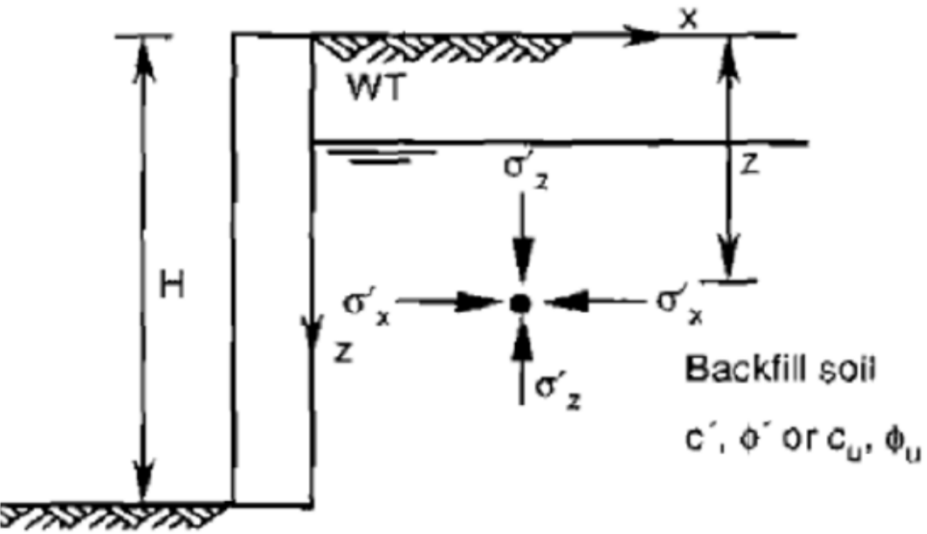
الاجهاد الجانبي σ'_x يعبر عنه بالمعادلة:

$$\sigma'_x = \frac{\mu}{1-\mu} * \sigma'_z = k_0 * \sigma'_z \qquad (3.1)$$

μ هي نسبة بواسون

K_0 معامل ضغط التربة في ظروف الراحة.

المعادلة 3.1 تبين أن التشوه المحوري ε_x و $\varepsilon_y = 0$.



الشكل 1: الحالة الاجهادية للتربة خلف الجدار الاستنادي

مقدار k_0 تتغير من 0.42 إلى 0.66 وذلك حسب نوع التربة، درجة ارتصاصها، خواص لدونتها، ودرجة اضطرابها (Bishop, 1958).

للترب المنضغطة طبيعيا التي تماسكها يكون صفر خلال القص المصرف، قيمة k_0 تحسب من المعادلة العامة التالية (Jaky, 1948):

$$k_0 = 1 - \sin\phi' \qquad (3.2)$$

للترب overconsolidated قيمة k_0 أعلى من المعطاة في المعادلة 3.2.

اقترح Alpan (1967) العلاقة التالية:

$$\frac{k_{0.OCR}}{k_{0.NC}} = (OCR)^n \qquad (3.3)$$

حيث OCR نسبة overconsalidating و n رقم يعتمد على خواص لدونة التربة. أعطى Wroth & Houlsby (195) قيمة n=0.42 للتربة ذات قرينة اللدونة PI≤40%، و n=0.32 للترب عالية اللدونة PI>40%.

بعد تحليل لعدة بيانات فرض Mayne & Kulhawy(1982) أن n=sinΦ' لذلك يكون:

$$k_{0(OCR)} = (1 - \sin\phi')(OCR)^{\sin\phi'} \qquad (3.4)$$

القياسات الحقلية المستخدمة لتحديد k_0 تتضمن استخدام القياسات الحقلية SPT و CPT التي تعطي علاقات تجريبية ولكن هناك تبعثر واسع في النتائج، بشكل خاص للغضاريات الطرية (Kulhawy et al. 1989).

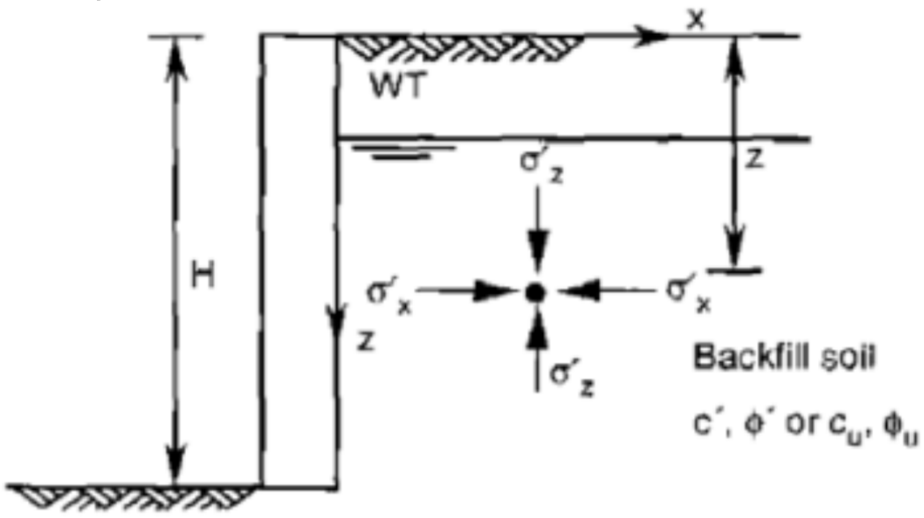
نظرية رانكين لضغط التربة الايجابى والسلبى:

مفهوم حالتى الاجهاد السلبى والايجابى وانزياح الجدار:

نظرية رانكين لضغوط التربة السلبية والايجابية تتطلب جدار أملس وتفرض توزع خطي لضغط التربة الجانبي.

تحليل Coulomb كان نقطة تحول في حساب محصلة الضغط الجانبي وتحديد نقطة تطبيقها خلف الجدار الاحتكاكي (Peck, 1990).

نعتبر الجدار الاستنادي المبين في الشكل 1، أنه يتعرض لازاحة أفقية بعيدة عن التربة المحجوزة. هذه الازاحة تسبب تشوها كبيراً ضمن التربة المحجوزة حيث الحجم المتأثر من التربة يتعلق بارتفاع الجدار الاستنادي.



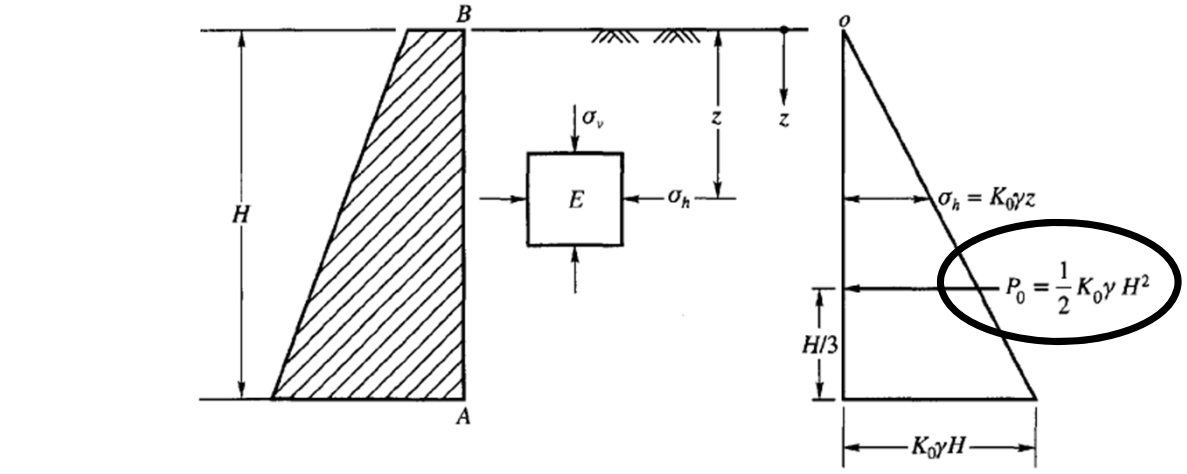
الشكل 1 الحالة الاجهادية خلف الجدار الاستنادي

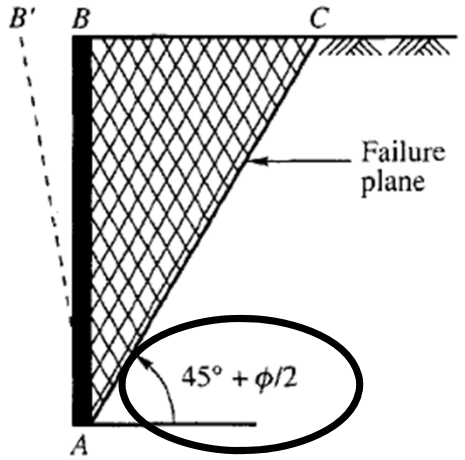
إذا لم يكن هناك حمولة سطحية فإن مقدار الاجهاد الفعال الشاقولي (المعروف $\sigma'_z=\gamma*z-u$) يبقى ثابتا.

بوجود الحمولة السطحية q، الاجهاد الفعال يزداد وفق Boussinesq.

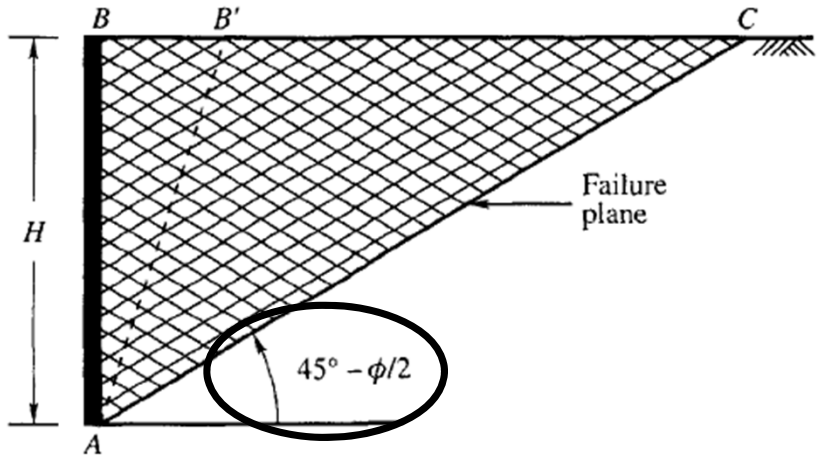
عند الانهيار، المشاركة الشاقولية للحمولة السطحية عند كل نقطة تكون q. خلال حدوث الانزياح الجانبي، يزداد قطر دائرة مور للاجهادات حتى الوصول للانهيار، حيث تكون مماسة لمغلف الانهيار.

الاجهادات الجانبية، التي هي ضغط التربة الجانبية تصبح أصغرية عند كل نقطة على طول الجدار وتسمى الضغط الايجابي للتربة الذي يرمز للحالة الايجابية من الانهيار خلف الجدار الاستنادي.





(c) Local active failure

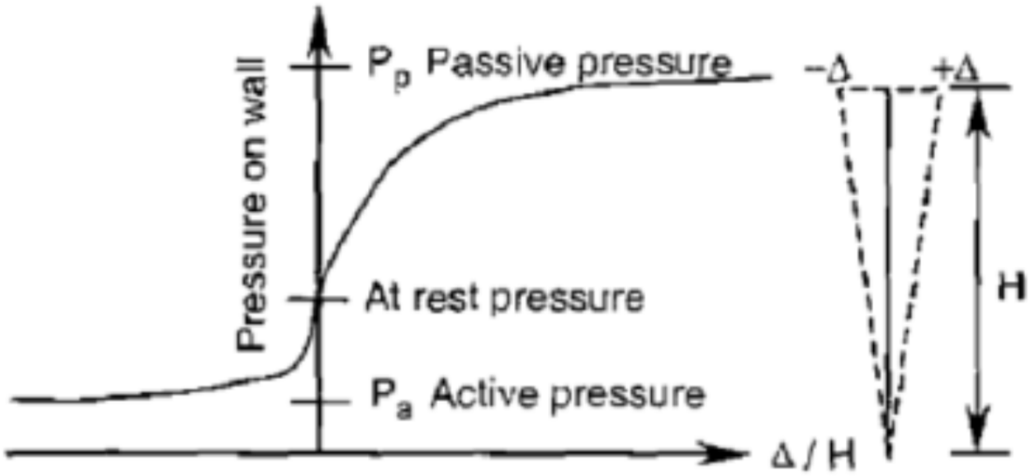


(d) Local passive failure

للجدار الطويل الأملس السطح، الاجهادات الرئيسية الأعظمية تكون شاقولية ($\sigma'_1=\gamma*z-u$). الاجهادات الرئيسية الأصغرية تمثل ضغط التربة الايجابي الذي يتصرف أفقياً. قيمة هذا الضغط يمكن أن نحصل عليه من العلاقة بين σ'_1 و σ'_3 عند الانهيار (المعادلات (*) و (**)).

$$\sigma_1' = \sigma_3' * \tan^2(45° + \phi'/2) + 2c' \tan(45° + \phi'/2) \qquad (*)$$

$$\sigma_3' = \sigma_1' * \tan^2(45° - \phi'/2) - 2c' \tan(45° - \phi'/2) \qquad (**)$$



إذا تحرك الجدار باتجاه الردم فإن الضغط الجانبي سوف يزداد، يصل لقيمته العظمى التي تسمى الضغط السلبي للتربة. هذا يمثل الانهيار السلبي خلف الجدار حيث الاجهادات الفعالة الشاقولية تمث الاجهادات الرئيسية الأصغرية ($\sigma'_3=\gamma*z-u$)، والاجهادات الرئيسية الأعظمية الأفقية تمثل ضغط التربة السلبي.

مقدار الضغط عند أي عمق يمكن أن يحسب بتعويض σ'_3 في المعادلة * أو **.

توزع ضغط التربة الخطي للجدار الناعم وسطح التربة الأفقي:

يزود الشكلان 3a و 3b توضيح لشروط الانهيار الايجابي والسلبي بينما الحالة الاجهادية مبينة في الشكل 3c.

ميلان مستوي الانهيار عن السطح الأفقي

هو $45°+\Phi/2$ للحالات الايجابية و $45°-\Phi/2$ للحالات السلبية.

للحالة الايجابية، ضغط التربة الجانبي

عند العمق z هو $\sigma'_3=p_a$ و $\sigma'_1=\sigma'_z=\gamma*z-u$.

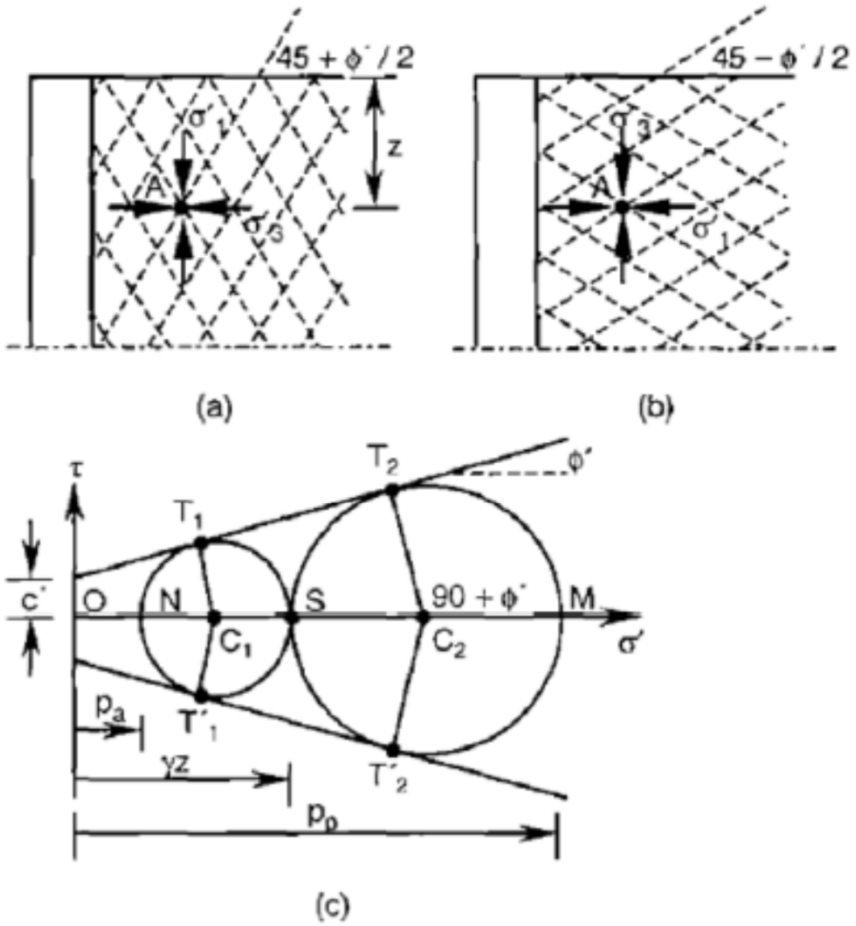
نعوض هذا في المعادلة (*) فنحصل على:

$$p_a=\sigma'_z*\frac{1-\sin\phi'}{1+\sin\phi'}-2c'\sqrt{\frac{1-\sin\phi'}{1+\sin\phi'}}\rightarrow p_a=\sigma'_z*k_a-2c'\sqrt{k_a} \qquad (3.5)$$

حيث:

K_a معامل ضغط التربة الجانبي الايجابي ويعطى بالعلاقة:

$$k_a=\frac{1-\sin\phi'}{1+\sin\phi'}=\tan^2(45°-\phi'/2) \qquad (3.6)$$



الشكل 3: الحالات الاجهادية السلبية والايجابية خلف جدار استنادي طويل وأملس

إذا طبقت حمولة شاقولية موزعة بانتظام q على سطح الردم الطبيعي عندها يكون:

$$p_a = (\sigma'_z + q) * k_a - 2c'\sqrt{k_a} \qquad (3.7)$$

الشكل العام لضغط التربة الجانبي في الحالة السلبية:

$$p_p = (\sigma'_z + q) * k_p + 2c'\sqrt{k_p} \qquad (3.8)$$

حيث k_p هو معامل ضغط التربة الجانبي السلبي:

$$k_p = \frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'} = \tan^2(45° + \phi'/2) \qquad (3.9)$$

المعادلتان 3.7 و 3.8 تقدر الزيادة الخطية في ضغط التربة الجانبي مع ازدياد العمق z. بفرض أن نفس التوزع يطبق على جدار بطول محدود، فإنه لتربة متجانسة بدون ماء في الردم يكون، $\sigma'_z = \gamma * z$. المحصلة السلبية أو الايجابية الكلية لضغط التربة الجانبي خلف الجدار:

$$P_a = 0.5 * \gamma * H^2 * k_a + q * H * k_a - 2c' * H * \sqrt{k_a} \qquad (3.10)$$

$$P_p = 0.5 * \gamma * H^2 * k_p + q * H * k_p + 2c' * H * \sqrt{k_p} \qquad (3.11)$$

من أجل الغضار المشبع ضعيف التماسك فإن بارامترات مقاومة القص غير المصرف هي c_u و $\Phi_u = 0$ فعندها يكون $k_a = k_p = 1$.

يبين الشكل 4 توزع ضغط التربة الجانبي الايجابي خلف الجدار الأملس.

يمثل الشكل 4a الحالة حيث لايوجد حمولة سطحية.

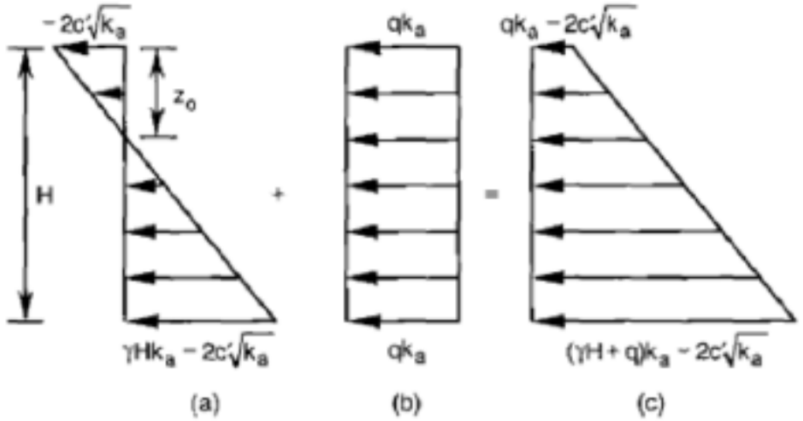
عند z=0 تتعرض التربة خلف الجدار لاجهاد

شد أعظمي هو: $2c' * \sqrt{k_a}$

اجهاد الشد يتناقص مع العمق ويصبح صفر عند العمق z_0

بما أنه من الشائع أن نتجاهل مقاومة الشد للتربة،

ومعيار الانهيار لايطبق من أجل اجهادات شد ناظمية.



الشكل 4: توزع ضغط التربة الجانبي الايجابي خلف جدار استنادي أملس

يبين الشكل 4b تأثير الحمولة السطحية على شكل ضغط جانبي منتظم يساوي $q*k_a$.

إن اجتماع تأثيرات الوزن الذاتي والحمولة السطحية مبين في الشكل 4c. إن المساحة بين الخط الممثل لضغط التربة والمحور الشاقولي تساوي المحصلة الايجابية الكلية.

إذا لم يكن هناك ضغط هيدروستاتيكي، الاجهادات الفعالة الشاقولية الموافقة لـ z_0 هي: $\sigma'_z=\gamma*z_0$. عند تعويض هذا في المعادلة 3.7 وجعل الضغط الايجابي يساوي الصفر نحصل على:

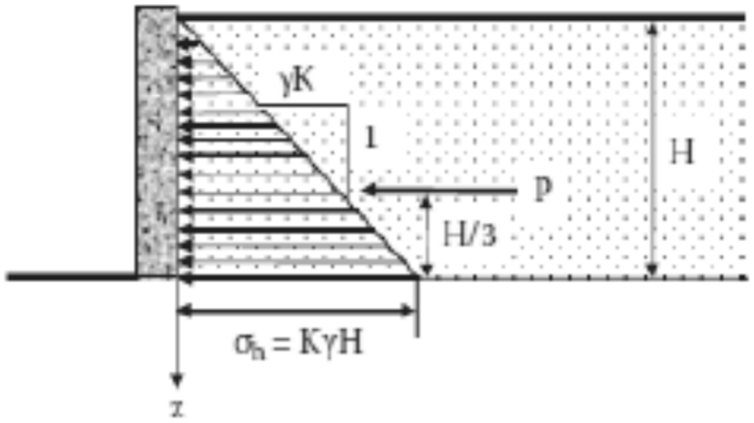
$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{k_a}} - \frac{q}{\gamma} = \frac{2c'\tan\left(45° + \frac{\phi'}{2}\right)}{\gamma} - \frac{q}{\gamma} \qquad (3.12)$$

الحالات التي يمكن أن تصادفنا في الضغط الجانبي على الجدران الاستنادية:

سنفرض أن معامل الضغط الجانبي K بغض النظر عن الايجابي أو السلبي أو الراحة.

حالة الردم جاف و c=0:

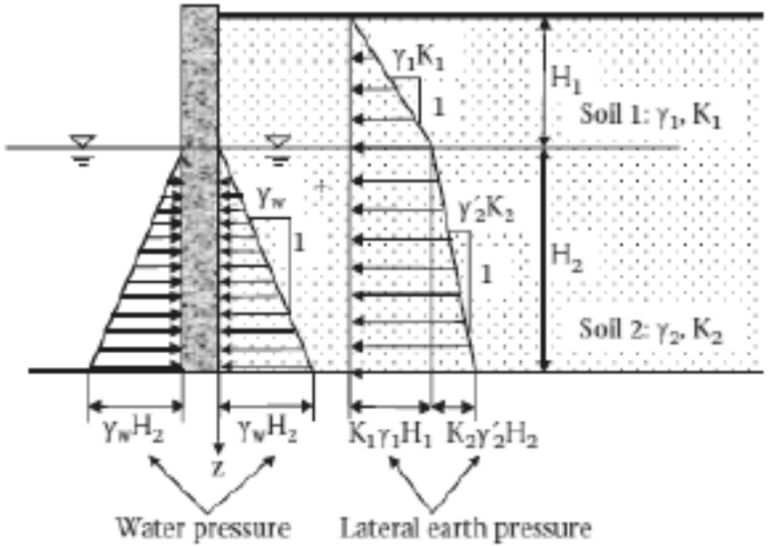
يبين الشكل، توزع الضغط الجانبي مثلث، ونقطة التطبيق عند ثلث الارتفاع بدءا من قاعدة الجدار.



الماء ضمن تربة الردم:

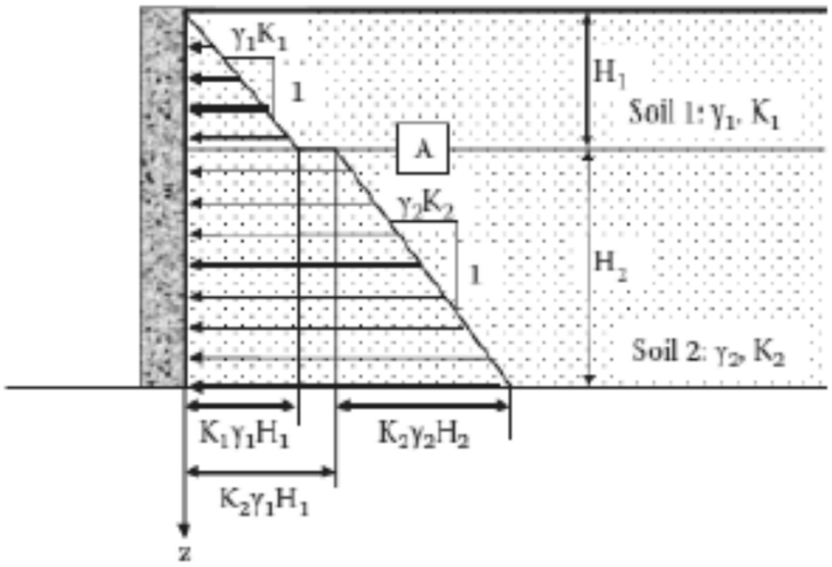
في هذه الحالة، يؤخذ الوزن الحجمي المغمور لحسابات ضغط التربة تحت منسوب المياه الجوفية، كما يبين الشكل. نلاحظ أن هناك قيما متساوية من الضغط الهيدروستاتيكي على طرفي الجدار.

فإذا كان منسوب المياه مختلفاً على طرفي الجدار يكون الضغط الهيدروستاتيكي مختلفاً على طرفي الجدار.



طبقات متعددة من التربة و c=0:

إذا كان هناك طبقتي تربة مختلفتين في الردم فإن $K_1 \neq K_2$، توزع الضغط الجانبي لا يكون مستمرا كما في الشكل التالي



هناك نوعان مختلفان من الضغط عند النقطة الحدية A، بما أن قيم Kمختلفة وذلك حسب نوع التربة على الجوانب (K_1 للطبقة الأولى و K_2 للطبقة الثانية) ولذلك،

فوق النقطة A تماما

$$\sigma_{h,A} = K_1 \gamma_1 H_1 \qquad (1)$$

تحت النقطة A تماما

$$\sigma_{h,A} = K_2 \gamma_1 H_1 \qquad (2)$$

وعند قاعدة الجدار يكون:

$$\sigma_{h,base} = K_2(\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2) \qquad (3)$$

هذا المفهوم يمكن أن يطبق بسهولة لأكثر من طبقة حتى بوجود المياه الجوفية.

طبقات ردم متعددة c≠0:

بما أن c≠0 فسوف يكون هناك نطاق شق شد قرب سطح الأرض

في الحالات الايجابية فقط ولن تكون

في الحالات السلبية، كما يبين الشكل

حالات للضغط السلبي والضغط الايجابي

بشكل منفصل.

قيمة الضغط الجانبي عند كل

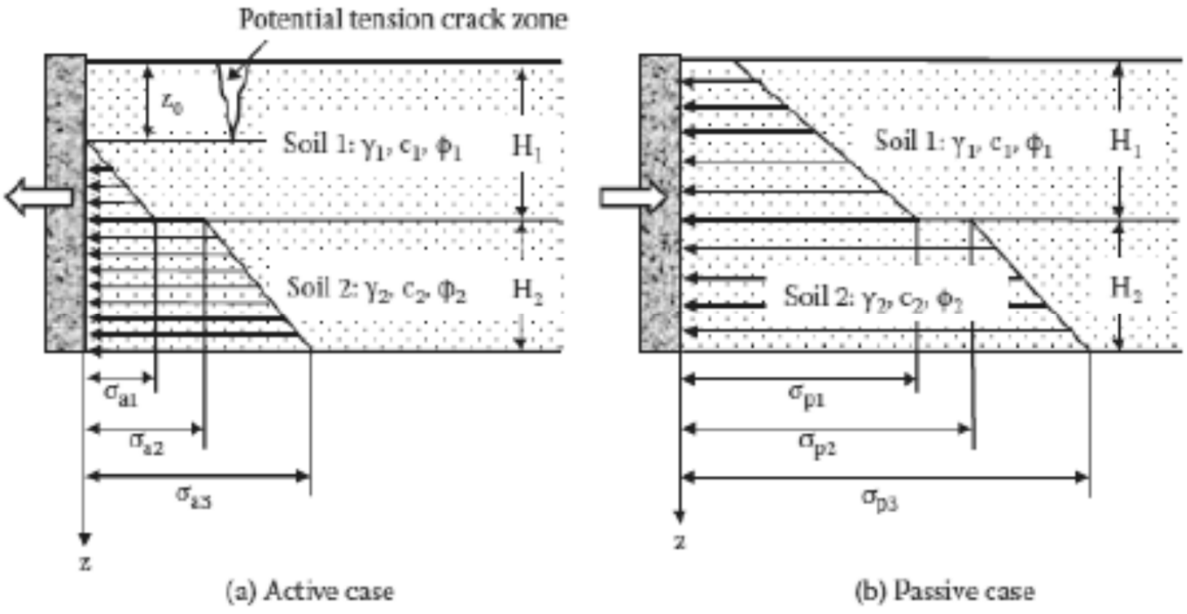
مستوى في الشكل المجاور

تحسب بالاعتماد على المعادلات

(1*) للضغط الايجابي و (2*) للضغط

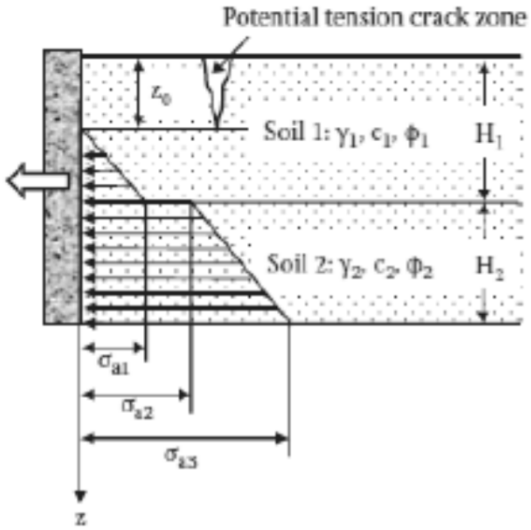
السلبي.

وبتطبيق خواص الترب لكل طبقة وفق مايلي:

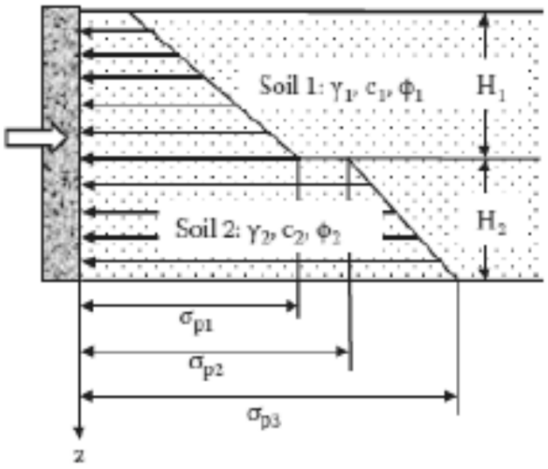


$$\sigma_3 = \sigma_{h,a} = \gamma * z * \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} - 2c * \frac{\cos\varphi}{1+\sin\varphi} = \gamma * z * \tan^2(45° - \frac{\varphi}{2}) - 2c * \tan(45° - \frac{\varphi}{2}) \qquad (*1)$$

$$\sigma_3 = \sigma_{h,p} = \gamma * z * \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} + 2c * \frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi} = \gamma * z * \tan^2(45° + \frac{\varphi}{2}) + 2c * \tan(45° + \frac{\varphi}{2}) \qquad (*2)$$



(a) Active case



(b) Passive case

في الحالة الايجابية:

$$\sigma_{a,1} = \gamma_1 * H_1 * \tan^2(45° - \frac{\varphi_1}{2}) - 2c_1 * \tan(45° - \frac{\varphi_1}{2}) \quad (4.23)$$

$$\sigma_{a,2} = \gamma_1 * H_1 * \tan^2(45° - \frac{\varphi_2}{2}) - 2c_2 * \tan(45° - \frac{\varphi_2}{2}) \quad (4.24)$$

$$\sigma_{a,3} = (\gamma_1 * H_1 + \gamma_2 * H_2) * \tan^2(45° - \frac{\varphi_2}{2}) - 2c_2 * \tan(45° - \frac{\varphi_2}{2}) \quad (4.25)$$

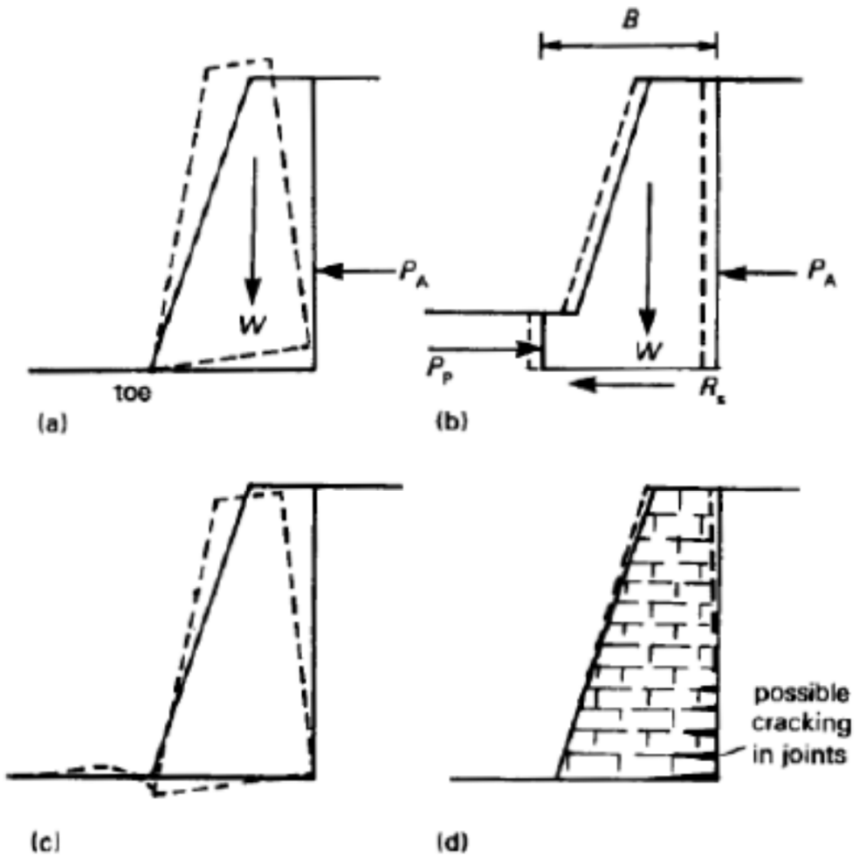
في الحالة السلبية:

$$\sigma_{p,1} = \gamma_1 * H_1 * \tan^2(45° + \frac{\varphi_1}{2}) + 2c_1 * \tan(45° + \frac{\varphi_1}{2}) \quad (4.26)$$

$$\sigma_{p,2} = \gamma_1 * H_1 * \tan^2(45° + \frac{\varphi_2}{2}) + 2c_2 * \tan(45° + \frac{\varphi_2}{2}) \quad (4.27)$$

$$\sigma_{p,3} = (\gamma_1 * H_1 + \gamma_2 * H_2) * \tan^2(45° + \frac{\varphi_2}{2}) + 2c_2 * \tan(45° + \frac{\varphi_2}{2}) \quad (4.28)$$

استقرار الجدران الاستنادية



الشكل 30: أنماط انهيار الجدران الاستنادية

a) انقلاب b) انزلاق c) انهيار التحمل في التربة تحت الأساس d) الشد في التشققات

شروط استقرار الجدران الكتلية:

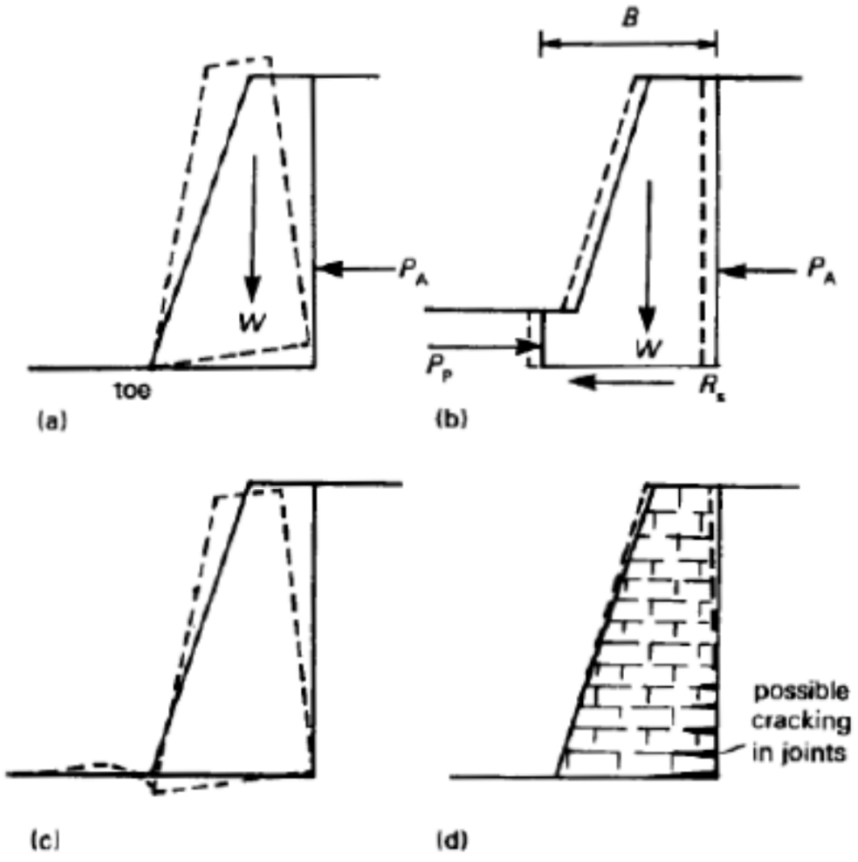
في تصميم الجدران الاستنادية هناك عدد من احتمالات الانهيار يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار. من أجل التحقق من استقرار الجدار الخارجي، يعامل الجدار كأنه وحدة متراصة صلبة (أي لا يوجد خضوع داخلي أو انهيار). في بعض انواع المنشآت قد نحتاج من التحقق على الاستقرار الداخلي مثل الجدران البيتونية المسلحة، الجدران الترابية المسلحة. تعتمد الجدارن الكتلية بشكل أساسي على وزنها الذاتي للاستقرار الخارجي الشكل وعادة نتحقق على الحالات الحدية التالية:

a) الانقلاب (عامل الأمان المنصوح به 2 =)

b) الانزلاق للأمام (عامل الأمان المنصوح به 2 =)

c) انهيار قدرة التحمل تحت قاعدة الجدار (عامل الأمان المنصوح به 3 =)

d) حدوث الشد في الوصلات الجانبية (كما تتواجد بين قطع البلوك في جدران البلوك)



الشكل 30: أنماط انهيار الجدران الاستنادية

a) انقلاب b) انزلاق c) انهيار التحمل في التربة تحت الأساس d) الشد في التشققات

الانزلاق الأمامي:

يحدد معامل الأمان ضد الانزلاق (الشكل 30b) بأنه النسبة بين القوى الأفقية المقاومة والقوى الأفقية المسببة للانزلاق.

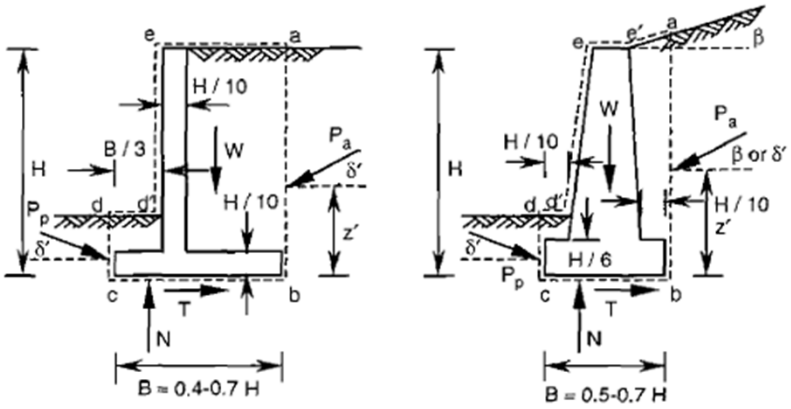
القوى المقاومة للانزلاق هي محصلة الضغط السلبي أمام

الجدار، قوى الالتصاق والاحتكاك بين القاعدة والتربة.

أما القوى المسببة فهي محصلة الضغط الايجابي التي باتجاه الانزلاق، ضغط الماء خلف الجدار

$$T = \frac{Bc_b + N\tan\delta_b}{F_s}$$

$$N = W + P_{av} + \frac{P_{pv}}{F_s} + Q$$



حيث: c_b التلاصق بين قاعدة الجدار والتربة، B عرض قاعدة الجدار

δ_b الاحتكاك بين قاعدةالجدار والتربة

P_{av} المركبة الشاقولية لمحصلة الضغط الايجابي على الجدار

P_{pv} المركبة الشاقولية لمحصلة الضغط السلبي على الجدار

Q محصلة القوى المطبقة على سطح الجدار

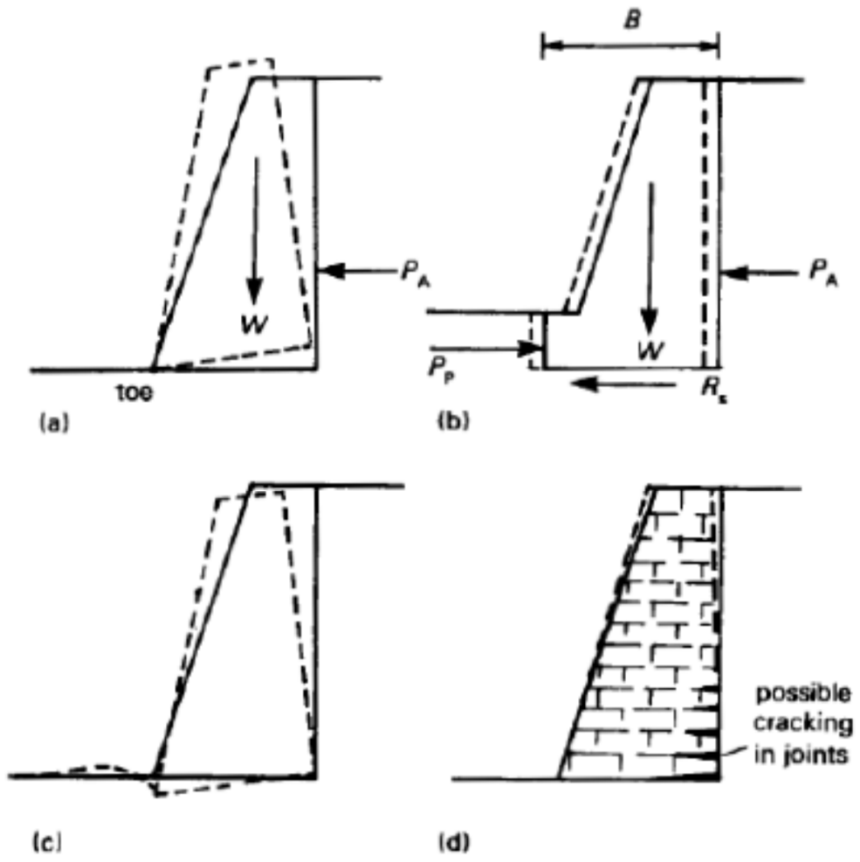
الانقلاب:

من المعتاد أن نفرض أن نمط الانقلاب حول مقدمة القدم (الشكل 30a). إن عامل الأمان يحدد كنسبة بين العزوم المثبتة M_s إلى العزوم القالبة M_o.

يجب أن لايقل عامل الأمان عن 2، وفي حال امكانية ارتفاع مستوى الماء الموجود خلف الجدار يجب أن يكون عامل الأمان على الأقل 2.5.

$$F_{OT} = \frac{\sum Stabilising\ Moments}{\sum Overturning\ Moments} \qquad (4.39)$$

وبشكل بديل نستخدم ضغوط التربة التصميمية ونحدد توازن الحالة الحدي.

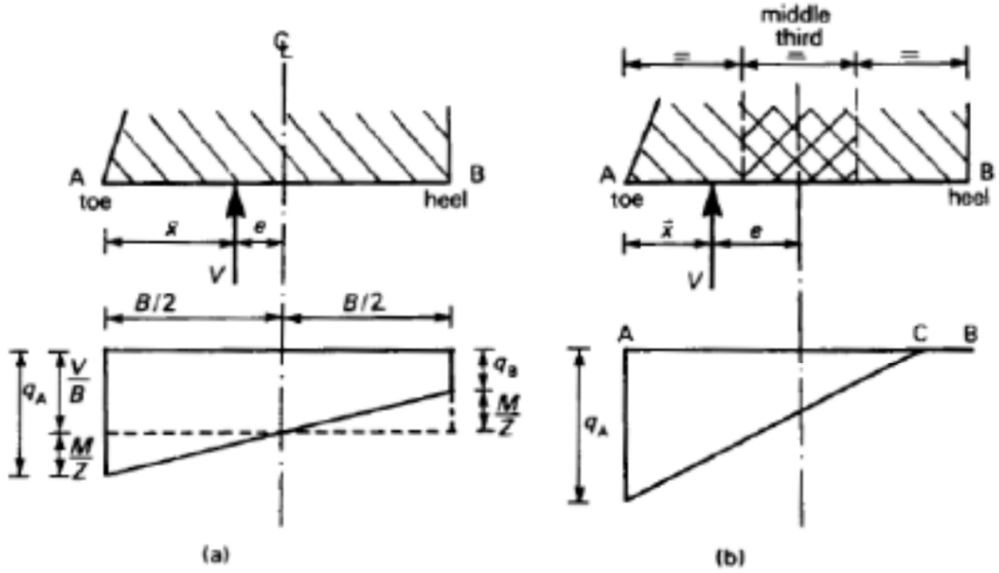


الشكل 30: أنماط انهيار الجدران الاستنادية

a) انقلاب b) انزلاق c) انهيار التحمل في التربة تحت الأساس d) الشد في التشققات

ضغط التحمل تحت الأساس:

أساس الجدار يجب أن يصمم ليضمن الحالة الحدية في التحمل. نستخدم معاملات قدرة التحمل لحساب قدرة التحمل المسموحة، بادخال معامل الأمان تقريبا 2.5-3. إن توزع ضغط تحمل التربة تحت الأساس يكون مستطيلا أو شبه منحرف (الشكل 31)، الضغط الأعظمي يحصل عادة تحت مقدمة القدم. هذه القيمة الأعظمية يجب أن لا تتجاوز قدرة التحمل المسموحة للتربة، وإلا يحصل هبوط أو خضوع شاقولي. في المرحلة الأولى من الحسابات، يحدد الموقع x لرد فعل التربة V ومن ثم اللامركزية e للقوة حول الخط المركزي.



الشكل 31: توزع ضغط تحمل التربة

a) شبه منحرف b) مثلث

يجب أن يكون

$$\sigma_{\max} \leq q_a$$

التوزع شبه المنحرف:

إذا كان رد فعل الرتبة ضمن الثلث الوسطي من القاعدة (e<B/6)، فإن توزع الضغط سوف يكون شبه منحرف، مع ضغط يمتد بين مقدمة القدم ومؤخرة القدم. ضغط تحمل التربة بين A و B عندها يعطى بالعلاقات:

$$q_B = \frac{V}{B} - \frac{M}{Z} \quad , \quad q_A = \frac{V}{B} + \frac{M}{Z}$$

ولكن:

$$Z = \frac{1 * B^2}{6} \quad , \quad M = V * e$$

وبالتالي يكون:

$$q_A = \frac{V}{B} + \frac{6 * V * e}{B^2}$$

$$q_B = \frac{V}{B} - \frac{6 * V * e}{B^2} \quad (*3)$$

التوزع المثلثي:

عندما يكون رد فعل التربة خارج الثلث الوسطي (عندما e≥B/6)،

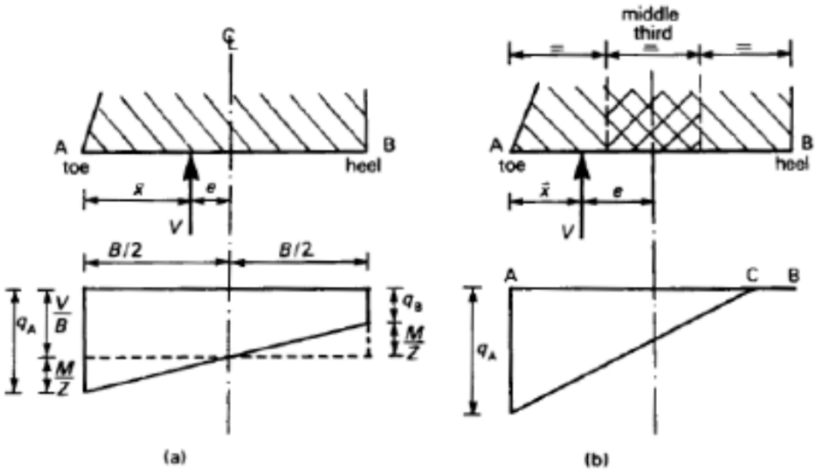
مخطط الضغط يكون مثلثا وضغط التحمل الأعظمي يكون:

$$q_A = \frac{2V}{3 * \bar{x}}$$

بين B و C ضغط التحمل يساوي صفر لأن الشد لايمكن أن يكبر بين التربة والأساس.

المسافة BC يمكن ان توصف بأنها عرض شق الشد.

عرض شق الشد = B-3$\bar{x}$



الشكل 31: توزع ضغط تحمل التربة

a) شبه منحرف b) مثلث

انهيار الشد في الوصلات:

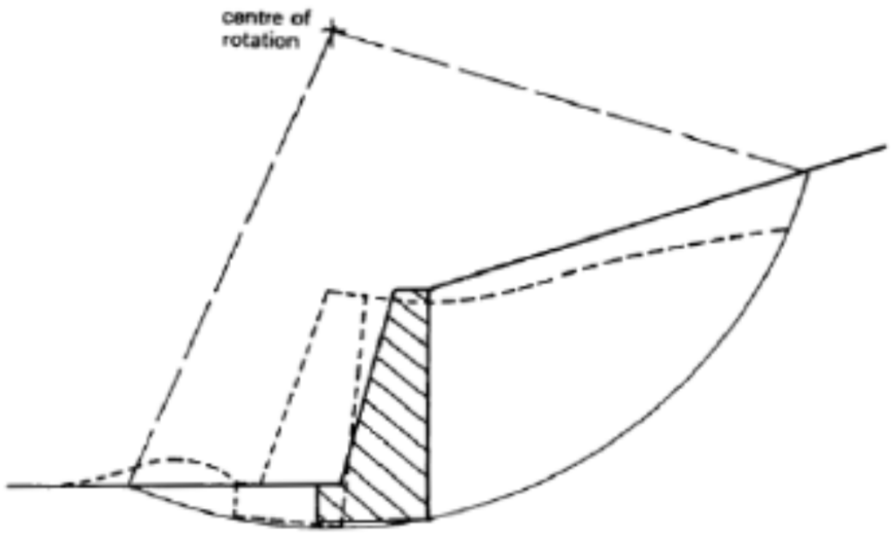
بالرغم من أن الشد لا يمكن أن ينمو أو يتطور بين التربة والأساس، يمكن أن يتطور في الوصلات الجانبية في جدران البلوك. الحسابات التي تعتمد على المعادلة (3*) إلا أنه في جدران البلوك من المفضل أن نحذف الشد في كل الوصلات الجانبية. هذه الطريقة الحدية تختبر بمعرفة موقع رد فعل التربة V. إذا كان V ضمن الثلث الوسطي من القاعدة، فإن توزع الضغط يكون شبه منحرف ولا يتواجد شد. يشار لهذا بأنه قاعدة الثلث الوسطي. (ليس مطلوب حسابه في مسائلنا)

انهيار الانزلاق الدوراني:

في الترب المتماسكة، خاصة حيث سطح التربة مائل للأعلى فوق الجدار،

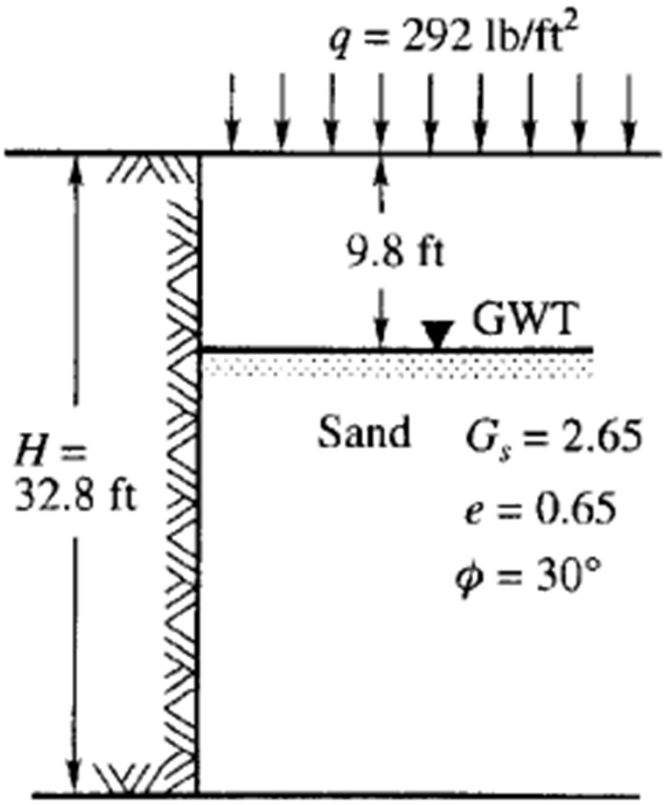
قد يكون هناك نمط انهيار على شكل انزلاق على سطح دائري يمرتحت قاعدة الجدار (الشكل 32).

يحصل هذا إذا نقصت مقاومة التربة للقص نتيجة الحت أو عندما يرتفع منسوب المياه خلف الجدار.



الشكل 32: انهيار الانزلاق الدوراني

مسألة 1:



للجدار الاستنادي المبين في الشكل المجاور ووفق المعطيات المبينة المطلوب:

1) ارسم مخطط الضغط للحالة الايجابية

2) حدد المحصلة بواحدة الطول من الجدار

الحل:

تحويل الواحدات:

$9.8ft = 3m$, $32.8ft = 10m$

$q = 292lb/ft^2 = 14kN/m^2$

من أجل قيمة $\Phi = 30°$ نحسب معامل الضغط الايجابي من العلاقة:

$$K_A = \frac{1-\sin 30°}{1+\sin 30°} = \frac{1}{3}$$

يمكن أن نحسب قيمة الوزن الحجمي الجاف من العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{G_s * \gamma_w}{1+e} = \frac{2.65*10}{1+0.65} = 16.06kN/m^3$$

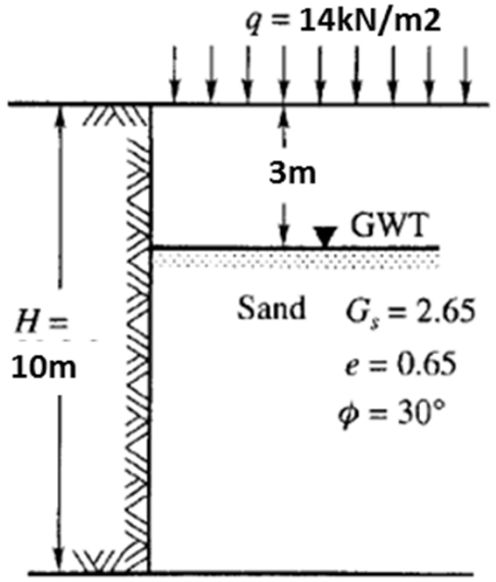
وقيمة الوزن الحجمي المغمور:

$$\gamma_{sub} = \frac{(G_s-1)*\gamma_w}{1+e} = \frac{(2.65-1)*10}{1+0.65} = 10kN/m^3$$

ويكون الوزن الحجمي المشبع

$$\gamma_{sat} = \gamma_{sub} + \gamma_w = 10+10 = 20kN/m^3$$

الآن نحسب قيم الضغط لكل مستوى كما يلي:

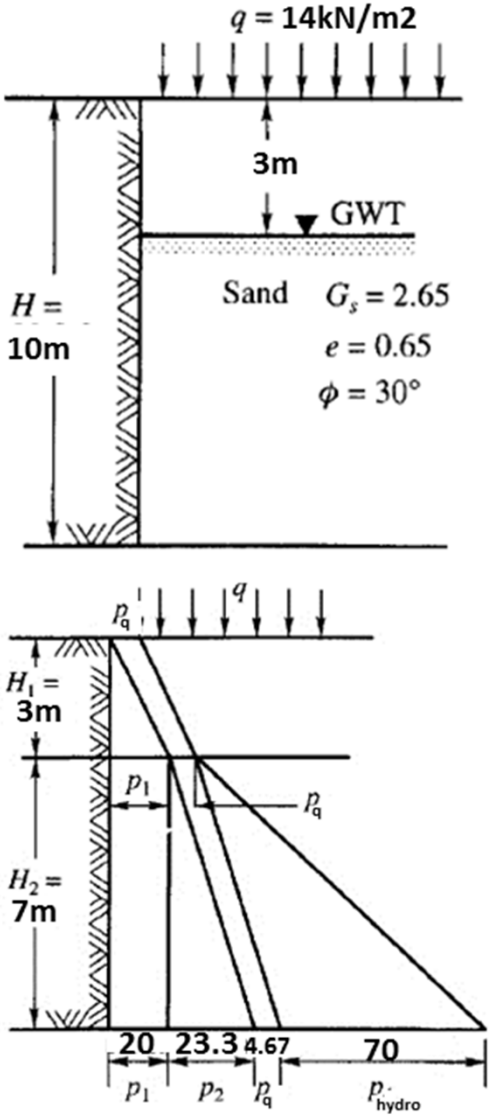


$$p_{(1)} = K_a * \gamma_{sat} * H_1 = \frac{1}{3} * 20 * 3 = 20kN/m^2$$

$$p_{(2)} = K_a * \gamma_{sub} * H_2 = \frac{1}{3} * 10 * 7 = 23.3kN/m^2$$

$$p_{(q)} = K_a * q = \frac{1}{3} * 14 = 4.67kN/m^2$$

$$p_{(hydro)} = (K_a)_w * \gamma_w * H_2 = 1*10*7 = 70kN/m^2$$



d) وبذلك نحسب الضغط الكلي من العلاقة:

$$p_{(total)} = \frac{1}{2} * p_1 * H_1 + p_1 * H_2 + \frac{1}{2} * p_2 * H_2 + p_q * (H_1 + H_2) + \frac{1}{2} p_{hydro} * H_2$$

وبالتعويض من المخططات والحسابات يكون الضغط الكلي على واحدة الجدار:

$$p_{(total)} = \frac{1}{2} * 20 * 3 + 20 * 7 + \frac{1}{2} * 23.3 * 7 + 4.67 * (3 + 7) + \frac{1}{2} * 70 * 7 = 543.25 kN/m$$

مسألة 2:

جدار استنادي ارتفاعه 7.32m.

التربة المحجوزة خلفه طمي رملي وزنه الحجمي $17.3kN/m^3$

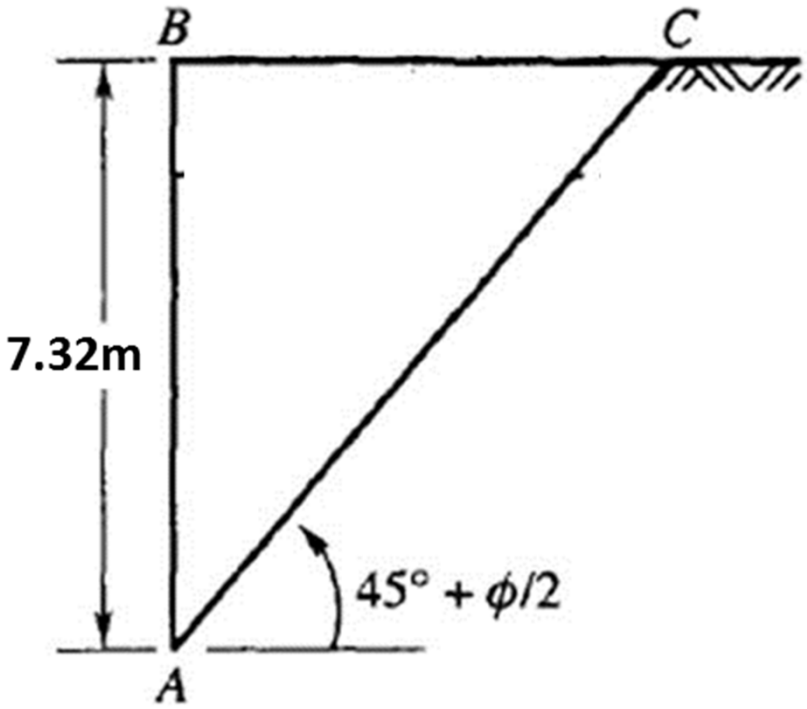
تماسكها $c=12kN/m^2$

$\Phi=20^\circ$

بإهمال احتكاك الجدار المطلوب:

حدد المحصلة الايجابية على الجدار

سطح الردم العلوي أفقي.

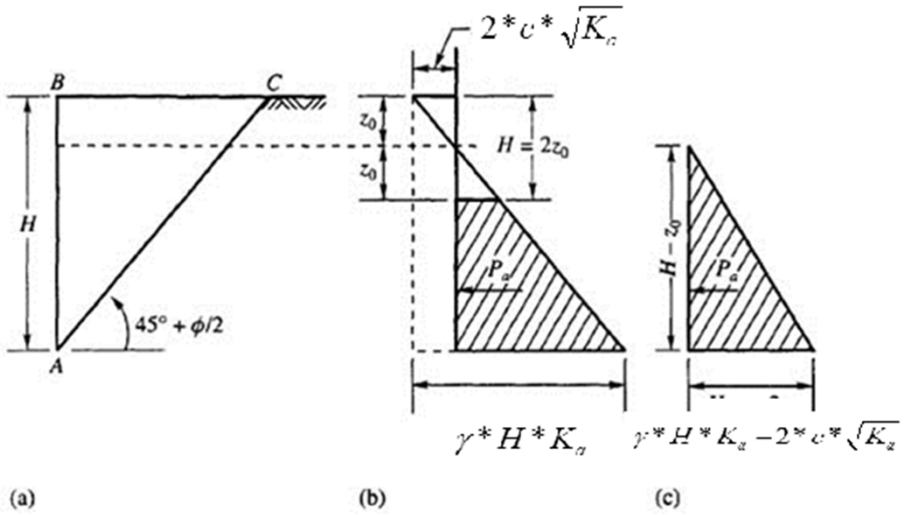


الحل:

نعتمد على العلاقة التالية: $p_a = \gamma * z * K_a - 2 * c * \sqrt{K_a}$ $2 * c * \sqrt{K_a}$

نحسب معامل الضغط الايجابي من العلاقة:

$$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-\sin 20^\circ}{1+\sin 20^\circ} = 0.49 \quad \Rightarrow \sqrt{K_a} = 0.7$$



نحسب قيمة الضغط عند السطح بتعويض قيمة z=0 في المعادلة السابقة ومنه يكون: $p_a = -2 * 12 * 0.7 = -16.8 kN/m^2$

أما عند قاعة الجدار فيصبح z=7.32 وبالتالي يكون الضغط:

$$p_a = 17.3 * 7.32 * 0.49 - 16.8 = 45.25 kN/m^2$$

وقبل حساب الضغط الكلي علينا تحديد قيمة z_0

حيث تنعدم قيمة الضغط عندما تكون $z_0 = z$ كما يلي:

$$p_a = \gamma * z_0 * K_A - 2c * \sqrt{K_A} = 0 \Rightarrow z_0 = \frac{2c\sqrt{K_A}}{\gamma * K_A} = \frac{2*12*0.7}{17.3*0.49} = 1.98m$$

الآن نحسب قيمة الضغط من العلاقة حيث كافأنا الشكل b بالشكل c وبالتعويض نجد:

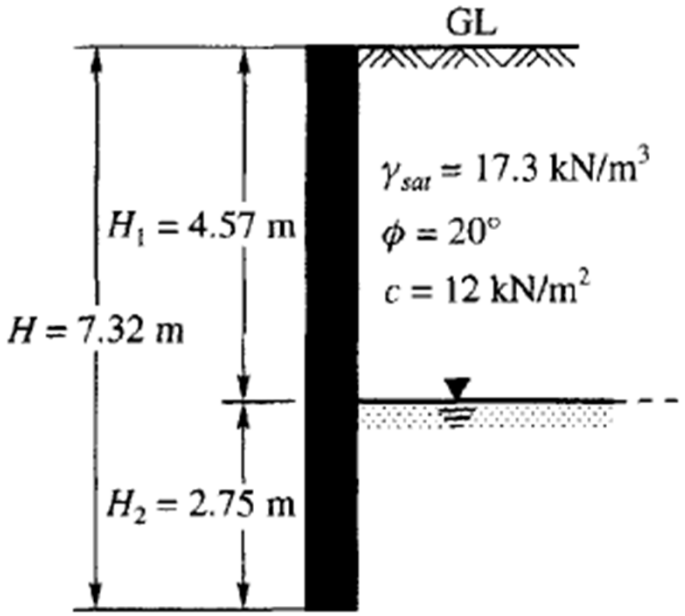
$$P_a = \frac{1}{2} * (\gamma * H * K_a - 2 * c * \sqrt{K_a})(H - z_0)$$

$$P_a = \frac{1}{2} * (17.3 * 7.32 * 0.49 - 2 * 12 * 0.7)(7.32 - 1.98) = 120.8 kN/m$$

مسألة 3:

أوجد محصلة القوة الجانبية الناتجة للجدار المبين (من المسألة رقم 2) بعد انسداد قنوات التصريف خلف الجدار وتجمع المياه لمنسوب 2.75m فوق قاعدة الجدار كما يبين الشكل.

باعتبار أن الوزن الحجمي للتربة هو مشبع.



الحل:

الآن نحدد الارتفاعات التالية:

$H_1 = 7.32\text{-}2.75 = 4.57m, \quad H_2 = 2.75m, \quad H_1\text{-}z_0 = 4.57\text{-}1.98 = 2.59m$

نجزأ الضغط إلى عدة أجزاء ونقوم بالحساب كما يلي:

الضغط فوق منسوب المياه الجوفية (1):

$$p_1 = \gamma_{sat} * H_1 * K_a - 2 * c * \sqrt{K_a} = 17.3 * 4.57 * 0.49 - 2 * 12 * 0.7 = 21.94 kN/m^2$$

الضغط تحت منسوب المياه الجوفية (2):

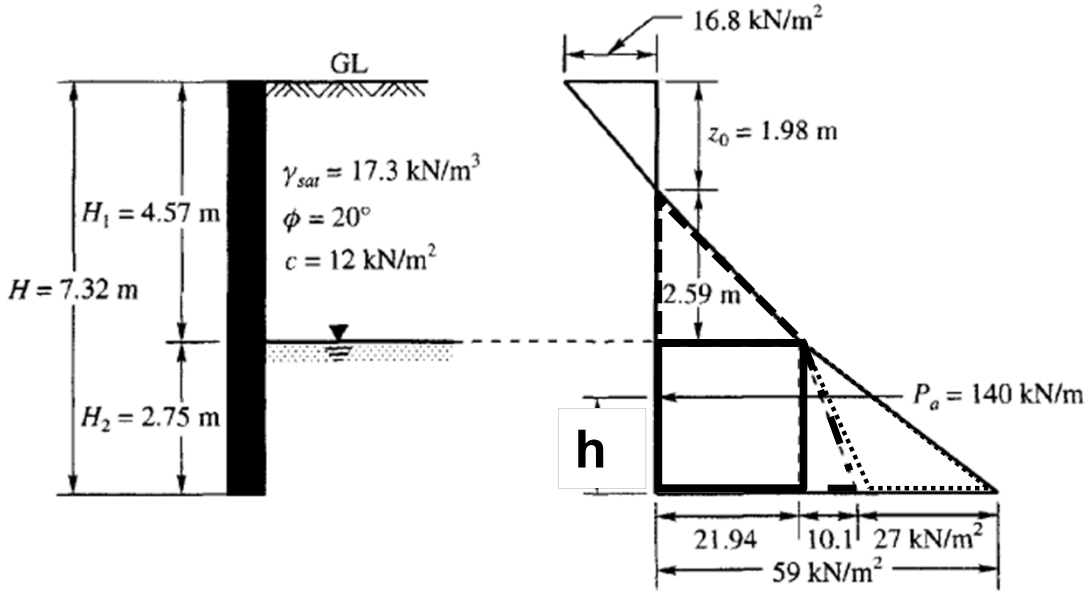
$$p_2 = \gamma_{sub} * H_2 * K_a = (17.3 - 9.81) * 2.75 * 0.49 = 10.1 kN/m^2$$

الضغط الهايدروستاتيكي الذي يتعرض له الجدار (3):

$$p_{hydro} = \gamma_w * H_2 = 9.81 * 2.75 = 27 kN/m^2$$

الآن نحسب قيمة الضغط الكلي من العلاقة التالية:

$$\frac{1}{2}\times 2.59\times 21.94+2.75\times 21.94+\frac{1}{2}\times 2.75\times 10.1+\frac{1}{2}\times 2.75\times 27$$



$$= 28.41 + 60.34 + 13.89 + 37.13 = 139.7 \text{ kN/m}$$

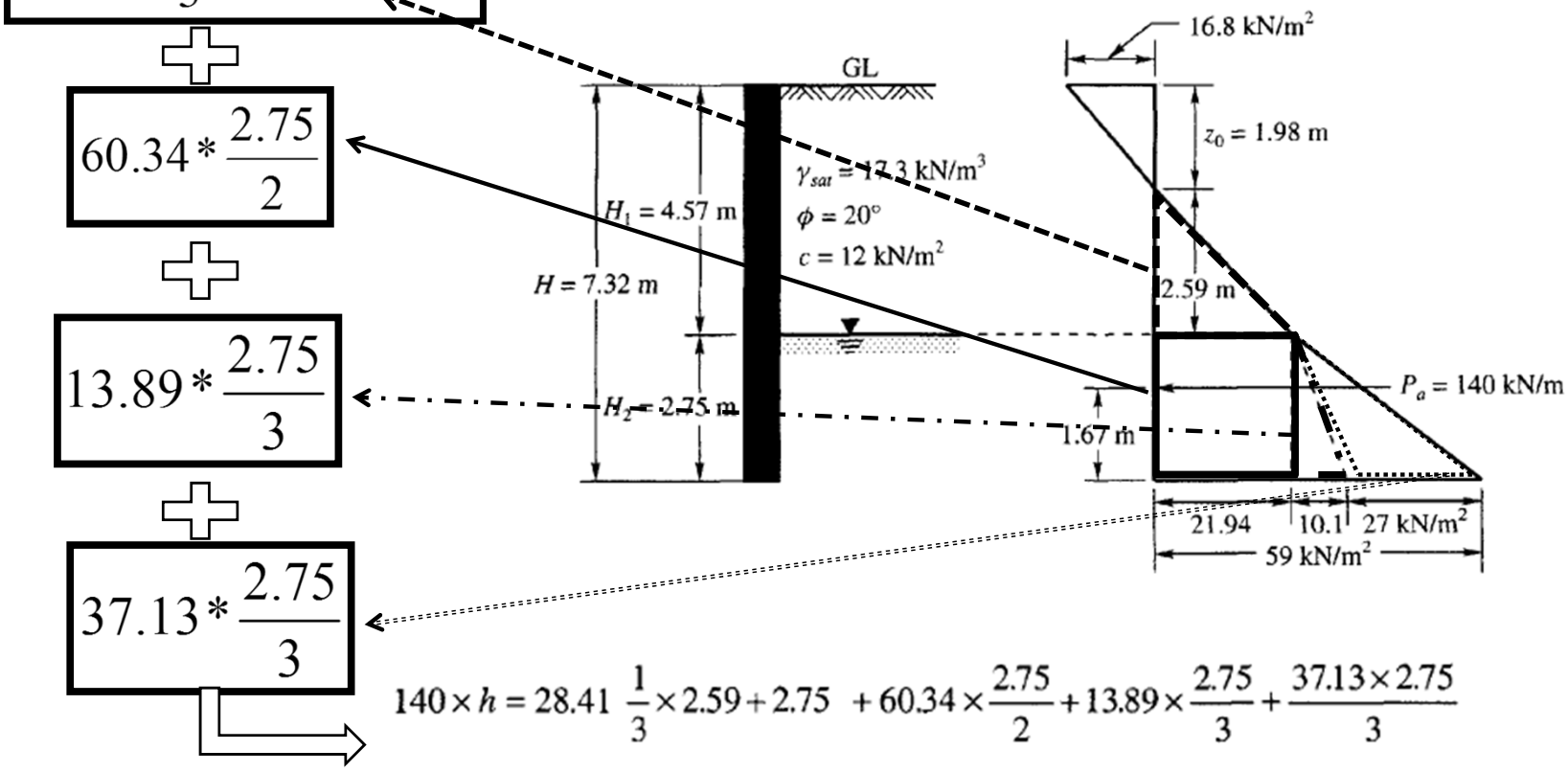
ولكي نحدد نقطة تطبيق المحصلة نأخذ العزوم حول القاعدة لكل مساحة من الضغط كما يلي:

$$28.41*(\frac{1}{3}*2.59+2.75)$$

$$60.34*\frac{2.75}{2}$$

$$13.89*\frac{2.75}{3}$$

$$37.13*\frac{2.75}{3}$$



$$140\times h = 28.41\left(\frac{1}{3}\times 2.59+2.75\right)+60.34\times\frac{2.75}{2}+13.89\times\frac{2.75}{3}+\frac{37.13\times 2.75}{3}$$

$$h=\frac{232.4}{140}=1.66\text{ m}$$

مسألة 4:

جدار بارتفاع 10m يحجز خلفه تربة غير متماسكة. عندما تكون حالة التربة متفككة تكون نسبة الفراغات 0.7 وزاوية الاحتكاك °30، وعندما تكون التربة مرتصة تكون نسبة الفراغات 0.4 وزاوية الاحتكاك °40. يؤخذ الوزن النوعي 2.7.

المطلوب حساب ومقارنة الضغط الايجابي والضغط السلبي لكلا الحالتين. علماً ان التربة مصرفة وجافة.

الحل:

الحالة الأولى: حيث e = 0.7، نحسب الوزن الحجمي الجاف للتربة من العلاقة التالية:

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{2.7}{1+0.7} \times 9.81 = 15.6 \text{ kN/m}^3$$

وبما أن Φ = 30°،

فيكون معامل الضغط الايجابي:

$$K_A = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-\sin 30^\circ}{1+\sin 30^\circ} = \frac{1}{3}$$

وبالتالي يكون الضغط الايجابي:

$$p_a = K_A \gamma_d H = \frac{1}{3} \times 15.6 \times 10 = 52 \text{ kN/m}^2$$

أما معامل الضغط السلبي فيكون:

$$K_P = \frac{1}{K_A} = 3$$

وبالتالي يكون الضغط السلبي:

$$p_p = K_P \gamma_d H = 3 \times 15.6 \times 10 = 468 \text{ kN/m}^2$$

الحالة الثانية: حيث e = 0.4، نحسب الوزن الحجمي الجاف للتربة من العلاقة التالية:

$$\gamma_d = \frac{2.7}{1+0.4} \times 9.81 = 18.92 \text{ kN/m}^3$$

وبما أن $\Phi = 40°$،

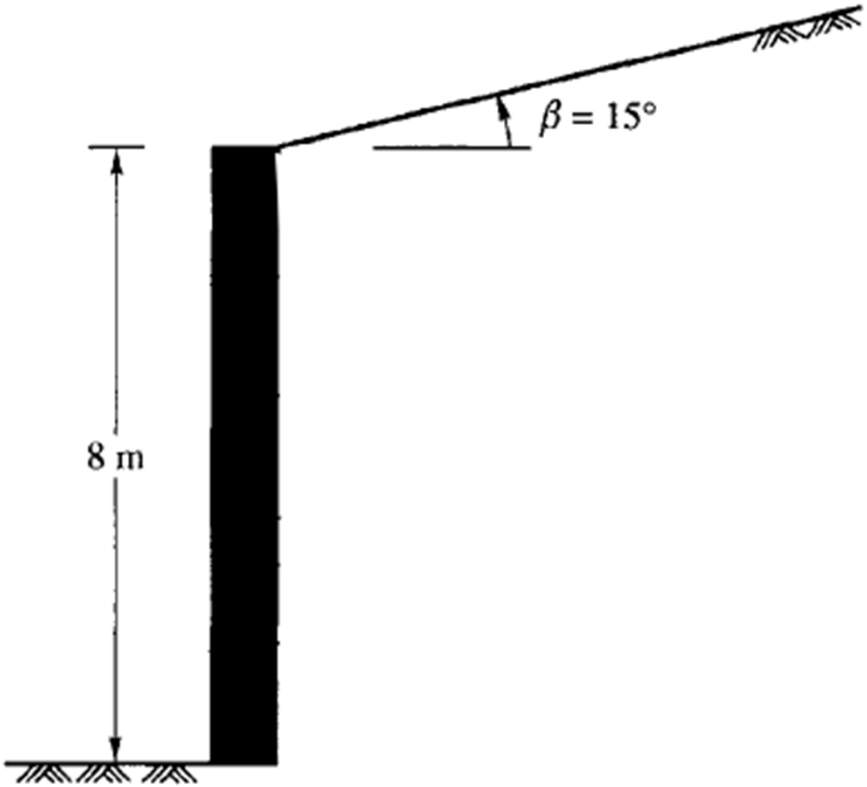
فيكون معامل الضغط الايجابي: $$K_A = \frac{1-\sin 40°}{1+\sin 40°} = 0.217,$$

وبالتالي يكون الضغط الايجابي: $$p_a = K_A \gamma_d H = 0.217 \times 18.92 \times 10 = 41.1 \text{ kN/m}^2$$

أما معامل الضغط السلبي فيكون: $$K_P = \frac{1}{K_A} = 4.6$$

وبالتالي يكون الضغط السلبي: $$p_p = 4.6 \times 18.92 \times 10 = 870.3 \text{ kN/m}^2$$

مسألة 5:



جدار بارتفاع 8m، يحجز خلفه رمل بكثافة $1.936Mg/m^3$ وزاوية الاحتكاك للرمل 34°

إذا كان سطح منحدر الردم مائلا للأعلى بزاوية 15° عن الأفق.

أوجد المحصلة الايجابية بواحدة الطول من الجدار

استخدم شروط رانكين.

الحل:

نعتمد على العلاقة التالية: $$P_a = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2$$

ولكن علينا أن نحسب معامل الضغط الايجابي من العلاقة: $$K_A = \cos\beta \times \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$$

بما أن $\beta = 15°$ فيكون:

$$\cos^2\beta = 0.933 \qquad \cos\beta = 0.9659$$

و $\Phi = 34°$ فيكون:

$$\cos^2\phi = 0.688$$

بالتعويض في المعادلة نجد:

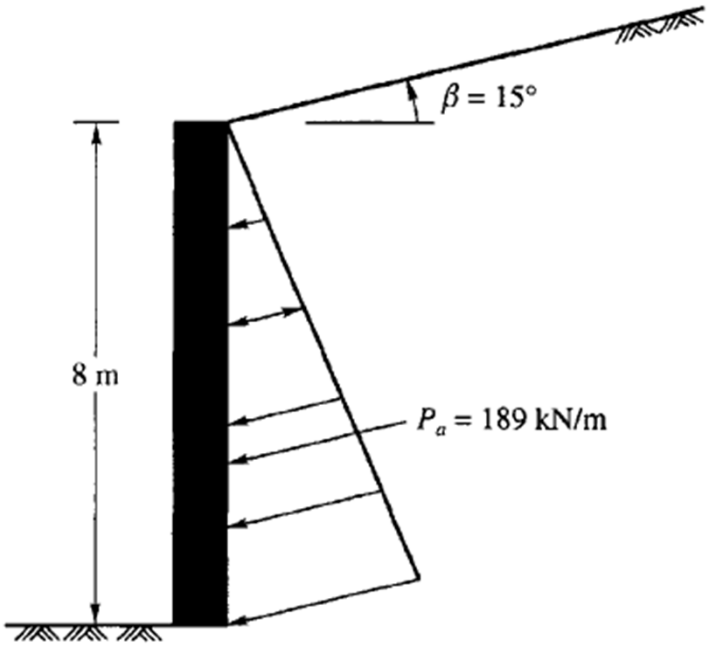
$$K_A = 0.966 \times \frac{0.966 - \sqrt{0.933 - 0.688}}{0.966 + \sqrt{0.933 - 0.688}} = 0.311$$

نحول واحدة الوزن الحجمي :

$$\gamma = 1.936 \times 9.81 = 19.0 \text{ kN/m}^3$$

فيكون:

$$P_a = \frac{1}{2} \times 0.311 \times 19(8)^2 = 189 \text{ kN/m wall}$$



مسألة 6:

جدار صلب استنادي ارتفاعه 6m، يحجز خلفه طبقتي تربة.

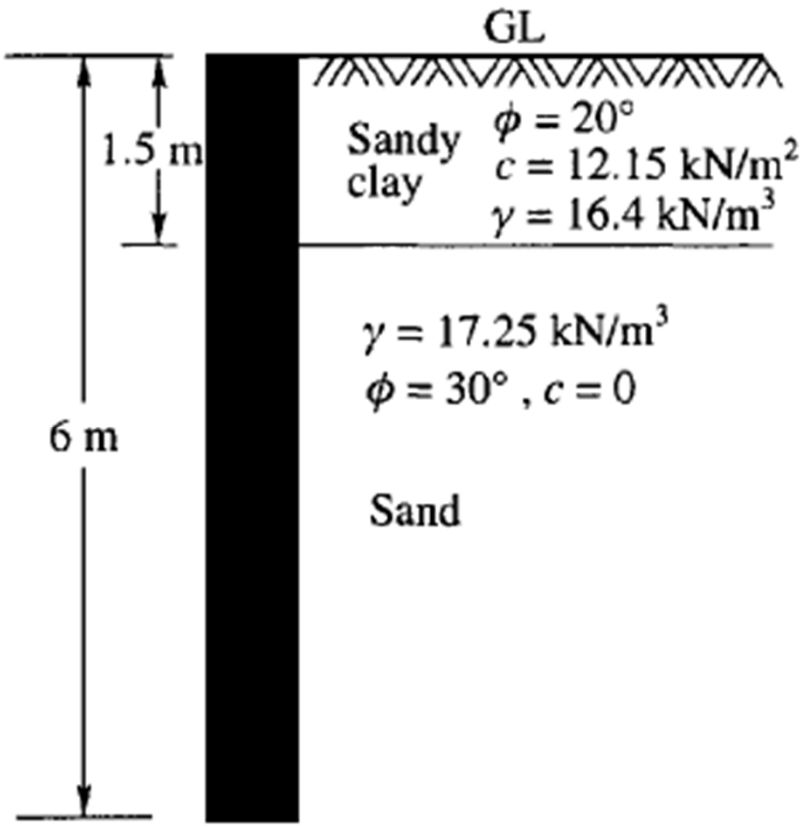
الطبقة العلوية من السطح وحتى عمق 1.5m مواصفاتها :

$C=12.15kN/m^2$, $\phi=20^\circ$, $\gamma=16.4kN/m^3$

الطبقة السفلية:

$C=0$, $\phi=30^\circ$, $\gamma=17.25kN/m^3$

المطلوب رسم مخطط الضغط الايجابي وتوزعه على الجدار.



الحل:

للطبقة العلوية

$$K_P = \frac{1}{0.49} = 2.04 \qquad K_A = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-\sin 20^\circ}{1+\sin 20^\circ} = 0.49$$

التربة (غضار رملي):

العمق z_0 الذي يحدد منطقة الشد يمكن أن نحسبه من العلاقة:

$$z_0 = \frac{2c}{\gamma}\sqrt{K_p} = \frac{2\times 12.15\sqrt{2.04}}{16.4} = 2.12 \text{ m}$$

بما أن سماكة طبقة الغضار الرملي 1.5m فإن التشقق يمكن أن يظهر فقط حتى هذا الارتفاع.

والآن نحسب للطبقة الثانية

(التربة رملية):

$$K_A = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) = \tan^2\left(45^\circ - \frac{30}{2}\right) = \frac{1}{3}$$

عند العمق 1.5m يكون الضغط الشاقولي:

$$\sigma_v = \gamma z = 16.4 \times 1.5 = 24.6 \text{ kN/m}^2$$

أما الضغط الايجابي فيساوي:

$$p_a = K_A \gamma z = \frac{1}{3} \times 24.6 = 8.2 \text{ kN/m}^2$$

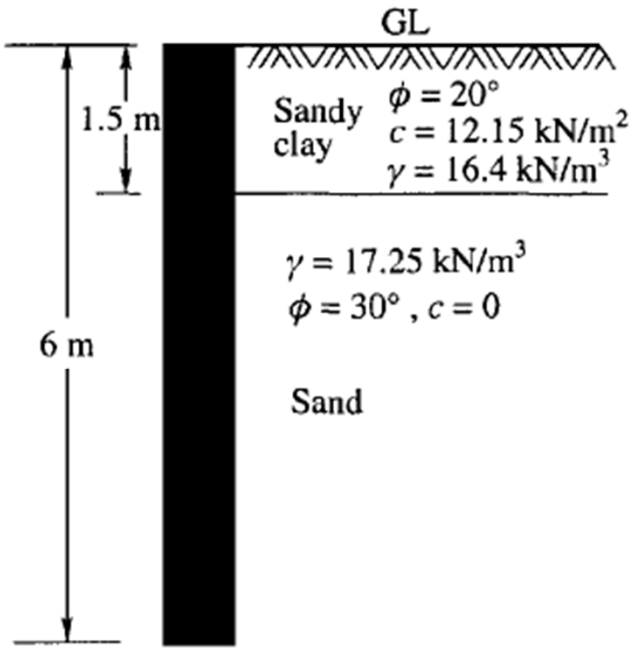
الضغط الفعال عند عمق 6m يساوي:

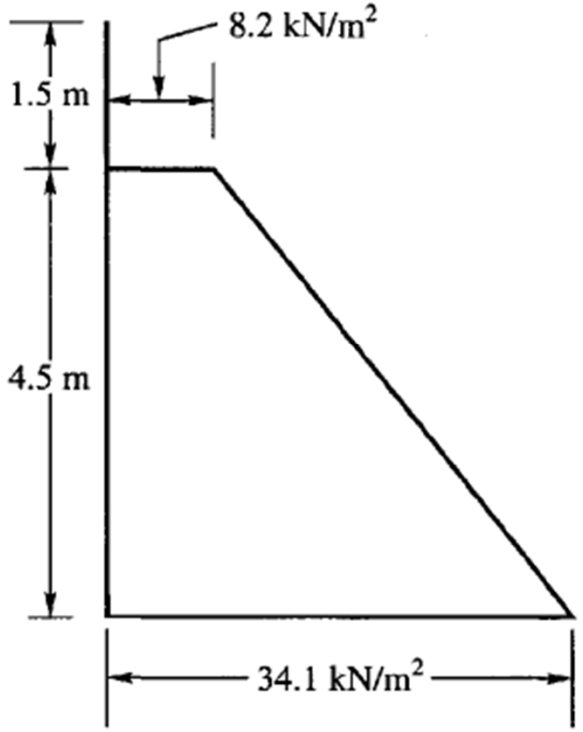
$$\sigma_v = 1.5\times 16.4 + 4.5\times 17.25 = 24.6 + 77.63 = 102.23 \text{ kN/m}^2$$

أما الضغط الايجابي عند قاعدة الجدار فيكون:

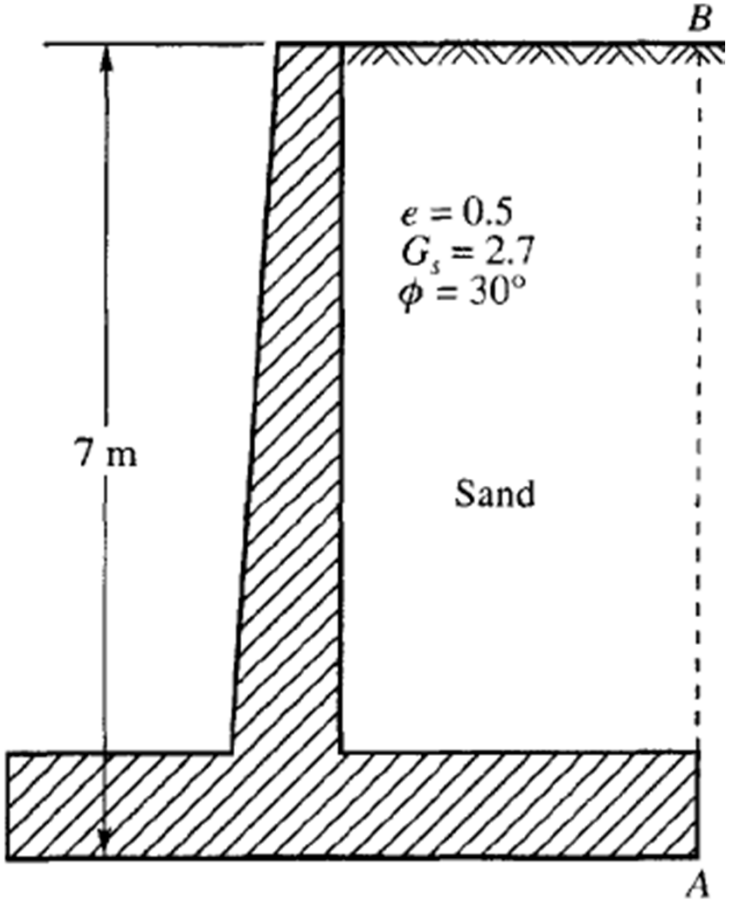
$$p_a = K_A \sigma_v = \frac{1}{3} \times 102.23 = 34.1 \text{ kN/m}^2$$

مخطط توزع الإجهادات الجانبية على الجدار:





مسألة 7:



جدار استنادي ظفري ارتفاعه 7m وخلفه التربة المردومة رمل.

مواصفات الرمل:

$e=0.5, \phi=30^{\circ} G_s=2.7$

باستخدام نظرية رانكين حدد مايلي:

1) ضغط التربة الايجابي عند قاعدة الجدار إذا كان الردم:

جاف

مشبع

مغمور

2) محصلة الضغط الايجابي لكل حالة.

الحل:

تحديد المعطيات

$e = 0.5,\quad \Phi = 30^\circ\ ,\ G_s = 2.7.\quad H = 7m$

نحسب أولاً الوزن الحجمي الجاف للتربة من العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{2.7}{1+0.5} \times 9.81 = 17.66 \text{ kN/m}^3$$

والوزن الحجمي المشبع من العلاقة:

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1+e} = \frac{2.7+0.5}{1+0.5} \times 9.81 = 20.92 \text{ kN/m}^3$$

فيكون الوزن الحجمي المغمور: $\gamma_b = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 20.92 - 9.81 = 11.1 \text{ kN/m}^3$

نحسب معامل الضغط الإيجابي وذلك وفقاً لقيمة $\Phi = 30^\circ$ من العلاقة: $K_A = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-\sin 30^\circ}{1+\sin 30^\circ} = \frac{1}{3}$

$$p_a = K_A \gamma_d H = \frac{1}{3} \times 17.66 \times 7 = 41.2 \text{ kN/m}^2$$

فيكون الضغط الايجابي في الحالة الجافة:

$$P_a = \frac{1}{2} K_A \gamma_d H^2 = \frac{1}{2} \times 41.2 \times 7 = 144.2 \text{ kN / m of wall}$$

ويكون الضغط الايجابي في الحالة المشبعة:

$$p_a = K_a * \gamma_{sat} * H = \frac{1}{3} * 20.92 * 7 = 48.81 kN/m^2$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times 48.81 \times 7 = 170.85 \text{ kN / m of wall}$$

ويكون الضغط الايجابي في الحالة المغمورة:

$$p_a = K_a * \gamma_{sub} * H = \frac{1}{3} * 11.1 * 7 = 25.9 kN/m^2$$

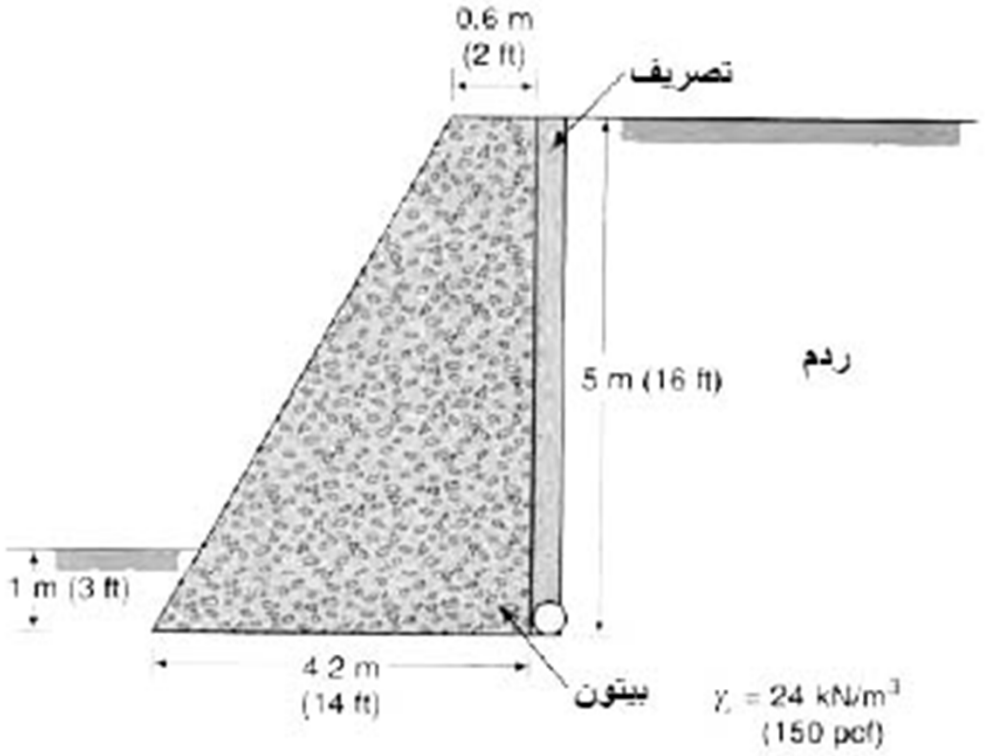
$$P_a = \frac{1}{2} \times 25.9 \times 7 = 90.65 \text{ kN / m of wall}$$

ونحسب ضغط الماء كما يلي:

$$p_w = \gamma_w H = 9.81 \times 7 = 68.67 \text{ kN/m}^2$$

$$P_w = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 = \frac{1}{2} \times 9.81 \times 7^2 = 240.35 \text{ kN/m of wall}$$

مسألة 8



جدار استنادي كتلي/ مبين في الشكل يحجز خلفه تربة بارتفاع 5m. الردم هو تربة بحصية وزنها المشبع $\gamma_{sat}=18kN/m^3$. وزاوية الاحتكاك $\varphi'=30^\circ$.

التربة الموجود تحت الأساس ذات المواصفات التالية:

$\gamma_{sat}=20kN/m^3$، $\varphi_p'=36^\circ$.

الجدار مغروس 1m في التربة ومبين في الشكل التصريف الموجود.

منسوب المياه الجوفية على عمق 4.5m أسفل قاعدة الجدار.

المطلوب التحقق من استقرار الجدار للحالات التالية:

- إذا كان احتكاك الجدار يساوي الصفر. (أي حسب رانكين)
- إذا كان احتكاك الجدار يساوي 20°(أي حسب كولومب)
- إذا أغلق التصريف خلال عاصفة مطرية وارتفع منسوب المياه الجوفية إلى السطح. بإهمال قوى الجريان.

الوزن الحجمي للبيتون = $24kN/m^3$

منهجية الحل:

لاحتكاك الجدار الذي يساوي الصفر، يمكن أن نستخدم نظرية رانكين. ولكن في حال وجود احتكاك للجدار فيجب أن نستخدم نظرية كولومب. بما أن الجدار صلب فإن المقاومة السلبية مهملة.

1) سنحسب K_a وفق كولومب ورانكين.

وفق رانكين:

$$\delta = 0, \quad K_{aR} = \tan^2(45° - \frac{\varphi}{2}) = \tan^2(45° - \frac{30}{2}) = \frac{1}{3}$$

وفق كولومب:

$$\delta = 20, \quad \beta = 0, \quad \theta = 0$$

$$K_{aC} = \frac{\cos^2(30-0)}{\cos^2 0 \cos(0+20)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(30+20)\sin(30-0)}{\cos(0+20)\cos(0-0)}}\right]^2} = 0.3$$

2) نحدد القوى الجانبية: (كل القوى بواحدة الطول للجدار)

وفق رانكين:

القوة P_{aR} تعمل بشكل أفقي لأن سطح الأرض الطبيعية أفقي

$$P_{aR} = \frac{1}{2} K_{aR} * \gamma_{sat} * H_0^2 = \frac{1}{2} * \frac{1}{3} * 18 * 5^2 = 75kN$$

وفق كولومب:

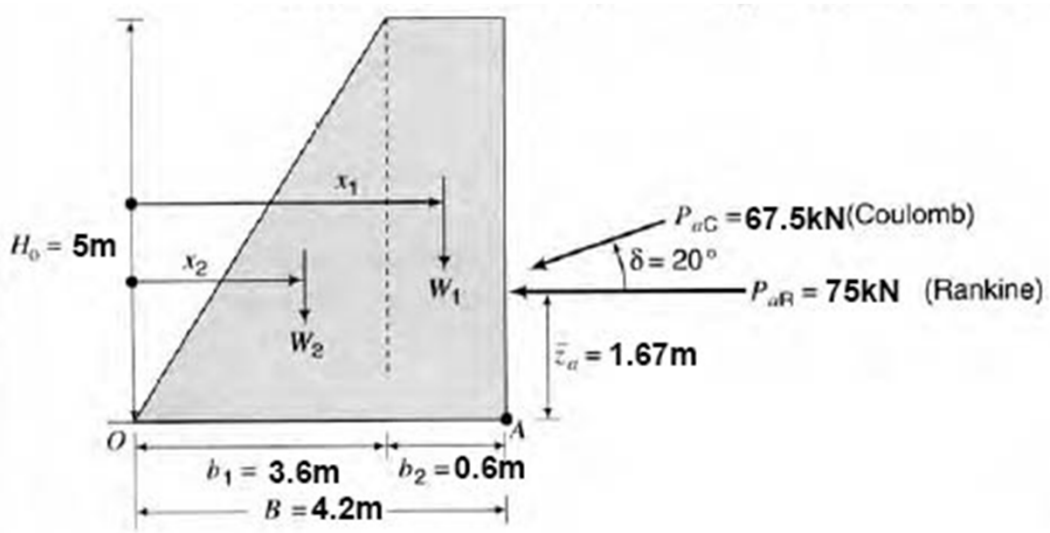
القوة P_{aC} تتوضع بزاوية تميل $\delta = 20^\circ$ عن الأفق.

$$P_{aC} = \frac{1}{2} K_{aC} * \gamma_{sat} * H_0^2 = \frac{1}{2} * 0.3 * 18 * 5^2 = 67.5kN$$

بالتالي سنحسب المركبات للقوة P_{aC}:

المركبة الأفقية: $(P_{ax})_C = P_{aC} * \cos\delta = 63.42kN$

المركبة الشاقولية: $(P_{az})_C = P_{aC} * \sin\delta = 22.9\ kN$



3) التحقق من استقرار الجدار لواحدة الطول:

نحسب القوى:

$$W_1 = b_2 * H_0 * \gamma_c = 0.6*5*24 = 60kN$$

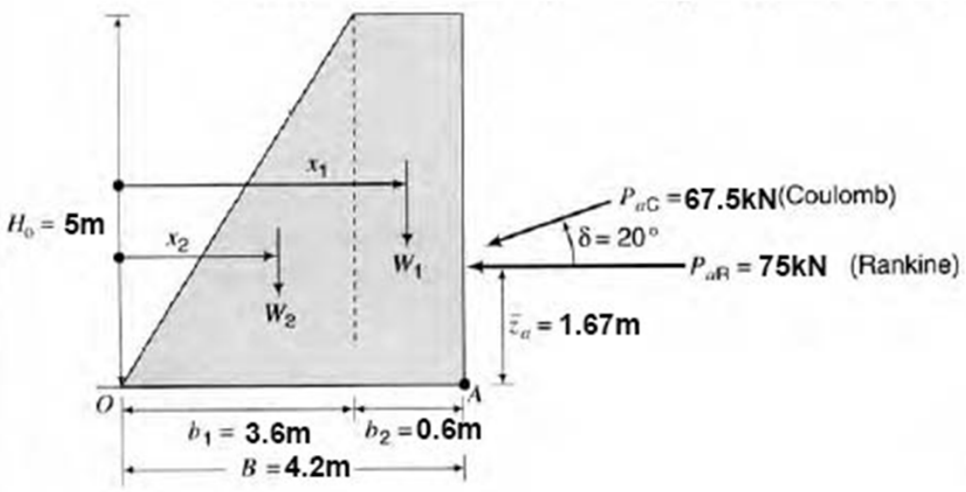
$$W_2 = \frac{1}{2} * b_1 * H_0 * \gamma_c = 0.5*3.6*5*24 = 216kN$$

$$W = W_1 + W_2 = 60 + 216 = 276kN$$

نحسب موقع المحصلة من العزوم حول O:

وفق رانكين:

$$M_O = W_1 * x_1 + W_2 * x_2 - P_{aR} * \bar{z}_a = 60*(3.6+0.3) + 216*(\frac{2}{3}*3.6) - 75*\frac{5}{3} = 627.4kN.m$$



$$R_z = W = 60 + 216 = 276kN$$

$$\bar{x} = \frac{M_O}{R_z} = \frac{627.4}{276} = 2.27m$$

وفق كولومب:

$$M_O = W_1 * x_1 + W_2 * x_2 + (P_{az})_C * B - (P_{ax})_C * \bar{z}_a$$
$$= 60*(3.6+0.3) + 216*(\frac{2}{3}*3.6) + 22.9*4.2 - 63.42*\frac{5}{3} = 742.88kN.m$$

$$R_z = W + (P_{az})_C = 276 + 22.9 = 298.9kN$$

$$\bar{x} = \frac{M_O}{R_z} = \frac{742.88}{298.9} = 2.48m$$

التحقق على الانزلاق:

$$T = R_z * \tan \phi'_b$$

$$\phi'_b = \frac{2}{3}\phi' = \frac{2}{3} * 36° = 24°$$

وفق رانكين:

$$T = R_z * \tan \phi'_b = 276 * \tan 24° = 122.88kN$$

وفق كولومب:

$$T = R_z * \tan \phi'_b = 298.9 * \tan 24° = 133.08kN$$

وفق رانكين:

$$(FS)_T = \frac{T}{P_{aR}} = \frac{122.88}{75} = 1.64$$

وفق كولومب:

$$(FS)_T = \frac{T}{(P_{ax})_C} = \frac{133.08}{63.42} = 2.09$$

نلاحظ أنه بوجود احتكاك للجدار يكون أكثر مقاومة للانزياح الأفقي

التحقق من الانقلاب:

نحسب الامركزية:

وفق رانكين:

$$e = \left|\frac{B}{2} - \bar{x}\right| = \left|\frac{4.2}{2} - 2.27\right| = 0.17m$$

وفق كولومب:

$$e = \left|\frac{B}{2} - \bar{x}\right| = \left|\frac{4.2}{2} - 2.48\right| = 0.38m$$

$$\frac{B}{6} = \frac{4.2}{6} = 0.7m > e$$

إن محصلة القوى الشاقولية وفق رانكين وكولومب تقع ضمن نصف ثلث القاعدة ولذلك لا يمكن حدوث انقلاب.

النحقق من قدرة التحمل:

بما أن القوى الشاقولية متوضعى في منتصف ثلث الأساس فلا يحدث شد في التربة.

$$\sigma_{\max} = \frac{R_z}{A} * (1 + \frac{6 * e}{B})$$

وفق رانكين:

$$\sigma_{\max} = \frac{276}{4.2 * 1} * (1 + \frac{6 * 0.17}{4.2}) = 81.67 kN / m^2$$

وفق كولومب:

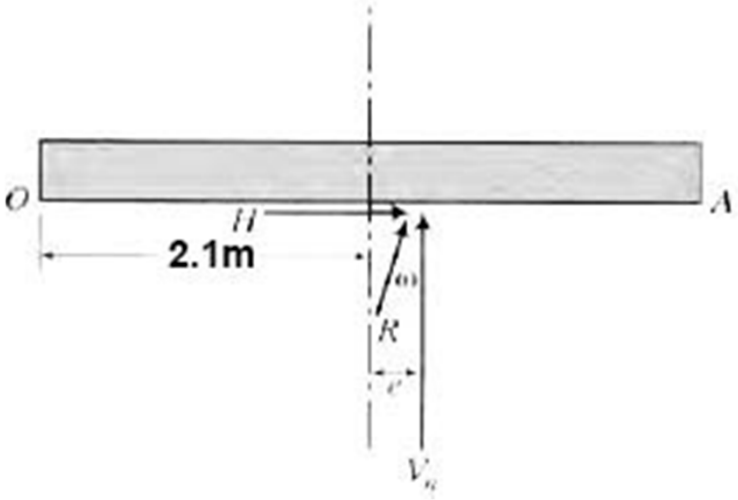
$$\sigma_{\max} = \frac{298.9}{4.2 * 1} * (1 + \frac{6 * 0.38}{4.2}) = 109.8 kN / m^2$$

التحقق على قدرة التحمل:

إن الاجهاد الأعظمي يطبق على A للطريقتين رانكين وكولومب.

يمكن ان نعتبر قاعدة الجدار أنها أساس سطحي مستمر فيكون $B/L = 0$ ، $D_f=0$

المياه الجوفية تتوضع على عمق 4.5m من القاعدة فلا يوجد لها تأثير على قدرة التحمل.



محصلة القوى لا مركزية ومائلة بالنسبة للشاقول كما يبين الشكل

ولذلك نستعمل معاملات ميلان الحمولة والتعديل الموافق للامركزية:

وفق رانكين:

$$H = P_{aR} = 75kN \qquad V_n = R_z = 276kN$$

$$\frac{H}{V_n} = \frac{75}{276} = 0.27$$

$$w = \tan^{-1}(\frac{H}{V_n}) = \tan^{-1}(0.27) = 15°$$

للجدار المستمر يكون:

$$B' = B - 2e = 4.2 - 2*0.17 = 3.86m$$

$$n = \left(2 + \frac{B'}{L'}\right) / \left(1 - \frac{B'}{L'}\right) = 2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V_n}\right)^{n+1+} = (1-0.27)^{2+1} = 0.389$$

$$N_\gamma = 0.1054 \exp(9.6\phi'_p) = 0.1054 \exp(9.6*36*\frac{\pi}{180}) = 43.9$$

$$q_u = 0.5*\gamma*B'*N_\gamma*i_\gamma = 0.5*20*3.86*43.9*0.389 = 659.17 kN/m^2$$

$$(FS)_B = \frac{q_u}{(\sigma_{\max})_R} = \frac{659.17}{81.76} = 8 >> 3 \quad Ok.$$

وفق كولومب:

$$H = (P_{ax})_C = 63.42kN \qquad V_n = R_z = 298.9kN$$

$$\frac{H}{V_n} = \frac{63.42}{298.9} = 0.212$$

$$w = \tan^{-1}(\frac{H}{V_n}) = \tan^{-1}(0.212) = 11.85°$$

$$B' = B - 2e = 4.2 - 2*0.38 = 3.44m$$

$$n = \left(2 + \frac{B'}{L'}\right) / \left(1 - \frac{B'}{L'}\right) = 2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V_n}\right)^{n+1+} = (1 - 0.21)^{2+1} = 0.493$$

$$q_u = 0.5 * \gamma * B' * N_\gamma * i_\gamma = 0.5 * 20 * 3.44 * 43.9 * 0.493 = 744.51kN/m^2$$

$$(FS)_B = \frac{q_u}{(\sigma_{\max})_R} = \frac{744.51}{109.8} = 6.7 >> 3 \quad Ok.$$

3) إذا أغلق التصريف:

سنستخدم رانكين ونعتبر أن احتكاك الجدار = 0.

$$P_{aR} = \frac{1}{2} K_{aR} * \gamma' * H_0^2 + \frac{1}{2} * \gamma_w * H_0^2 = \frac{1}{2} * \frac{1}{3} * (18-10) * 5^2 + \frac{1}{2} * 10 * 5^2 = 158.33kN$$

نفطة تطبيق المحصلة:

$$M_O = W_1 * x_1 + W_2 * x_2 - P_{aR} * \bar{z}_a = 60 * (3.6+0.3) + 216 * (\frac{2}{3} * 3.6) - 158.33 * \frac{5}{3} = 488.51kN.m$$

$$\bar{x} = \frac{M_O}{R_z} = \frac{488.51}{276} = 1.76m$$

التحقق على الانزلاق:

$$(FS)_T = \frac{T}{P_{aR}} = \frac{122.88}{158.33} = 0.77 < 1 \quad not\ Ok.$$

التحقق على الانقلاب:

$$e = \left| \frac{B}{2} - \bar{x} \right| = \left| \frac{4.2}{2} - 1.76 \right| = 0.34m < \frac{B}{6} (= \frac{4.2}{6} = 0.7)$$

الجدار غير معرض للانقلاب

$$\sigma_{\max} = \frac{276}{4.2*1} * (1 + \frac{6*0.34}{4.2}) = 97.63 kN/m^2$$

$$H = P_{aR} = 158.33 kN \qquad V_n = R_z = 276 kN$$

$$\frac{H}{V_n} = \frac{158.33}{276} = 0.57$$

$$w = \tan^{-1}(\frac{H}{V_n}) = \tan^{-1}(0.57) = 29.6°$$

$$B' = B - 2e = 4.2 - 2*0.34 = 3.52m$$

$$n = \left(2 + \frac{B'}{L'}\right) / \left(1 - \frac{B'}{L'}\right) = 2$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V_n}\right)^{n+1+} = (1 - 0.57)^{2+1} = 0.079$$

$$q_u = 0.5 * \gamma' * B' * N_\gamma * i_\gamma = 0.5 * (20 - 10) * 3.52 * 43.9 * 0.079 = 61.03 kN/m^2$$

$$(FS)_B = \frac{q_u}{(\sigma_{\max})_R} = \frac{61.03}{97.63} = 0.625 < 1 \quad not\ Ok.$$

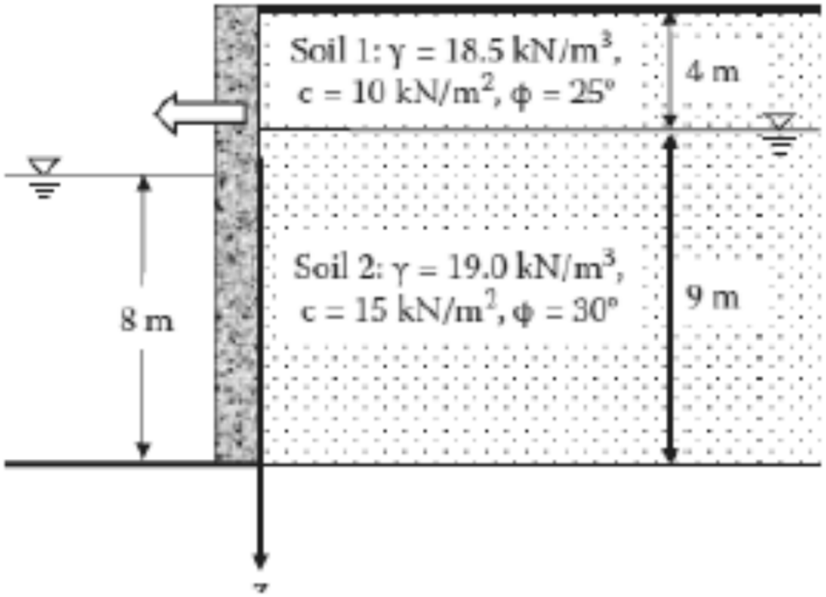
مسألة 9

يبين الشكل جدار استنادي شاقولي مع ردم أفقي، والتي تنهار تحت تأثير الضغط الايجابي. نلاحظ بأن مستويات المياه الجوفية أمام الجدار وخلفه مختلفة.

المطلوب:

حساب ورسم الضغط الجانبي المطبق على الجدار.

حساب المحصلة الكلية ونقطة تطبيقها.



الحل:

عمق الشق:

$$z_0 = \frac{2c_1}{\gamma_1 \tan(45° - \varphi_1/2)} = \frac{2*10}{18.5\tan(45° - 25/2)} = 1.70m$$

ضغط التربة الايجابي:

$$\sigma_{a,at\,4m,soil1} = 18.5*4*\tan^2(45° - 25°/2) - 2*10*\tan(45° - 25°/2) = 30.03 - 12.74 = 17.29kN/m^2$$

$$\sigma_{a,at\,4m,soil2} = 18.5*4*\tan^2(45° - 30°/2) - 2*15*\tan(45° - 30°/2) = 24.67 - 17.32 = 7.35kN/m^2$$

$$\sigma_{a,at\,13m,soil2} = [18.5*4 + (19 - 9.81)*9]*\tan^2(45° - 30°/2) - 2*15*\tan(45° - 30°/2)$$
$$= 52.24 - 17.32 = 34.92kN/m^2$$

ضغط الماء:

من جانب الماء فقط:

u=0 يكون z=5m

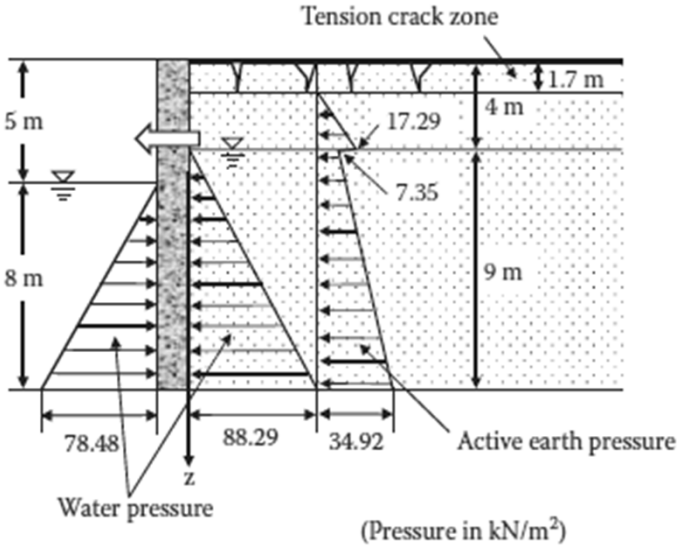
u=8*9.81 = 78.48 kN/m² يكون z=13m

من جانب الردم:

u=0 يكون z=4m

u=9*9.81 = 88.29 kN/m² يكون z=13m

المحصلة الكلية ونقطة تطبيقها:



$P_{a,\ soil\ 1} = \frac{1}{2} \times 17.29 \times (4 - 1.7) = \mathbf{19.88\ kN/m^2}$ at 9 m + (4 − 1.7)/3
= 9.77 m from the base

$P_{a,\ soil\ 2} = 7.35 \times 9 + \frac{1}{2} \times (34.92 - 7.35) \times 9$
= 66.15 kN/m² (applied at **4.5 m**) + **124.07 kN/m²** (applied at **3 m**)

$P_{w,\ backfill} = \frac{1}{2} \times 88.29 \times 9 = \mathbf{397.31\ kN/m^2}$ **at 3 m from the base**

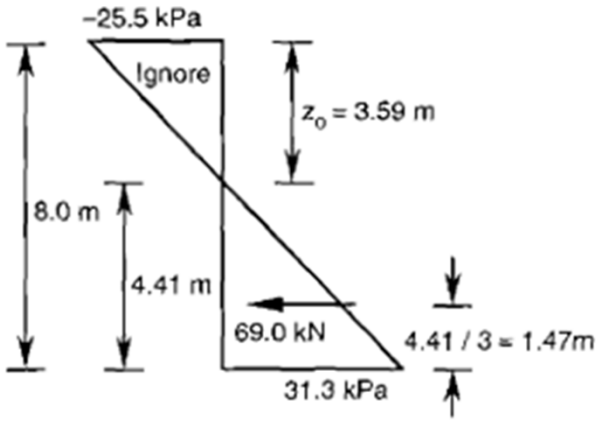
$P_{w,\ front\ side} = \frac{1}{2} \times 78.48 \times 8 = \mathbf{313.92\ kN/m^2}$ at **2.67 m from the base**
(toward right)

Total thrust P = 19.88 + 66.15 + 124.07 + 397.31 − 313.92
= 293.49 kN/m ←

نقطة تطبيق المحصلة على ارتفاع z من قاعدة الجدار نحددها من:

$$\frac{\sum moment}{P} = \frac{(19.88*9.77 + 66.15*4.5 + 124.07*3 + 397.31*3 - 313.92*2.67)}{293.49} = 4.15m$$

مسألة 10



لدينا جداراستنادي ارتفاعه 8m شاقولي وسطحه املس.

مواصفات الردم خلفه

C'=20 kPa, ϕ=25°, γ=17.5kN/m^3 المطلوب تحديد محصلة الضغط الايجابي ونقطة تطبيقها.

الحل:

$$k_a = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) = 0.406$$

$$p_a = -2c'\sqrt{k_a} = -40 * \sqrt{0.406} = -25.5kPa$$

عند z=0 تكون σ'_z = 0

$$p_a = 140 * 0.406 - 40 * \sqrt{0.406} = 31.3kPa$$

عند z=8m تكون σ'_z = 8*17.5=140kPa

$$z_0 = \frac{2 * c'}{\gamma * \sqrt{k_a}} = \frac{2 * 20}{17.5 * \sqrt{0.406}} = 3.59m$$

العمق z_0 الذي يكون عنده الضغط الايجابي = 0

المحصلة تكون:

$$P_a = (8 - 3.59) * 31.3 * \frac{1}{2} = 69kN$$

ونقطة تطبيقها :

$$\frac{(8 - 3.59)}{3} = 1.47m$$

مسألة 11

لدينا جدارارتفاعه 5m شاقولي وسطحه املس. المطلوب تحديد محصلة الضغط الايجابي في الحالتين:

1) يوجد ضغط هيدروستاتيكي في الردم ويكون $C'=0$ kPa, $\phi=36^{\circ}$, $\gamma=17.5kN/m^3$

2) منسوب المياه الجوفية عند سطح الأرض الطبيعية $C'=20$ kPa, $\phi=36^{\circ}$, $\gamma_{sat}=19.5kN/m^3$

الحل:

1) $$k_a = \tan^2(45-\frac{36}{2}) = 0.206$$

عند $z=0$ تكون $\sigma'_z = 0$ وتكون $p_a=0$

عند $z=5m$ تكون $\sigma'_z = 5*17.5 = 87.5kPa$ ويكون $p_a=87.5*0.26=22.7kPa$ ويكون $P_a=22.7*(5/2)*1=56.8kN$

2)

عند $z=0$ تكون $\sigma'_z = 0$ وتكون $p_a=0$

عند $z=5m$ يكون $u=5*9.81=49kPa$، $\sigma'_z = 5*19.5-49= 48.5kPa$ ويكون $p_a=48.5*0.26=12.6kPa$

$P_a=12.6*(5/2)*1=31.5kN$

$P_w= 49*(5/2)*1=122.5kN$

وتكون المحصلة الكلية على الجدار = $P_a+P_w=31.5+122.5=154kN$

مسألة 12

لدينا جدار ارتفاعه 6m شاقولي وسطحه املس. يحجز طبقتي تربة كل طبقة سماكتها 3m. مواصفات الطبقة العلوية:

$C'=0$ kPa, $\phi=30^{\circ}$, $\gamma_{dry}=17.5kN/m^3$ $\gamma_{sat}=19.5kN/m^3$

مواصفات الطبقة السفلية : $C'=10$ kPa, $\phi=18^{\circ}$, $\gamma_{sat}=19$ kN/m^3

يوجد حمولة على السطح 50kPa ومنسوب المياه الجوفية على عمق 1.5m تحت سطح الأرض الطبيعية.

المطلوب: حدد المحصلة الجانبية الكلية ونقطة تطبيقها فوق قاعدة الجدار

الحل:

$$k_{a(upper)} = \tan^2(45-\frac{30}{2}) = 0.333, \quad k_{a(lower)} = \tan^2(45-\frac{18}{2}) = 0.528$$

عند $z=0$ تكون $\sigma_z = 50kPa$ و $u=0$ ومنه $\sigma'_z = 50kPa$ ، $p_a = \sigma'_z * k_a = 50*0.333 = 16.7kPa$

عند $z=1.5m$ تكون $\sigma_z = 50+1.5*17.5 = 76.2kPa$ و $u=0$ ومنه $\sigma'_z = 76.2kPa$ ، $p_a = \sigma'_z * k_a = 76.2*0.333 = 25.4kPa$

عند $z=3m$ تكون $\sigma_z = 50+1.5*17.5+1.5*19.5 = 105.5kPa$ و $u=1.5*9.81=14.7kPa$ ومنه $\sigma'_z = 105.5-14.7=90.8kPa$ ،

$p_a = \sigma'_z * k_a = 90.8*0.333 = 30.3kPa$ وعند الطبقة الثانية نأخذ قيمة $k_a=0.528$ ونحسب الضغط من العلاقة:

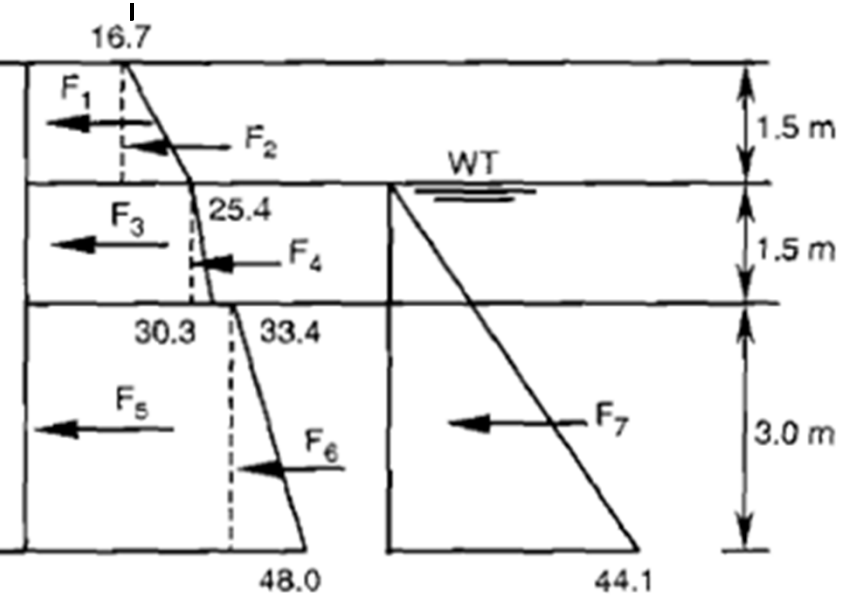
$$p_a = \sigma'_z * k_a - 2c'\sqrt{k_a} = 90.8*0.528 - 2*10*\sqrt{0.528} = 33.4kPa$$

عند z=6m تكون σ_z = 50+1.5*17.5+1.5*19.5+3*19=162.5kPa و u=4.5*9.81=44.1kPa

ومنه σ'_z = 162.5-44.1=118.4kPa ، ويكون

$$p_a = \sigma'_z * k_a - 2c'\sqrt{k_a} = 118.4 * 0.528 - 2 * 10 * \sqrt{0.528} = 48kPa$$

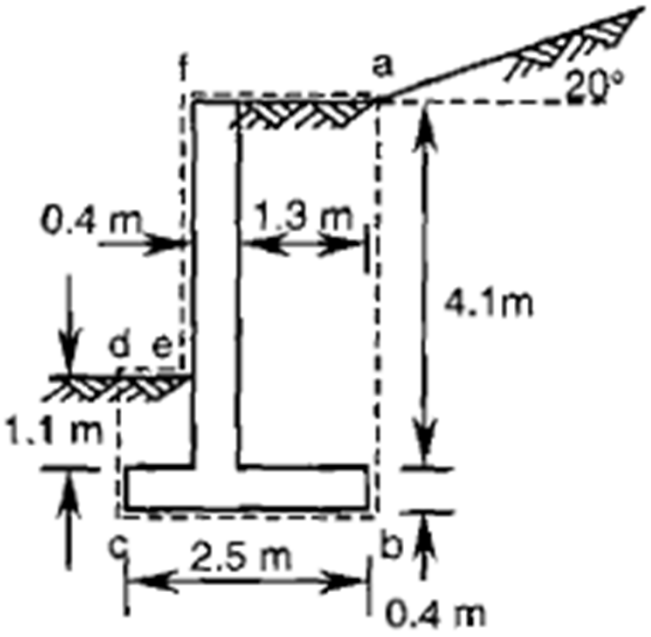
يبين الجدول التالي حساب المحصلة



القوة kN	الذراع m	العزم kN.m
F1=16.7*1.5*1=25.05	5.25	131.51
F_2= (25.4-16.7)*1.5*(1/2)*1=6.52	5	32.60
F_3=25.4*1.5*1=38.10	3.75	142.87
F_4=(30.3-25.4)*1.5*(1/2)*1=3.67	3.5	12.84
F_5=33.4*3*1=100.20	1.5	150.30
F_6=(48-33.4)*3*(1/2)*1=21.9	1	21.90
F_7=44.1*4.5*(1/2)*1=99.22	1.5	148.83
المحصلة الكلية = 294.66		**640.85**

موقع المحصلة: $\frac{640.85}{294.66} = 2.17\text{m}$

مسألة 13



للجدار المبين في الشكل جانبا يطلب تحديد:

1) مخطط توزع الضغط على المستوي الشاقولي ab

2) عوامل الأمان على الانزلاق والانقلاب

3) الضغط الأعظمي والأصغري تحت قاعدة الجدار

معطيات التربة:

$C'=0$ kPa, $\phi=30^{\circ}$, $\gamma_{sat}=17$ kN/m^3

زاوية الاحتكاك بين التربة وقاعدة الجدار 20°

الوزن الحجمي لمادة الجدار 24 kN/m^3

الحل:

1)

$$k_a=\frac{\cos\beta-\sqrt{\cos^2\beta-\cos^2\phi}}{\cos\beta+\sqrt{\cos^2\beta-\cos^2\phi}}=\frac{\cos20^{\circ}-\sqrt{\cos^2 20^{\circ}-\cos^2 30^{\circ}}}{\cos20^{\circ}+\sqrt{\cos^2 20^{\circ}-\cos^2 30^{\circ}}}=0.441$$

عند $z=0$ يكون $p_a=0$

عند $z=4.5$m يكون

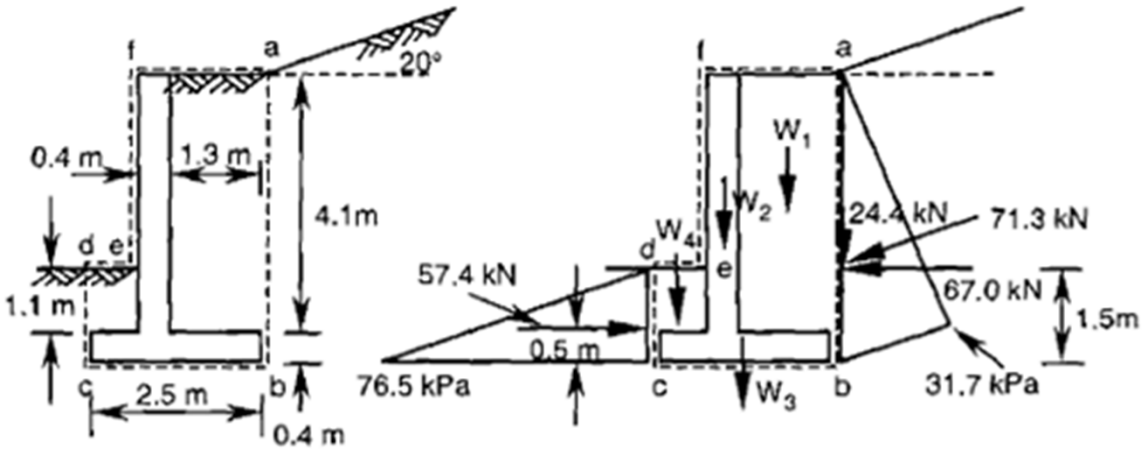
$$p_a=\gamma*z*k_a*\cos\delta=17*4.5*0.441*\cos20=31.7kPa$$

$$P_a=31.7*(4.5/2)*1=71.3kN$$

وتكون نقطة تطبيق المحصلة 1.5m = 4.5/3 فوق قاعدة الجدار

$$P_{a(horizontal)} = P_{ah} = p_a * \cos\beta = 71.3 * \cos 20 = 67kN$$

$$P_{a(vertical)} = P_{av} = p_a * \sin\beta = 71.3 * \sin 20 = 24.4kN$$



سنقوم بحساب الضغط السلبي أمام الجدار

$$k_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \frac{1+\sin 30}{1-\sin 30} = 3$$

عند z=0 يكون p_p=0

عند z=1.1+0.4=1.5m يكون

$$p_p = \gamma * z * k_p + 2c'\sqrt{k_p} = 1.5 * 17 * 3 = 76.5kPa$$

ومنه تكون المحصلة P_p=1.5*(76.5/2)*1=57.4kN

ونقطة تطبيقها 0.5m فوق قاعدة الجدار

2) حساب الوزن الكلي W كما يبيبن الشكل المجاور

$$W_1 = 1.3*4.1*1*17 = 90.6kN \quad @(1.85m)$$
$$W_2 = 0 \quad .4*4.1*1*24 = 39.4kN \quad @(1m)$$
$$W_3 = 0.4*2.5*1*24 = 24kN \quad @(2.5/2 = 1.25m)$$
$$W_4 = (2.5-1.3-0.4)*1.1*17 = 15kN \quad @(0.4m)$$
$$W = 90.6+39.4+24+15 = 169kN$$

وتكون القوى الشاقولية:

$N=W+P_{pv}= 169+24.4=193.4$

وتكون قوة القص الناتجة عن الاحتكاك بين القاعدة والتربة:

$193.4*\tan(\delta)=193.4*\tan 20^o=70.4kN$

القوة الكلية المقاومة للمحصلة الايجابية = $70.4+57.4=127.8kN$

ويكون معامل الأمان ضد الانزلاق $F_s=127.8/67=1.91$

وتكون $F_V = (57.4*0.5+90.6*1.85+39.4*1+24*1.25+15*0.4+24.2*2.5)/67*1.5 = 3.31$

3) توازن العزوم

$$193.4*x = 67*1.5 + 90.6(2.5-1.85) + 39.4*(2.5-1) + 24*(2.5-1.25) + 15*(2.5-0.4) - (57.4/1.91)*0.5 = 264.96 \quad \rightarrow \quad x = 1.37*e = 1.37 - 1.25 = 0.12m$$

$$q_{\max} = \frac{P}{B*L}*(1+\frac{6e}{L}) = \frac{193.4}{2.5*1}(1+6*\frac{0.12}{2.5}) = 99.6kPa$$

$$q_{\min} = \frac{P}{B*L}*(1-\frac{6e}{L}) = \frac{193.4}{2.5*1}(1-6*\frac{0.12}{2.5}) = 55kPa$$