ميكانيك التربة 2

الجزء العملي

السـنة: **الثالثة**

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية

ميكانيك التربة 2
الجزء العملي

الدكتور طلال عواد
الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية

الدكتور مروان قعقع
المدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية

جامعة دمشق

1435-1436هـ
2014-2015 م

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفهرس

الفهرس	5
مقدمة	7
الفصل الأول: التجارب المخبرية والحقلية لتقييم مقاومة التربة للقص المباشر	**9**
1-1 مقدمة	11
1-2 تجربة القص المباشر	13
1-3 اختبار القص بالريشة	27
الفصل الثاني: قدرة تحمل التربة	**31**
2-1 الطرق التحليلية لتعيين قدرة تحمل التربة	35
2-2 قدرة تحمل التربة للأساسات المعرضة لحمولة لا مركزية أو مائلة	54
2-3 تعيين الضغط الحرج الأولي على التربة بطريقة نظرية المرونة	65
2-4 مسائل غير محلولة	67
الفصل الثالث: ضغط التربة على الحواجز	**71**
3-1 مسائل	73
3-2 مسائل غير محلولة	84
الفصل الرابع: الهبوط في التربة	**87**
4-1 طرائق حساب الهبوط الكلي النهائي	89
طريقة التطبيق المباشر لهبوط العينة في الأدومتر، الطريقة العامة، طريقة استخدام حلول نظرية التشوه الخطي (المرونة).	
4-2 الهبوط مع الزمن	124
نظرية الانضغاط الرشحي وحساب تطور الهبوط مع الزمن، الهبوط الناتج من الانضغاط الثاني مع الزمن.	
4-3 مسائل غير محلولة	151

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة

لقد أدرك الإنسان أهمية التربة في البناء منذ زمن بعيد، فمنذ أكثر من 2000 سنة كتب المهندس المعماري الروماني الكبير فيتروفيوس قائلاً: (إن الأساسات وهي الجزء الأسفل من المباني يجب أن توضع على تربة صلبة إن وجدت وفي حالة عدم وجودها يجب حفر الأرض تحتها للوصول إلى هذه التربة كما يجب التأكد من عدم زيادة ثقل المباني عن **قدرة تحمل التربة** التي تحتها وإلا حدث **هبوط** للمباني).

إن التربة، في الواقع، هي وسط غير مستمر وغير متجانس وغير متماثل الخواص ، مما يجعل المدخل إلى دراستها يستند إلى افتراضات تعتمد على نظريات متعددة تختلف باختلاف السلوك الذي يفترض أن تسلكه التربة في هذه الظروف الجيوهندسية أو تلك. ومن هنا جاءت المدارس المختلفة في ميكانيك التربة والنظريات المختلفة التي يمكن تطبيق كل منها بعد تحريات حقلية ومخبرية دقيقة تنتهي إلى تحديد المواصفات الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية للتربة وتقدير سلوكها المفترض وبالتالي الطرق التي يمكن الاستناد إليها في دراسة توزع الاجهادات في التربة وتقييم قدرة تحملها وضغطها على الحواجز والتنبوء بقيم هبوطها تحت تأثير الحمولات المختلفة.

لقد راعى المؤلفان أهمية التعلم الذاتي في ظل قلة الساعات المقررة لهذه المادة، إلا أنهما لم يضعا نصب أعينهما ضرورة تقديم نماذج لمسائل تغطي كافة الاحتمالات الممكنة مما يحرم الطالب من إمكانية اتخاذ القرارات الجيوتكنيكية التي تتناسب مع ظروف كل موقع. وقد حاولا تبسيط الكتاب قدر الامكان ليسهل فهمه مع الاستعانة بعدد معقول من الجداول المعنية في التطبيقات العملية والرسوم التوضيحية.

يضم هذا الكتاب مسائل محلولة وغير محلولة توزعت على أربعة فصول ، وقد اشترك في إعداد هذا الكتاب كل من: الدكتور المهندس طلال عواد الذي أعد الفصل الأول "مقاومة التربة للقص" والفصل الثاني "قدرة تحمل التربة" والفصل الرابع "الهبوط

في التربة" والدكتور المهندس مروان قعقع الذي أعد الفصل الثالث "ضغط التربة على الحواجز". وقد حرص المؤلفان على تغطية جميع المواضيع المطروحة من خلال تنوع المراجع التي اعتمدت في انجاز هذا الكتاب.

تم وضع هذا الكتاب بما يتناسب مع مفردات منهاج مقرر ميكانيك التربة الذي يدرس لطلاب السنة الثالثة – الفصل الثاني في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق.

والله ولي التوفيق

دمشق 2014/11/19 **المؤلفان**

الفصل الأول
التجارب المخبرية والحقلية لتقييم مقاومة التربة للقص المباشر

1-1- مقدمة.

2-1- تجربة القص المباشر Direct Shear Test .

3-1- اختبار القص بالريشة (Vane shear test)

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول
التجارب المخبرية والحقلية لتقييم مقاومة التربة للقص المباشر

1-1- مقدمة :

إن معرفة مقاومة التربة أمر أساسي في مختلف مسائل ميكانيك التربة كتصميم الأساسات و توازن المنحدرات و تصميم الجدران الاستنادية و حساب أساسات الطرق و مهابط الطائرات و غيرها .

و تصنف الترب عادة إلى نوعين رئيسين:

- الترب المتماسكة (Cohesive)
- الترب المفككة أو غير المتماسكة (Cohesionless)

و تختلف آلية المقاومة ضد القص لهذين النوعين ففي الترب المتماسكة هناك تجاذب بين ذرات التربة ناتج عن طبيعة سطح الحبات و أقطارها و الترب غير المتماسكة فتتألف من حبات مفككة و غير متلاصقة مع بعضها البعض و نعرف المقاومة ضد القص (Shear strength) لتربة ما ، بأنها أكبر أجهاد قص يمكن أن تتحمله التربة حيث تنهار بعد ذلك و تعطي سطح انزلاق واضح .

و تتألف مقاومة القص من عاملين أساسيين :

1- الاحتكاك الداخلي Internal friction و هو المقاومة الناتجة عن تعشق (Interlocking) حبات التربة مع بعضها و احتكاكها ببعضها البعض .

2- التماسك Cohesion و هو المقاومة الناتجة عن القوى التي تحاول مسك الحبات مع بعضها ضمن كتلة ترابية .

و بشكل عام تأخذ الترب الغضارية مقاومتها من كلا العاملين (التماسك و الاحتكاك) و يكون الاحتكاك مهملا في حالات خاصة .

أما الترب الرملية فتعتمد مقاومتها بالدرجة الأولى على الاحتكاك الداخلي و قد يوجد فيها تماسك أحيانا" .

- إن العلاقة مابين مقاومة القص للتربة و عاملي التماسك و الاحتكاك تعطى بقانون كولومب (Coulomb):

$$S = \tau = c + \sigma n.tg\Phi \quad (1.1)$$

حيث :

S :هي مقاومة التربة ضد القص

T : إجهاد القص

C : تماسك التربة

σn :الإجهاد الناظمي المؤثر على التربة

Φ: زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة و يمكن تمثيل هذه العلاقة تخطيطيا" حيث نرسم قيم S بدلالة قيم σn فنحصل على علاقة مستقيم.

إن الإجهاد الناظمي المعطى بالعلاقة أعلاه لا يدخل في الحساب ضغط الماء المسامي U أي أن الإجهاد σn هو أجهاد كلي يؤثر على مستوى القص في التربة .

– إن العلاقة مابين الإجهاد الفعال σ` التي تعتمد المقاومة عليه و الإجهاد الكلي σ وضغط الماء U هي :

$$\sigma` = \sigma - U \quad (1.2)$$

يمكن إعطاء دستور كولومب بالعلاقة التالية :

$$S` = c` + (\sigma - U).tg\ \Phi` \quad (1.3)$$

حيث c` , Φ` هي التماسك و زاوية الاحتكاك باستعمال الاجهادات الفعالة بدلا" من الاجهادات الكلية و قد أشار العالم ترزاكي عام 1925 إلى أن قيم C, Φ تتبع إلى :

1– نوع التربة

2–كثافة التربة

3- درجة الرطوبة

4- سرعة التجربة

5- طبيعة التجربة

إن الترب الكثيفة تعطي مقاومة قص أكبر وتغيرات أقل من الترب المخلخلة وعليه فإن حجم الرمل الكثيف يزداد أثناء المراحل الأولى للقص ويؤدي إلى نقصان التماسك.

قياس مقاومة القص :

تقاس مقاومة القص في كل من المخبر والحقل ، إن الاختبارات المخبرية تطبق على عينات من التربة ويجب أن تتم بطريقة تماثل الشروط الحقلية .

إن الاختبارات المخبرية الشائعة الاستعمال هي :

1- القص غير المباشر : بواسطة الضغط الحر أو الضغط ثلاثي المحاور.

2- القص المباشر : بواسطة علبة القص أو المروحة الدوارة.

وسنكتفي في هذا الكتاب بشرح تجارب القص المباشر.

1-2- تجربة القص المباشر Direct Shear Test

1-2-1 مقاومة القص (الانهيار): Shear Strength

تعرف مقاومة القص بأنها أقصى إجهاد مقاوم لقص التربة. كما تعرف أيضاً بقيمة إجهاد القص المؤثر على طول مستوي الانهيار وقت حدوث الانهيار.

2-2-1 الأنواع الرئيسية لطرق الاختبار على القص :

1- الاختبار بالطريق المغلقة (الاختبار غير المصرف):

لا تتغير رطوبة العينة أثناء القص إذ لايسمح للماء بالخروج من بين المسامات ويسمى هذا النوع الاختبار السريع حيث يتم القص فورا بعد تطبيق الحمولة خلال 5-10 دقائق .

2- الاختبار بالطريقة المفتوحة (الاختبار المصرف):

يسمح في هذا النوع من الاختبار بخروج الماء من العينة ولدينا النوعين التاليين:

1- اختبار مفتوح سريع أي يسمح للعينة أن تنضغط تحت تأثير σ_n حتى ثبات التشوه العمودي ثم تنقص بسرعة قص سريعة (0.5 mm/min) أو أكبر.

2- اختبار مفتوح بطيء أي يسمح للعينة أن تنضغط تحت تأثير σ_n حتى ثبات التشوه العمودي ثم تنقص بسرعة قص بطيئة (0.1 mm/min).

3-2-1 الغرض من التجربة: Scope

الغرض من هذا الاختبار هو تعيين معاملي القص وهما زاوية الاحتكاك الداخلي والتماسك ، التي تلزم في الحسابات الجيوتكنيكية.

4-2-1 الأجهزة المستخدمة: Apparatus

يتألف جهاز صندوق القص كما هو موضح بالشكل رقم 1.1 والشكل 2.1 مما يلي:

1. صندوق من المعدن تختلف أبعاده تبعاً للشركة المصنعة إلا أن مبدأ العمل لا يتغير، وهو مقسم إلى نصفين بحيث يمكن للصندوق العلوي المتحرك أن ينتقل أفقياً على الصندوق السفلي الثابت (قد يتحرك الصندوق السفلي بينما يبقى الصندوق العلوي ثابتاً في أجهزة أخرى). توضع عينة التربة في

الصندوق حيث يوضع الحمل الرأسي فوقه على قرص يحتوي بداخله الفلتر بعد ذلك يعرض الصندوق العلوي إلى إزاحة أفقية بسرعة ثابتة.

2. جهاز صندوق القص كما هو مبين في الأشكال السابقة.
3. مدق لرص التربة داخل صندوق القص.
4. فرن تجفيف إلى الضبط عند درجة حرارة 110-105 م.
5. ميزان حساس تبلغ دقته 0.5 غرام.
6. قدة مستقيمة من الصلب ذات حافة حادة.

الشكل 1-1 – مقطع في جهاز القص المستوي المباشر.

الشكل 2-1 – صورة فوتوغرافية لجهاز القص المستوي المباشر.

1-2-5 تجربة القص للتربة الرملية: Shear Strength for Sandy Soils

1-2-5-1 وصف جهاز القص:

أجزاء الجهاز الرئيسية هي:

- علبة سرعة.
- جهاز تطبق القوة الشاقولية.
- محرك تطبق القوة الأفقية.

- صندوق القص:

يتألف صندوق القص بدوره من جزأين أحدهما يبقى ثابتاً أثناء تطبيق قوة القص، بينما يتحرك الجزء الآخر، تحدد المسافة الفاصلة بين جزئي صندوق القص، عن طريق تدوير براغي التثبيت التي تصل من الصندوقين والتي تسمح بفصل الجزء العلوي عن السفلي بمقدار بسيط 0.1 مم. يمنع هذا الفاصل (الشق) احتكاك جزئي الصندوق على بعضهما البعض. تزود الأجهزة الحديثة بسكة يتحرك عليها الصندوق العلوي، حيث تهدف هذه الشبكة إلى منع دوران الجزء العلوي أثناء زلق الصندوق السفلي على العلوي لتجنب تسجيل نتائج قياس خاطئة.

تحضير العينة الرملية

مكونات علبة القص

انهاء تحضير العينة

تسوية سطح العينة

1-2-5-2 الطريقة:

تؤخذ عينة من التربة المراد اختبارها بعد تجفيفها في الفرن عند درجة حرارة 105 – 110° م، وتوزن منها كمية كافية لأن تعطي الكثافة المطلوبة والمراد الاختبار عندها.

- يثبت الجزء السفلي والعلوي للصندوق بواسطة مسمار تثبيت يمكن نزعه قبل إجراء الاختبار. ومن ثم توضع العينة في الصندوق.
- يراعى قبل رص العينة في القالب شد برغي التباعد (يخترق برغي التباعد النصف العلوي من علبة القص، ويرتكز على النصف السفلي عند رأس البرغي، وذلك لتصغير سطح الاحتكاك بين جزئي الصندوق).
- ترص التربة على طبقات، إلى أن تصل إلى الكثافة المطلوبة، ثم يسوى سطحها العلوي بواسطة القدة المستقيمة. لا بد من التنبيه، إلى أنه من الصعب الحصول على نفس الكثافة، ولو لنفس التربة، بدق العينة في صندوق القص، مما يجعل الانحراف في نتائج الاختبارات كبيراً عند قياس مقاومة الرمل للقص بهذه الطريقة.
- يوضع الحمل الرأسي على سطح العينة وينزع مسمار التثبيت ليبدأ الاختبار. يجب التأكد من أن نصفي صندوق القص غير ملتصقين، وذلك بواسطة مسمار خاص موجود في بعض الأجهزة.
- بالنسبة لجهاز القص ذو التحكم في الإزاحة، تقرأ قوة القص كل 15 ثانية، لمدة دقيقتين ثم تقرأ لدى كل 1 مم إزاحة. ويستمر ذلك حتى يكون مقدار الإزاحة حوالي 15% من ارتفاع العينة، أو حتى تحصل على قوة قص ثابتة، مع استمرار الإزاحة أيهما أقرب (أي حتى الوصول لقص الانزلاق).

1-2-5 -3 الحسابات:

تحسب زاوية الاحتكاك الداخلي لعينة التربة من المعادلة التالية:

$$\varphi_{r'} = \arctan\frac{\tau}{\sigma'} \qquad (1.4)$$

τ : أقصى إجهاد قص يمكن حسابه من قسمة قوة القص على مساحة مقطع صندوق القص KN/m2 .

σ' : الإجهاد العمودي الناتج عن قسمة الحمل العمودي على مساحة مقطع صندوق القص KN/m^2 .

$\varphi_{r'}$: زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة المختبرة.

1-2-5 -4 تسجيل النتائج:

تسجل النتائج كما في جدول رقم (1). من الأفضل إجراء ثلاثة تجارب قص على ثلاثة عينات من نفس التربة وعند نفس الكثافة، وذلك تحت ثلاثة أحمال شاقولية مختلفة.

نرسم العلاقة بين الإجهاد الشاقولي على المحور الأفقي، والإجهاد الأفقي الأكبر المقابل، على المحور الأفقي، أي إجهاد القص، عند الانهيار على القص يكون ميل الخط الواصل بين النقاط على المحور الأفقي هو زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة. الشكل رقم (3-1).ويبين هذا الشكل ايضاً العلاقة بين الإزاحة الأفقية وإجهاد القص.

الشكل3-1 كيفية استنتاج زاوية الاحتكاك الداخلية والعلاقة بين التشوه ومقاومة القص

1-2-6 اختبار القص للتربة الغضارية المشبعة: Shear Strength for Saturated Clay Soil

1-2-6 -1 وصف الجهاز:

1. جهاز صندوق القص كما شرح سابقاً.
2. صندوق تحديد مقاس العينة.
3. منشار دقيق وسكينة حادة بعرض حوالي 20 مم وطول حوالي 150 مم.
4. فرن تجفيف مع المستلزمات اللازمة لتعيين محتوى الرطوبة.
5. ميزان حساب تبلغ دقته 0.5 غرام.

1-2-6 -2 الطريقة:

1. يقطع جزء من العينة السليمة بأبعاد أكبر قليلاً من مقاس صندوق القص. يجب أخذ الحيطة التامة عند قطع أطراف العينة بحيث تكون مستوية تماماً وذلك باستخدام صندوق تحديد مقاس العينة والمنشار.
2. تنقل العينة إلى صندوق القص ويوضع على سطحها جهاز التحميل استعداداً لبدء الاختبار.
3. تحمل العينة عند الإجهاد الناظمي المراد قص العينة عنده، وهي مغمورة بالماء.
4. عند انتهاء هبوط العينة بتأثير هذه الحمولة، يمكن أن تنقل العينة إلى جهاز القص إذا كانت عملية التثبيت تجرى في جهاز الأدومتر، حيث تكون عملية التثبيت قد انتهت.
5. تحمل العينة بنفس الإجهاد الناظمي، الذي كانت مطبقاً في جهاز التثبيت، حيث يجرى عليها القص بسرعة ثابتة. يتعلق اختيار السرعة بنوع التربة الناعمة وخصوصاً عامل نفاذيتها.
6. تجرى عملية القص تحت الماء. حيث يتوجب المساح للعينة بامتصاص وطرح الماء من مستوى القص أثناء إجراء التجربة، وذلك سواءً أكانت العينة مسبقة الانضغاط OCR>>1 أو عادية الانضغاط OCR = 1.

1-2-6 -3 الحسابات:

تحسب قوة التماسك للتربة الغضارية المشبعة من المعادلة التالية:

$$\tau = c' + \sigma' \times \tan \phi' \qquad (1.5)$$

حيث:

c' : إجهاد التماسك للتربة الغضارية KN/m^2 .

τ : أقصى إجهاد قص، يمكن حسابه من قسمة أقصى قوة قص على مساحة مقطع صندوق القص KN/m^2 .

ملاحظة:

يرسم المخطط للتربة الغضارية، المشابه للشكل رقم (3-1)، نرى أن الخط المستقيم الممثل للعلاقة، يقطع المحور الشاقولي عند ترتيب يساوي مقدار التماسك.

1-2-6 -4 تسجيل النتائج:

تسجل النتائج كما في الجدول (2). من الأفضل إجراء ثلاثة تجارب على ثلاثة عينات من نفس التربة وعند نفس الكثافة وذلك تحت تأثير ثلاثة أحمال شاقولية مختلفة ثم تحدد قوة التماسك لكل عينة ويؤخذ متوسط القيم الثلاثة.

المشروع: رقم العينة:

الموقع: عمق العينة:

وصف التربة:

أبعاد صندوق القص: الطول × العرض: الارتفاع:

حجم عينة التربة المختبرة: الحمل العمودي: الإجهاد العمودي:

رقم حلقة الاختبار المستخدمة: معامل المعايرة للحلقة:

جدول رقم (1) – نتائج تعيين معاملات مقاومة القص للتربة غير المتماسكة

الزمن بالدقيقة	قراءة مقياس الإزاحة الأفقية (مم)	إزاحة القص (مم)	قراءة مقياس الإزاحة الرأسية (مم)	الإزاحة الرأسية (مم)	قراءة حلقة مقياس القص	قوة القص KN	إجهاد القص KN/m^2

المشروع: رقم العينة:

الموقع: عمق العينة:

وصف التربة:

أبعاد صندوق القص: الطول × العرض: العمق:

حجم عينة التربة المختبرة: الحمل العمودي:

محتوى الرطوبة قبل القص %: الإجهاد العمودي:

محتوى الرطوبة بعد إجراء القص %

جدول رقم (2) – نتائج تعيين معاملات مقاومة القص للتربة الغضارية المشبعة

الزمن بالدقيقة	قراءة مقياس الإزاحة الأفقية (مم)	إزاحة القص (مم)	قراءة مقياس الإزاحة الرأسية (مم)	الإزاحة الرأسية (مم)	قراءة حلقة مقياس القص	قوة القص KN	إجهاد القص KN/m^2

نموذج عن تجربة القص المباشر

اسم المشروع:

رقم السبر: العمق:

التجربة غير مصرفة سريعة مغمورة السرعة mm/min0.5

الحمولة الناظمية	الإجهاد الناظمي	قراءة المؤشر	القوة المماسية	**الإجهاد المماسي**
Kg	kg/cm2		kg	**kg/cm2**
4	1.11111111	0.23	0.410478	**1.1402167**
8	2.22222222	0.41	0.730626	**2.0295167**
12	3.33333333	0.56	0.997416	**2.7706**

القوة المماسية = قراءة المؤشر * 1.7786 + 0.0014

$$\varphi = 36.27 \qquad c = 0.35$$

3-1 اختبار القص بالريشة (Vane shear test):

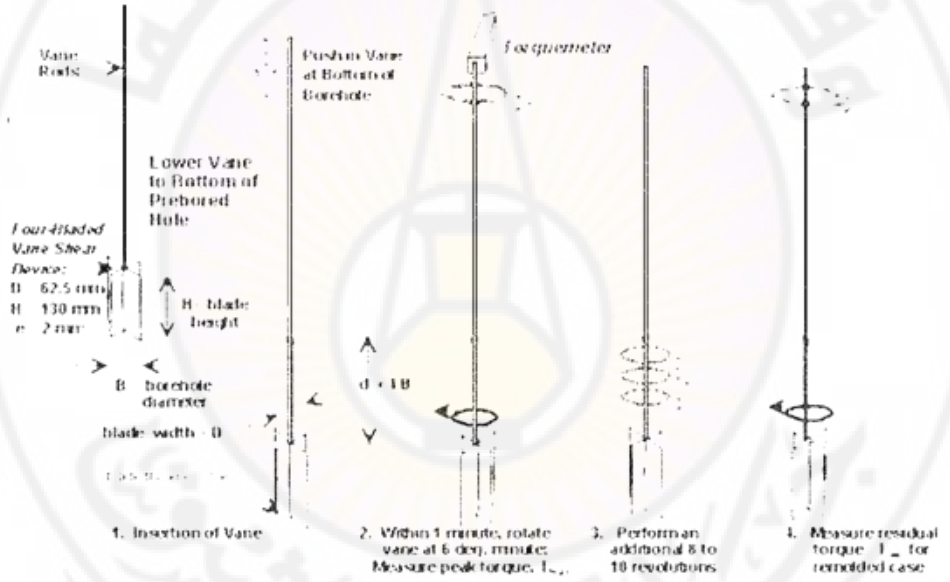
نحدد من خلاله مقاومة القص للترب الغضارية.

1-3-1 المراجع القياسية (Standard references):

BS 1377

ASTM D – 2573

AASHTO T-223

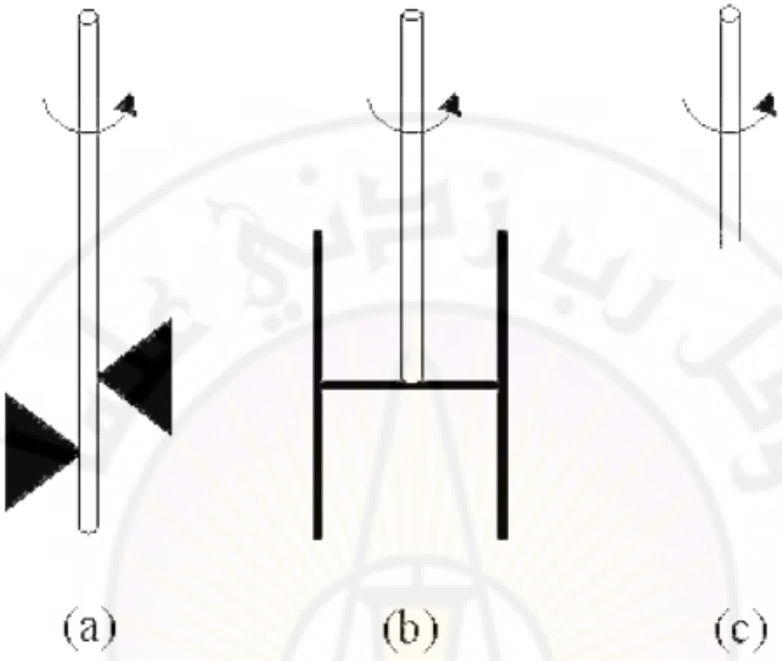


الشكل 4-1 اختبار القص بالريشة

2-3-1 الأجهزة اللازمة (Equipment):

أ. ريشة ذات أربعة شفرات فولاذية.

ب. ذراع مقاوم للشد (High tensile rod) في نهايته مقبض مزود بمقياس مدرج لقياس عزم الدوران (Torque).



الشكل5-1 الأجهزة المستخدمة في اختبار القص بالريشة

1-3-3 الطريقة (Procedure):

يتم غرز الريشة والذراع في الغضار تحت منسوب الحفر في السبر إلى عمق يُساوي ثلاثة أضعاف قطر السبر على الأقل، أو عند السطح إذا كان قياس مقاومة القص مطلوباً لتربة السطح. ثم يتم تدوير الريشة بواسطة المقبض المثبت في أعلى الذراع وباستعمال عزم الدوران (Torque) حتى يحصل انهيار الغضار تحت تأثير دوران الريشة. ويجب مراعاة أن تكون سرعة الدوران بحدود 6-12 دورة في الدقيقة.

الشكل 6-1 تجهيزات اختبار القص بالريشة

4-3-1 الحسابات (Calculations):

يتم حساب مقاومة التربة للقص من المعادلة التالية:

$$T = \pi c\left(\frac{d^2 h}{2} + \frac{d^3}{6}\right) \qquad c_u = \frac{T}{\left(\pi D^2 \left(\frac{H}{2} + \frac{D}{6}\right)\right)} \qquad (1.6)$$

حيث:

T – عزم الدوران عند الانهيار.

c– قوة تماسك حبيبات التربة (Cohesion).

d– العرض الكلي للريشة.

h– طول الريشة.

c_u (KPa) تماسك التربة غير المصرف

تماسك التربة المصحح يتم الحصول عليه بالعلاقة:

$$c_u \text{ corrected} = c_u \text{ measured} \times \mu_R$$

حيث μ_R معامل تصحيح يتم الحصول عليه من منحنى خاص بالجهاز

Damascus University

الفصل الثاني
قدرة تحمل التربة

2-1- الطرق التحليلية لتعيين قدرة تحمل التربة الحدية (حل ترزاكي، حل مايرهوف، حل هانسين، حل فيسيك).

2-2- قدرة تحمل التربة للأساسات المعرضة لحمولة لا مركزية أو مائلة.

2-3- تعيين الضغط الحرج الأولي على التربة بطريقة نظرية المرونة.

2-4- مسائل غير محلولة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

جدول رقم (2-1) معاملات قدرة التحمل من أجر القص العام

Bearing Capacity Factors for General Shear																	
Triangle (Degrees)	Triangle (Radians)	Terzaghi				Meyerhof			Hansen			Vesic			Sok		
		N_q	N_c	N_γ		N_q	N_c		N_q	N_c		N_q	N_c		N_q	N_c	
0	0.0000	1.00	5.70	1.00	0.00	1.00	5.14	0.00	1.00	5.14	0.00	1.00	5.14	0.00	1.00	5.14	0.00
1	0.0175	1.10	5.90	0.10	0.07	1.09	5.38	0.07	1.09	5.38	0.09	1.08	5.38	0.07	1.08	5.38	0.07
2	0.0349	1.20	6.30	0.20	0.15	1.20	5.63	0.15	1.20	5.63	0.15	1.20	5.63	0.15	1.20	5.63	0.15
3	0.0524	1.31	6.62	0.31	0.24	1.31	5.90	0.24	1.31	5.90	0.24	1.31	5.90	0.24	1.31	5.90	0.24
4	0.0698	1.43	6.97	0.43	0.34	1.43	6.19	0.34	1.43	6.19	0.34	1.43	6.19	0.34	1.43	6.19	0.34
5	0.0873	1.57	7.34	0.57	0.45	1.57	6.49	0.45	1.57	6.49	0.45	1.57	6.49	0.45	1.57	6.49	0.45
6	0.1047	1.72	7.73	0.72	0.57	1.72	6.81	0.57	1.72	6.81	0.57	1.72	6.81	0.57	1.72	6.81	0.57
7	0.1222	1.88	8.15	0.88	0.71	1.88	7.16	0.71	1.88	7.16	0.71	1.88	7.16	0.71	1.88	7.16	0.71
8	0.1396	2.06	8.60	1.06	0.86	2.06	7.53	0.86	2.06	7.53	0.86	2.06	7.53	0.86	2.06	7.53	0.86
9	0.1571	2.25	9.09	1.25	1.03	2.25	7.92	1.03	2.25	7.92	1.03	2.25	7.92	1.03	2.25	7.92	1.03
10	0.1745	2.47	9.61	1.47	1.22	2.47	8.35	1.22	2.47	8.35	1.22	2.47	8.35	1.22	2.47	8.35	1.22
11	0.1920	2.71	10.16	1.71	1.44	2.71	8.80	1.44	2.71	8.80	1.44	2.71	8.80	1.44	2.71	8.80	1.44
12	0.2094	2.97	10.76	1.97	1.69	2.97	9.28	1.69	2.97	9.28	1.69	2.97	9.28	1.69	2.97	9.28	1.69
13	0.2269	3.26	11.41	2.26	1.97	3.26	9.81	1.97	3.26	9.81	1.97	3.26	9.81	1.97	3.26	9.81	1.97
14	0.2443	3.59	12.11	2.59	2.29	3.59	10.37	2.29	3.59	10.37	2.29	3.59	10.37	2.29	3.59	10.37	2.29
15	0.2618	3.94	12.86	2.94	2.65	3.94	10.98	2.65	3.94	10.98	2.65	3.94	10.98	2.65	3.94	10.98	2.65
16	0.2793	4.34	13.68	3.34	3.06	4.34	11.63	3.06	4.34	11.63	3.06	4.34	11.63	3.06	4.34	11.63	3.06
17	0.2967	4.77	14.60	3.77	3.53	4.77	12.34	3.53	4.77	12.34	3.53	4.77	12.34	3.53	4.77	12.34	3.53
18	0.3142	5.26	15.12	4.26	4.07	5.26	13.10	4.07	5.26	13.10	4.07	5.26	13.10	4.07	5.26	13.10	4.07
19	0.3316	5.80	16.56	4.80	4.68	5.80	13.93	4.68	5.80	13.93	4.68	5.80	13.93	4.68	5.80	13.93	4.68
20	0.3491	6.40	17.69	5.39	5.39	6.40	14.83	5.39	6.40	14.83	5.39	6.40	14.83	5.39	6.40	14.83	5.39
21	0.3665	7.07	18.92	6.07	6.20	7.07	15.81	6.20	7.07	15.81	6.20	7.07	15.81	6.20	7.07	15.81	6.20
22	0.3840	7.82	20.27	6.82	7.13	7.82	16.88	7.13	7.82	16.88	7.13	7.82	16.88	7.13	7.82	16.88	7.13
23	0.4014	8.66	21.75	7.66	8.20	8.66	18.05	8.20	8.66	18.05	8.20	8.66	18.05	8.20	8.66	18.05	8.20
24	0.4189	9.60	23.36	8.60	9.44	9.60	19.32	9.44	9.60	19.32	9.44	9.60	19.32	9.44	9.60	19.32	9.44
25	0.4363	10.66	25.13	9.66	10.88	10.66	20.72	10.88	10.66	20.72	10.88	10.66	20.72	10.88	10.66	20.72	10.88
26	0.4538	11.85	27.09	10.85	12.54	11.85	22.25	12.54	11.85	22.25	12.54	11.85	22.25	12.54	11.85	22.25	12.54
27	0.4712	13.20	29.24	12.20	14.47	13.20	23.94	14.47	13.20	23.94	14.47	13.20	23.94	14.47	13.20	23.94	14.47
28	0.4887	14.72	31.61	13.70	16.72	14.72	25.80	16.72	14.72	25.80	16.72	14.72	25.80	16.72	14.72	25.80	16.72
29	0.5061	16.44	34.24	15.44	19.34	16.44	27.86	19.34	16.44	27.86	19.34	16.44	27.86	19.34	16.44	27.86	19.34
30	0.5236	18.40	37.16	17.40	22.40	18.40	30.14	22.40	18.40	30.14	22.40	18.40	30.14	22.40	18.40	30.14	22.40
31	0.5411	20.63	40.41	19.63	25.99	20.63	32.67	25.99	20.63	32.67	25.99	20.63	32.67	25.99	20.63	32.67	25.99
32	0.5585	23.18	44.04	22.18	30.22	23.18	35.49	30.22	23.18	35.49	30.22	23.18	35.49	30.22	23.18	35.49	30.22
33	0.5760	26.09	48.09	25.09	35.19	26.09	38.64	35.19	26.09	38.64	35.19	26.09	38.64	35.19	26.09	38.64	35.19
34	0.5934	29.44	52.64	28.44	41.06	29.44	42.16	41.06	29.44	42.16	41.06	29.44	42.16	41.06	29.44	42.16	41.06
35	0.6109	33.30	57.75	32.30	48.03	33.30	46.12	48.03	33.30	46.12	48.03	33.30	46.12	48.03	33.30	46.12	48.03
36	0.6283	37.75	63.53	36.75	56.31	37.75	50.59	56.31	37.75	50.59	56.31	37.75	50.59	56.31	37.75	50.59	56.31
37	0.6458	42.92	70.15	41.92	66.19	42.92	55.63	66.19	42.92	55.63	66.19	42.92	55.63	66.19	42.92	55.63	66.19
38	0.6632	48.93	77.50	47.93	78.03	48.93	61.35	78.03	48.93	61.35	78.03	48.93	61.35	78.03	48.93	61.35	78.03
39	0.6807	56.01	85.97	55.01	92.25	56.01	67.87	92.25	56.01	67.87	92.25	56.01	67.87	92.25	56.01	67.87	92.25
40	0.6981	64.35	95.66	63.35	109.41	64.35	75.31	109.41	64.35	75.31	109.41	64.35	75.31	109.41	64.35	75.31	109.41
41	0.7156	74.08	106.81	73.08	130.22	74.08	83.87	130.22	74.08	83.87	130.22	74.08	83.87	130.22	74.08	83.87	130.22
42	0.7330	85.38	119.67	84.38	155.55	85.38	93.71	155.55	85.38	93.71	155.55	85.38	93.71	155.55	85.38	93.71	155.55
43	0.7505	99.02	134.87	98.02	186.54	99.02	105.11	186.54	99.02	105.11	186.54	99.02	105.11	186.54	99.02	105.11	186.54
44	0.7679	115.31	151.95	114.31	224.64	115.31	118.37	224.64	115.31	118.37	224.64	115.31	118.37	224.64	115.31	118.37	224.64
45	0.7854	134.88	172.28	133.88	271.76	134.88	133.88	271.76	134.88	133.88	271.76	134.88	133.88	271.76	134.88	133.88	271.76
46	0.8029	158.51	196.22	157.51	330.35	158.51	152.10	330.35	158.51	152.10	330.35	158.51	152.10	330.35	158.51	152.10	330.35
47	0.8203	187.21	224.55	186.21	403.67	187.21	174.64	403.67	187.21	174.64	403.67	187.21	174.64	403.67	187.21	174.64	403.67
48	0.8378	222.31	258.28	221.31	496.01	222.31	199.26	496.01	222.31	199.26	496.01	222.31	199.26	496.01	222.31	199.26	496.01
49	0.8552	265.51	298.71	264.51	613.16	265.51	229.92	613.16	265.51	229.92	613.16	265.51	229.92	613.16	265.51	229.92	613.16
50	0.8727	319.07	347.51	318.07	762.89	319.07	267.88	762.89	319.07	267.88	762.89	319.07	267.88	762.89	319.07	267.88	762.89

Bearing Capacity Factors for General Shear

2-1- الطرق التحليلية لتعيين قدرة تحمل التربة الحدية :

(حل ترزاكي، حل مايرهوف، حل هانسين، حل فيسيك)

مسألة (2-1):

أساس مربع $1\times 1m$ متوضع عند العمق 1.5 m أسفل سطح الأرض. خصائص التربة:

$$c'=0,\phi'=40^{o},\gamma=16.7\,\mathrm{kN/m^3},\gamma_{sat}=20\,\mathrm{kN/m^3}$$

باستخدام معاملات قدرة التحمل لترزاكي احسب قدرة التحمل الحدية:

أ- منسوب الماء أعمق بكثير من منسوب الأساس.

ب- منسوب الماء هو منسوب سطح الأرض.

الحل:

قدرة التحمل الحدية من أجل أساس شريطي ومربع ودائري حسب ترزاكي:

$$q_u=c'N_C+\gamma DN_q+0.5\gamma.BN_\gamma \qquad (2.1)$$

$$q_u=1.3c'N_C+\gamma DN_q+0.4\,\gamma.BN_\gamma \qquad (2.2)$$

$$q_u=1.2c'N_C+\gamma DN_q+0.3\,\gamma.BN_\gamma \qquad (2.3)$$

حيث معاملات قدرة التحمل هي :

$$N_q=\frac{e^{(3\pi/2-\phi')\tan\phi'}}{2\cos^2\left(45^{o}+\phi'/2\right)}$$

$$\mathrm{N_C}=\cot\phi'\left(\mathrm{N_q}-1\right)$$

$$N_\gamma = 0.5 \tan \phi' \left(\frac{k_{p\gamma}}{\cos^2 \phi'} - 1 \right) \qquad (2.4)$$

$$k_{p\gamma} = (8\phi'^2 - 4\phi' + 3.8) \tan^2 (60^o + \phi'/2) \qquad (2.5)$$

حيث ϕ' في الجزء الأول من المعادلة تعوض بالراديان .

في الشكل أدناه يوضح تغير معاملات قدرة التحمل مع زاوية الاحتكاك الداخلي الفعال:

الشكل رقم (2-1) معاملات قدرة التحمل باستخدام علاقات ترزاكي

من أجل $c' = 0, \phi' = 40^o$ فإن :

$N_q = 81.27, N_\gamma = 95.61$

أ- منسوب الماء أعمق بكثير من منسوب الأساس :

$$q_u = 1.3c' N_C + \gamma D N_q + 0.4\ \gamma . B N_\gamma$$

$$q_u = 16.7 \times 1.5 \times 81.27 + 0.4 \times 1 \times 16.7 \times 95.61$$

$$q_u = 2675 \quad KPa$$

ب- منسوب الماء هو سطح الأرض:

في هذه الحالة نستخدم الوزن الحجمي الوزن الحجمي المغمور γ' :

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 20 - 9.81 = 10.19 KN/m^3$$

$$q_u = 10.19 \times 1.5 \times 81.27 + 0.4 \times 10.19 \times 95.61$$

$$q_u = 1632 \quad KPa$$

مسألة (2-2):

أعد حل المسألة السابقة باستخدام علاقات قدرة التحمل لميرهوف.

الحل:

في علاقات قدرة التحمل لميرهوف فإن شكل الأساس وميل الحمولة المطبقة وعمق الأساس تؤخذ بعين الاعتبار بواسطة المعاملات s، i ، d.

من أجل أساس مستطيل (L > B):

$$q_u = c' N_C s_C i_C d_C + \gamma D N_q s_q i_q d_q + 0.5 \gamma . B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma \qquad (2.6)$$

من أجل حمولة شاقولية:

$$i_C = i_q = i_\gamma = 1$$

$$q_u = c' N_C s_C d_C + \gamma D N_q s_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \qquad (2.7)$$

معاملات قدرة التحمل هي:

$$N_q = \exp(\pi \tan\phi') \tan^2(45^\circ + \phi'/2), N_C = \cot\phi'(N_q - 1)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1.4\phi') \qquad (2.8)$$

معاملات الشكل:

$$S_C = 1 + 0.2\frac{B}{L}\tan^2(45^\circ + \phi'/2)$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1\frac{B}{L}\tan^2(45^\circ + \phi'/2) \qquad (2.9)$$

$$For\ c_u, \phi_u = 0 \quad soil: s_q = s_\gamma = 1$$

معاملات الميل:

$$i_C = i_q = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right)^2, i_\gamma = \left(1 - \frac{\alpha}{\phi'}\right)^2 \qquad (2.10)$$

حيث α زاوية ميل الحمولة عن الناظم على الأساس .

$$For\ c_u, \phi_u = 0 \quad soil: i_\gamma = 1$$

معاملات عمق التأسيس :

$$d_C = 1 + 0.2\frac{D}{B}\tan(45^\circ + \phi/2)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\frac{D}{B}\tan(45^\circ + \phi/2) \qquad (2.11)$$

$$For\ c_u, \phi_u = 0 \quad soil: d_q = d_\gamma = 1$$

إذا كانت زاوية الاحتكاك الداخلي محددة من تجربة ثلاثي المحاور ϕ'_{tri} يتم تحويلها إلى الزاوية المكافئة للقص المستوي ϕ'_{ps} بالعلاقة :

$$\phi'_{ps} = \phi'_{tri}\left(1.1 - 0.1\frac{B}{L}\right) \qquad (2.12)$$

أو حسب علاقة Lee المعدلة :

$$\phi'_{ps} = 1.5\phi'_{tri} - 17^{o}$$

من أجل الحمولة اللامركزية فإن أبعاد الأساس المستطيل تعدل إلى:

$$L' = L - 2e_L \, , B' = B - 2e_B \qquad (2.13)$$

وبالتالي من المعادلة (2.8) :

$$N_q = e^{\pi \tan 40.0^{o}} \tan^2\left(45.0^{o}\ 40.0^{o}/2\right) = 64.19$$

$$N_\gamma = (64.19 - 1)\tan\left(1.4 \times 40.0^{o}\right) = 93.68$$

من المعادلة (2.9) و (2.11) :

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1\frac{B}{L}\tan^2\left(45^{o} + \phi'/2\right)$$

$$= 1 + 0.1\frac{1.0}{1.0}\tan^2\left(45.0^{o} + 40.0^{o}/2\right) = 1.46$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\frac{D}{B}\tan\left(45^{o} + \phi'/2\right)$$

$$= 1.0 + 0.1\frac{1.5}{1.0}\tan\left(45.0^{o} + 40.0^{o}/2\right) = 1.32$$

أ- منسوب الماء أعمق بكثير من منسوب الأساس:

$$q_n = 16.7 \times 1.5 \times 64.19 \times 1.46 \times 1.32 + 0.5 \times 1.0 \times 16.7 \times 93.68 \times 1.46 \times 1.32$$
$$= 4606 KPa$$

ب- منسوب الماء هو سطح الأرض:

$$q_n = 10.19 \times 1.5 \times 64.19 \times 1.46 \times 1.32 + 0.5 \times 1.0 \times 10.19 \times 93.68 \times 1.46 \times 1.32$$
$$= 2811 \quad KPa$$

مسألة (3-2) :

أعد حل المسألة السابقة باستخدام علاقات قدرة التحمل Hansen. ثم أعد حلها باستخدام علاقات قدرة التحمل لـ vesic.

الحل بطريقة هانسن :

طريقة Hansen هي امتداد لحل ميرهوف مع الأخذ بالاعتبار تأثير ميلان سطح الأرض وميلان القاعدة كما في الشكل رقم (2-2) عبر تعديل N_γ والمعاملات الأخرى. من أجل أساس مستطيل (L > B) وميلان سطح الأرض والقاعدة والحمولة:

$$q_n = c' N_C s_C i_C d_C b_C g_C + \gamma D N_q s_q i_q d_q b_q g_q + 0.5\, \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma b_\gamma g_\gamma \quad \ldots (2.14)$$

من أجل سطح أفقي للأرض والقاعدة:

$$b_C = b_q = b_\gamma = g_C = g_q = g_\gamma = 1$$

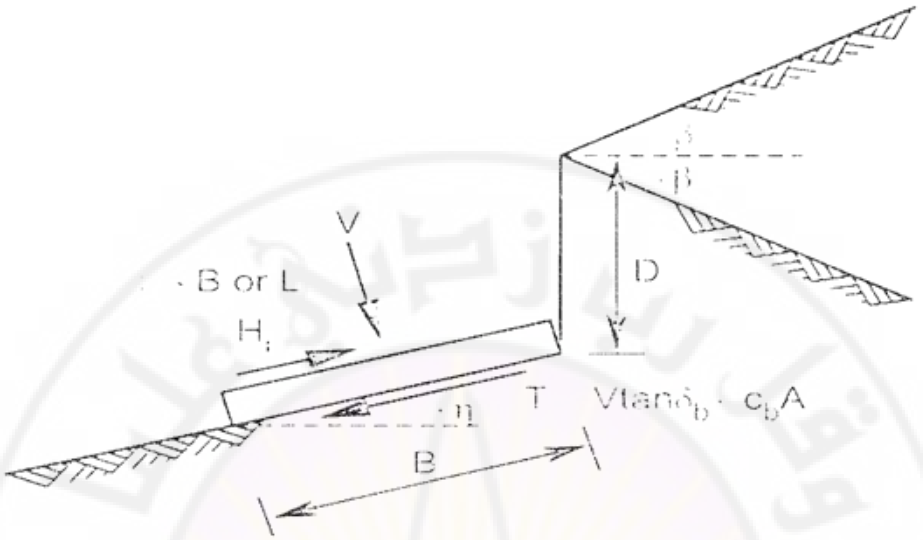
فإن علاقات قدرة التحمل العامة تصبح العلاقات نفسهاكما في العلاقة (2.6) .

من أجل الشروط غير المصرفة:

$$q_u = 5.14 c_u (1 + s_C + d_C - i_C - b_C - g_C) + \gamma D \qquad (2.15)$$

معاملات قدرة التحمل لـ N_q و N_C هي نفسها لميرهوف. أما N_γ :

$$N_\gamma = 1.5 (N_q - 1) \tan \phi' \qquad (2.16)$$



الشكل رقم (2-2) الرموز في علاقات هانسين

تعتبر معاملات الشكل والميل:

$$s_{c.B} = 1 + \frac{N_q}{N_C}\frac{B}{L} i_{C.B}, s_{q.B} = 1 + \frac{B}{L} i_{q.B} \sin\phi', s_{\gamma.B} = 1 - 0.4\frac{B}{L} i_{\gamma.B} \geq 0.6$$

... (2.17)

$$s_{c.L} = 1 + \frac{N_q}{N_C}\frac{L}{B} i_{C.L}, s_{q.L} = 1 + \frac{L}{B} i_{q.L} \sin\phi', s_{\gamma.L} = 1 - 0.4\frac{L}{B} i_{\gamma.L} \geq 0.6$$

... (2.18)

$For c_u, \phi_u = 0 soil$

$$s_{C.B} = 0.2\frac{B}{L} i_{C.B}, s_{C.L} = 0.2\frac{L}{B} i_{C.L} \qquad (2.19)$$

$$i_{C.i} = i_{q.i} - \frac{1 - i_{q.i}}{N_q - 1}, i_{q.i} = \left(1 - \frac{0.5 H_i}{V + A c_b \cot\phi'}\right)^{\alpha_1}$$

$$i_{\gamma.i} = \left(1 - \frac{0.7 H_i}{V + A c_b \cot\phi'}\right)^{\alpha_2} \qquad (2.20)$$

حيث:

$$i = B \text{ or } L, \quad 2 \le \alpha_1 \le 5, \quad 2 \le \alpha_2 \le 5$$

A: مساحة قاعدة الأساس.

c_b: التماسك عند سطح التماس بين الأساس والتربة.

من أجل قاعدة مائلة :

$$i_{\gamma,i} = \left[1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ/450^\circ)H_i}{V + A c_b \cot\phi'}\right]^{\alpha_2} \qquad (2.21)$$

For $c_u, \phi_u = 0$ soil

$$i_{c,i} = 0.5 - \sqrt{1 - \frac{H_i}{A c_b}} \qquad i = B \text{ or } L \qquad (2.22)$$

في المعادلات السابقة ومن أجل الحمولة اللامركزية فإن L و B يمكن أن تستبدل بالقيم L' و B' وفق المعادلة (2.13) .

بالنسبة لمعامل العمق نميز حالتين:

$$For \frac{D}{B} \le 1, \quad \frac{D}{L} \le 1$$

$$d_{c.B} = 1 + 0.4\frac{D}{B}, d_{q.B} = 1 + 2\tan\phi'(1-\sin\phi')^2\frac{D}{B} \qquad (2.23)$$

$$d_{c.L} = 1 + 0.4\frac{D}{L}, d_{q.L} = 1 + 2\tan\phi'(1-\sin\phi')^2\frac{D}{L} \qquad (2.24)$$

$$For \frac{D}{B} > 1, \frac{D}{L} > 1$$

$$d_{c.B} = 1 + 0.4\tan^{-1}\frac{D}{B}, d_{q.B} = 1 + 2\tan\phi'(1-\sin\phi')^2\tan^{-1}\frac{D}{B} \qquad (2.25)$$

$$d_{c.L} = 1 + 0.4\tan^{-1}\frac{D}{L}, d_{q.L} = 1 + 2\tan\phi'(1-\sin\phi')^2\tan^{-1}\frac{D}{L} \qquad (2.26)$$

For both sets $d_\gamma = 1.0$ (2.27)

For $c_u, \phi_u = 0$ soil

$$d_{c.B} = 0.4\frac{D}{B}, d_{c.L} = 0.4\frac{D}{L} \qquad (2.28)$$

من أجل أرض مائلة وقاعدة مائلة فإن معامل الأرض g_i ومعامل القاعدة b_i تحسب بالعلاقات التالية:

$$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}, g_q = (1 - 0.5\tan\beta)^5 \qquad (2.29)$$

For $c_u, \phi_u = 0$ soil

$$g_C = \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \qquad (2.30)$$

$$b_C = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}, b_q = e^{-2\eta\tan\phi'}, b_\gamma = e^{-2.7\eta\tan\phi'} \qquad (2.31)$$

For $c_u, \phi_u = 0$ *soil*

$$b_C = \frac{\eta^\circ}{147^\circ} \qquad (2.32)$$

حسب العلاقة (2.16)

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)\tan\phi' = 1.5(64.19 - 1.0)\tan 40.0^\circ = 79.53$$

$$i_q = i_\gamma = 1.0$$

نحسب معاملات الشكل والعمق من العلاقات (2.17) و (2.25) و (2.27)

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} i_q \sin\phi' = 1 + \frac{1.0}{1.0} \times 1.0 \times \sin 40.0^\circ = 1.643$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} i_\gamma = 1 - 0.4 \frac{1.0}{1.0} \times 1.0 = 0.600$$

$$d_q = 1 + 2\tan\phi'(1 - \sin\phi')^2 \tan^{-1}\frac{D}{B}$$

$$= 1 + 2\tan 40.0^\circ (1 - \sin 40.0^\circ)^2 \tan^{-1}\frac{1.5}{1.0} = 1.210$$

$$d_\gamma = 1.0$$

من المعادلة (2.14) وباعتبار أن :

$$c' = 0 \quad and \quad b_c = b_q = b_\gamma = g_c = g_q = g_\gamma = 1$$

أ- منسوب الماء أعمق بكثير من منسوب الأساس:

$$q_u = 16.7 \times 1.5 \times 64.19 \times 1.643 \times 1.210 + 0.5 \times 1.0 \times 16.7 \times 79.53 \times 0.600 \times 1.0$$

$$= 3595 \quad KPa$$

ب- منسوب الماء هو سطح الأرض:

$$q_u = 10.19 \times 1.5 \times 64.19 \times 1.643 \times 1.210 + 0.5 \times 1.0 \times 10.19 \times 79.53 \times 0.600 \times 1.0$$

$$= 2194 \quad KPa$$

الحل باستخدام علاقات قدرة التحمل لـ vesic :

الحل باستخدام علاقات قدرة التحمل فيسيك يشابه علاقات Hansen مع تعديل صغير في N_γ وبعض المعاملات المحددة. هذه الطريقة تبدو أسهل للاستخدام حيث لا يوجد علاقات داخلية بين مختلف المعاملات. في هذه الطريقة فإن العلاقات (2.14) و (2.15) تستخدم مع التعديلات التالية:

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi' \qquad (2.33)$$

من أجل $C_U, \phi_U = 0$ مع ميلان في الأرض حسب الشكل رقم (2-2):

$$N_\gamma = -2\sin\beta \qquad (2.34)$$

باقي المعاملات هي كالتالي :

$$s_{C.B} = 1 + \frac{N_q}{N_C}\frac{B}{L}, s_{q.B} = 1 + \frac{B}{L}\tan\phi', s_{\gamma.B} = 1 - 0.4\frac{B}{L} \geq 0.6 \qquad (2.35)$$

$$s_{c.L} = 1 + \frac{N_q}{N_C}\frac{L}{B}, s_{q.L} = 1 + \frac{L}{B}\tan\phi', s_{\gamma.L} = 1 - 0.4\frac{L}{B} \geq 0.6 \qquad (2.36)$$

$$For\, c_u, \phi_u = 0 soils\, s_{C.B} = 0.2\frac{B}{L}, s_{C.L} = 0.2\frac{L}{B} \qquad (2.37)$$

$$i_{q.i} = \left(1 - \frac{H_i}{V + Ac_b\cot\phi'}\right)^{m_i}, i_{\gamma.i} = \left(1 - \frac{H_i}{V + Ac_b\cot\phi'}\right)^{m_i+1} \quad i = B\,or\,L$$

... (2.38)

لإيجاد $i_{c.i}$ نستخدم علاقة هانسن

$$For\, c_u, \phi_u = 0 \quad soil \quad i_{C.i} = 1 - \frac{m_i H_i}{Ac_b N_c} \quad i = B\,or\,L \qquad (2.39)$$

$$m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}, \quad m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \qquad (2.40)$$

من أجل أرض مائلة وقاعدة مائلة الشكل (2-2) :

$$g_C = i_q - \frac{1-i_q}{5.14\tan\phi'}, \quad g_q = g_\gamma = (1-\tan\beta)^2 \qquad (2.41)$$

$$\text{For}\, c_u, \phi_u = 0\, \text{soil}\, g_C = \frac{\beta}{5.14} \qquad (2.42)$$

$$b_C = 1 - \frac{2\beta}{5.14\tan\phi'}, \quad b_q = b_\gamma = (1-\eta\tan\phi')^2 \qquad (2.43)$$

$$For\, c_u, \phi_u = 0\, soil \quad b_C = \frac{\beta}{5.14} \qquad (2.44)$$

أما معاملات العمق فهي نفسها في طريقة Hansen.

من أجل قاعدة دائرية فإنه في كلا الطريقتين HANSEN و Vesic يمكن استخدام الأبعاد لمربع مكافئ .

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi' = 2(64.19 + 1.0)\tan 40.0^\circ = 109.40$$

معاملات الشكل تحسب بالعلاقة (2.35)

$$s_q = 1 + (B/L)\tan\phi' = 1 + (1.0/1.0)\tan 40.0^\circ = 1.839$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4(B/L) = 1 - 0.4(1.0/1.0) = 0.60$$

معاملات العمق هي نفسها في طريقة Hansen:

$$d_q = 1.210, d_\gamma = 1.0$$

أ-

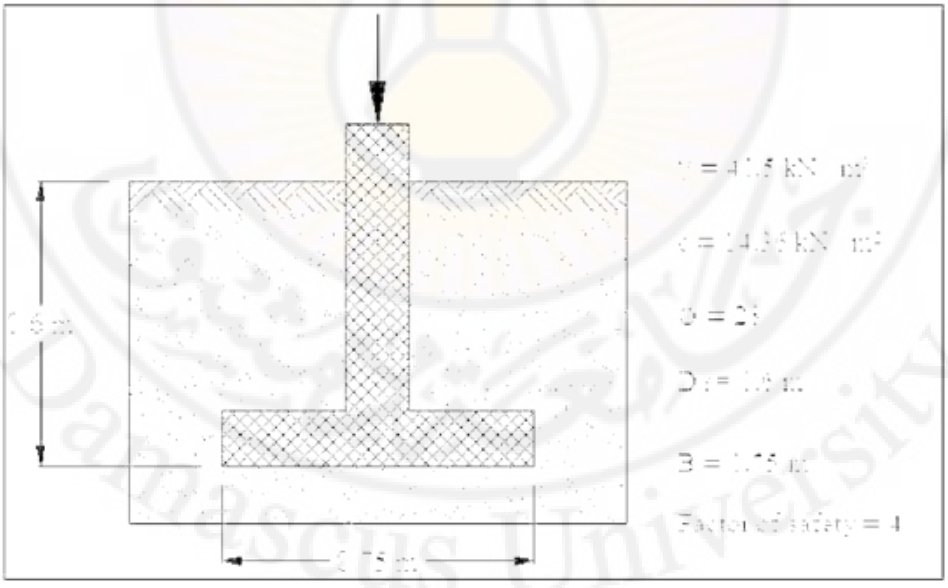
$$q_u = 16.7 \times 1.5 \times 64.19 \times 1.839 \times 1.210 + 0.5 \times 1.0 \times 16.7 \times 109.4 \times 0.6 \times 1.0$$
$$= 4126 \quad KPa$$

ب-

$$q_u = 10.19 \times 1.5 \times 64.19 \times 1.839 \times 1.210 + 0.5 \times 1.0 \times 10.19 \times 109.4 \times 0.6 \times 1.0$$
$$= 2518 \quad KPa$$

مسألة (4-2):

استخدم طريقة ترزاكي للتمييز بين قيمة انهيار القص المحلي وانهيار القص العام.



الشكل رقم (3-2)

الحل:

انهيار قدرة التحمل العام حسب ترزاكي لأساس مربع هو:

$$q_{ult} = 1.3c\,N_c + \bar{q}\,N_q + 0.4\gamma\,B\,N_\gamma$$

$$For\,\phi = 28^\circ\; N_C = 31.6, N_q = 17.8, N_\gamma = 15.0 \quad and\,\bar{q} = \gamma\,D_f$$

$$\bar{q} = 18.0{,}6 = 10.8 \quad KN/m^2$$

$$q_{ult} = 1.3(15)(31.6) + (10.8)(17.8) + (0.4)(18)(0.75)(15)$$
$$= 889.44 \quad KN/m^2$$

لإيجاد قيمة قدرة التحمل لانهيار القص الموضعي فإن التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي تخفض إلى ثلثين:

$$q_{ult-local} = 1.3c'N'_C + \bar{q}\,N_q + 0.4\gamma\,B\,N'_\gamma$$

$$c' = \frac{2}{3}c = \frac{2}{3}(15) = 10 \quad KN/m^2$$

$$and\,\varphi' = \frac{2}{3}(\varphi) = \frac{2}{3}(28^\circ) = 18.7^\circ$$

$$N'_C = 16.2, N'_q = 6.5\,and\,N'_\gamma = 4.52$$

$$q_{ult-local} = 1.3(10)(16.2) + (10.8)(6.5) + (0.4)(18)(0.75)(4.52)$$
$$= 305.21 \quad KN/m^2$$

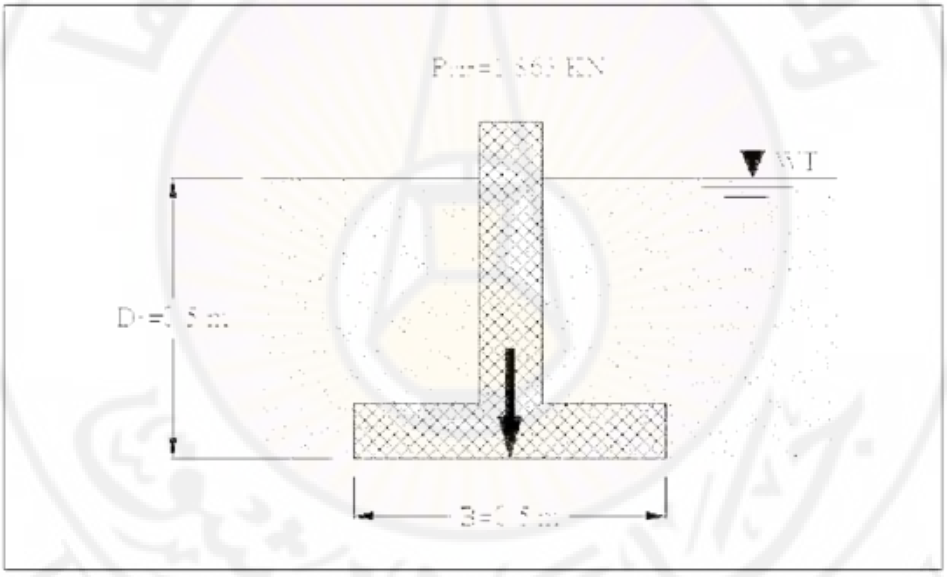
وهكذا فإن قدرة التحمل للانهيار العام هي $889.44 \quad KN/m^2$ بينما للانهيار المحلي هي $305.21 \quad KN/m^2$ أي تقريباً الثلث .

مسألة (2-5):

قارن نتائج الحساب وفق علاقات قدرة التحمل لـ هانسين وميرهوف بنتائج الاختبارات الحقلية حيث أخذ الأساس المستطيل بالانهيار عندما وصلت الحمولة إلى 1863 KN.

المعطيات: $B = 0.5\,m \quad L = 2\,m$,

$\gamma' = 9.31 KN/m^3 \quad \varphi_{triaxial} = 42^{\circ}$ ، $c = 0$. (منسوب الماء عند السطح).



الشكل رقم (2-4)

الحل:

$$q_{ult} = \frac{P_{ult}}{BL} = \frac{1.863 KN}{(0.5m)(2.0m)} = 1863 KPa$$

(1) وفق هانسين: حسب (2-14) وباعتبار أن سطح الأرض والقاعدة أفقيان والحمولة شاقولية وبالتالي : $b_c=b_q=b_\gamma=g_c=g_q=g_\gamma=i_c=i_q=i_\gamma=1$

$$q_{ult} = 0 + \bar{q} N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

حسب صيغة Lee المعدلة: (2-12)

$$\phi_{ps} = 1.5\phi_{triaxial} - 17^\circ = 1.5(42^\circ) - 17^\circ = 46^\circ$$

$$\text{For} \varphi = 46^\circ, N_q = 158.5 \text{ and } N_\gamma = 244.65$$

معاملات الشكل حسب (2.17)

$$S_q = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\tan\varphi = 1 + \left(\frac{0.5}{2}\right)\tan 46^\circ = 1.26$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right) = 1 - 0.4\left(\frac{0.5}{2}\right) = 0.9$$

معاملات العمق حسب (2-23)

$$F_{qd} = 1 + 2\tan\varphi(1-\sin\varphi)^2\left(\frac{D_f}{B}\right) = 1 + 2\tan 46^\circ (1-\sin 46^\circ)^2\left(\frac{0.5}{0.5}\right) = 1.16$$

وحسب (2-27) $d_\gamma = 1.0$

$$q_{ult} = 0 + (9.31)(0.5)(159)(1.27)(1.16) + (0.5)(9.31)(0.5)(245)(0.9)(1.0)$$
$$= 1485KPa$$

نلاحظ أن القيمة الناتجة وفق هانسن أقل من المقيسة 1863 بمقدار 20%.

(2) وفق ميرهوف:

$$\phi = 46^\circ, N_q = 158.5 \text{ and } N_\gamma = 328.73$$

$$q_{ult} = 0 + \bar{q} N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

$$q_{ult} = 0 + (9.31)(0.5)(158.5)(1.27)(1.16) + (0.5)(9.31)(0.5)(328.73)(0.9)(1.0)$$

$$q_{ult} = 1782KPa$$

نلاحظ أن القيمة الناتجة وفق ميرهوف أقل من المقيسة 1863 بمقدار 4%.

حساب قدرة التحمل الحدية وفق مقترحات Braja M.Das (1999)

اقترح Braja M.Das حساب قدرة تحمل التربة وفق معادلة Meyerhaf (2-6) مع بعض التعديلات في معاملات قدرة التحمل ومعاملات الشكل وعمق التأسيس وفق ما يلي :

1- معاملات قدرة التحمل : يمكن إيجادها من الجدول الوارد في بداية هذا الفصل للمعاملات المعتمدة من قبل Vesic حيث تحسب :

Nc . Nq كما هي في العلاقة (2-8) حسب Meyerhof

Nγ كما هي في العلاقة (2-33) حسب Vesic

2- معاملات الشكل : هي المعاملات المقترحة من قبل De Bear والمعتمدة من قبل Vesic والواردة في العلاقة (2-35) .

3- معاملات العمق : هي المعاملات المعتمدة من قبل Hansen والواردة في العلاقة (2-28) .

4- معاملات ميل الحمولة : هي المعاملات المعتمدة من قبل Meyerhof والواردة في العلاقة (2-10) .

إن مقترحات Das تم إيجازها في الجدول التالي لسهولة الاستخدام . سوف يتم اعتماد هذه التوصيات في حل المسائل في الفقرة التالية :

الجدول (2-2) معاملات الشكل والعمق وميل الحمولة المقترح اعتمادها من قبل Das(1999)

Factor	Relationship	Source
Shape*	$S_c = 1 + \frac{B}{L}\frac{N_q}{N_c}$ $S_q = 1 + \frac{B}{L}\tan\phi$ $S_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L}$ Where L=length of the foundation (L>B)	De Beer (1970)
Depth	Condition (a): Df/B≤1 $d_c = 1 + 0.4\frac{D_f}{B}$ $d_q = 1 + 2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\frac{D_f}{B}$ $d_\gamma = 1$ Condition (b) : Df/B>1 $d_c = 1 + (0.4)\tan^{-1}(\frac{D_f}{B})$ $d_q = 1 + 2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\tan^{-1}(\frac{D_f}{B})$ $d_\gamma = 1$	Hansen (1970)

Inclination	$i_c = i_q = (1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ})^2$ $i_\gamma = (1 - \frac{\beta}{\phi})^2$ where β=inclination of the load on the foundation with respect to the vertical	Meyerhof (1963) ; Hanna and Meyerhof (1981)
*these shape factors are empirical relations based on extensive laboratory tests . The factor tan-1(Df/B) is in radians .		

Damascus University

2-2 قدرة تحمل التربة للأساسات المعرضة لحمولة لامركزية أو مائلة :

في حالة الأساسات المحملة لا مركزياً فإن توزع الضغط تحت نعل الأساس لن يكون منتظماً ويمكن حساب الضغط الأعظمي و الأصغري المطبق تحت نعل الأساس وفق ما يلي :

$$q_{\substack{\max \\ \min}} = \frac{Q}{B.L}(1 \pm \frac{6e_B}{B}) \qquad (2\text{-}45)$$

حيث Q الحمولة الشاقولية الكلية ، M العزم المطبق .

e_B : اللامركزية e=M/Q

B : بعد الأساس باتجاه تأثير العزم

L : بعد الأساس بالاتجاه الآخر

نلاحظ هنا أنه إذا كانت eB>B/6 فإن qmin ستكون سالبة مما يعني بأنه سوف تظهر إجهادات شد . وبما أن التربة لا تتحمل أي إجهادات شد فإنه سيحدث انفصال بين الأساس و التربة وبالتالي لا يمكن استخدام العلاقة (2-45) في هذه الحالة فإن الإجهاد الأعظمي يحدد بالعلاقة :

$$q_{\max} = \frac{4Q}{3.L(B-2e)} \qquad (2\text{-}46)$$

لحساب قدرة تحمل التربة الحدية في حالة الأساسات المحملة لامركزياً نستخدم طريقة المساحة الفعالة (The effective area method) المقترحة من قبل Meyerhof (1953) حيث تحسب الأبعاد الفعالة للأساس B',L' وفق العلاقة (2-13) :

$$B'=B-2e_B \quad , \quad L'=L-2e_L$$

وتكون الحمولة الحدية للأساسات المحملة لامركزياً :

$$Q_u = q'_u . B' . L' \qquad (2\text{-}47)$$

حيث q'u هي قدرة تحمل التربة الحدية المحسوبة باستخدام الأبعاد الفعالة للأساس وفق مايلي :

قيمة B في الحد الثالث من معادلة قدرة التحمل هي B' أو L' أيهما أصغر

لحساب معاملات الشكل S_c , S_q , S_γ نستخدم B' و L'

لحساب معاملات العمق d_c , d_q , d_γ نستخدم B و L

إن ذلك يعني أن قدرة تحمل التربة الحدية q'_u سوف تكون أقل من q_u .

وقد اقترح Meyerhof طريقة أخرى لإيجاد q'_u وذلك باستخدام عامل التخفيض R_e وفق مايلي :

$$q'_u = q_u . R_e \qquad (2\text{-}48)$$

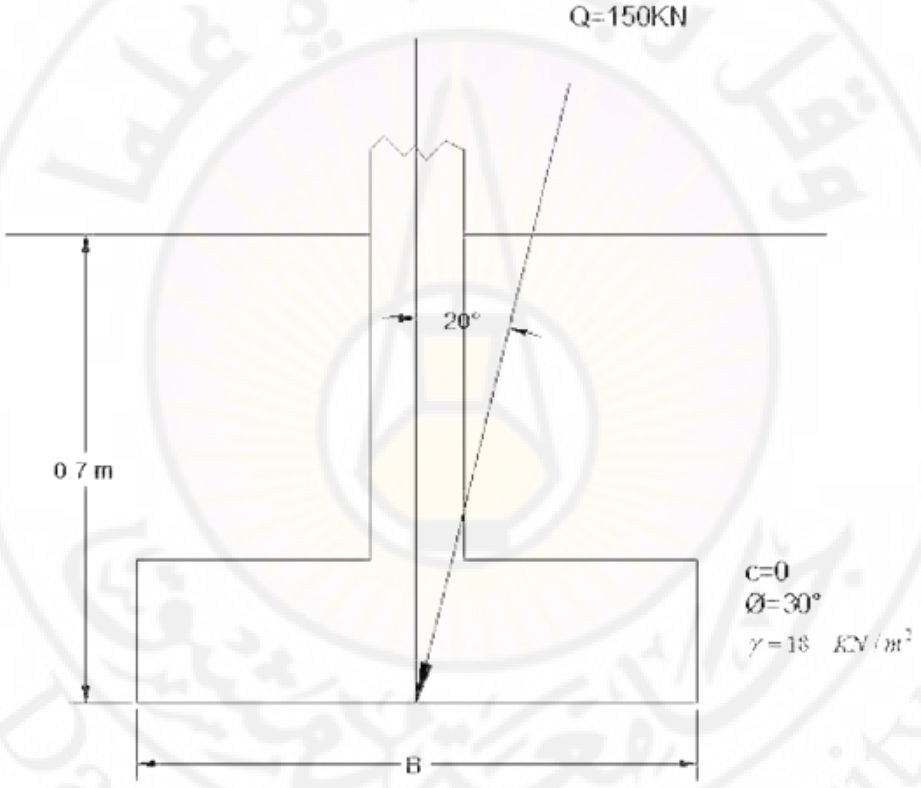
$$R_e = 1 - 2\frac{e}{B} \quad (Cohesive\ \ soil) \qquad (2\text{-}49)$$

$$R_e = 1 - (\frac{e}{B})^{\frac{1}{2}} \quad (Cohesionless\ \ soil) \qquad (2\text{-}50)$$

$(0 < e/B < 0.03)$

مسألة (2-6) :

أساس مربع لعمود يحمل حمولة كلية مسموحة قدرها 150 KN مائلة عن الشاقول بزاوية 20° ، مواصفات التربة ، عمق التأسيس مبينة على الشكل رقم (2-5) . المطلوب حساب عرض الأساس B باستعمال عامل الأمان مساوياً 3 .



الشكل (2-5)

الحل :

حسب المعادلة (2-6) وباعتبار $c=0$, $\varphi=30^{\circ}$:

$$q_u = \gamma D N_q S_q i_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

$$\gamma.D = (0.7)(18) = 12.6 \quad KN/m^2$$

$$\gamma = 18 \quad KN/m^3$$

من الجدول (1-2) معاملات Vesic لأجل ϕ=30°

$$N_q = 18.4$$
$$N_\gamma = 22.4$$

من الجدول (2-2)

$$S_q = 1 + \frac{B}{L}\tan\phi = 1 + 0.577 = 1.577$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L} = 0.6$$

$$d_q = 1 + 2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\frac{D_f}{B} = 1 + \frac{(0.289)(0.7)}{B} = 1 + \frac{0.202}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

$$i_q = (1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ})^2 = (1 - \frac{20}{90})^2 = 0.605$$

$$i_\gamma = (1 - \frac{\beta^\circ}{\phi})^2 = (1 - \frac{20}{30})^2 = 0.11$$

نعوض

$$q_u = (12.6)(18.4)(1.577)(1 + \frac{0.202}{B})(0.605) + (0.5)(18)(B)(22.4)(0.6)(1)(0.11)$$

$$= 212.2 + \frac{44.68}{B} + 13.3B \qquad (a)$$

باستعمال عامل الأمان 3 .

$$q_{all} = \frac{q_u}{3} = 73.73 + \frac{14.89}{B} + 4.43B \qquad (b)$$

إن الحمولة الكلية المسموحة Q

$$Q = q_{all} \times B^2$$

$$q_{ult} = \frac{150}{B^2} \qquad (c)$$

من (b) و (c) نجد

$$\frac{150}{B^2} = 73.73 + \frac{14.89}{B} + 4.43B$$

بطريقة التجريب نجد

$$B \approx 1.3m$$

مسألة (2-7) :

أساس مستطيل أبعاده 1.5x0.75 m حدد الحمولة الحدية الاجمالية Q_{ult} المطبقة لامركزياً على الأساس وقدرة التحمل الحدية للتربة q_{ult} .

معطيات التربة $c=0$, $\varphi=30^\circ$, $\gamma=18\ KN/m^3$

الحل :

العرض الفعال للأساس :

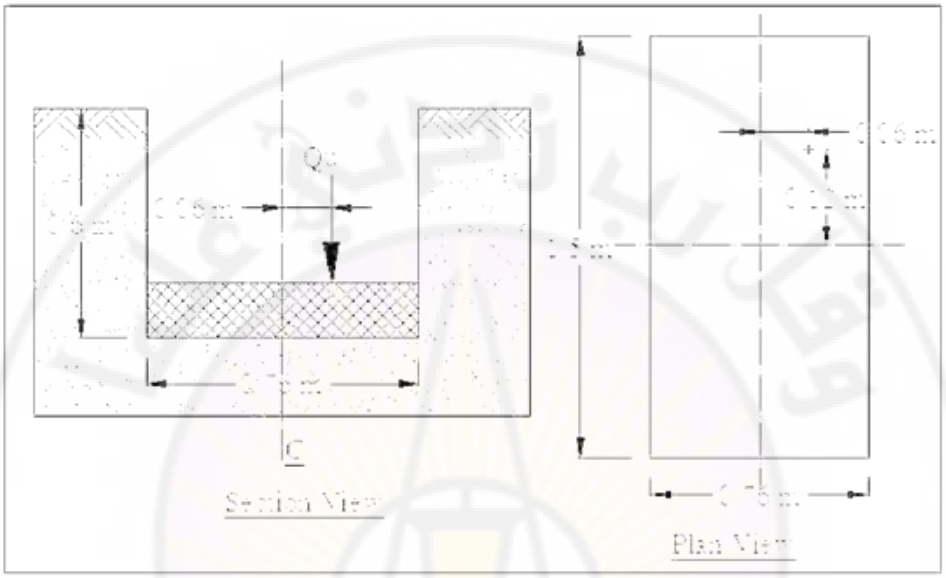
$B'=B-2e_x$

$(0.75)-2(0.06)=0.63$ m

الطول الفعال للأساس :

$L'=L-2e_x$

(1.5)-2(0.12)=1.26 m



الشكل رقم (6-2)

علاقة ميرهوف لقدرة التحمل الحدية لحمولة شاقولية مع c=0 هي :

$$q_{ult}=0+\gamma D N_q S_q d_q+0.5\gamma B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

For $\phi=30^\circ$. N_q=18.4 and N_γ=22.40

$$S_q=1+(\frac{B'}{L'})\tan\phi=1+(\frac{0.63}{1.26})(0.58)=1.29$$

$$d_q=1+2\tan 30^\circ(1-\sin 30^\circ)^2\frac{0.6}{0.75}=1.232$$

$$S_\gamma=1-0.4(\frac{B'}{L'})=1-0.4(\frac{0.63}{1.26})=0.8$$

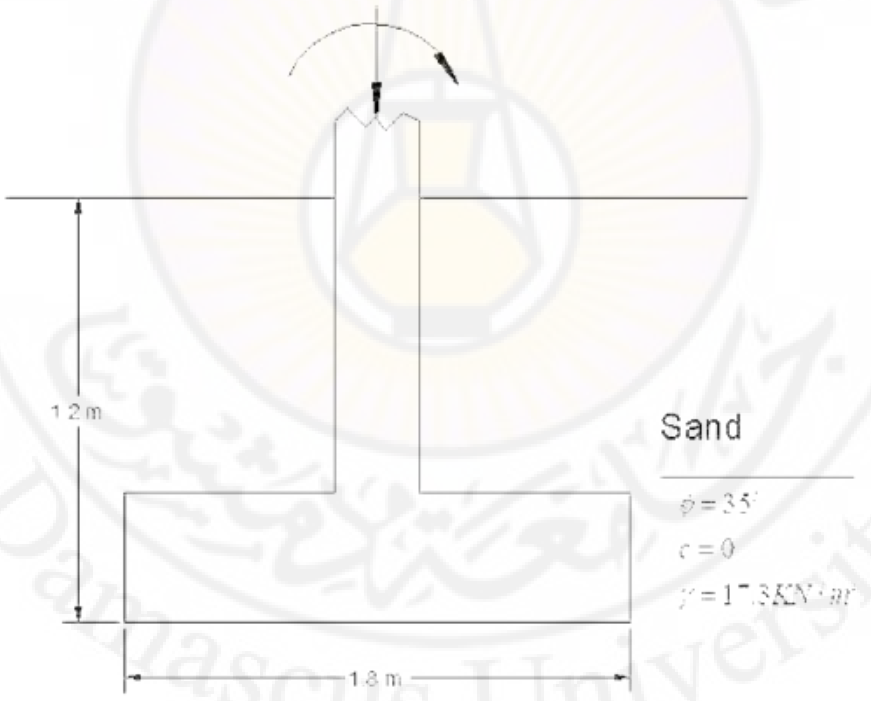
$$d_\gamma=1$$

$$q_{ult} = (0.6)(18)(18.4)(1.29)(1.232) + (0.5)(18)(0.63)(22.40)(0.8)(1)$$
$$= 417.43 \quad KN/m^2$$

$$Q_{ult} = q_{ult}(B'L') = (417.43)(0.63)(1.26) = 331.35 \quad KN/m^2$$

مسألة (2-8) :

لدينا الأساس المستمر المبين في الشكل رقم (2-7) فإذا كانت اللامركزية الناتجة عن العزم تساوي 0.15 m احسب الحمولة الكلية الحدية Q_{ult} لواحدة الطول من الأساس .



الشكل رقم (2-7)

الحل :

لأجل c=0 فإن المعادلة (2-6) تصبح :

$$q'_u = \gamma D N_q S_q i_q d_q + 0.5 \gamma B' N_\gamma S_\gamma i_\gamma d_\gamma$$

$$\gamma D = (17.3)(1.2) = 20.76 KN/m^2$$

لأجل ϕ=35 من الجدول (2-1) معاملات Vesic نجد

$$N_q = 33.3 \quad , \quad N_\gamma = 48.03$$

$$B' = 1.8 - (2)(0.15) = 1.5m$$ وفق العلاقة (2-13)

$$\frac{B'}{L'} = 0$$ بما أن الأساس خطي فإن وبالتالي $$S_q = 1 \quad , \quad S_\gamma = 1$$

$$i_q = i_\gamma = 1$$ وبما أن الحمولة شاقولية

من الجدول (2-2)

$$d_q = 1 + 2\tan\phi(1-\sin\phi)^2 \frac{D_f}{B} = 1 + 0.255(\frac{1.2}{1.8}) = 1.17$$

$$d_\gamma = 1$$

$$q'_u = (20.76)(33.3)(1)(1.17)(1) + (\frac{1}{2})(17.3)(1.5)(48.03)(1)(1)(1) = 1432 KN/m^2$$

$$Q_{ult} = (B')(1)(q'_u) = (1.5)(1)(1432) = 2148 KN/m^2$$

مسألة (9-2) :

أساس مربع 1.8x1.8 m محمل حمولة مركزية 1800 KN وعزوم Mx=270KN.m ، My=160KN.m فإذا كان عمق التأسيس 1.8 m ومواصفات التربة $c=9.61\ KN/m^2$ ، $\gamma=18KN/m^3$ ، $\varphi=36^o$ وعمق البساط المائي 6m . احسب الحمولة الحدية المسموحة باعتبار عامل الأمان =3 .

الحل :

$$e_x=\frac{M_x}{Q}=\frac{160}{1800}=0.089 \quad ، \quad 2e_x=0.178 \quad ، \quad \frac{e_x}{B}=0.05$$

$$e_y=\frac{270}{1800}=0.15 \quad ، \quad 2e_y=0.3 \quad ، \quad \frac{e_y}{B}=0.08$$

$$B'=1.8-0.3=1.5m \quad ، \quad L'=1.8-0.178=1.622m$$

من الجدول (1-2) معاملات Vesic

$$N_c=50.59 \quad ، \quad N_q=37.75 \quad ، \quad N_\gamma=56.31$$

$$\frac{D}{B}=\frac{1.8}{1.8}=1$$

$$S_c=1+\frac{N_q}{N_c}\frac{B'}{L'}=1.69$$

$$d_c=1+0.4\frac{D}{B}=1.4$$

$$S_q=1+\frac{B'}{L'}\tan\phi=1.67$$

$$d_q = 1 + 2\tan\phi(1-\sin\phi)\frac{D}{B} = 1.25$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4\frac{B'}{L'} = 0.63$$

$$d_\gamma = 1 \quad , \quad i_c = i_q = i_\gamma = 1$$

باستعمال العلاقة (2-6)

$$q_{ult} = cN_c S_c d_c + \gamma D N_q S_q d_q + 0.5\gamma B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$
$$= 9.61(50.59)(1.69)(1.4) + (18)(1.8)(37.75)(1.67)(1.25)$$
$$+ 0.5(1.5)(18)(56.31)(0.63)1.0$$
$$= 1150 + 2553 + 479 = 4182 \quad KN/m^2$$

باعتبار عامل الأمان 3

$$q_a = \frac{4182}{3} = 1394 \ KN/m^2$$
$$Q_{all} = 1394 \times 1.5 \times 1.622 = 3391.6 \ KN$$

وبطريقة أخرى باستخدام عامل التخفيض (Meyerhof) حسب العلاقة (2-50) وباعتبار c صغيرة جداً .

$$R_{ex} = 1 - (\frac{e_x}{B})^{\frac{1}{2}} = 1 - (0.05)^{\frac{1}{2}} = 0.78$$

$$R_{ey} = 1 - (\frac{e_y}{B})^{\frac{1}{2}} = 1 - (0.08)^{\frac{1}{2}} = 0.72$$

نعيد حساب q_{ult} باعتبار الأساس محمل مركزياً ، معاملات العمق هنا لن تتغير وكذلك معاملات ميل الحمولة أما معاملات ميل الشكل فتصبح :

$$S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}\frac{B}{L} = 1.75$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L}\tan\phi = 1.73$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L} = 0.60$$

$$q_{ult} = 9.61(50.59)(1.75)(1.4) + (18)(1.8)(37.75)(1.73)(1.25)$$
$$+ 0.5(1.8)(18)(56.31)(0.6)(1.0)$$
$$= 1191 + 2645 + 547 = 4383\ KN/m^2$$
$$q_a = \frac{4383}{3} = 1461.1\ KN/m^2$$

باستخدام العلاقة (4-2) وباعتبار اللامركزية بالاتجاهين

$$Q_{all} = q_a(BL)R_{ex}R_{ey} = 1461.1\times1.8\times1.8\times0.78\times0.72 = 2658.6KN$$

بذلك فإن قدرة التحمل المسموحة المخفضة

$$q_a = \frac{2658.6}{1.8\times1.8} = 820.6\ KN/m^2$$

2-3- تعيين الضغط الحرج الأولي على التربة بطريقة نظرية المرونة حسب (Frolich):

إن الضغط الحرج الأولي P_{cr1} هو الضغط الموافق لنهاية مرحلة التراص والذي لا يؤدي إلى ظهور مناطق توازن حدي في القاعدة الترابية ، حيث يمكن اعتبار العلاقة بين الضغط والهبوط هي علاقة خطية لقيم الضغط التي لا تتجاوز الضغط الحرج ، وبالتالي يمكن استخدام نظرية المرونة ، لذلك يمكن اعتبار هذا الضغط ضغطاً أميناً ، وبالتالي لا يوجد داع لاستخدام عامل أمان لدى الحساب بهذه الطريقة .

وقد تم حل هذه المسألة من قبل Puzirevski(1929) ثم تم تطويرها من قبل Gersivanov(1930) ثم Frolich .

وفق هذه الطريقة لحساب الضغط الحرج الأولي تستخدم العلاقة

$$p_{cr1} = \frac{\pi(c.ctg\varphi + \gamma.D)}{ctg\varphi + \varphi - \pi/2} + \gamma_1.D \qquad (2\text{-}51)$$

حيث γ للتربة تحت منسوب التأسيس و γ_1 للتربة فوق منسوب التأسيس مع الأخذ بعين الاعتبار منسوب البساط المائي حسب ماورد في الفقرة 1-2 .

وقد تم تطوير هذه العلاقة بما يسمح بظهور مناطق توازن حدي ضمن عمق يساوي B/4 حسب الكود الروسي فأصبحت العلاقة :

$$p_{cr1} = \frac{\pi(c.ctg\varphi + \gamma_1.D + 0.25\gamma.B)}{ctg\varphi + \varphi - \pi/2} + \gamma_1.D \qquad (2\text{-}52)$$

وقد تم تبسيط هذه العلاقة لتأخذ الشكل

$$p_{cr1} = c.M_c + \gamma_1.D.M_q + \gamma.B.M_\gamma \qquad (2\text{-}53)$$

حيث :

$$M_\gamma = \frac{0.25\pi}{ctg\varphi + \varphi - \pi/2} \quad , \quad M_q = \frac{\pi}{ctg\varphi + \varphi - \pi/2} \quad , \quad M_c = \frac{\pi . ctg\varphi}{ctg\varphi + \varphi - \pi/2} \quad \ldots (2\text{-}54)$$

ترد قيم هذه المعاملات في الجدول (2-1) .

مسألة (2-10):

عين مقدار الضغط الحرج الأولي (p_{cr1}) على التربة التي يرتكز ضمنها أساس مستمر وذلك اعتماداً على المعطيات الآتية:

- التربة غضارية وخواصها $\varphi = 18^\circ \quad , \gamma = 17.5\,KN/m^3 \quad c = 52\,KN/m^2$
- عمق التأسيس $D = 1.6\,m$ تحت منسوب سطح الأرض الطبيعية ويبلغ عرض الأساس $B = 2\,m$.

الحل:

لحساب الضغط الحرج الأولي نستخدم العلاقة (2-51) :

$$p_{cr1} = \frac{3.14(17.5\times 1.6 + 52\times 3.078)}{3.078 + 0.314 - 1.571} + 17.5\times 1.6 = 352.1 KN/m^2$$

حيث $\varphi = 18\times \pi/180 = 0.314$

إن القيمة التي حصلنا عليها هي قيمة الضغط الموافق لنهاية مرحلة التراص (الضغط الأمين والذي لا يؤدي تطبيقه على التربة إلى ظهور أي مناطق توازن حدي فيها بالإضافة إلى أن التشوه الناتج في التربة يكون قليلاً وأقل من المسموح به.

وبطريقة اخرى وفق العلاقة (53-2) ومن الجدول (1-2) ولأجل $\varphi = 18$ نجد :

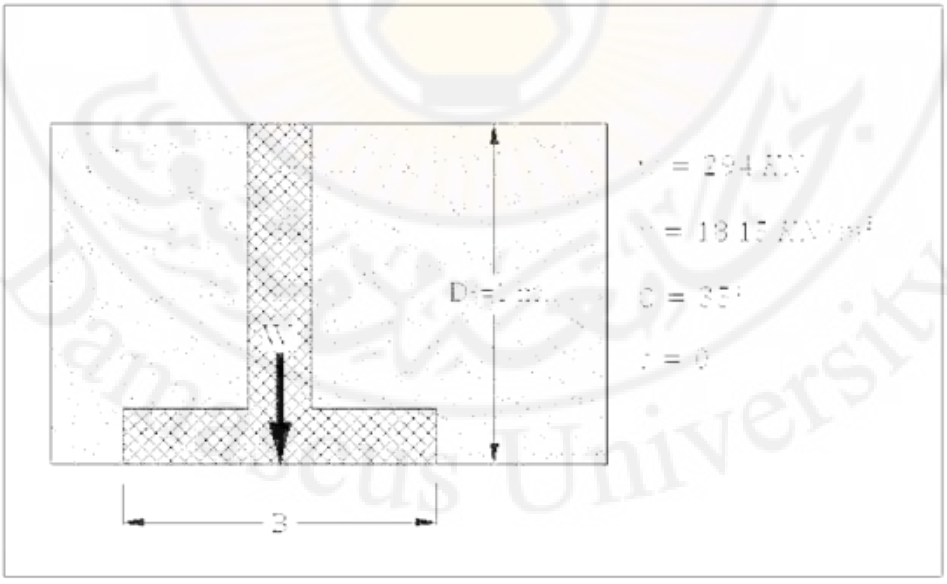
$$M_\gamma = 0.43 \quad ، \quad M_q = 2.73 \quad ، \quad M_c = 5.31$$

$$p_{\sigma 1} = 52 \times 5.31 + 17.5 \times 1.6 \times 2.73 + 17.5 \times 2 \times 0.43 = 367.61 KN/m^2$$

2-4- مسائل غير محلولة:

مسألة (2-11):

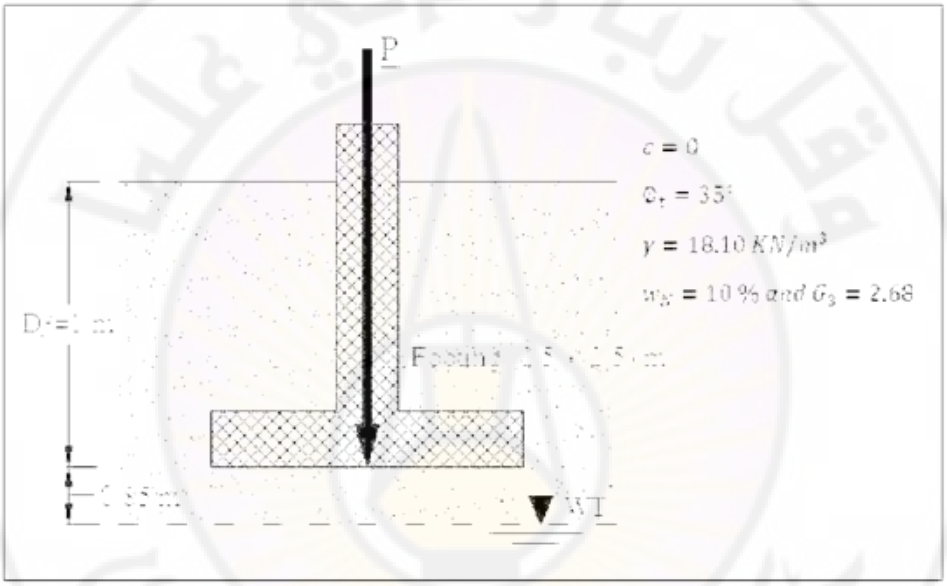
لدينا الأساس المربع الموضح في الشكل رقم (2-8) يجب أن يصمم لتحمل حمولة KN 294. استخدم علاقة ترزاكي لقدرة التحمل وحدد B عرض الأساس المربع مع عامل أمان 3. ثم أعد حل هذه المسألة باستخدام علاقة هانسن .



الشكل رقم (2-8)

مسألة (2-12) :

باستخدام طريقة هانسن، ما هي قدرة التحمل الحدية والمسموحة من أجل الأساس في الشكل رقم (2-9) إذا كان معامل الأمان المطلوب 2 ؟



الشكل رقم (2-9)

مسألة (2-13):

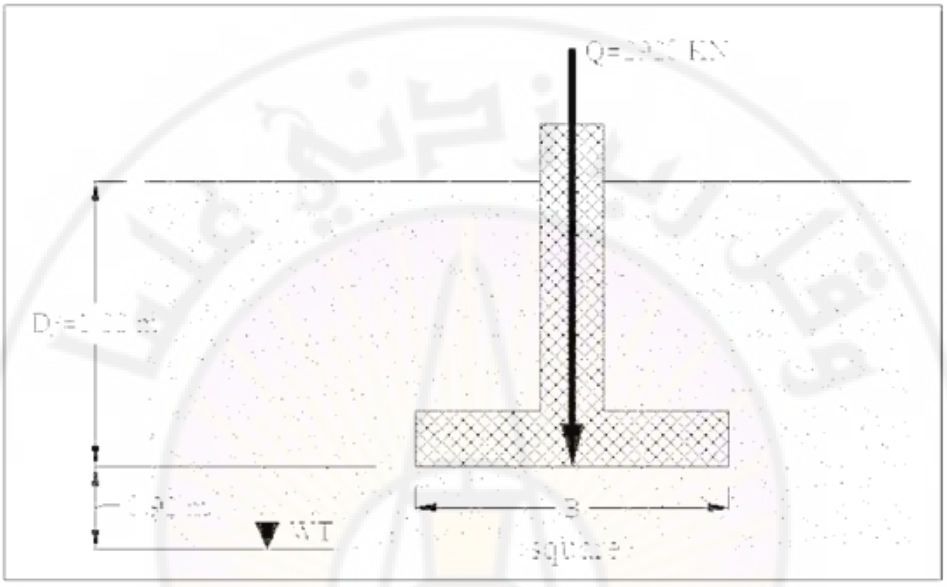
باستخدام علاقة قدرة التحمل لـ ميرهوف (مع عامل أمان 3) حدد عرض أساس B في الحالتين:

أ- منسوب الماء كما يظهر في الشكل رقم (2-10)

ب- منسوب الماء يرتفع حتى سطح الأرض.

حيث خصائص التربة:

الـوزن الحجمـي $18.5 kN/m^3$، الرطوبـة 10%، زاويـة الاحتكـاك $\varphi = 25^\circ$، التماسك $C_u = 25.8 \text{kN/m}^2$، والوزن النوعي للجزء الصلب $G_s = 2.68$.



الشكل رقم (10-2)

مسألة (14-2):

عين مقدار الضغط الحرج الأولي p_{cr1} لأساس مستمر عرضه 1.5 m وعمق تأسيسه 2.2 m ويستند إلى تربة مواصفاتها : $\gamma = 18 kN/m^3$، $\varphi = 12^\circ$، $C = 80 kN/m^2$

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث
ضغط التربة على الحواجز

3-1- مسائل

3-2- مسائل غير محلولة.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

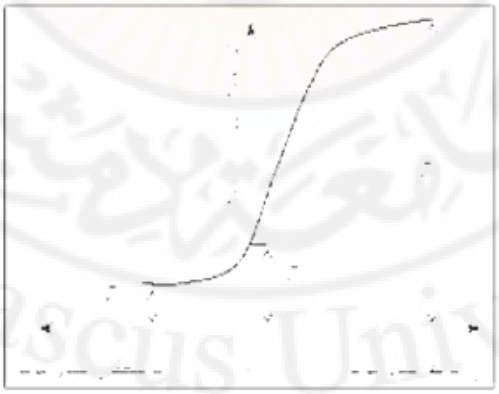
3-1 مسائل:

مسألة (3-1):

جدار استنادي أملس تم إنشاؤه لإسناد تربة رملية تمر بسطح أفقي وموضح في الشكل (3-2). أوجد محصلة قوة الضغط الجانبي في وضع الراحة وعين نقطة تأثيرها.

جدول (3-1): قيم K_a و K_P باستخدام نظرية رانكن

ϕ (0)	K_a	K_P
10	0.703	1.42
15	0.589	1.70
20	0.490	2.04
25	0.406	2.46
30	0.333	3.00
35	0.271	3.69
40	0.217	4.61
45	0.171	5.83



الشكل رقم (3-1) تباين الضغوط الجانبية للتربة

الحل:

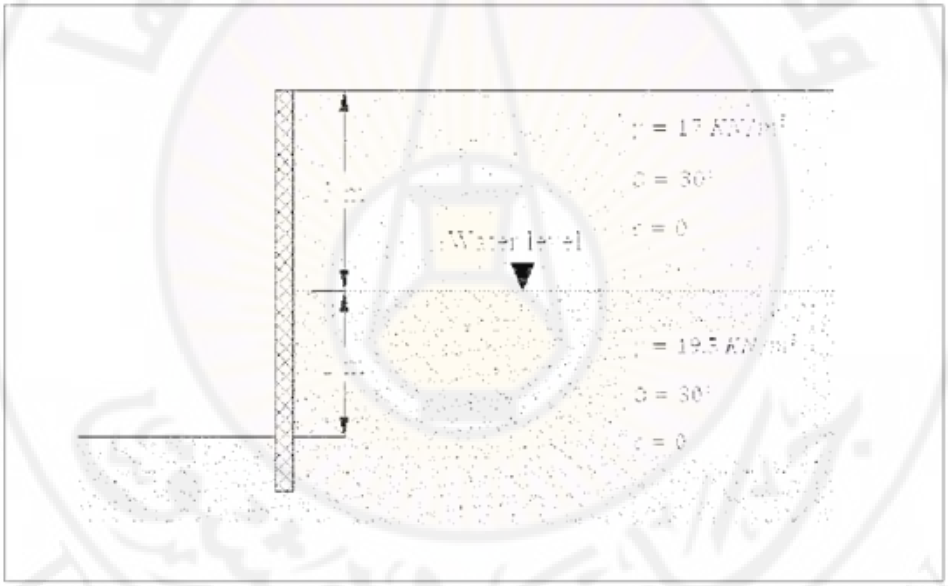
معامل الضغط عند الراحة:

$$K_a = 1 - \sin\phi = 1 - \sin 30 = 0.50$$

الضغط الجانبي عند العمق $H = 3\,m$:

$$\sigma_o = K_o\,\sigma_v$$

$$= 0.50 \times 17.0 \times 3 = 25.5\ \ kN/m^2$$



الشكل رقم (2-3)

الضغط الجانبي عند العمق $H = 5\,m$:

$$\sigma_o = 0.50 \times 17.0 \times 3 + 0.50 \times (19.5 - 9.81) \times 2 = 35.19\ KN/m^2$$

ضغط الماء خلال الطبقة السفلية:

$$u = 9.81 \times 2 = 19.62\ \ KN/m^2$$

ويمكن تمثيل قيم الضغط الجانبي للتربة وضغط الماء في الشكل (3-3).

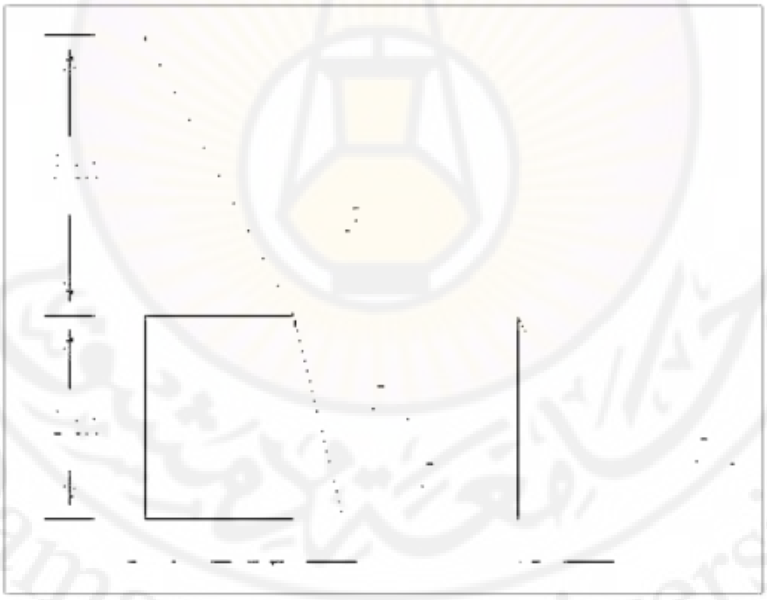
وتحسب مساحة كل شكل لإيجاد القوى لكل متر طولي من الحائط الساند وذلك على النحو التالي:

$$P_{o(1)} = \frac{1}{2} \times 3 \times 25.5 = 38.25 \ \ KN/m$$

$$P_{o(2)} = 2 \times 25.5 = 51.00 \ \ KN/m$$

$$P_{o(3)} = \frac{1}{2} \times 2 \times (35.19 - 25.5) = 9.69 \ \ KN/m$$

$$P_{o(4)} = \frac{1}{2} \times 2 \times 19.62 = 19.62 \ \ KN/m$$



الشكل رقم (3-3) مخطط ضغوط الماء والتربة

محصلة قوة الضغط الجانبي في وضع الراحة:

$$P_o = P_{o(1)} + P_{o(2)} + P_{o(3)} + P_{o(4)}$$

$$= 38.25 + 51.00 + 9.69 + 19.62 = 118.56 \quad KN/m$$

لتحديد نقطة تأثير المحصلة من أسفل المحصلة (h):

$$h = \frac{38.25 \times (3 \times \frac{1}{3} + 2) + 51.00 \times \frac{2}{2} + 9.69 \times \frac{2}{3} + 19.62 \times \frac{2}{3}}{118.56} = 1.56\,m$$

مسألة (2-3):

جدار رأسي وأملس ارتفاعه 5.5 m يسند تربة رملية لها الخواص:

$$\gamma = 17 \quad KN/m^3 \qquad c = 0 \qquad \phi = 35^\circ$$

بافتراض أن سطح التربة يمتد أفقياً، احسب محصلة كل من الضغط الإيجابي والسلبي ونقطة تأثير كل منهما.

بافتراض أن سطح التربة يميل بزاوية $\beta = 10^\circ$، احسب محصلة الضغط الإيجابي ونقطة تأثيرها.

الحل:

أ- حالة امتداد سطح التربة أفقياً:

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \frac{1 - \sin 35}{1 + \sin 35} = 0.271$$

$$K_p = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \frac{1 + \sin 35}{1 - \sin 35} = 3.690$$

محصلة الضغط الإيجابي لكل متر طولي من الجدار الساند:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 = \frac{1}{2} \times 0.271 \times 17 \times (5.5)^2 = 69.68 \quad KN/m$$

محصلة الضغط السلبي لكل متر طولي من الجدار الساند:

$$P_P = \frac{1}{2} K_P \gamma H^2 = \frac{1}{2} \times 3.690 \times 17 \times (5.5)^2 = 948.80 \quad KN/m$$

نقطة تأثير كلا المحصلتين تقع على ارتفاع $\frac{H}{3} = 1.83m$ من قاعدة الجدار الساند.

ب- حالة امتداد سطح التربة خلف الحائط بزاوية $\beta = 10^\circ$:

$$K_a = \cos\beta \times \frac{\cos\beta \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$$

$$= \cos 10 \times \frac{\cos 10 - \sqrt{\cos^2 10 - \cos^2 35}}{\cos 10 + \sqrt{\cos^2 10 - \cos^2 35}} = 0.282$$

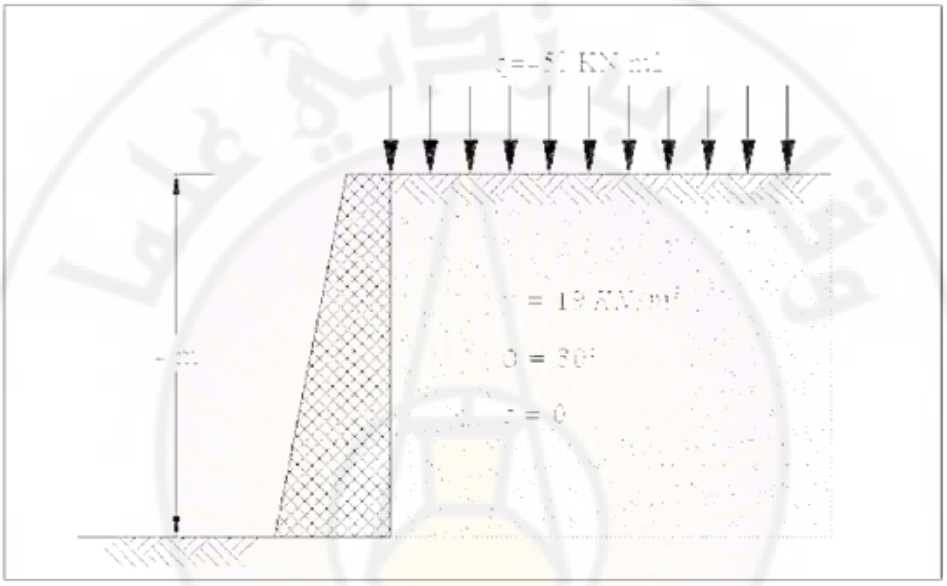
محصلة الضغط الإيجابي لكل متر طولي من الجدار الساند:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 = \frac{1}{2} \times 0.282 \times 17 \times (5.5)^2 = 72.51 \quad KN/m$$

نقطة تأثير محصلة الضغط الإيجابي تقع على ارتفاع $\frac{H}{3} = 1.83m$ من قاعدة الجدار الساند.

مسألة (3-3):

معطى الجدار الإستنادي الموضح في الشكل (3-4)، والمطلوب تحديد محصلة الضغط الإيجابي وموقع نقطة تأثيرها.



الشكل رقم (3-4)

الحل:

معامل الضغط الإيجابي:

$$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-\sin 30}{1+\sin 30} = 0.333$$

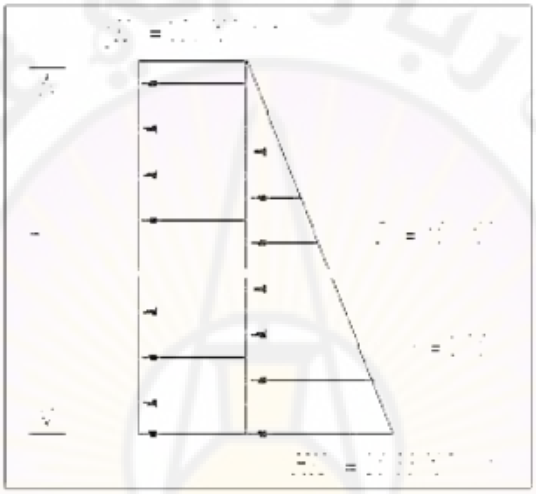
محصلة الضغط الإيجابي لكل متر طولي من الجدار الساند:

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a + q H K_a$$

$$= \frac{1}{2}\times 19\times 4^2 \times 0.333 + 450\times 4\times 0.333 = 650 KN/m$$

لتحديد نقطة تأثير المحصلة h يلزم رسم مخطط لتوزيع الضغط كما هو موضح أدناه:

$$h = \frac{150 \times 4 \times \frac{4}{2} + \frac{1}{2} \times 25.33 \times 4 \times \frac{4}{3}}{650} = 1.95\,m$$



الشكل رقم (3-5)

مسألة (3-4):

1- قارن بين معاملات الضغط الجانبي بطريقة كولومب ورانكين إذا علمت أن تربة الردم هي حصويات زاوية الاحتكاك فيها 35 درجة و $\theta = 0$ و $\alpha = 20$ درجة و $\delta = 12$.

2- ما هو ضغط التربة السلبي على الجدار في حالة الانهيار إذا علمت أن الجدار ارتفاعه 10 م وأن الوزن الحجمي للتربة المردومة $\gamma = 18.1 KN/m^3$ وأن $c = 9 KN/m^2$.

الحل:

تعطى معاملات رانكين للضغط الإيجابي والضغط السلبي بالعلاقات:

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) = \tan^2\left(45^\circ - \frac{35^\circ}{2}\right) = 0.271$$

$$K_P = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) = \tan^2\left(45^\circ + \frac{35^\circ}{2}\right) = 3.690$$

مع ملاحظة أن $K_a = \frac{1}{K_P}$.

بينما تعطى معاملات كولومب للضغط الإيجابي والضغط السلبي بالعلاقات:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta + \theta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi)\sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2}$$

$$= \frac{\cos^2(35 - 0)}{\cos^2 0\cos(12 + 0)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(12 + 35)\sin(35 - 20)}{\cos(12 + 0)\cos(0 - 20)}}\right]^2} = 0.323$$

$$K_P = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta - \theta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta)\sin(\phi + \alpha)}{\cos(\delta - \theta)\cos(\alpha - \theta)}}\right]^2}$$

$$= \frac{\cos^2(35 + 0)}{\cos^2 0\cos(12 + 0)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(35 - 12)\sin(35 + 20)}{\cos(12 - 0)\cos(20 - 0)}}\right]^2} = 3.517$$

وعندما يكون $\alpha = 0$ و $\delta = 0$ و $\theta = 0$ تصبح علاقات كولومب مماثلة لعلاقات رانكين.

وباستعمال قيمة كل من قيمة معامل رانكين للضغط السلبي ومعامل كولومب للضغط السلبي الناتجين من المعادلات أعلاه نجد:

$$Rankine's\ F_P = 0.5\gamma h^2 K_P + 2ch\sqrt{K_P}$$

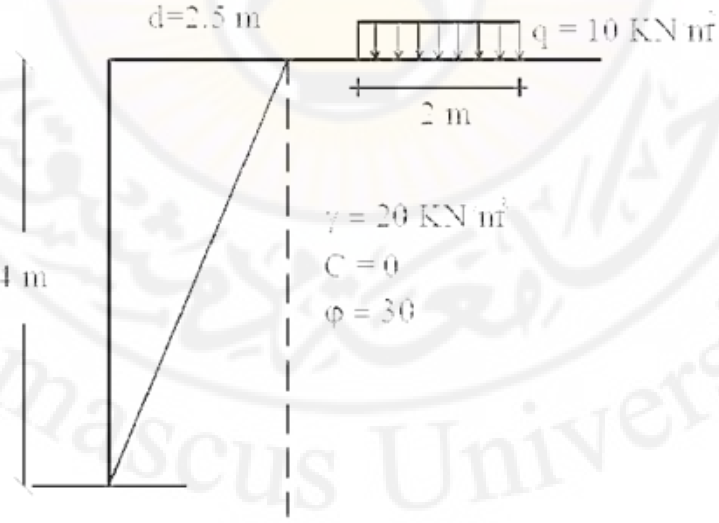
$$= (0.5)(18.1)(10)^2(3.690) + 2(9)(10)\sqrt{3.690} = 3.685 \quad KN/m^2$$

$$Coulomb's\ F_P = 0.5\gamma h^2 K_P + 2ch\sqrt{K_P}$$

$$= (0.5)(18.1)(10)^2(3.517) + 2(9)(10)\sqrt{3.517} = 3.520 \quad KN/m^2$$

مسألة (3-5):

جدار استنادي أملس يسند خلفه تربة رملية. احسب قيمة الضغط الجانبي الإيجابي على الجدار إذا علمت أنه يوجد حمولة موزعة شدتها $q = 10 kN/m$ عرضها 2 m تؤثر على مسافة $d = 2.5 m$ من الوجه الخلفي للجدار. ثم أعد حل المسألة السابقة إذا كانت $d = 1.5 m$.



الشكل (3-6)

الحل:

1- نوجد معامل الضغط الجانبي:

$$K_a = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} = \frac{1-\sin 30}{1+\sin 30} = 0.333$$

2- حساب زاوية موشور الانهيار θ:

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} = 45 + 15 = 60^\circ$$

3- حساب المسافة الأفقية لموشور الانهيار:

$$x = \frac{H}{\operatorname{tg}\theta} = \frac{4}{\operatorname{tg} 60} = 2.31\,\mathrm{m}$$

4- نلاحظ من الشكل أن الحمولة الموزعة تقع خارج موشور الانهيار وبالتالي لا تؤثر هذه الحمولة على زيادة الضغط الجانبي على الجدار.

الحل إذا كانت $d = 1.5\,m$:

نفس الحل بالطريقة السابقة وصولاً للخطوة رقم /4/ حيث نلاحظ أن جزءاً من الحمولة يقع ضمن موشور الانهيار الشكل (3-7-a) وبالتالي ستزداد قيمة الضغط الجانبي زيادة بسبب وجود هذه الحمولة.

5- نوجد h_b ، h_c من العلاقتين:

$$h_b = d \cdot \operatorname{tg}\varphi = 1.5 \cdot \operatorname{tg} 30 = 0.866\,\mathrm{m}$$

$$h_c = d \cdot \operatorname{tg}\theta = 1.5 \cdot \operatorname{tg} 60 = 2.6\,\mathrm{m}$$

6- نوجد الضغط الجانبي عند النقاط a، b، c، d من العلاقات التالية:

$$\sigma_a = 0$$

$$\sigma_b = \gamma \cdot h_b \cdot K_A = 20 \cdot 0.866 \cdot 0.333 = 5.76 KN/m^2$$

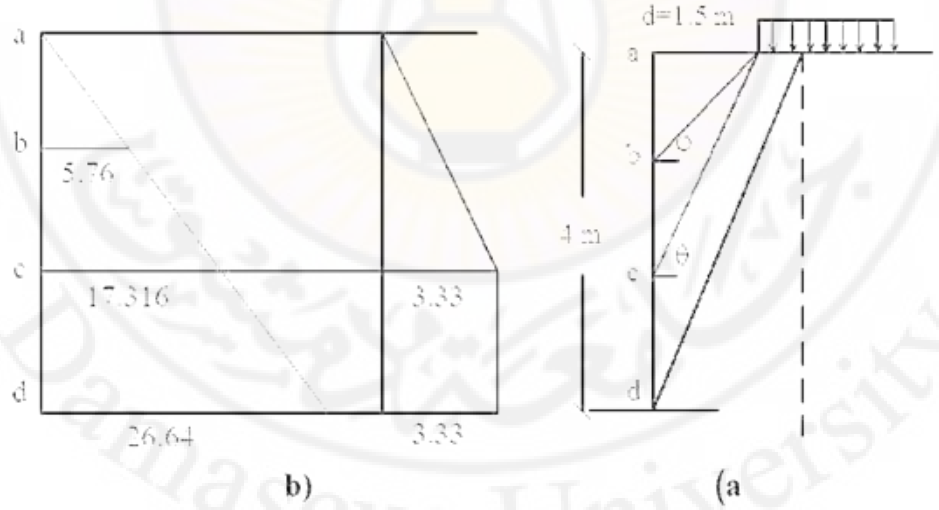
$$\sigma_c = \gamma \cdot h_c \cdot K_A + q \cdot K_A$$

$$= 20 \cdot 2.6 \cdot 0.333 + 10 \cdot 0.333 = 17.316 + 3.33 = 20.646 KN/m^2$$

$$\sigma_d = \gamma \cdot H \cdot K_A + q \cdot K_A$$

$$= 20 \cdot 4 \cdot 0.333 + 10 \cdot 0.333 = 26.64 + 3.33 = 29.97 KN/m^2$$

7- نرسم مخطط الضغط الجانبي : الشكل (3-7-b)

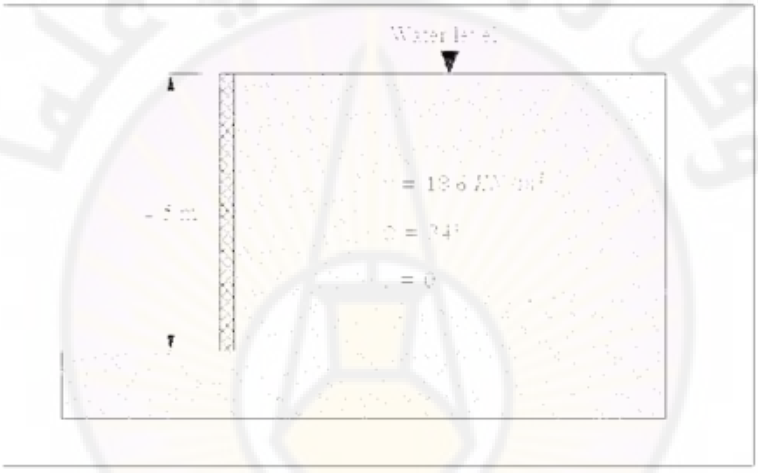


الشكل (3-7)

3-2- مسائل غير محلولة:

مسألة (3-6):

جدار استنادي رأسي ارتفاعه 4.5 m تم إنشاؤه لإسناد تربة رملية تمتد بسطح أفقي حسب الشكل أدناه. أوجد محصلة قوة الضغط الجانبي في وضع الراحة وعين نقطة تأثيرها.

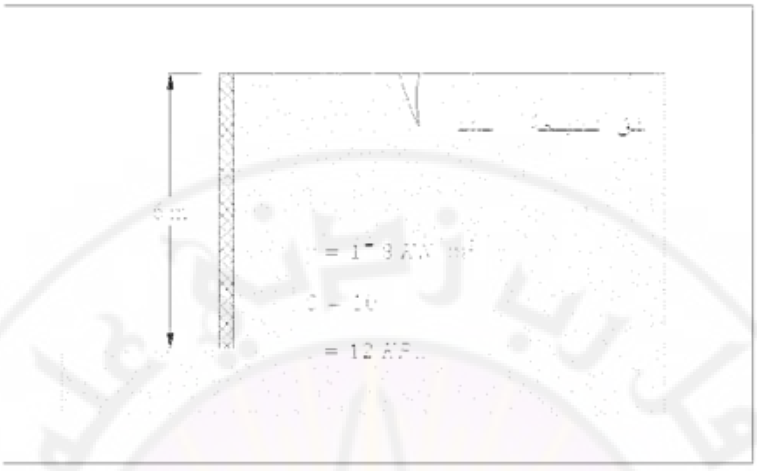


الشكل رقم (3-8)

مسألة (3-7):

جدار استنادي رأسي ارتفاعه 6.0 m تم إنشاؤه لإسناد تربة غضارية تمتد بسطح أفقي حسب الشكل الموضح أدناه.

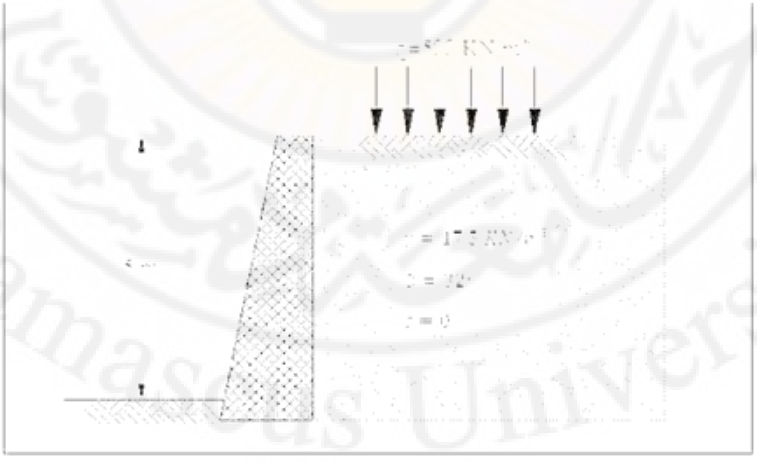
- احسب الضغط الجانبي الإيجابي في أعلى وأسفل الجدار الاستنادي.
- احسب عمق الشق (الشد) في التربة الغضارية.



الشكل رقم (3-9)

مسألة (3-8):

جدار استنادي موضح في الشكل أدناه. احسب محصلة الضغط الجانبي السلبي وموقع نقطة تأثيرها.



الشكل رقم (3-10)

مسألة (3-9):

احسب القوى الإيجابية والسلبية على جدار استنادي لتربة رملية وأعطيت لها المعلومات التالية:

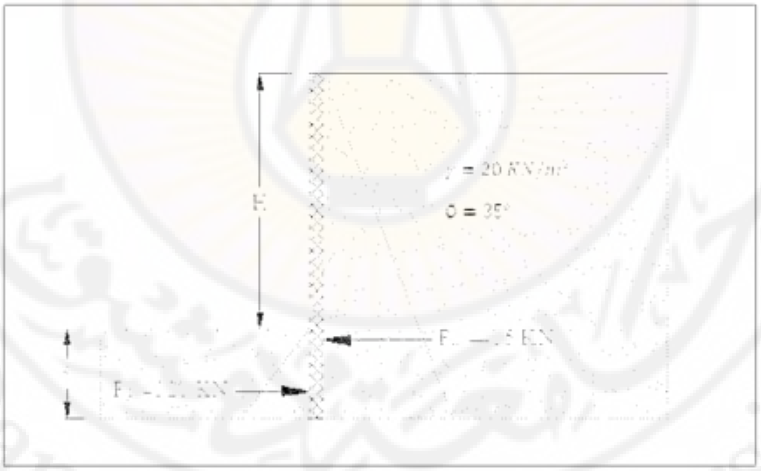
$H = 4.5\,m$

$\gamma = 18.0\,KN/m^2$

$\phi = 34^\circ \quad , \quad \beta = 10^\circ$

مسألة (3-10):

احسب كل من H و d للجدار الساند الموضح أدناه إذا كان $P_a = 405kN$ و $P_p = 320kN$.



الشكل رقم (3-11)

الفصل الرابع
الهبوط في التربة

4-1- طرائق حساب الهبوط الكلي (النهائي):

طريقة التطبيق المباشر لهبوط العينة في الأدومتر، الطريقة العامة، طريقة استخدام حلول نظرية التشوه الخطي (المرونة).

4-2- الهبوط مع الزمن:

نظرية الانضغاط الرشحي وحساب تطور الهبوط مع الزمن، الهبوط الناتج من الانضغاط الثاني مع الزمن.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

4-1 طرائق حساب الهبوط الكلي (النهائي):

طريقة التطبيق المباشر لهبوط العينة في الأدومتر، الطريقة العامة، طريقة استخدام حلول نظرية التشوه الخطي (المرونة).

مسألة (4-1):

احسب الهبوط الكلي لأساس مستمر عرضه B=6.0 m ينقل إلى التربة ضغطاً مقداره p=250 KPa ويستند إلى تربة غضارية سماكتها 2.5 m وزنها الحجمي $\gamma = 17.4\,KN/\,m^3$ ومعامل انضغاطيتها $a_v = 1.10^{-4}\ m^2/KN$ ومعامل مساميتها الطبيعي $e_0 = 0.59$ وتستند التربة الغضارية إلى طبقة من الكونغلوميرات غير القابلة للانضغاط .

الحل:

ستستخدم في الحل **طريقة التطبيق المباشر لهبوط العينة في جهاز الأدومتر** وتستخدم هذه الطريقة في حالة حساب هبوط طبقة محددة السماكة لا تتجاوز سماكتها نصف عرض الأساس $h \le B/2$ عندما تستند هذه الطبقة إلى طبقة من التربة غير القابلة للانضغاط .

ويحسب الهبوط في هذه الحالة من العلاقة

$$S = h.m_v.p_{net} \qquad (4.1)$$

حيث m_v معامل التغير الحجمي coefficient of volume chang (أو معامل الانضغاط الحجمي)

p_{net} الضغط الصافي المطبق تحت نعل الأساس على التربة ويحسب من تجربة الأودومتر بالعلاقة :

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0} \qquad (4.2)$$

حيث a_v هو معامل انضغاطية التربة coeff. of compressibility

e_0 معامل المسامية الطبيعي ويحسب بالعلاقة :

$$a_v = \frac{e_1 - e_2}{p_i} \qquad (4.3)$$

حيث p_i الضغط الإضافي المطبق (الضغط الكلي مطروحاً منه الضغط الذي وصل التربة مسبقاً).

نتابع الحل:

$$S = h.m_v.p_{net}$$

$$p_{net} = p - \gamma h = 250 - 17.4 * 2.5 = 206.5Kpa$$

$$m_v = \frac{1*10^{-4}}{1+059} = 6.29*10^{-5} m^2 / KN$$

$$S = 2.5*6.29*10^{-5}.*206.5 = 0.032m = 3.2Cm$$

الطريقة العامة في حساب الهبوط :

تعتمد هذه الطريقة على تقسيم سماكات الطبقات المنضغطة إلى شرائح مع افتراض ثبات قيمة الإجهاد ومواصفات الانضغاط لكل شريحة ثم حساب الهبوط الكلي عن طريق الجمع المباشر لتشوهات كل طبقة .

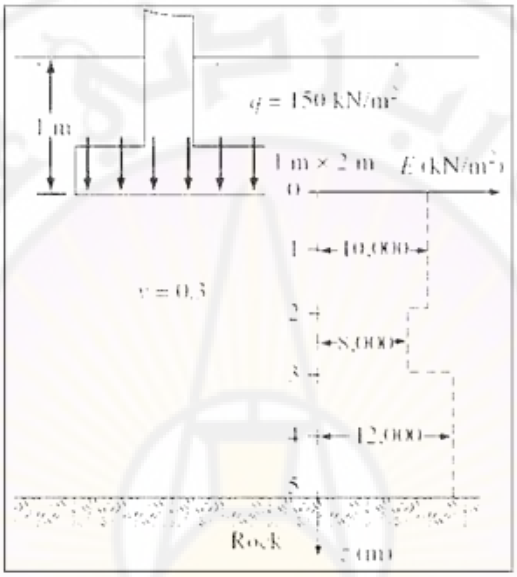
ونميز هنا حالتين :

الحالة الأولى : تفترض عدم تشوه التربة جانبياً ضمن كل شريحة وبالتالي فإن هبوط التربة سيكون هبوطاً محصوراً وحيد الاتجاه ، مماثلاً لما يحدث في تجربة الأودومتر .

الحالة الثانية : تفترض إمكانية التوسع الجانبي للعينة تحت تأثير الضغط المطبق . وبالتالي يصبح التشوه في هذه الحالة فراغياً حيث تتشوه العينة شاقولياً وجانبياً .

مسألة (4-2):

لدينا أساس سطحي صلد بأبعاد 1×2 متر كما في الشكل أدناه. احسب الهبوط المرن عند مركز الأساس.



الشكل رقم (4-1)

الحل:

سنستخدم **طريقة استخدام حلول نظرية التشوه الخطي (المرونة)**

باعتبار أبعاد الأساس $(L \times B)$ متوضع عند العمق D أسفل سطح الأرض الشكل (4.1) طبقة صلدة تتوضع عند العمق H أسفل قاعدة الأساس. نظرياً إذا كان الأساس مرناً بشكل مثالي (Bowles, 1987) فإن الهبوط يمكن أن يتوقع بـ:

$$S_{e(flexible)} = q(\alpha B')\frac{1-\mu^2}{E} I_S I_f \quad (4.4)$$

حيث:

q الضغط المطبق الصافي على الأساس.

μ نسبة بواسون للتربة.

E متوسط معامل المرونة للتربة تحت الأساس، المُقاس من $z=0$ إلى حوالي $z=4B$.

$B'=B/2$ من أجل مركز الأساس.

$B'=B$ من أجل زاوية الأساس.

معامل الشكل (Steinbrenner, 1934)

$$I_s = F_1 + \frac{1-2\mu}{1-} F_2 \qquad (4.5)$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi}\left(A_0 + A_1\right) \qquad (4.6)$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi}\tan^{-1} A_2 \qquad (4.7)$$

$$A_0 = m' \ln \frac{\left(1+\sqrt{m'^2+1}\right)\sqrt{m'^2+n'^2}}{m'\left(1+\sqrt{m'^2+n'^2+1}\right)} \qquad (4.8)$$

$$A_1 = \ln \frac{\left(m'+\sqrt{m'^2+1}\right)\sqrt{1+n'^2}}{m'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \qquad (4.9)$$

$$A_2 = \frac{m'}{n'\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \qquad (4.10)$$

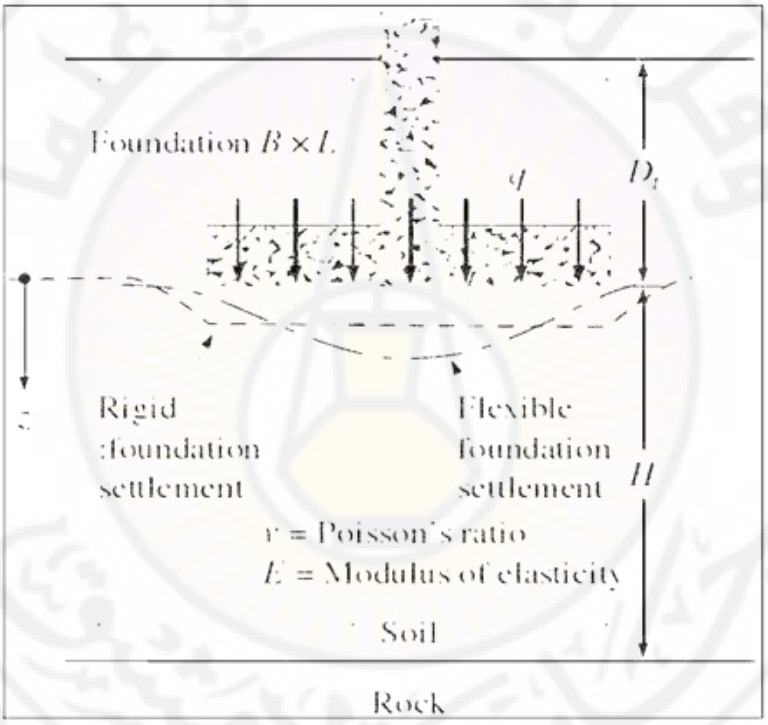
$$I_f = f\left(\frac{D_f}{B}, \mu, am\frac{L}{B}\right) \qquad (4.11)$$

F معامل العمق (Fox, 1948).

α معامل يعتمد على الموقع الذي عنده يتم حساب الهبوط من الأساس.

لحساب الهبوط عند مركز الأساس، نستخدم: $\alpha = 4 \ , \ m' = \frac{L}{B} \ , \ n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)}$

لحساب الهبوط عند زاوية الأساس، نستخدم: $\alpha = 1 \ , \ m' = \frac{L}{B} \ , \ n' = \frac{H}{B}$



الشكل رقم (2-4)

تغيرات F_1 و F_2 مع m', n' تُعطى في الجداول (5) إلى (8) على التوالي.

تغيرات I_f مع D_f / B و μ تظهر في الشكل (4-3) من أجل $L/B = 1, 2, and 5$ وفق معطيات (Fox, 1984).

الجدول (4-1) تغيرات F_1 مع n', m'

n'	m'									
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.25	0.25	0.014	0.013	0.012	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010
0.50	0.049	0.046	0.044	0.042	0.041	0.040	0.038	0.038	0.037	0.037
0.75	0.095	0.090	0.087	0.084	0.082	0.080	0.077	0.076	0.074	0.074
1.00	0.142	0.138	0.134	0.130	0.127	0.125	0.121	0.118	0.116	0.115
1.25	0.186	0.183	0.179	0.176	0.173	0.170	0.165	0.161	0.158	0.157
1.50	0.224	0.224	0.222	0.219	0.216	0.213	0.207	0.203	0.199	0.197
1.75	0.257	0.259	0.259	0.258	0.255	0.253	0.247	0.242	0.238	0.235
2.00	0.285	0.290	0.292	0.292	0.291	0.289	0.284	0.279	0.275	0.271
2.25	0.309	0.317	0.321	0.323	0.323	0.322	0.317	0.313	0.308	0.305
2.50	0.330	0.341	0.347	0.350	0.351	0.351	0.348	0.344	0.340	0.336
2.75	0.348	0.361	0.369	0.374	0.377	0.378	0.377	0.373	0.369	0.365
3.00	0.363	0.379	0.389	0.396	0.400	0.402	0.402	0.400	0.396	0.392
3.25	0.376	0.394	0.406	0.415	0.420	0.423	0.426	0.424	0.421	0.418
3.50	0.388	0.408	0.422	0.431	0.438	0.442	0.447	0.447	0.444	0.441
3.75	0.399	0.420	0.436	0.447	0.454	0.460	0.467	0.458	0.466	0.464
4.00	0.408	0.431	0.448	0.460	0.469	0.476	0.484	0.487	0.486	0.484
4.25	0.417	0.440	0.458	0.472	0.481	0.484	0.495	0.514	0.515	0.515
4.50	0.424	0.450	0.469	0.484	0.495	0.503	0.516	0.521	0.522	0.522
4.75	0.431	0.458	0.478	0.494	0.503	0.515	0.530	0.536	0.539	0.539
5.00	0.437	0.465	0.487	0.503	0.516	0.526	0.543	0.551	0.554	0.554
5.25	0.443	0.472	0.494	0.512	0.526	0.537	0.555	0.564	0.568	0.569
5.50	0.448	0.478	0.501	0.520	0.534	0.546	0.566	0.576	0.581	0.584
5.75	0.453	0.483	0.508	0.527	0.542	0.555	0.576	0.588	0.594	0.597
6.00	0.457	0.489	0.514	0.534	0.550	0.563	0.585	0.598	0.606	0.609
6.25	0.461	0.493	0.519	0.540	0.557	0.570	0.594	0.609	0.617	0.621
6.50	0.465	0.498	0.524	0.546	0.563	0.577	0.603	0.618	0.627	0.632
6.75	0.468	0.502	0.529	0.551	0.569	0.584	0.610	0.627	0.637	0.643
7.00	0.471	0.506	0.533	0.556	0.575	0.590	0.618	0.635	0.646	0.653
7.25	0.474	0.509	0.538	0.561	0.580	0.596	0.625	0.643	0.655	0.662
7.50	0.477	0.513	0.541	0.565	0.585	0.601	0.631	0.650	0.663	0.671
7.75	0.480	0.516	0.545	0.569	0.589	0.606	0.637	0.658	0.671	0.680
8.00	0.482	0.519	0.549	0.573	0.594	0.611	0.643	0.664	0.678	0.688
8.25	0.485	0.522	0.552	0.577	0.598	0.615	0.648	0.670	0.685	0.695
8.50	0.487	0.524	0.555	0.580	0.601	0.619	0.653	0.676	0.692	0.703
8.75	0.489	0.527	0.558	0.583	0.605	0.623	0.658	0.682	0.698	0.710
9.00	0.491	0.529	0.560	0.587	0.609	0.627	0.663	0.687	0.705	0.716
9.25	0.493	0.531	0.563	0.589	0.612	0.631	0.667	0.693	0.710	0.723
9.50	0.495	0.533	0.565	0.592	0.615	0.634	0.671	0.697	0.716	0.719
9.75	0.496	0.536	0.568	0.595	0.618	0.638	0.675	0.702	0.721	0.735
10.00	0.498	0.537	0.570	0.597	0.621	0.641	0.679	0.707	0.726	0.740
20.00	0.529	0.575	0.614	0.647	0.677	0.702	0.756	0.797	0.830	0.858
50.00	0.548	0.598	0.640	0.678	0.711	0.740	0.803	0.853	0.895	0.931
100.00	0.555	0.605	0.649	0.688	0.722	0.753	0.819	0.872	0.918	0.956

الجدول (4-2) تغيرات F_1 مع $n'.m'$

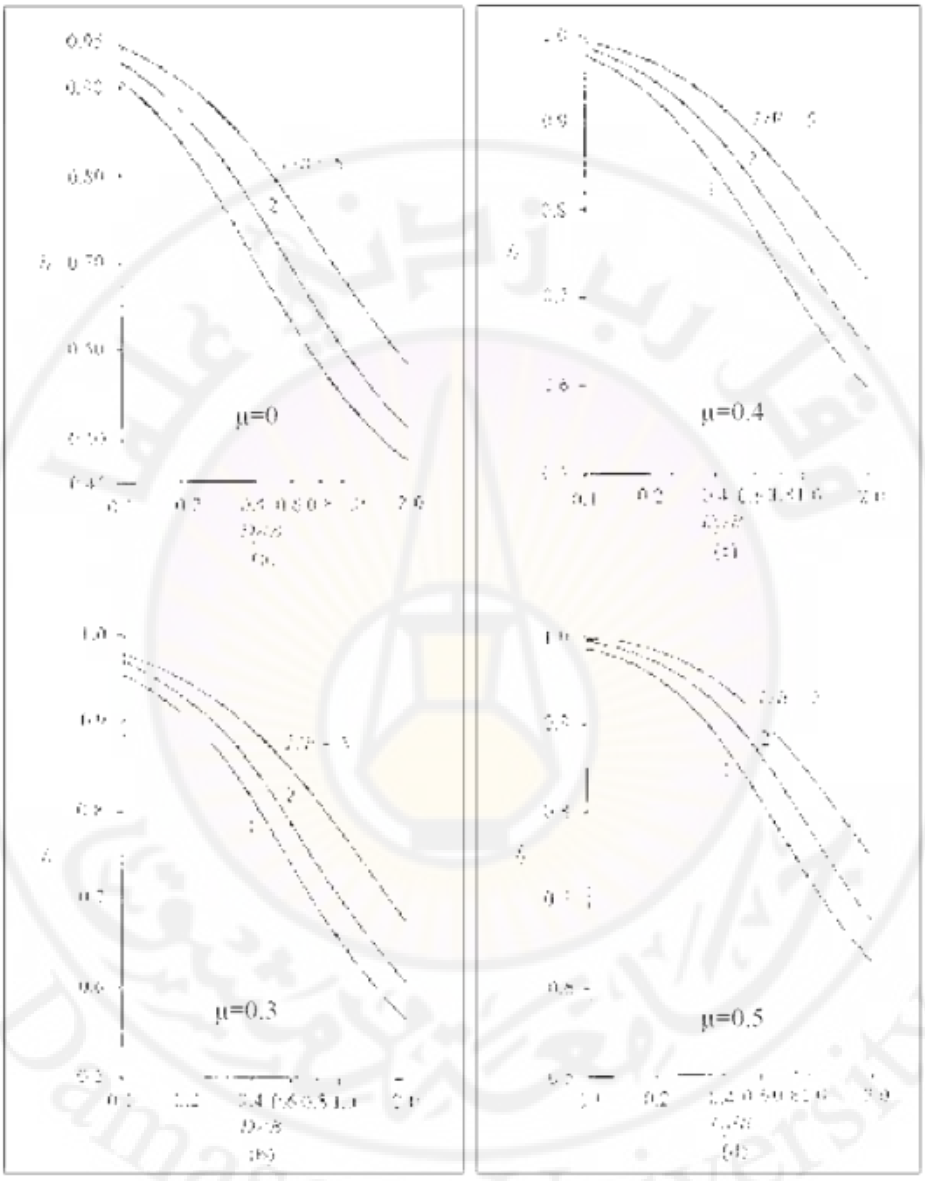
n'	m'									
	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	25.0	50.0	100.0
0.25	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
0.50	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036
0.75	0.073	0.073	0.072	0.072	0.072	0.072	0.071	0.071	0.071	0.071
1.00	0.114	0.113	0.112	0.112	0.112	0.111	0.111	0.110	0.110	0.110
1.25	0.155	0.154	0.153	0.152	0.152	0.151	0.151	0.150	0.150	0.150
1.50	0.195	0.194	0.192	0.191	0.190	0.190	0.189	0.188	0.188	0.188
1.75	0.233	0.232	0.229	0.228	0.227	0.226	0.225	0.223	0.223	0.223
2.00	0.269	0.267	0.264	0.262	0.261	0.260	0.259	0.257	0.256	0.256
2.25	0.302	0.300	0.296	0.294	0.293	0.291	0.291	0.287	0.287	0.287
250	0.333	0.331	0.327	0.324	0.322	0.321	0.320	0.316	0.315	0.315
2.75	0.362	0.359	0.355	0.352	0.350	0.348	0.347	0.343	0.342	0.342
3.00	0.389	0.386	0.382	0.378	0.376	0.374	0.373	0.368	0.367	0.367
3.25	0.415	0.412	0.407	0.403	0.401	0.399	0.397	0.391	0.390	0.390
3.50	0.438	0.435	0.430	0.427	0.424	0.421	0.420	0.413	0.412	0.411
3.75	0.461	0.458	0.453	0.449	0.446	0.443	0.441	0.433	0.432	0.432
4.00	0.482	0.479	0.474	0.470	0.466	0.464	0.462	0.453	0.451	0.451
4.25	0.516	0.496	0.484	0.473	0.471	0.471	0.470	0.468	0.462	0.460
4.50	0.520	0.517	0.513	0.508	0.505	0.502	0.499	0.489	0.487	0.487
4.75	0.537	0.535	0.530	0.526	0.523	0.519	0.517	0.506	0.504	0.503
5.00	0.554	0.552	0.548	0.543	0.540	0.536	0.534	0.522	0.519	0.519
5.25	0.569	0.568	0.564	0.560	0.556	0.553	0.550	0.537	0.534	0.534
5.50	0.584	0.583	0.579	0.575	0.571	0.568	0.585	0.551	0.549	0.548
5.75	0.597	0.597	0.594	0.590	0.586	0.583	0.580	0.565	0.583	0.562
6.00	0.611	0.610	0.608	0.604	0.601	0.598	0.595	0.579	0.576	0.575
6.25	0.623	0.623	0.621	0.618	0.615	0.611	0.608	0.592	0.589	0.588
6.50	0.635	0.635	0.634	0.631	0.628	0.625	0.622	0.605	0.601	0.600
6.75	0.646	0.647	0.646	0.644	0.641	0.637	0.634	0.617	0.613	0.612
7.00	0.656	0.658	0.658	0.656	0.653	0.650	0.647	0.628	0.624	0.623
7.25	0.666	0.669	0.669	0.668	0.665	0.662	0.659	0.640	0.635	0.634
7.50	0.676	0.679	0.680	0.679	0.676	0.673	0.670	0.651	0.646	0.645
7.75	0.685	0.688	0.690	0.689	0.687	0.684	0.681	0.661	0.656	0.655
8.00	0.694	0.697	0.700	0.700	0.698	0.695	0.692	0.672	0.666	0.665
8.25	0.702	0.706	0.710	0.710	0.708	0.705	0.703	0.682	0.676	0.675
8.50	0.710	0.714	0.719	0.719	0.718	0.715	0.713	0.692	0.686	0.684
8.75	0.717	0.722	0.727	0.728	0.727	0.725	0.723	0.701	0.695	0.693
9.00	0.725	0.730	0.736	0.737	0.736	0.735	0.732	0.710	0.704	0.702
9.25	0.731	0.737	0.744	0.746	0.745	0.744	0.742	0.719	0.713	0.711
9.50	0.738	0.744	0.752	0.754	0.754	0.753	0.751	0.728	0.721	0.719
9.75	0.744	0.751	0.759	0.762	0.762	0.761	0.759	0.737	0.729	0.727
10.00	0.750	0.758	0.766	0.770	0.770	0.770	0.768	0.745	0.738	0.735
20.00	0.878	0.896	0.925	0.945	0.959	0.969	0.977	0.982	0.965	0.957
50.00	0.962	0.989	1.03	1.070	1.100	1.125	1.146	1.265	1.279	1.261
100.00	0.990	1.020	1.072	1.114	1.150	1.182	1.209	1.408	1.489	1.499

الجدول (4-3) تغيرات F_2 مع n', m'

n'	m'									
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.25	0.049	0.050	0.051	0.051	0.051	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052
0.50	0.074	0.077	0.080	0.081	0.083	0.084	0.086	0.086	0.0878	0.087
0.75	0.083	0.089	0.093	0.097	0.099	0.101	0.104	0.106	0.107	0.108
1.00	0.083	0.091	0.098	0.102	0.106	0.109	0.114	0.117	0.119	0.120
1.25	0.080	0.089	0.096	0.102	0.107	0.111	0.118	0.122	0.125	0.127
1.50	0.075	0.084	0.093	0.099	0.105	0.110	0.118	0.124	0.128	0.130
1.75	0.069	0.079	0.088	0.095	0.101	0.107	0.117	0.123	0.128	0.131
2.00	0.064	0.074	0.083	0.090	0.097	0.102	0.114	0.121	0.127	0.131
2.25	0.059	0.069	0.077	0.085	0.092	0.098	0.110	0.119	0.125	0.130
2.50	0.055	0.064	0.073	0.080	0.087	0.093	0.106	0.115	0.122	0.127
2.75	0.051	0.060	0.068	0.076	0.082	0.089	0.102	0.111	0.119	0.125
3.00	0.048	0.056	0.064	0.071	0.078	0.084	0.097	0.108	0.116	0.122
3.25	0.045	0.053	0.060	0.067	0.074	0.080	0.093	0.104	0.112	0.119
3.50	0.042	0.050	0.057	0.064	0.070	0.076	0.089	0.100	0.109	0.116
3.75	0.040	0.047	0.054	0.060	0.067	0.073	0.086	0.096	0.105	0.113
4.00	0.037	0.044	0.051	0.057	0.063	0.069	0.082	0.093	0.102	0.110
4.25	0.036	0.042	0.049	0.055	0.061	0.066	0.079	0.090	0.099	0.107
4.50	0.034	0.040	0.046	0.052	0.058	0.063	0.076	0.086	0.096	0.104
4.75	0.032	0.038	0.044	0.050	0.055	0.061	0.073	0.083	0.093	0.101
5.00	0.031	0.036	0.042	0.048	0.053	0.058	0.070	0.080	0.090	0.098
5.25	0.029	0.035	0.040	0.046	0.051	0.056	0.067	0.078	0.087	0.095
5.50	0.028	0.033	0.039	0.044	0.049	0.054	0.065	0.075	0.084	0.092
5.75	0.027	0.032	0.037	0.042	0.047	0.052	0.063	0.073	0.082	0.090
6.00	0.026	0.031	0.036	0.040	0.045	0.050	0.060	0.070	0.079	0.087
6.25	0.025	0.030	0.034	0.039	0.044	0.048	0.058	0.068	0.077	0.085
6.50	0.024	0.029	0.033	0.038	0.042	0.046	0.056	0.066	0.075	0.083
6.75	0.023	0.028	0.032	0.036	0.041	0.045	0.055	0.064	0.073	0.080
7.00	0.022	0.027	0.031	0.035	0.039	0.043	0.053	0.062	0.071	0.078
7.25	0.022	0.026	0.030	0.034	0.038	0.042	0.051	0.060	0.069	0.076
7.50	0.021	0.025	0.029	0.033	0.037	0.041	0.050	0.059	0.067	0.074
7.75	0.020	0.024	0.028	0.032	0.036	0.039	0.048	0.057	0.065	0.072
8.00	0.020	0.023	0.027	0.031	0.035	0.038	0.047	0.055	0.063	0.071
8.25	0.019	0.023	0.026	0.030	0.034	0.037	0.046	0.054	0.062	0.069
8.50	0.018	0.022	0.026	0.029	0.033	0.036	0.045	0.053	0.060	0.067
8.75	0.018	0.021	0.025	0.028	0.032	0.035	0.043	0.051	0.059	0.066
9.00	0.017	0.021	0.024	0.028	0.031	0.034	0.042	0.050	0.057	0.064
9.25	0.017	0.020	0.024	0.027	0.030	0.033	0.041	0.049	0.056	0.063
9.50	0.017	0.020	0.023	0.026	0.029	0.033	0.040	0.048	0.055	0.061
9.75	0.016	0.019	0.023	0.026	0.029	0.032	0.039	0.047	0.054	0.060
10.00	0.016	0.019	0.022	0.025	0.028	0.031	0.038	0.046	0.052	0.059
20.00	0.008	0.010	0.011	0.013	0.014	0.016	0.020	0.024	0.027	0.031
50.00	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	0.006	0.008	0.010	0.011	0.013
100.00	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006

الجدول (4-4) تغيرات F_2 مع n', m'

n'	m'									
	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	25.0	50.0	100.0
0.25	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053
0.50	0.087	0.087	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
0.75	0.109	0.109	0.109	0.110	0.110	0.110	0.110	0.111	0.111	0.111
1.00	0.121	.0122	0.123	0.123	0.124	0.124	0.124	0.125	0.125	0.125
1.25	0.128	0.130	0.131	0.132	0.132	0.133	0.133	0.134	0.134	0.134
1.50	0.132	0.134	0.136	0.137	0.138	0.138	0.139	0.140	0.140	0.140
1.75	0.134	0.136	0.138	0.140	0.141	0.142	0.142	0.144	0.144	0.145
2.00	0.134	0.136	0.139	0.141	0.143	0.144	0.145	0.147	0.147	0.148
2.25	0.133	0.136	0.140	0.142	0.144	0.145	0.146	0.149	0.150	0.150
250	0.132	0.135	0.139	0.142	0.144	0.146	0.147	0.151	0.151	0.151
2.75	0.130	0.133	0.138	0.142	0.144	0.146	0.147	0.152	0.152	0.153
3.00	0.127	0.131	0.137	0.141	0.144	0.145	0.147	0.152	0.153	0.154
3.25	0.125	0.129	0.135	0.140	0.143	0.145	0.147	0.153	0.154	0.154
3.50	0.122	0.126	0.133	0.138	0.142	0.144	0.146	0.153	0.155	0.155
3.75	0.119	0.124	0.131	0.137	0.141	0.143	0.145	0.154	0.155	0.155
4.00	0.116	0.121	0.129	0.135	0.139	0.142	0.145	0.154	0.155	0.156
4.25	0.113	0.119	0.127	0.133	0.138	0.141	0.144	0.154	0.156	0.156
4.50	0.110	0.116	0.125	0.131	0.136	0.140	0.143	0.154	0.156	0.156
4.75	0.107	0.113	0.123	0.130	0.135	0.139	0.142	0.154	0.156	0.157
5.00	0.105	0.111	0.120	0.128	0.133	0.137	0.140	0.154	0.156	0.157
5.25	0.102	0.108	0.118	0.126	0.131	0.136	0.139	0.154	0.156	0.157
5.50	0.099	0.106	0.116	0.124	0.130	0.134	0.138	0.154	0.156	0.157
5.75	0.097	0.103	0.113	0.122	0.128	0.133	0.136	0.154	0.157	0.157
6.00	0.094	0.101	0.111	0.120	0.126	0.131	0.135	0.153	0.157	0.157
6.25	0.092	0.098	0.109	0.118	0.124	0.129	0.134	0.153	0.157	0.158
6.50	0.090	0.096	0.107	0.116	0.122	0.128	0.132	0.153	0.157	0.158
6.75	0.087	0.094	0.105	0.114	0.121	0.126	0.131	0.153	0.157	0.158
7.00	0.085	0.092	0.103	0.112	0.119	0.125	0.129	0.152	0.157	0.158
7.25	0.083	0.090	0.101	0.110	0.117	0.123	0.128	0.152	0.157	0.158
7.50	0.081	0.080	0.099	0.108	0.115	0.121	0.126	0.152	0.156	0.158
7.75	0.079	0.086	0.097	0.106	0.114	0.120	0.125	0.151	0.156	0.158
8.00	0.077	0.084	0.095	0.104	0.112	0.118	0.124	0.151	0.156	0.158
8.25	0.076	0.082	0.093	0.102	0.110	0.117	0.122	0.150	0.156	0.158
8.50	0.074	0.080	0.091	0.101	0.108	0.115	0.121	0.150	0.156	0.158
8.75	0.072	0.078	0.089	0.099	0.107	0.114	0.119	0.150	0.156	0.158
9.00	0.071	0.077	0.088	0.097	0.105	0.112	0.118	0.149	0.156	0.158
9.25	0.069	0.075	0.086	0.096	0.104	0.110	0.116	0.149	0.156	0.158
9.50	0.068	0.074	0.085	0.094	0.102	0.109	0.115	0.148	0.156	0.158
9.75	0.066	0.072	0.083	0.092	0.100	0.107	0.113	0.148	0.156	0.158
10.00	0.065	0.071	0.082	0.091	0.099	0.106	0.112	0.147	0.156	0.158
20.00	0.035	0.039	0.046	0.053	0.059	0.065	0.071	0.124	0.148	0.156
50.00	0.014	0.016	0.019	0.022	0.025	0.028	0.031	0.071	0.113	0.142
100.00	0.007	0.008	0.010	0.011	0.013	0.014	0.016	0.039	0.071	0.113



الشكل رقم (4-3) تغيرات I_f مع $D_f/B, \mu$

نتيجة إلى عدم تجانس توضعات التربة الطبيعية فإن كمية معامل المرونة E ربما يتغير مع العمق لهذا السبب يوصي Bowles (1987) باستخدام متوسط معامل المرونة E:

$$E = \frac{\sum E_{(i)} \Delta z}{\bar{z}} \qquad (4.12)$$

حيث:

$E_{(i)}$: معامل المرونة للتربة خلال عمق Δz.

$\bar{z} = H$ or $0.5B$ أيهما أصغر.

من أجل الأساس الصلد فإن:

$$S_{e(rigid)} \approx 0.93 S_{e(flixible.center)} \qquad (4.13)$$

نتابع الحل

$$\bar{z} = 5m = 5B \;,\; B = 1m \;,\; L = 2m$$

من المعادلة (4-12) :

$$E = \frac{\sum E_{(i)} \Delta z}{\bar{z}} = \frac{(10000)(2)+(8000)(1)+(12000)(2)}{5} = 10400\, KN/m^2$$

من أجل مركز الأساس:

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B} = \frac{2}{1} = 2$$

$$n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)} = \frac{5}{\left(\frac{1}{2}\right)} = 10$$

من الجداول من (4-1) إلى (4-4):

$$F_1 = 0.641 \; and \; F_2 = 0.031$$

من العلاقة (4-5) :

$$I_S = F_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} F_2 = 0.641 + \frac{2-0.3}{1-0.3}(0.031) = 0.716$$

أيضاً:

$$\frac{D_f}{B} = \frac{1}{1} = 1 \; , \; \frac{L}{B} = 2 \; , \; and \; \mu = 0.3$$

من الشكل (4-3):

$$I_f = 0.709$$

من العلاقة (4-4):

$$S_{e(flexible)} = (150)\left(4 \times \frac{1}{2}\right)\left(\frac{1-0.3^2}{10400}\right)(0.716)(0.709) = 0.0133m = 13.3m$$

حيث الأساس صلد فإنه من العلاقة (4-13):

$$S_{e(rigid)} = (0.93)(13.3) = 12.4\,\text{mm}$$

مسألة (3-4):

لدينا أساس سطحي يستند على تربة سلتية غضارية كما في الشكل (4-4) حيث يعطى:

طول الأساس $L = 1.5m$

عرض الأساس $B = 1m$

عمق التأسيس $D_f = 1m$

سماكة الأساس $t = 0.23m$

الحمولة في واحدة المساحة $q = 190KN/m^2$

معامل المرونة لمادة الأساس $E_f = 15\times10^6\ KN/m^2$

<u>خصائص التربة السلتية الغضارية:</u>

الارتفاع $H = 2m$

نسبة بواسون $\mu = 0.3$

معامل مرونة عند سطح التربة $E_0 = 9000KN/m^2$

نسبة تزايد معامل المرونة مع العمق $k = 500KN/m^2/m$

المطلوب حساب الهبوط المرن للأساس.

الحل:

سنستخدم في الحل **علاقة الهبوط المرن المتوسط المعمم المطورة من قبل** Mayne, poulos's (1999) .

تحديد القطر المكافئ للأساس B_e:

$$B_e = \sqrt{\frac{4BL}{\pi}} \qquad (4.14)$$

حيث:

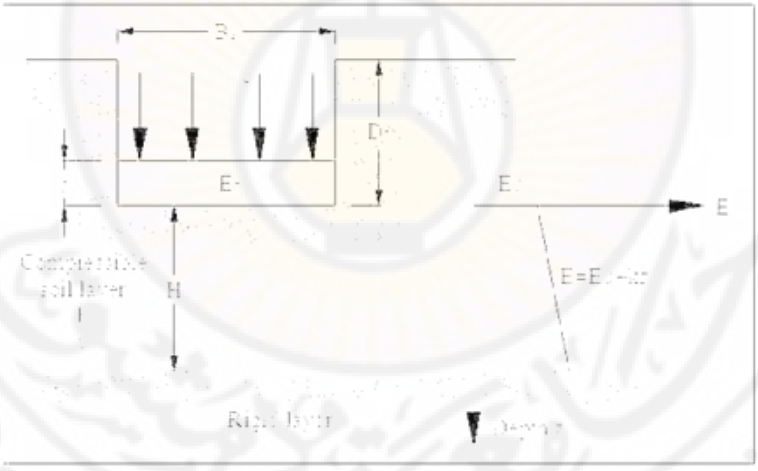
B: عرض الأساس.

L: طول الأساس.

من أجل الأساس الدائري:

$$B_e = B \qquad (4.15)$$

حيث B قطر الأساس.



الشكل رقم (4-4)

يظهر الشكل أعلاه البارامترات العامة لحساب الهبوط المرن حيث يظهر الأساس مع القطر المكافئ B_e أسفل سطح الأرض وسماكة الأساس ومعامل المرونة لمادة الأساس E_f كما تتوضع طبقة صلدة عند العمق H تحت نعل الأساس . إن معامل مرونة الطبقة القابلة للانضغاط يحسب بالعلاقة :

$$E = E_0 + kz \qquad (4.16)$$

مع البارامترات المقدمة فإن الهبوط المرن يعطى:

$$S_e = \frac{q\,B_e\,I_G\,I_F\,I_E}{E_0}\left(1-\mu^2\right) \qquad (4.17)$$

حيث:

معامل تأثير تغير E مع العمق.

$$I_G = f\left(\beta' = \frac{E_0}{k\,B_e}, \frac{H}{B_e}\right) \qquad (4.18)$$

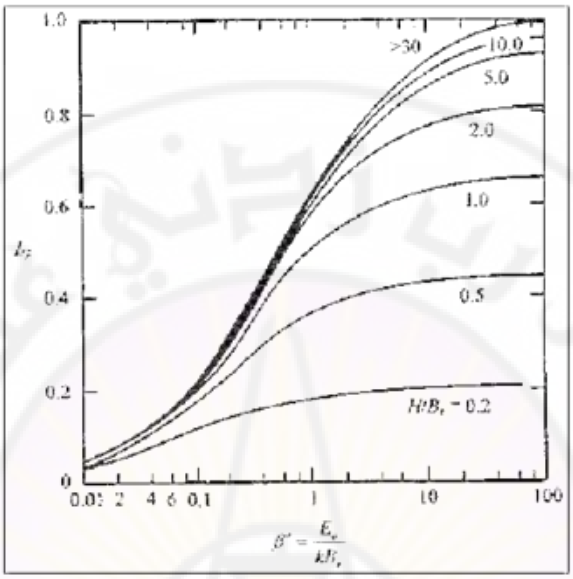
معامل تصحيح صلابة الأساس.

$$I_F = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10\left(\dfrac{E_F}{E_0 + \dfrac{B_e}{2}k}\right)\left(\dfrac{2t}{B_e}\right)^3} \qquad (4.18')$$

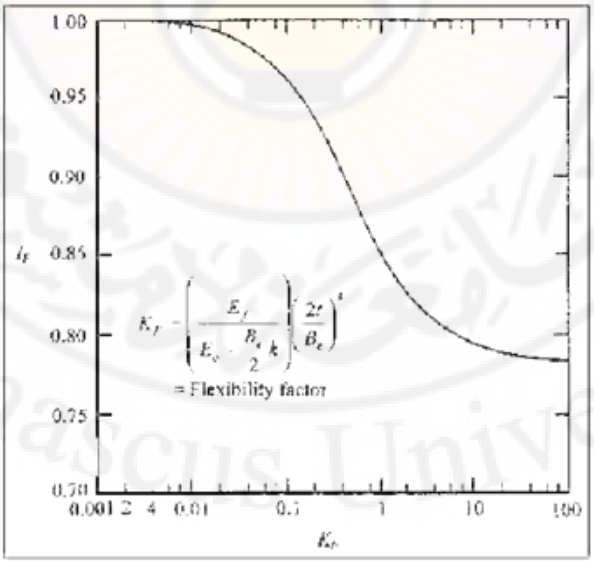
معامل تصحيح التربة المزالة للأساس.

$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5\exp(1.22\mu - 0.4)\left(\dfrac{B_e}{D_f} + 1.6\right)} \qquad (4.19)$$

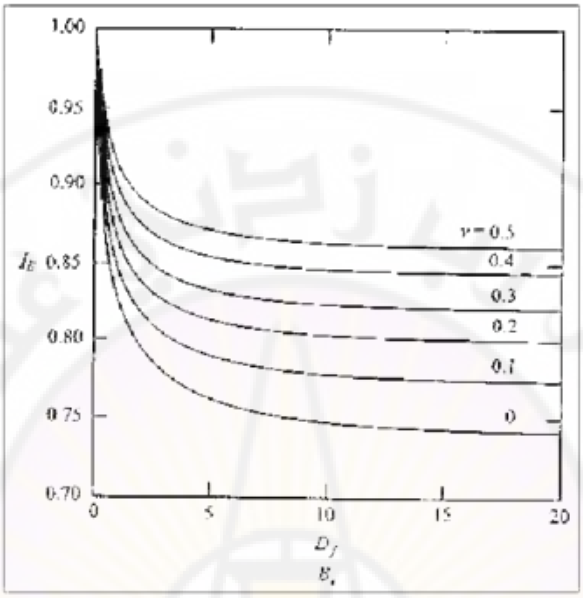
Damascus University



الشكل رقم (4-5) تغير I_G مع β'



الشكل رقم (4-6a) تغير I_F مع K_F



الشكل رقم (4-6b) تغير I_E مع D_f/B_e

متابعة الحل :

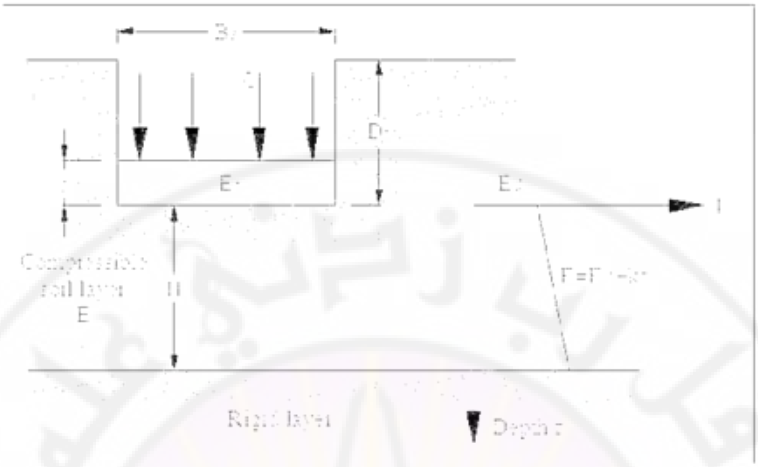
تحديد القطر المكافئ للأساس من العلاقة (4.14) :

$$B_e = \sqrt{\frac{4BL}{\pi}} = \sqrt{\frac{(4)(1.5)(1)}{\pi}} = 1.38\text{m}$$

$$\beta = \frac{E_0}{k B_e} = \frac{9000}{(500)(1.38)} = 13.04$$

$$\frac{H}{B_e} = \frac{2}{1.38} = 1.45$$

من الشكل (4-5) لأجل B'=13.04 و H/Be=1.45 نجد $I_G = 0.74$



الشكل رقم (4-7)

من العلاقة (4.18) :

$$I_F = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10\left(\dfrac{E_f}{E_0 + \dfrac{B_e}{2}k}\right)\left(\dfrac{2t}{B_e}\right)^3}$$

$$= \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10\left[\dfrac{15\times10^6}{9000 + \left(\dfrac{1.38}{2}\right)(500)}\right]\left[\dfrac{(2)(0.23)}{1.38}\right]^3} = 0.787$$

من العلاقة (4.19):

$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5\exp(1.22\mu - 0.4)\left(\dfrac{B_e}{D_f} + 1.6\right)}$$

$$= 1 - \frac{1}{3.5\exp\left[(1.22)(0.3) - 0.4\right]\left(\frac{1.38}{1} + 1.6\right)} = 0.907$$

وبالتالي يُحدد الهبوط المرن من العلاقة (4.17):

$$S_e = \frac{q B_e I_G I_F I_E}{E_0}\left(1 - \mu^2\right)$$

$$S_e = \frac{(190)(1.38)(0.74)(0.787)(0.907)}{9000}\left(1 - 0.3^2\right) = 0.014m = 14mm$$

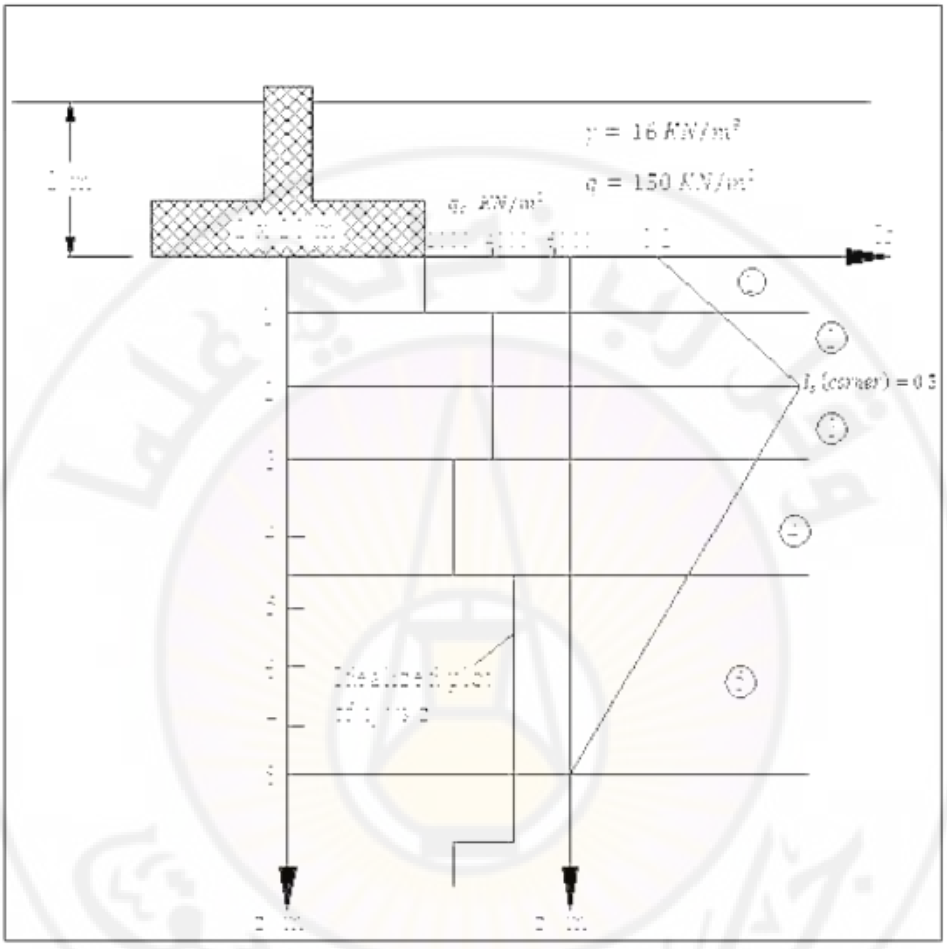
مسألة (4-4):

التغير المثالي لمقاومة اختراق المخروط تحت أساس ركيزة جسر يظهر في الشكل أدناه:

المعطيات:

- أبعاد مسقط الأساس 20x2 m
- عمق التأسيس $D_f = 2$ m
- الوزن الحجمي للتربة $\gamma = 16\ KN/m^3$
- الإجهاد عند منسوب الأساس $\bar{q} = 150\ KN/m^3$

احسب الهبوط المرن باستخدام طريقة معامل تأثير التشوه النسبي.



الشكل رقم (8-4) حساب الهبوط

الحل:

سنستخدم **طريقة حساب الهبوط المرن في الترب المفككة باستخدام عامل تأثير التشوه النسبي.**

علاقة التشوه النسبي الشاقولي $\in_z$ تحت مركز حمولة مرنة دائرية تعطى:

$$\in_z = \frac{q(1+\mu)}{E}\left[(1-2\nu)A' + B'\right] \quad (4.20)$$

$$\text{or } I_z = \frac{\epsilon_z E}{q} = (1+\mu)[(1-2\mu)A' + B'] \quad (4.21)$$

حيث I_z معامل تأثير التشوه النسبي .

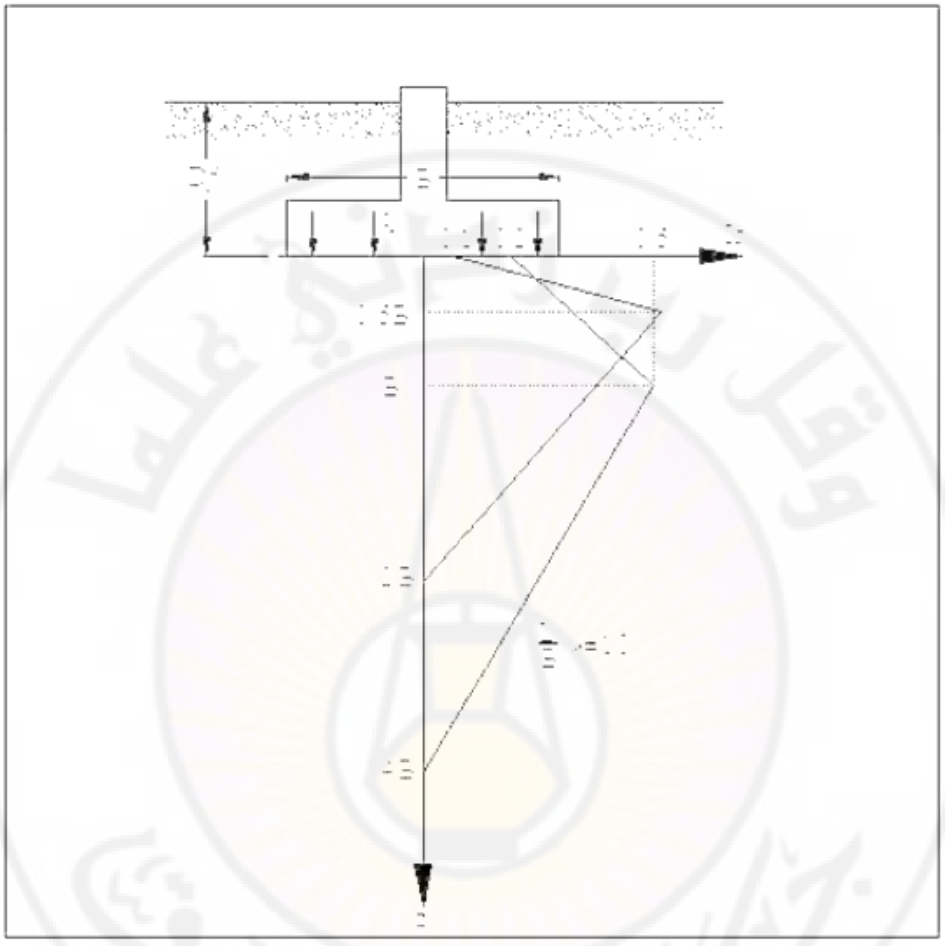
Schmertmann (1970-1978) واستناداً إلى عدة نتائج تجريبية قدم مقترحاً تجريبياً لمعامل تأثير التشوه من أجل أساس مربع $(L/B=1)$ وأساس شريطي $(L/B \geq 0)$ كما في الشكل (4-9).

خطوات الحساب:

- استناداً على مقاومة الاختراق الفعلي للمخروط q_c يتم فرض عدد من الطبقات التي لها نفس قيمة q_c كما يظهر في الشكل 4-4 b بالخط المتقطع.
- تقسيم التربة المتوضعة بين $z=0$ و $z=z'$ إلى عدة طبقات استناداً على التوقفات لمخطط معامل تأثير التشوه (الشكل 4-10 a) والتغير المثالي لـ q_c (على سبيل المثال الخط المتقطع في الشكل (4-10b) حيث أن سماكات الطبقات هي $\Delta z_1, \Delta z_2, \ldots, \Delta z_n$.
- إعداد جدول (كالجدول 4-5) وحساب $\sum (I_z/E)\Delta_z$.

e of $\sum (I_z/E)\Delta z$					
Layer	Δz	q_c	E^t	**Average value of I_z at the center of layer**	$(I_z/E)\Delta_z$
1	Δz_1	$q_{c(1)}$	E_1	$I_{z(1)}$	.
2	Δz_2	$q_{c(2)}$	E_2	$I_{z(2)}$	.
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	Δz_n	$q_{c(n)}$	E_n	$I_{z(n)}$	.

جدول (4-5)



الشكل رقم (4-9) معامل تأثير التشوه

حساب الهبوط المرن من العلاقة:

$$S_e = C_1 C_2 (\bar{q} - q') \sum \frac{I_z}{E} \Delta z \qquad (4.22)$$

حيث:

$\bar{q}$: الإجهاد عند منسوب الأساس.

$$q' = \gamma D_f$$

γ: الوزن الحجمي الفعال للتربة.

C_1: عامل تصحيح تابع لعمق التأسيس.

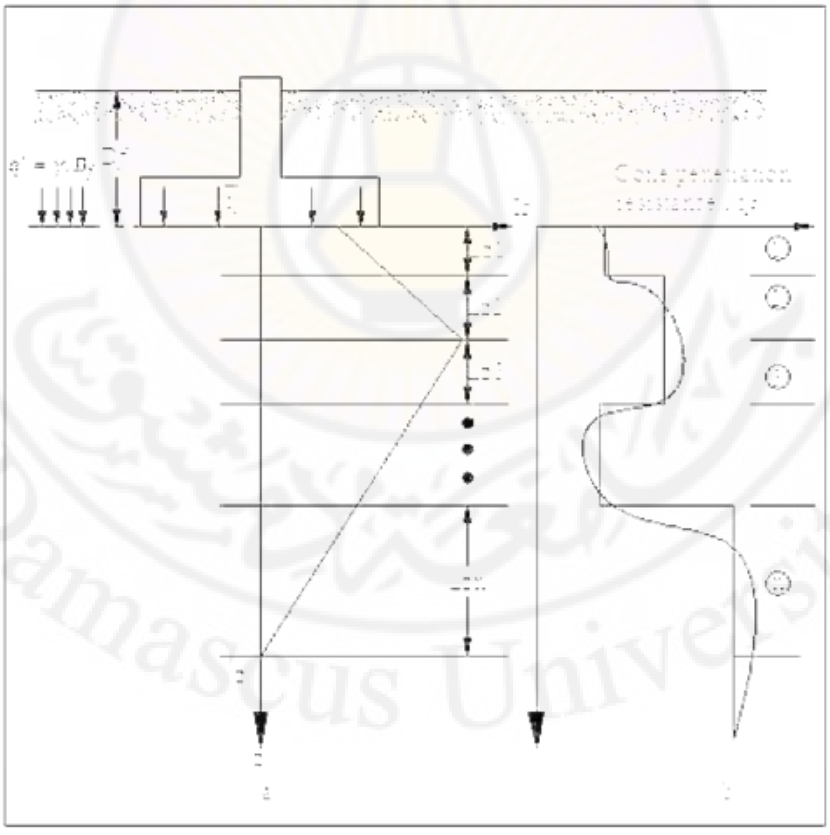
$$C_1 = 1 - 0.5\left(\frac{q'}{q - q'}\right) \quad (4.23)$$

C_2: عامل تصحيح تابع لزحف التربة.

$$C_2 = 1 + .2\,\mathrm{Log}(t/0.1) \quad (4.24)$$

t: الزمن بالسنوات.

حيث يفرض $t = 5 - 10\,\mathrm{years}$



الشكل رقم (4-10) حساب الهبوط من معامل تأثير التشوه

متابعة الحل :

بالعودة إلى الشكل أعلاه وبما أن الأساس شريطي حيث $L/B = \frac{20}{2} = 10$ فإن منطقة التربة حسب معامل تأثير التشوه النسبي يمكن أن تُقسم إلى خمسة طبقات، وبالتالي يمكن إعداد الجدول التالي:

Layer	Δz (m)	q_e (KN/m²)	E^t (KN/m²)	Average I_z At midlayer	$(I_z/E)\Delta_z$ (m³/KN)
1	1.0	2.000	7.000	0.275	3.92×10^{-5}
2	1.0	4.000	14.000	0.425	3.03×10^{-5}
3	1.0	4.000	14.000	0.417	2.95×10^{-5}
4	1.5	3.000	10.500	0.30	4.28×10^{-5}
5	3.5	6.000	21.000	0.133	2.21×10^{-5}

$$\sum = 16.41\times10^{-5}\ \mathrm{m^3/kN}$$

$$C_1 = 1 - 0.5\left(\frac{q'}{q-q'}\right) = 1 - 0.5\left[\frac{2\times16}{150-(2\times16)}\right] = 0.864$$

$$C_2 = 1 + 0.2\log\left(\frac{t}{0.1}\right)$$

$$t = 10\,years$$

$$C_2 = 1 + 0.2\log\left(\frac{10}{0.1}\right) = 1.4$$

$$S_e = C_1 C_1 (\bar{q} - q)\sum \frac{I_z}{E}\Delta z = (0.864)(1.4)(150-32)(16.41\times10^{-5})$$

$$= 0.0234m = 23.4\,mm$$

وتجدر الإشارة أن Schmertmann قد أعطى علاقات تجريبية لحساب E انطلاقاً من N (standard penetration number) و q_c (cone penetration resistance) وفق ما يلي :

$$\left.\begin{array}{l} E(KN/m^2) = 766N \\ \text{للأساسات المربعة والدائرية } E = 2.5q_c \\ \text{للأساسات الخطية } E = 3.5q_c \end{array}\right\} \quad (4.25)$$

مسألة (4-5):

أساسان منفردان متجاوران بأبعاد $2\text{m} \times 2\text{m}$ وتباعد 4 m (من المركز للمركز) كما في الشكل رقم (4-11). الضغط المنتظم تحت أحد الأساسين 200 KPa وتحت الآخر 400 KPa. احسب الهبوط المرن عند مركز كل أساس وعند منتصف الخط الواصل بين مركزي الأساسين . علماً أن $\mu = 0.35$, $E_s = 10000Kpa$

الشكل رقم (4-11)

الحل:

الهبوط المرن Se للأساس، سواءً كان الأساس مستطيل بأبعاد $L \times B$ حيث $(L > B)$ أو حلقي بقطر B، يعطى بالعلاقة:

$$S_e = q\,B\frac{1-\mu^2}{E_S} I_S \qquad (4.26)$$

حيث:

I_s: عامل تأثير يعتمد على الشكل وعلى نسبة L/B، عامل التأثير لأساس مستطيل مرن عند زاوية المساحة المستطيلة المحملة:

$$I_1 = \frac{1}{\pi}\left[\frac{L}{B}\ln\left(\frac{1+\sqrt{(L/B)^2+1}}{L/B}\right)+\ln\sqrt{(L/B)^2+1}\right] \qquad (4.27)$$

$$I_S\,(\text{center}) = 2\,I_1 \qquad (4.28)$$

$$I_S\,(\text{average}) = 1.696 I_1 \qquad (4.29)$$

من أجل أساس مستطيل صلب عامل التأثير تقريباً 0.926 من عامل التأثير المتوسط لأساس مرن.

وبالتالي يكون:

$$I_S\,(\text{rigid}) = 0.926 \times I_S\,(\text{average}) = 0.926 \times 1.696 I_1$$

$$\text{Or} \qquad I_S\,(\text{rigid}) = 1.570 I_1 = (\pi/2) I_1 \qquad (4.30)$$

من أجل مساحة مربعة محملة $L/B = 1$، $I_1 = 0.61$، إذن عند المركز $I_S = 1.22$.

الهبوط لكل أساس بدون تأثير الأحمال المجاورة:

$$S_e\,(for\ \ q = 200.0\,KPa) = 200.0 \times 2.0 \times \frac{1-0.35^2}{10000.0} \times 1.122 = 0.0394m$$

$$S_e\,(for\ \ q = 400.0\,KPa) = 0.0788m$$

تأثير الأحمال المجاورة تم حسابه وتفصيله في السطرين الثاني والثالث من الجدول رقم (4-6) أدناه:

Rectangle	L (m)	B (m)	L/B	I_1
Abcd	5.0	1.0	5.0	1.052
Abef	3.0	1.0	3.0	-0.891
Cgcd	3.0	1.0	3.0	0.891
Cgef	1.0	1.0	1.0	-0.561

جدول رقم (4-6)

$$S_e\,(for\ \ q=200.0\,KPa)=0.0394+2\times400.0\times1.0\times\frac{1-0.35^2}{10000.0}(1.052-0.891)$$
$$=0.0507m$$

$$S_e\,(for\ \ q=200.0\,KPa)\approx51mm$$

$$S_e\,(for\,q=400.0\,KPa)=0.0788+2\times200.0\times1.0\times\frac{1-0.35^2}{10000.0}(1.052-0.891)$$
$$=0.0844m$$

$$S_e\,(for\,q=400.0\,KPa)\approx84.5mm$$

القطاعات قسمت عند النقطة C تم شرحها في السطرين السفليين من الجدول أعلاه. بسبب التشابه الجيومتري فإن القطاعات على يمين تلك النقطة فقط تم حسابها وبالتالي:

$$S_e\,(at\ \ point\,C)=2\times200.0\times1.0\times\frac{1-0.35^2}{10000.0}(0.891-0.561)+2\times400.0\times1.0$$
$$\times\frac{1-0.35^2}{10000.0}(0.891-0.561)$$
$$=0.0347\,\mathrm{m},\,S_e\,(\mathrm{at\ point\ C})\approx34.7\,\mathrm{mm}$$

مسألة (6-4):

أساس دائري مرن ذو قطر 4 m يتعرض لضغط 300 KPa عند سطح الأرض. التربة عبارة عن غضار مشبع $E_s = 8000KPa$ ، وطبقة غير قابلة للانضغاط تتوضع على عمق 12 m من سطح الأرض. احسب الهبوط تحت مركز الأساس بطريقة الجمع المباشر لهبوطات التربة بعد تقسيمها إلى شرائح .

الحل:

نقسم العمق إلى ست شرائح بسماكة 2 m للشريحة الواحدة .

1- من أجل النقطة التي تتوضع على محور شاقولي يمر خلال مركز الدائرة المحملة، وبإجراء تكامل الإجهاد الشاقولي نحصل على المعادلة :

$$\sigma_z = q\left\{1 - \frac{1}{\left[(R_C/z)^2 + 1\right]^{3/2}}\right\} \qquad (4.31)$$

حيث R_c نصف قطر القطاع المحمل.

الإجهاد المماسي أو الشعاعي:

$$\sigma_r = \sigma_t = \frac{q}{2}\left\{1 + 2\mu - \frac{2(1+\mu)}{\left[(R_C/z)^2 + 1\right]^{1/2}} + \frac{1}{\left[(R_C/z)^2 + 1\right]^{3/2}}\right\} \qquad (4.32)$$

باستخدام المعادلات (4.31) و(4.32) مع قانون هوك سيتم الحصول على النتائج التالية:

من أجل الغضار المشبع يتم فرض $\mu = 0.5$.

Layer	Depth (m)	σ_z (kPa)	σ_r (kPa)	$\sigma_z - 2\mu\sigma_r$ (kPa)	$\varepsilon_z \times 10^{-3}$	Δs (mm)
1	1.0	273.17	112.17	161.00	20.12	40.24
2	3.0	127.19	11.98	115.21	14.40	28.80
3	5.0	59.88	2.25	57.63	7.20	14.40
4	7.0	33.31	0.66	32.65	4.08	8.16
5	9.0	20.92	0.25	20.67	2.58	5.16
6	11.0	14.28	0.12	14.16	1.77	3.54
					Total	≈100

مثال عن كيفية الحساب للطبقة 3:

$$\sigma_z = 300.0\left\{1 - \frac{1}{\left[(2.0/5.0)^2 + 1\right]^{3/2}}\right\} = 59.88\,KPa$$

$$\sigma_r = \frac{150.0}{2}\left\{1 + 2\times 0.5 - \frac{2(1+0.5)}{\left[(2.0/5.0)^2 + 1\right]^{1/2}} + \frac{1}{\left[(2.0/5.0)^2 + 1\right]^{3/2}}\right\}$$

$$= 2.25\,KPa$$

$$\varepsilon_Z = \frac{(\sigma_z - \mu\sigma_r - \mu\sigma_r)}{E_S} = \frac{(\sigma_z - 2\mu\sigma_r)}{8000.0} = \frac{(59.88 - 2\times 2.25)}{8000.0} = \frac{57.63}{8000.0}$$

$$= 7.20\times 10^{-3}$$

$$\Delta s = \varepsilon_z \times z_1 = 7.20\times 10^{-3} \times 2000.0 = 14.4\,mm$$

مسألة رقم (4-7) :

أعد حل المسألة السابقة باستخدام معاملات تأثير Steinbrenner.

الحل :

إذا كانت الطبقة غير القابلة للانضغاط (حيث $E_S \to \infty$) تتوضع على عمق H من سطح الأرض، فإن قيم I_S لأساس مستطيل مرن تعطى بالعلاقة:

$$I_S(\text{corner}) = I_1 = I_2 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_3, I_S(\text{center}) = 2I_1, I_S(\text{average}) = 1.696 I_1$$

(4.33)

$$I_2 = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{L}{B}\ln\left[\frac{\left(1+\sqrt{(L/B)^2+1}\right)\sqrt{(L/B)^2+(H/B)^2}}{L/B\left(\sqrt{(L/B)^2+(H/B)^2+1}\right)}\right] + \ln\left[\frac{\left(L/B+\sqrt{(L/B)^2+1}\right)\sqrt{1+(H/B)^2}}{L/B+\sqrt{(L/B)^2+(H/B)^2+1}}\right]\right\} \quad \textbf{(4.34)}$$

$$I_3 = \frac{(H/B)}{2\pi}\tan^{-1}\left[\frac{L/B}{(H/B)\sqrt{(L/B)^2+(H/B)^2+1}}\right] \quad \textbf{(4.35)}$$

نحسب L أو B المكافئ :

$$\sqrt{\pi D^2/4} = \sqrt{\pi 4.0^2/4} = 3.545m$$

$$I_2 = 0.383, I_3 = 0.0432, I_1 = 0.383, I_S(\text{center}) = 2I_1 = 2\times 0.383 = 0.766$$

$$S_e(\text{at center}) = 300.0 \times 3.545 \times \frac{1-0.5^2}{8000.0} \times 0.766 = 76.4 \approx 77\,\text{mm}$$

مسألة (4-8):

أساس مستطيل مرن $B = 2\,m, L = 4\,m$ معرض لضغط 300 KPa، على عمق 2 m من سطح الأرض. معامل المرونة للتربة E=8000 KPa ، $\mu = 0.5$. الطبقة غير القابلة للانضغاط تتوضع على عمق 10 m من سطح الأرض. احسب الهبوط الوسطي للأساس باستخدام:

أ- معاملات تأثير Steinbrenner وعامل Fox لتصحيح العمق.

ب- مخطط Janbu 1956 الشكل (12-4).

الجدول (4-7): معامل العمق I_F من أجل $\mu = 0.5$

D/B	L/B=1.0	L/B=2.0	L/B=3.0	L/B=4.0	L/B=5.0	L/B=10.0
0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.25	0.9424	0.9650	0.9723	0.9760	0.9783	0.9883
0.50	0.8504	0.8993	0.9184	0.9284	0.9348	0.9489
0.75	0.7760	0.8372	0.8651	0.8808	0.8909	0.9139
1.00	0.7234	0.7864	0.8196	0.8394	0.8525	0.8829
1.50	0.6587	0.7150	0.7510	0.7750	0.7919	0.8334
2	0.6220	0.6698	0.7039	0.7288	0.7473	0.7957
3	0.5828	0.6180	0.6459	0.6684	0.6868	0.7412
4	0.5625	0.5899	0.6126	0.6319	0.6485	0.7030
5	0.5502	0.5724	0.5913	0.6079	0.6226	0.6746
6	0.5419	0.5606	0.5767	0.5911	0.6040	0.6526
8	0.5315	0.5456	0.5580	0.5692	0.5796	0.6210
10	0.5252	0.5366	0.5466	0.5557	0.5643	0.5998
50	0.5050	0.5073	0.5094	0.5113	0.5131	0.5212
100	0.5025	0.5037	0.5047	0.5056	0.5065	0.5106

الحل:

أ- عامل تصحيح (I_f) من أجل تأثير عمق التأسيس D على الهبوط الوسطي المرن للقطاع المستطيل المحمل بشكل منتظم معطى بالجدول (7-4).

بافتراض قاعدة الأساس تتوضع على سطح الأرض، فيكون:

$$H/B = 10.0/2.0 = 5.0, L/B = 4.0/2.0 = 2.0$$

باستخدام المعادلات (4.34) و(4.35) الواردة ضمن المسألة (6-4):

$I_2 = 0.526, I_3 = 0.058$ وبالتالي وباستخدام المعادلة (4.33) :

$$I_s\,(corner) = I_1 = 0.526, I_s\,(average) = 1.696 \times 0.526 = 0.892$$

$$S_e\,(\text{average}) = 300.0 \times 2.0 \times \frac{1 - 0.5^2}{8000.0} \times 0.892 = 0.050\text{m} = 50\text{mm}$$

باستخدام الجدول (7-4) نجد معامل Fox هو 0.7864 وبالتالي:

$$S_e\,(\text{average}) = 50.0 \times 0.7864 = 39.3\,\text{mm}$$

ب- من أجل الغضار المشبع يحسب الهبوط من العلاقة:

$$S_e = \mu_0 \mu_1 \frac{qB}{E_s}$$

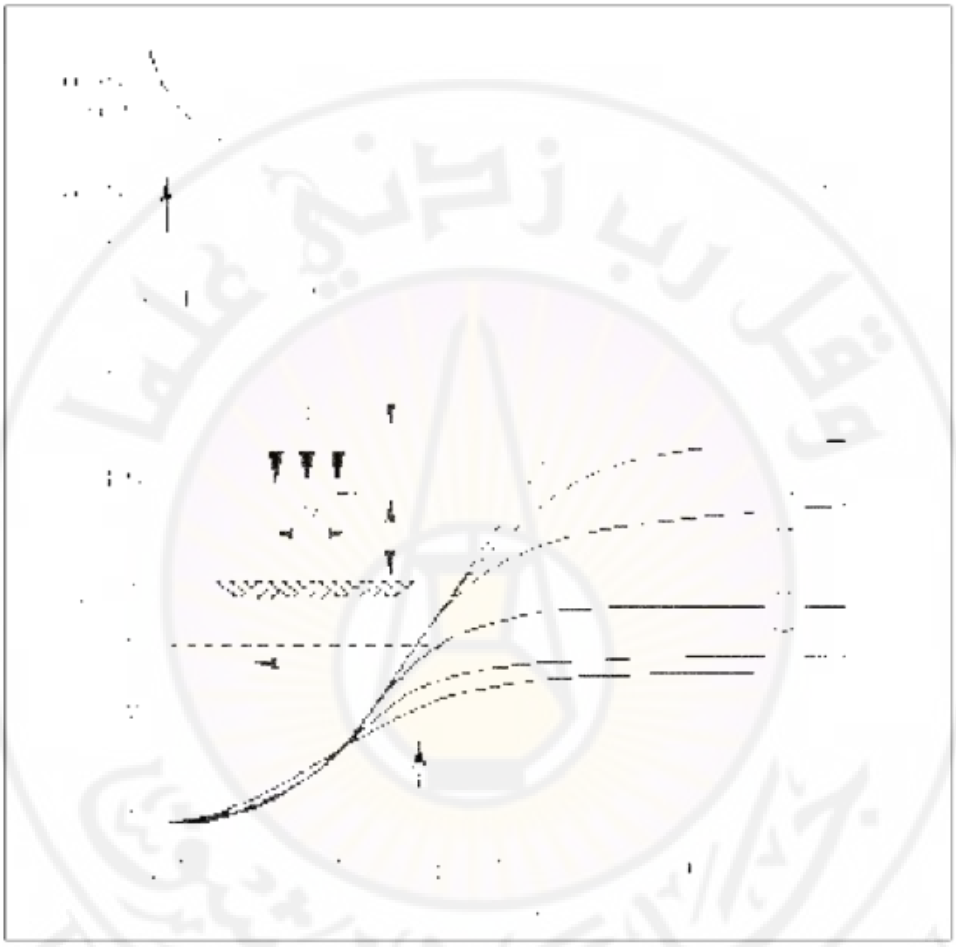
حيث μ_0, μ_1 عوامل تأثير تتعلق بالعمق وسماكة الطبقة بالترتيب. وهي موضحة بالشكل (4.12):

$$H/B = (10.0 - 2.0)/2.0 = 4.0,\ L/B = 4.0/2.0 = 2.0,\ D/B = 2.0/2.0 = 1.0$$

من الشكل (4.12)

$$\mu_0 = 0.925,\ and\ \mu_1 = 0.80$$

$$S_e = 0.925 \times 0.80 \times 300.0 \times 2.0/8000.0 = 0.055\text{m} = 55\text{mm}$$



الشكل (12-4) مخطط Janbu 1956 معاملات التأثير μ_0, μ_1 للغضاريات المشبعة

مسألة (9-4):

أساس بأبعاد $3\,m \times 5\,m$ يتعرض لضغط صاف منتظم 200 KPa على طبقة رمل مشبعة، حيث يتوضع نعل الأساس على سطح الأرض، القيمة المتوسطة لرقم SPT على عمق 3 m يساوي 19.

احسب هبوط الأساس باستخدام طريقة Burland and Burdige .

الحل:

من أجل رمل منضغط طبيعياً وأساس مربع فإن المعادلة العامة للهبوط :

$$S_e = B^{0.75}\frac{1.7}{\overline{N}^{1.4}}q \quad (4.36)$$

حيث Se يقدر بـ mm، q الضغط يقدر بـ KPa، B عرض الأساس بالمتر و $\overline{N}$ هو رقم SPT الوسطي خلال عمق التأثير Z_I الذي يعين كالتالي:

$$Z_I = B^{0.75} \quad (4.37)$$

قيمة $\overline{N}$ تصحح من أجل الرمل المشبع والرمل الحصوي كالتالي:

$$\text{Saturated sand} \quad N' = 15 + 0.5\left(\overline{N} - 15\right) \quad (4.38)$$

$$\text{Gravelly sand} \quad N' = 1.25\,\overline{N} \quad (4.39)$$

من أجل الترب مسبقة الانضغاط، و $q > P'_c$ (P'_c الانضغاط المسبق) فإن الهبوط هو مجموع مراحل إعادة الانضغاط والانضغاط الطبيعي، كما يجب في هذه الحالة حساب قيمة مختلفة لمعامل الانضغاط الحجمي في حالة إعادة الانضغاط : $m_v = 1.7/\overline{N}^{1.4}$.

بافتراض قرينة الانضغاط لمرحلة إعادة الانضغاط هي 1/3 من مرحلة الانضغاط الطبيعي.

$$S_e = B^{0.75}\frac{1.7}{\overline{N}^{1.4}}(q - 2p'_c/3) \quad for\, q > p'_c \quad (4.40)$$

إذا كان الضغط المطبق أقل من P'_c يصبح:

$$S_e = B^{0.75}\frac{1.7}{\overline{N}^{1.4}}(q/3) \quad for\, q < P'_c \quad (4.41)$$

المعادلات أعلاه يمكن تطبيقها على أساسات متوضعة على نفس عمق التأسيس تحت سطح الأرض إذا كان الإجهاد الشاقولي قبل الإنشاء استبدل بـ P'_c.

في حالة الأساسات المستطيلة مع $\frac{L}{B} > 1$ ، فإن الهبوط يصعد بمعامل الشكل:

$$I_S = \left(\frac{1.25 L/B}{L/B + 0.25} \right)^2 \qquad (4.42)$$

إذا كانت الطبقة غير القابلة للانضغاط تتوضع ضمن عمق التأثير Z_I فإن معامل التصحيح لحساب الهبوط يعين كالتالي:

$$I_f = \frac{H(2 - H/Z_I)}{Z_I} \qquad (4.43)$$

حيث H عمق الطبقة غير القابلة للانضغاط من منسوب الأساس.

عمق التأثير بالنسبة إلى متوسط قيمة $\overline{N}$ تحسب من العلاقة (4.37) :

$$Z_I = 3.0^{0.75} = 2.3\,\text{m}$$

لهذا لا نحتاج إلى تصحيح لِ $\overline{N}$.

التصحيح من أجل حالة الإشباع باستخدام العلاقة (4.38):

$$N' = 15 + 0.5(19 - 15) = 17$$

نحسب الهبوط من العلاقة (4.36) :

$$S_e\,(3\,\text{m by}\,3\,\text{m}) = 3.0^{0.75} \frac{1.7}{17^{1.4}} \times 200.0 = 14.7\,\text{mm}$$

وبحساب عامل الشكل من العلاقة (4.42) :

$$I_S = [(1.25 \times 5.0/3.0)/(5.0/3.0 + 0.25)]^2 = 1.18$$

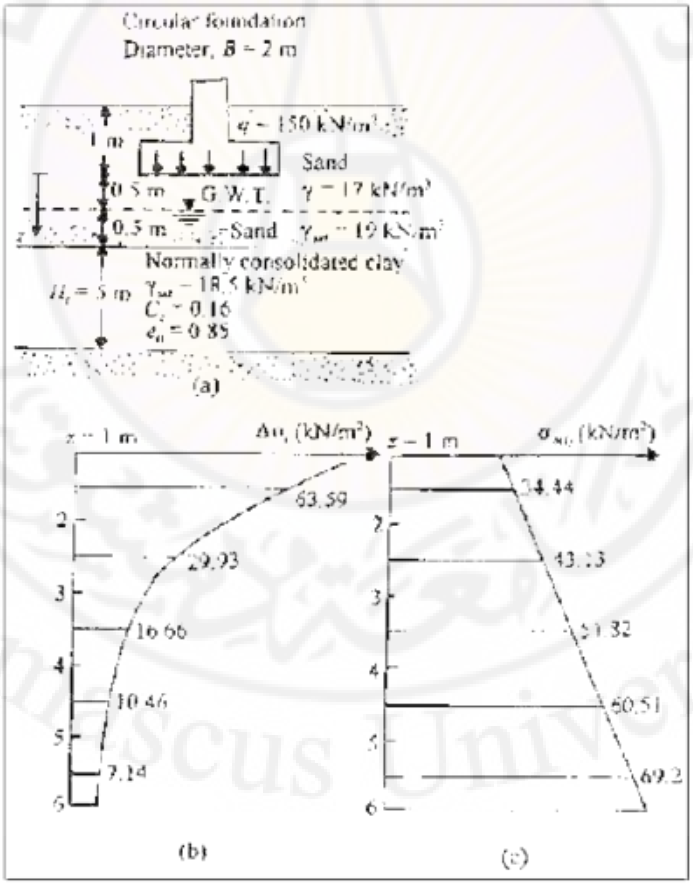
$$S_e\,(3\,\text{m by}\,5\,\text{m}) = 14.7 \times 1.18 = 17.3\,\text{mm}$$

4-2- الهبوط مع الزمن:

نظرية الانضغاط الرشحي وحساب تطور الهبوط مع الزمن، الهبوط الناتج من الانضغاط الثاني مع الزمن.

مسألة (4-10):

أساس دائري قطره 2 m يظهر في الشكل 4-13. سماكة طبقة الغضار المنضغطة طبيعياً 5 m متوضعة أسفل الأساس. حدد هبوط الانضغاط للغضار باستخدام الطريقة الثانية.

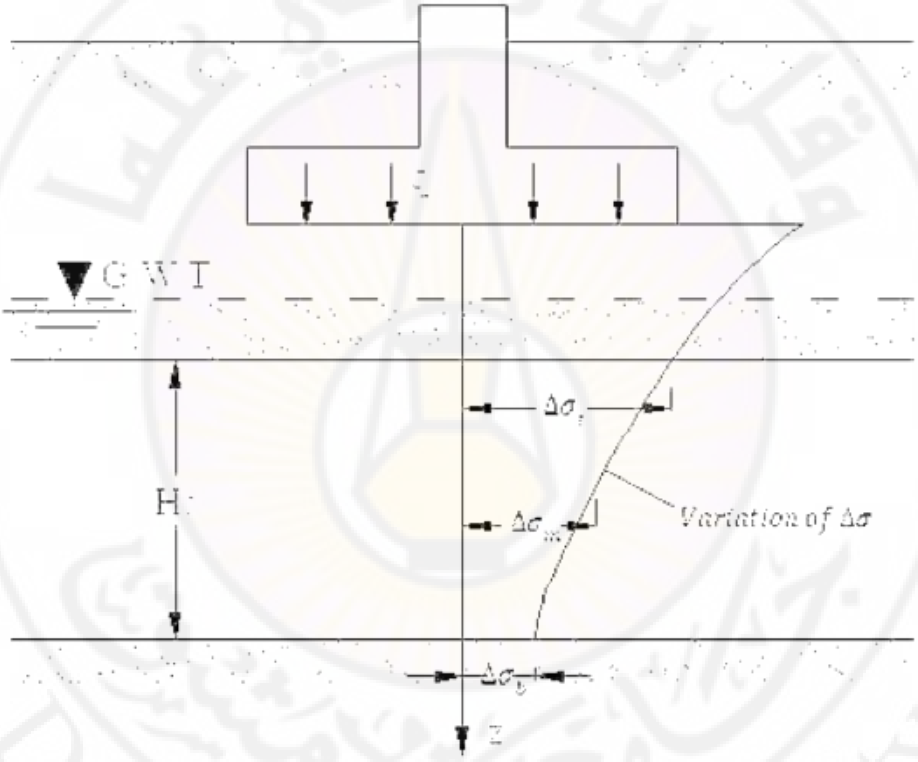


الشكل رقم (4-13)

الحل:

سنستخدم في الحل طريقة حساب الهبوط الناتج عن الانضغاط الأولي وحيد الاتجاه .

عند تطبيق حمولة على مساحة محدودة فإن الزيادة في الإجهاد بنتيجة الحمولة الإضافية المطبقة ستنقص مع العمق كما في الشكل أدناه:



الشكل رقم (4-14) حساب هبوط الانضغاط حسب الطريقة A

لذا من أجل التنبؤ بهبوط واقعي يمكن أن نستخدم الطرق التالية:

الطريقة الأولى (A):

حساب متوسط الضغط الفعال σ'_0 على طبقة الغضار قبل تطبيق الحمل المعتبر .

حساب الزيادة في الإجهادات نتيجة لتطبيق الحمل عند أعلى ومتوسط وأسفل طبقة الغضار. متوسط الزيادة في الإجهادات في طبقة الغضار يمكن أن يُخمن حسب قاعدة Simpson:

$$\Delta\sigma_{av} = \frac{1}{6}(\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b) \quad (4.4)$$

حيث $\Delta\sigma_t, \Delta\sigma_m, \Delta\sigma_b$ هي الإجهادات المتزايدة عند أعلى ومتوسط وأسفل طبقة الغضار على التوالي.

باستخدام $\sigma'_0, \Delta\sigma_{av}$ المحسوبة أعلاه نحصل على Δe من أحد العلاقات التالية التي يمكن تطبيقها:

$$\Delta e = C_c \log\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \quad (\text{for normally consolidated clays}) \quad (4.5)$$

$$(\text{for over consolidated clays } \sigma'_0 + \Delta\sigma \le \sigma'_c)$$

$$\Delta e = C_r \log\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \quad (4.6)$$

$$\Delta e = C_r \log\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + C_c \log\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma_c} \quad (\text{for } \sigma'_0 < \sigma'_c < \sigma'_0 + \Delta\sigma) \quad (4.7)$$

حساب الهبوط باستخدام العلاقة التالية:

$$S_c = \Delta H_t = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H_t \quad (4.8)$$

حيث :

H_t سماكة الطبقة المنضغطة

$\Delta\sigma$ الإجهاد الناتج عن التحميل الإضافي

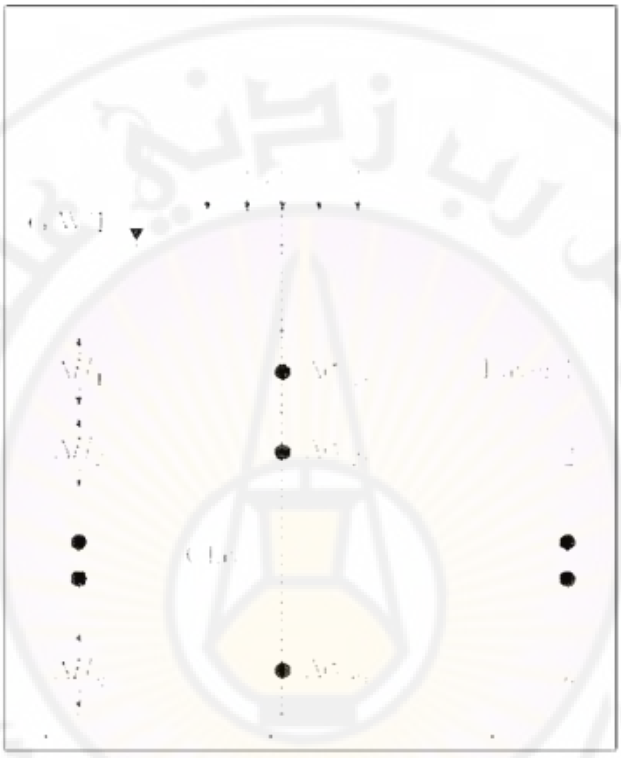
σ'_0 الإجهاد الفعال

σ'_c الإجهاد الناتج عن الضغط المسبق على التربة

e_0 عامل المسامية الابتدائي

C_c قرينة الانضغاط (compression index)

C_r قرينة إعادة الانضغاط (recompression index)



الشكل رقم (15-4) حساب هبوط الانضغاط حسب الطريقة B

الطريقة الثانية (B):

يمكن أن نحصل على نتائج أفضل في حساب الهبوط بتقسيم طبقة الغضار المعطاة إلى n طبقة كما يظهر في الشكل (15-4).

حساب الإجهاد الفعال عند منتصف كل طبقة $\sigma'_{0(i)}$.

حساب تزايد الإجهادات عند منتصف كل طبقة $\Delta\sigma$ نتيجة إلى الحمل المطبق.

حساب Δe من أجل كل طبقة من أحد العلاقات (4.7) (4.6) (4.5).

الهبوط الكلي من أجل كامل طبقة الغضار يُعطى:

$$S_c = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta S_c = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta e_i}{1+e_0} \Delta H_i \quad (4.9)$$

متابعة الحل :

نقسم طبقة الغضار إلى خمسة طبقات بسماكة كل طبقة 1 m.

حساب $\sigma'_{0(1)}$:

الإجهاد الفعال عند منتصف الطبقة الأولى:

$$\sigma'_{0(1)} = 17(1.5) + (19-9.81)(0.5) + (18.5-9.81)(0.5) = 34.44\,KN/m^2$$

الإجهاد الفعال عند منتصف الطبقة الثانية:

$$\sigma'_{0(2)} = 34.44 + (18.5-9.81)(1) = 34.44 + 8.69 = 43.13\,KN/m^2$$

بشكل مشابه:

$$\sigma'_{0(3)} = 43.13 + 8.69 = 51.81\,KN/m^2$$

$$\sigma'_{0(4)} = 51.82 + 8.69 = 60.51\,KN/m^2$$

$$\sigma'_{0(5)} = 60.51 + 8.69 = 69.2\,KN/m^2$$

حساب $\Delta\sigma_i$:

من أجل أساس دائري فإن الزيادة في الإجهادات أسفل المركز يعطى بالعلاقة:

$$\Delta\sigma_i = q\left\{1 - \frac{1}{\left[(b\ z)^2 + 1\right]^{3/2}}\right\}$$

حيث b نصف قطر الأساس الدائري 1 m.

يتم حساب ما يلي:

$$\Delta\sigma_1 = 150\left\{1-\frac{1}{\left[(1/1.5)^2+1\right]^{3/2}}\right\} = 63.59\,KN/m^2$$

$$\Delta\sigma_2 = 150\left\{1-\frac{1}{\left[(1/2.5)^2+1\right]^{3/2}}\right\} = 29.93\,KN/m^2$$

$$\Delta\sigma_3 = 150\left\{1-\frac{1}{\left[(1/3.5)^2+1\right]^{3/2}}\right\} = 16.66\,KN/m^2$$

$$\Delta\sigma_4 = 150\left\{1-\frac{1}{\left[(1/4.5)^2+1\right]^{3/2}}\right\} = 10.46\,KN/m^2$$

$$\Delta\sigma_5 = 150\left\{1-\frac{1}{\left[(1/5.5)^2+1\right]^{3/2}}\right\} = 7.14\,KN/m^2$$

حساب هبوط الانضغاط S_c:

خطوات الحساب تعطى في الجدول التالي: (انظر أيضاً الشكل 13-4 b و c)

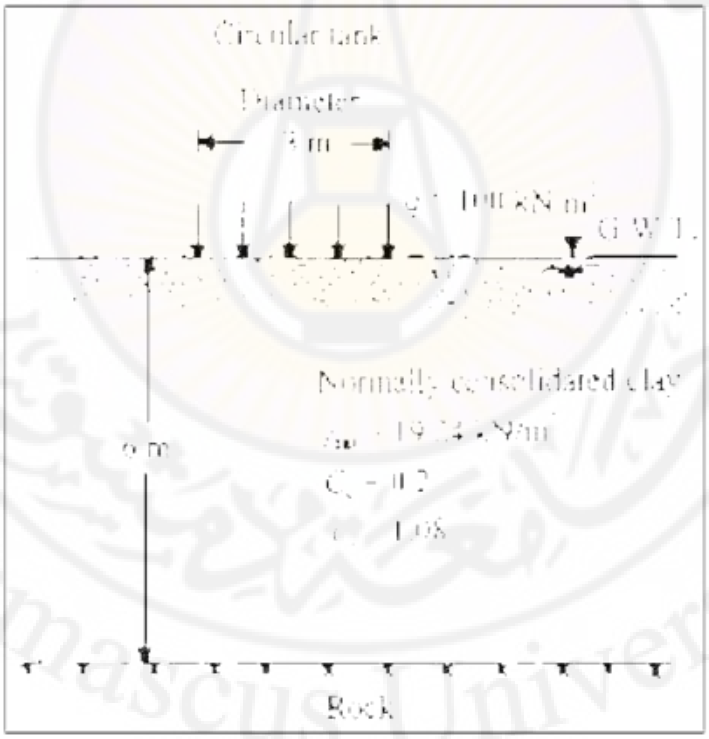
Layer	ΔH_i (m)	$\sigma'_{0(i)}$ (KN/m²)	$\Delta\sigma_i$ (KN/m²)	Δe	$\frac{\Delta e}{1+e_o}\Delta H_i$ (m)
1	1	34.44	63.59	0.0727	0.0393
2	1	43.13	29.93	0.0366	0.0198
3	1	51.82	16.66	0.0194	0.0105
4	1	60.51	10.46	0.0111	0.0060
5	1	69.2	7.14	0.00682	0.0037
					$\sum = 0.0793$

$$\Delta e = C_c \log \frac{\sigma'_{0i} + \Delta\sigma_i}{\sigma'_0} \qquad ، \qquad C_c = 0.16$$

$$S_c = 0.0793m = 79.3mm$$

مسألة (4-11):

إن القيمة المتوسطة الممثلة لبارامتر ضغط الماء المسامي A (كما حُددت من اختبارات الضغط ثلاثي المحاور على عينات غير مخربة) من أجل طبقة الغضار المبينة في الشكل رقم (4-16) هي حوالي 0.6. احسب هبوط الانضغاط لخزان دائري.



الشكل رقم (4-16)

الحل:

سنستخدم **طريقة Skempton–Bjerrum المعدلة" في حساب هبوط الانضغاط**

نحسب متوسط الضغط الفعال من أجل طبقة الغضار بسماكة 6 m:

$$\sigma_0' = (6/2)(19.24 - 9.81) = 28.29 \text{kN/m}^2$$

متوسط الضغط المتزايد باستخدام العلاقة (4.26) :

$$\Delta\sigma_{av} = \frac{1}{6}(\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b)$$

$$\Delta\sigma_t = 100 \text{kN/m}^2$$

من العلاقة الواردة في المسألة السابقة يتم حساب مايلي :

$$\Delta\sigma_m = 100\left\{1 - \frac{1}{\left[(1.5/3)^2 + 1\right]^{3/2}}\right\} = 28.45 KN/m^2$$

$$\Delta\sigma_b = 100\left\{1 - \frac{1}{\left[(1.5/6)^2 + 1\right]^{3/2}}\right\} = 8.69 KN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{av} = \frac{1}{6}\left[100 + 4(28.45) + 8.69\right] = 37.1 KN/m^2$$

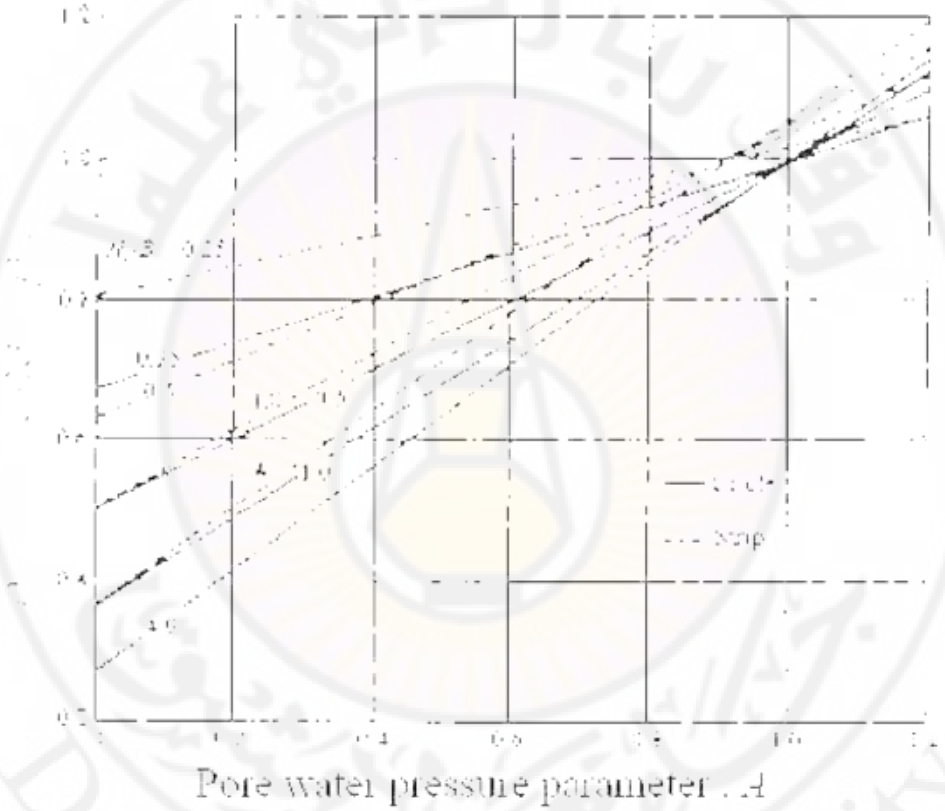
$$\Delta e = C_c \log\frac{\sigma_0' + \Delta\sigma_{av}}{\sigma_0'} = 0.2\log\left(\frac{28.29 + 37.1}{28.29}\right) = 0.073$$

$$e_0 = 1.08$$

$$S_{c(oed)} = \frac{\Delta e H_t}{1 + e_0} = \frac{0.073 \times 6}{1 + 1.08} = 0.21\text{m} = 210\text{mm}$$

من الشكل رقم (4-17) نسبة الهبوط $\rho_{circular}$ تساوي تقريباً 0.73 (بملاحظة أن $H_t/B = 2$) وبالتالي:

$$S_c = \rho_{circular}\, S_{c(oed)} = 0.73(210) = 153.3\,mm$$



الشكل رقم (4-17) نسبة الهبوط من أجل التحميل الدائري والشريطي

مسألة (12-4):

طبقة من الغضار بسماكة 4 m تخضع لتحميل يرفع متوسط الإجهادات الشاقولية الفعالة من 185 KPa إلى 310 KPa حدد ما يلي:

أ- الهبوط الكلي.

ب- الهبوط عند نهاية السنة الأولى.

ج- الزمن بالأيام من أجل 50 % من الانضغاط.

د- الزمن بالأيام من أجل حدوث هبوط قدره 25 mm.

حيث:

$$m_v = 0.00025 m^2/KN \; . C_v = 0.75 m^2/year$$

الحل:

أ- إن C_c هو ميل خط الانضغاط العذري في المخطط $e - \log\sigma'$

$$C_c = \frac{e_0 - e_1}{\log\sigma'_1 - \log\sigma_0} = \frac{e_0 - e_1}{\log(\sigma'_1/\sigma'_0)} \qquad (4.50)$$

$$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1 + e_0}{H_0} \qquad (4.51)$$

باستخدام العلاقات أدناه واستبدال ΔH بهبوط الانضغاط نحصل على علاقة الهبوط التالية:

$$S_c = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} \qquad (4.52)$$

حيث:

H: السماكة الأولية لطبقة الغضار.

σ'_0 and σ'_1 : تمثل متوسط الإجهادات الشاقولية الفعالة خلال الطبقة عند الحالة الابتدائية والنهائية على التوالي.

الانضغاطية لطبقة الغضار يمكن أن تمثل بمعامل الانضغاط الحجمي m_v المعرف بـ:

$$m_v = \frac{\Delta H / H_0}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \quad or \quad m_v = \frac{\Delta e / (1+e_0)}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \qquad (4.53)$$

من هذا التعريف نستطيع أن نعرف هبوط الانضغاط من أجل طبقة بسماكة H:

$$S_c = \Delta H = m_v \, H(\sigma'_1 - \sigma'_0) \qquad (4.54)$$

وباستخدام هذه العلاقة نجد:

$$S_c = 0.00025 \times 4.0(310.0 - 185.0) = 0.125m = 125mm$$

ب- معامل الزمن T_v يعرف كما يلي:

$$T_v = \frac{c_v \, t}{d^2} \qquad (4.55)$$

البارامتر c_v يدعى معامل الانضغاط و يشتق باعتبار الجريان مستمراً:

$$c_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \qquad (4.56)$$

حيث:

k: معامل النفاذية.

γ_w: الوزن الحجمي للماء.

d: يمثل طول التصريف الأعظمي الذي يجب أن تغطيه جزيئات الماء حتى الوصول إلى محيط التصريف الحر.

وبالتالي درجة الانضغاط عند أي عمق يعطى:

$$U_z = \frac{u_i - u_e}{u_i} = 1 - \frac{u_e}{u_i} \qquad (4.57)$$

حيث:

u_i and u_e : الضغط المسامي الأولي والزائد (نتيجة للتحميل) عند العمق z على التوالي.

القيمة المتوسطة لدرجة الانضغاط تعرف بالعلاقة:

$$U = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M^2} \exp\left(-M^2 T_v\right) \qquad (4.58)$$

حيث:

$$M = \pi(2m+1)/2$$

ويمكن أن تقدر U بشكل تقريبي كالتالي:

$$T_v = \pi U^2/4 \rightarrow U \le 0.6 \ , \ T_v = -0.933\log(1-U) - 0.085 \rightarrow U \ge 0.6 \qquad (4.59)$$

من الممكن اعتبار أن متوسط درجة الانضغاط هو:

$$U = \frac{S}{S_c} \qquad (4.60)$$

حيث S هو الهبوط عند الزمن t و S_c هو الهبوط النهائي $(t \leftarrow \infty)$

خطوات الحل من أجل حساب الهبوط عند الزمن المحدد يتضمن:

1- حساب معامل الزمن Tv من العلاقة (4.55) .

2- حساب متوسط درجة الانضغاط U من العلاقات (4.58) , (4.59) .

3- حساب الهبوط عند الزمن t (S) من العلاقة (4.60) .

وبالتالي:

1- $T_v = \frac{0.75 \times 1.0}{(4.0/2)^2} = 0.1875$

2- $T_v = \pi U^2/4 = 0.1875 \rightarrow U = 0.4886 < 0.6$

3- $U = S/125.0 = 0.4886 \rightarrow S = 61.0\,mm$

ج- من أجل 50% من الانضغاط $T_v = 0.197$ لذلك:

$$0.197 = \frac{0.75 \times t}{(4.0/2)^2} \rightarrow t = 1.0507\,year = 383.5\,days$$

د-

$$U = 25.0/125.0 = 0.2, T_v = \pi U^2/4 = \pi \times 0.2^2/4 = 0.0314$$

$$T_v = \frac{0.75 \times t}{(4.0/2)^2} = 0.0314 \rightarrow t = 0.1675\,year = 61.0 \quad days$$

مسألة (13-4):

في تجربة الانضغاط الأدومتر وجد أن الزمن المطلوب من أجل 50% من الانضغاط قد تم قياسه عند 154 ثانية (من خلال ملاحظة وقياس ضغط الماء المسامي). وقد كان هبوط العينة عند نهاية التجربة 2.5 mm ولدينا:

$\sigma'_0 = 60kPa$ ، $\sigma'_1 = 120KPa$ ، $e_0 = 0.65$ ، $H_0 = 20mm$

حدد:

أ- الزمن المطلوب من أجل 90% من الانضغاط.

ب- معامل النفاذية بـ m/s.

ج- قرينة الانضغاط.

الحل:

أ- باستخدام العلاقة (4.55) من أجل 50% و 90 % من الانضغاط.

$$T_v = \frac{c_v\, t}{d^2}$$

$$0.197 = \frac{c_v \times 154.0}{d^2}$$

$$0.848 = \frac{c_v \times t_{90}}{d^2}$$

الشكل رقم (4-18) a- طريقة الجذر التربيعي للزمن b- طريقة لوغاريتم الزمن

بنسبة العلاقتين أعلاه:

$$\frac{0.197}{0.848} = \frac{c_v \times 154.0}{d^2} \times \frac{d^2}{c_v \times t_{90}}$$

$$\frac{0.197}{0.848} = \frac{154.0}{t_{90}} \rightarrow t_{90} \approx 663s$$

ب- حساب c_v و m_v:

$$H_{av} = 20.0 - 2.5/2 = 18.75mm, d = 18.75/2 = 9.375mm$$

من العلاقة (4.55):

$$T_v = \frac{c_v t}{d^2}$$

$$c_v = \frac{0.197 \times 9.375^2 \times 10^{-6}}{154.0} = 1.124 \times 10^{-7}\ m^2/s$$

من العلاقة (4.53):

$$m_v = \frac{\Delta H / H_0}{\sigma_1' - \sigma_2'} = \frac{2.5/20.0}{120.0 - 60.0} = 2.083 \times 10^{-3}\ m^2/KN$$

باستخدام العلاقة (4.56):

$$c_v = \frac{k}{m_v \gamma_w}$$

$$k = c_v m_v \gamma_w = 1.124 \times 10^{-7} \times 2.083 \times 10^{-5} \times 9.81 = 2.3 \times 10^{-9}\ m/s$$

ج- من العلاقة (4.51):

$$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1 + e_0}{H_0}$$

$$\frac{\Delta e}{2.5} = \frac{1 + 0.65}{20.0} \rightarrow \Delta e = 0.2062$$

وبالتالي قرينة الانضغاط من العلاقة (4.50):

$$C_c = \frac{e_0 - e_1}{\log\sigma'_1 - \log\sigma'_0} = \frac{e_0 - e_1}{\log(\sigma'_1/\sigma'_0)}$$

$$C_c = \frac{0.2062}{\log(120.0/60.0)} = 0.685$$

مسألة (14-4):

باعتبار سماكة طبقة الغضار 4 m في المسألة السابقة ، كم نحتاج من الزمن للوصول إلى 50% من درجة الانضغاط تحت نفس الشروط من التصريف والإجهادات والحالة الفيزيائية؟ وكم سيكون الهبوط في طبقة الغضار عند نهاية هذه المرحلة؟

الحل:

باستخدام العلاقة (4.55) :

$$T_v = \frac{c_v\, t}{d^2}$$

$$c_v = 1.124\times10^{-7}\times24\times60\times60 = \frac{0.197\times2.0^2}{t}$$

$$\rightarrow t = 81.1\,days$$

هبوط الانضغاط النهائي يحسب من العلاقة (4.52) .

$$S_c = \frac{0.685\times4.0}{1+0.65}\log\frac{120.0}{60.0} = 0.5\,\mathrm{m} = 500\,\mathrm{mm}$$

$$S(50\%) = 500.0\times0.5 = 250.0\,\mathrm{mm}$$

مسألة (15-4):

حمولة سطحية 60 kPa تطبق على سطح الأرض فوق مساحة كبيرة. التربة تتألف من طبقة من الرمل بسماكة 2 m. تحت هذه الطبقة تتوضع طبقة من الغضار بسماكة 4 m تليها طبقة غير نفوذة. منسوب الماء 1 m تحت سطح الأرض.

إذا كان الضغط المسبق من أجل عينة من التربة من منتصف طبقة الغضار يساوي 60 KPa. احسب هبوط الانضغاط لطبقة الغضار. علماً أن خصائص التربة هي:

للرمل:

$$\gamma_{dry} = 1.6t/m^3 \, , \gamma_{sat} = 1.9t/m^3$$

للغضار:

$$\gamma_{sat} = 1.65t/m^3 \quad , e_0 = 1.5 \quad , C_c = 0.6 \quad , C_r = 0.1$$

الحل:

إذا كانت الإجهادات الشاقولية الفعالة الأولية σ'_0 هي أقل من الضغط المسبق (حالة مسبق الانضغاط) والحالة النهائية هي على خط الانضغاط العذري (حالة الانضغاط الطبيعي) فإن الهبوط يحسب في مرحلتين كالتالي:

$$S_c = \frac{C_r H}{1+e_0} \log \frac{p'_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c H}{1+e_p} \log \frac{\sigma'_1}{p'_c} \qquad (4.61)$$

حيث:

e_p: عامل المسامية باعتبار الضغط المسبق.

C_r: قرينة إعادة الانضغاط الذي يمكن أن نحصل عليها إما من الجزء مسبق الانضغاط لعلاقة $e - \log\sigma'$، أو من تكرار إزالة التحميل – إعادة التحميل.

$$\sigma'_0 = 1.65\times 2.0\times 9.81 + 1.9\times 1.0\times 9.81 + 1.6\times 1.0\times 9.81 - 1.0\times 3.0\times 9.81$$
$$= 37.3\,KPa$$

$$\sigma'_1 = 37.3 + 60.0 = 97.3\,KPa$$

في جملة إحداثيات $e - \log\sigma'$ فإن العلاقة لخط إعادة الانضغاط هي:

$$e = 1.5 - 0.1(\log\sigma' - \log 37.3)$$

باستخدام العلاقة (4.61) :

$$e_p = 1.5 - 0.1(\log 60.0 - \log 37.3) = 1.479$$

$$S_c = \frac{0.1\times 4.0}{1+1.5}\log\frac{60.0}{37.3} + \frac{0.6\times 4.0}{1+1.479}\log\frac{97.3}{60.0}$$

$$S_c = 0.033 + 0.203 = 0.236\text{m} = 236\text{mm}$$

مسألة (16-4):

يتشكل مقطع التربة من طبقة رملية بسماكة 2 m من سطح الأرض تليها طبقة من الغضار بسماكة 3 m تليها طبقة غير نفوذة، يقع منسوب الماء عند سطح الأرض، تطبق حمولة سطحية 100 KPa على سطح الأرض فوق مساحة كبيرة، يتراكب الانضغاط ليصل إلى 10%، 50%، 90%.

حدد قيمة الضغط المسامي المتزايد عند سطح الطبقة غير النفوذة وحدد قيمة الهبوط بعد 2 years بافتراض أن التربة في حالة انضغاط طبيعي علماً أن خصائص التربة هي:

للرمل: $\gamma_{sat} = 20\,KN/m^3$

للغضار: $\gamma_{sat} = 16\,KN/m^3\ ,\ e_0 = 1.3\ ,\ C_c = 0.5\ ,\ c_v = 6.5\,m^2/year$

الحل:

إن توزع الضغط المسامي الزائد مع العمق يحسب بالعلاقة:

$$u_e = \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2u_i}{M}\left(\sin\frac{M z}{d}\right)\exp\left(-M^2 T_v\right) \qquad (4.62)$$

حيث u_i و M كما هي موصوفة في العلاقات (4.57) و(4.58).

قيمة T_v تحسب بالعلاقة (4.59) :

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0}\log\frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}$$

من أجل 10%، 50%، 90% للانضغاط قيمة T_v هي 0.008، 0.197، 0.848 على التوالي.

باستخدام العلاقة (4.62) يتم تشكيل الجداول الثلاثة التالية من أجل كل T_v. إن قيم الضغط المسامي الزائد عند سطح الطبقة غير النفوذة هي $100KPa$ ، $77.8KPa$ ، $15.7KPa$ من أجل قيم T_v لـ 0.008، 0.197، 0.848 على التوالي كما في الشكل رقم (4-19):

لتحديد الهبوط المتوقع بعد سنتين نوجد أولاً الهبوط النهائي:

$$\sigma'_0\,(at\,the\,center\,of\,clay\,layer) = 16.0\times 1.5 + 20.0\times 2.0 - (1.5+2.0)\times 9.81$$
$$= 29.7\,KPa$$

الجدول (4-8)

m	M	2/M	$Exp(-M^2T_v)$		
			T_v=0.008	T_v=0.197	T_v=0.848
0	0.5π	1.2732	0.9804	0.6150	0.1234
1	1.5π	0.4244	0.8372	0.0126	0.0000
2	2.5π	0.2546	0.6105	0.0000	0.0000
3	3.5π	0.1819	0.3801	0.0000	0.0000
4	4.5π	0.1415	0.2021	0.0000	0.0000
5	5.5π	0.1157	0.0918	0.0000	0.0000
6	6.5π	0.0979	0.0356	0.0000	0.0000
7	7.5π	0.0849	0.0118	0.0000	0.0000

الجدول (4-9)

m	$Sin(M_z/d)$			
	z/d			
	0.250	0.500	0.750	1.000
0	0.3827	0.7071	0.9239	1.0000
1	0.9239	0.7071	-0.3827	-1.0000
2	0.9239	-0.7071	-0.3827	1.0000
3	0.3827	-0.7071	0.9239	-1.0000
4	-0.3827	0.7071	-0.9239	1.0000
5	-0.9239	0.7071	0.3827	-1.0000
6	-0.9239	-0.7071	0.3827	1.0000
7	-0.3827	-0.7071	-0.9239	-1.0000

Damascus University

الجدول (4-10)

z/d	0.250	0.500	0.750	1.000
	z=0.75 m	z=1.5 m	z=2.25 m	z=3.0 m
$T_v = 0.008$				
$u_{(0)}/u_i$	477.703×10^{-3}	882.634×10^{-3}	1153.254×10^{-3}	1248.245×10^{-3}
$u_{(1)}/u_i$	328.268×10^{-3}	251.238×10^{-3}	-135.976×10^{-3}	-355.307×10^{-3}
$u_{(2)}/u_i$	143.605×10^{-3}	-109.907×10^{-3}	-59.484×10^{-3}	155.433×10^{-3}
$u_{(3)}/u_i$	26.460×10^{-3}	-48.889×10^{-3}	63.879×10^{-3}	-69.140×10^{-3}
$u_{(4)}/u_i$	-10.944×10^{-3}	20.221×10^{-3}	-26.421×10^{-3}	28.597×10^{-3}
$u_{(5)}/u_i$	-9.813×10^{-3}	7.510×10^{-3}	4.065×10^{-3}	-10.621×10^{-3}
$u_{(6)}/u_i$	-3.220×10^{-3}	-2.464×10^{-3}	1.334×10^{-3}	3.485×10^{-3}
$u_{(7)}/u_i$	-0.383×10^{-3}	-0.708×10^{-3}	-0.926×10^{-3}	-1.002×10^{-3}
u_e/u_i	951.676×10^{-3}	999.635×10^{-3}	999.725×10^{-3}	999.690×10^{-3}
U_z	0.0483	0.0004	0.0003	0.0003
u_e (KPa)	95.17	99.96	99.97	99.97

z/d	0.250	0.500	0.750	1.000
	z=0.75 m	z=1.5 m	z=2.25 m	z=3.0 m
$T_v = 0.197$				
$u_{(0)}/u_i$	299.661×10^{-3}	553.672×10^{-3}	723.430×10^{-3}	783.018×10^{-3}
$u_{(1)}/u_i$	4.940×10^{-3}	3.781×10^{-3}	-2.046×10^{-3}	-5.347×10^{-3}
u_e/u_i	304.601×10^{-3}	557.453×10^{-3}	721.384×10^{-3}	777.671×10^{-3}
U_z	0.6954	0.4425	0.2786	0.2223
u_e (KPa)	30.46	55.74	72.14	77.77

z/d	0.250	0.500	0.750	1.000
	Z=0.75 m	z=1.5 m	z=2.25 m	z=3.0 m
$T_v = 0.848$				
$u_{(0)}/u_i$	60.127×10^{-3}	111.094×10^{-3}	145.157×10^{-3}	157.113×10^{-3}
u_e/u_i	60.127×10^{-3}	111.094×10^{-3}	145.157×10^{-3}	157.113×10^{-3}
U_z	0.9399	0.8889	0.8548	0.8429
u_e (KPa)	6.01	11.11	14.52	15.71

$$\sigma'_1 = 29.7 + 100.0 = 129.7\,\text{kPa}$$

باستخدام العلاقة (4.52) :

$$S_c = \frac{0.5 \times 3.0}{1 + 1.3} \log \frac{129.7}{29.7} = 0.417 m$$

الشكل رقم (4-19)

باستخدام العلاقة (4.55) :

$$T_v = \frac{6.5 \times 2.0}{3.0^2} = 1.444$$

متوسط درجة الانضغاط من العلاقة (4.59) :

$$T_v = 1.444 = -0.933 \log(1 - U) - 0085$$

$$U = 0.9770$$

$$U = 0.9770 = \frac{S}{0.417} \rightarrow S = 0.407\text{m}$$

مسألة (17-4):

إذا انخفض منسوب الماء في المسألة السابقة إلى سطح طبقة الغضار احسب هبوط الانضغاط لطبقة الغضار بعد 6 أشهر في حالتين:

أ- انخفض المنسوب للأسفل بشكل آني.

ب- انخفض المنسوب للأسفل خلال شهرين.

بفرض عدم وجود تحميل سطحي و باعتبار أن الوزن الحجمي لطبقة الرمل بعد انخفاض منسوب الماء للأسفل هو $17.5\,KN/m^3$.

الحل:

أ- من المسألة السابقة وجدنا:

$$\sigma_0'\,(at\ the\ center\ of\ clay\ layer) = 29.7\,KPa$$

$$\sigma_1'(at\ the\ center\ of\ clay\ layer) = 16.0\times 1.5 + 17.5\times 2.0 - 1.5\times 9.81$$

$$= 44.3\,KPa$$

وبالتالي باستخدام العلاقة (4.52) :

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0}\log\frac{\sigma_1'}{\sigma_0'} = \frac{0.5\times 3.0}{1+1.3}\log\frac{44.3}{29.7} = 0.113\,m$$

من العلاقة (4.55) :

$$T_v = \frac{c_v\, t}{d^2} = \frac{6.5\times(6.0/12)}{3.0^2} = 0.361$$

$$T_v = 0.361 = -0.933\log(1-U) - 0.085$$

$$U = 0.6674$$

$$U = 0.6674 = \frac{S}{S_c} = \frac{S}{0.113}$$

$$S \approx 0.075\text{m}$$

ب- طريقة ترزاكي من أجل تصحيح علاقة الزمن - الهبوط تستند على الفرضيات التالية:

الهبوط المصحح عند الزمن $t \geq t_c$ (في هذا المثال $t_c = 2\,\text{months}$) يساوي إلى الهبوط على المنحني غير المصحح العائد لـ t/2.

من أجل $t < t_c$ فإن التصحيح المطلوب يأخذ بعين الاعتبار نسبة التحميل عند الزمن المحدد. نسبة التحميل هي نسبة الحمولة عند الزمن t إلى الحمولة الكلية $\Delta\sigma$. إن الهبوط الموافق لـ t/2 يضرب بهذه النسبة.

هذه الطريقة تدل على أنه من أجل قيمة محددة لـ U فإن الزمن يساوي ضعف الزمن المطلوب من أجل التحميل الآتي.

بما أن $t \geq t_c$ ومن المعادلة (4.55) :

$$T_v = \frac{6.5 \times (6.0/2)/12}{3.0^2} = 0.1805$$

$$T_v = \frac{\pi}{4} U^2 = 0.1805 \rightarrow U = 0.479 < 0.6$$

$$U = 0.479 = \frac{S}{0.113} \rightarrow S \approx 0.054\text{m}$$

مسألة (4-18):

في المسألة السابقة احسب هبوط الانضغاط عند 3 months، 6 months، 2 years إذا كانت الحمولة تزداد خطياً إلى 100 kpa بنهاية 6 months.

الحل:

$$\text{For t} = 3\,\text{months} \qquad T_v = \frac{c_v\, t}{d^2} = \frac{6.5\times(3.0/2)/12.0}{3.0^2} = 0.0903$$

$$T_v = \frac{\pi U^2}{4} = 0.0903 \rightarrow U = 0.3391$$

التصحيح من أجل الحمل الخطي:

$$U = 0.3391\times 3.0/6.0 = 0.1695$$

$$S = S_c \times 0.1695 = 0.417\times 0.1695 = 0.0707\text{m} \approx 71\text{mm}$$

$$\text{For t} = 6\,\text{months} \qquad T_v = \frac{c_v\, t}{d^2} = \frac{6.5\times(6.0/2)/12.0}{3.0^2} = 0.1805$$

$$T_v = \frac{\pi U^2}{4} = 0.1805 \rightarrow U = 0.4794$$

لاتوجد حاجة لأية تصحيحات أخرى وبالتالي :

$$S = S_c \times 0.4794 = 0.417\times 0.4794 = 0.1999\text{m} \approx 200\text{mm}$$

$$For\ \ t = 2\,years \qquad T_v = \frac{c_v\, t}{d^2} = \frac{6.5\times(2.0/2)}{3.0^2} = 0.7222$$

$$T_v = -0.933\log(1-U) - 0.085 = 0.7222 \leftarrow U = 0.8636 > 0.6$$

لاتوجد حاجة لأية تصحيحات أخرى وبالتالي :

$$S = S_c \times 0.8636 = 0.417\times 0.8636 = 0.3601m \approx 360mm$$

مسألة (19-4):

في اختبار أودومتر للانضغاط التي تم إجراؤها على طبقة غضارية منضغطة طبيعياً بسماكة 2.6 m وُجد أن نسبة الفراغات الأولية للغضار $e_0 = 0.8$ وقرينة انضغاطها الابتدائي $C_c = 0.28$. الإجهاد في الموقع الأصلي عند منتصف الطبقة $p_0 = 1500KN/m^2$ كما يطبق ضغط إضافي ناتج عن حمولة المبنى $550KN/m^2$ ، فإذا كانت قرينة الانضغاط الثانوي $C_\alpha = 0.02$ ، والزمن اللازم حتى استكمال الهبوط الابتدائي تقريباً 18 شهر . ما هو الانضغاط الكلي لـ 2.6 m من طبقة الغضار بعد خمسة سنوات من الانضغاط الابتدائي؟

الحل:

الانضغاط الابتدائي ΔH_p

$$\Delta H_p = \frac{C_c H}{1+e_0}\log\left(\frac{p_0+\Delta p'}{p_0'}\right) = \frac{(0.28)(2.6)}{1+(0.8)}\log\left(\frac{1500+550}{1500}\right)$$
$$= 0.055m$$

الانضغاط الثانوي ΔH_S

$$\Delta H_S = \frac{C_\alpha H}{1+e_p}\log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$$

وهنا لابد من إيجاد e_p أولاً عن طريق إيجاد التغير في نسبة الفراغات خلال الانضغاط الابتدائي:

$$e_p = e_0 - \Delta e = e_0 - C_c\log\left(\frac{p_0+\Delta p'}{p_0'}\right)$$
$$= 0.8-(0.28)\log\left(\frac{1500+550}{1500}\right) = 0.76$$

$$\Delta H_S = \frac{C_s H}{1+e_P}\log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{(0.02)(2.6-0.055)}{1+(0.76)}\log\left(\frac{5}{1.5}\right)$$
$$= 0.015m$$

هبوط الانضغاط الكلي:

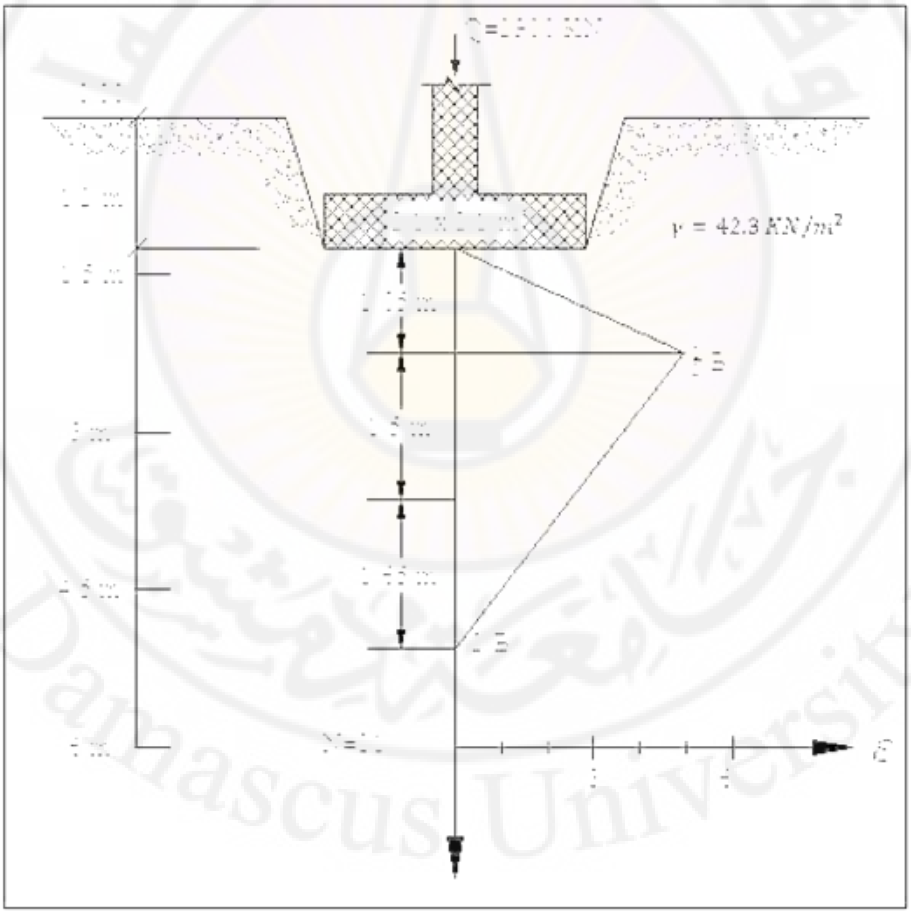
$$\Delta H_p + \Delta H_s = 0.055+0.015 = 0.07m$$

Damascus University

4-3- مسائل غير محلولة:

مسألة (4-20):

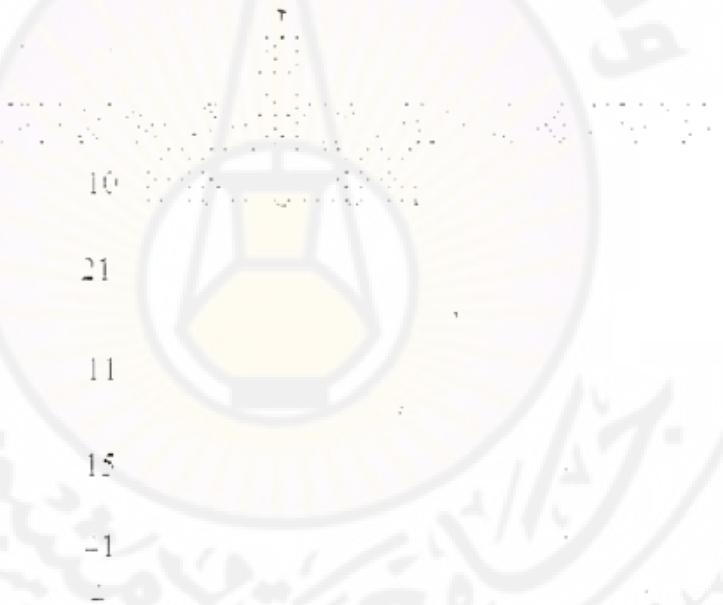
احسب الهبوط لأساس مربع متوضع على رمل ناعم متوسط الكثافة حيث سطح التأسيس أسفل سطح الأرض بـ 1.2 m من الاستخدام طويل الأمد. استخدم طريقة Schmertmann. بفرض أن $\frac{E_S}{N} = 1500$ تستخدم من أجل الرمل الناعم متوسط الكثافة $Q = 2900KN$ وحيث Es تقدر بـ KN.



الشكل رقم (4-20)

مسألة (21-4):

حدد الهبوط المرن لأساس بأبعاد $3\times3\,m$ كما يظهر في الشكل أدناه باستخدام طريقة Schmertmann. يخمن معامل المرونة المستخدم $E_S=1075(N+15)$ حيث E_S يقدر بـ KN/m^2 و N هي قيمة SPT المصححة.



الشكل رقم (21-4)

مسألة (22-4):

نفذ بناء جديد حيث مقطع التربة كما في الشكل أدناه. بفرض أن الغضار صلب وزنه النوعي 2.67 أوجد هبوط الانضغاط الرئيسي إذا كان الغضار منضغط طبيعياً.

الشكل رقم (22-4)

مسألة (4-23):

أوجد الهبوط الكلي تحت البناء حيث الحمولة تطبق كما في الشكل أدناه.

الشكل رقم (4-23)

مسألة (4-24):

تعطى نتائج سلسلة من اختبارات الانضغاط على عينة من الغضار بالجدول :

Pressure, p (KN/m^2)	Void ratio, e
23.94	1.112
47.88	1.105
95.76	1.080
191.52	0.985
383.04	0.850
766.08	0.731

أ- ارسم علاقة e-log.

ب- حدد الضغط قبل الانضغاط p_c.

ج- أوجد قرينة الانضغاط Cc.

مسألة (4-25):

طبقة من الغضار بسماكة 6 m متوضعة على صخر غرانيتي، وباعتبار الانضغاط الابتدائي التجريبي 220 mm .

أوجد:

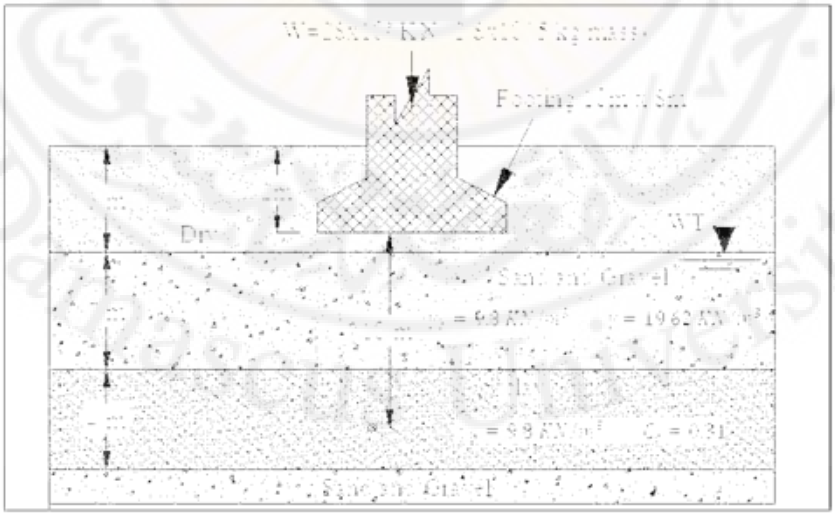
أ- درجة الانضغاط عندما يصل الهبوط إلى 50 mm.

ب- الزمن للوصول إلى 50% من الهبوط إذا كان $c_v = 0.002\ cm^2/sec$.

ج- الزمن من أجل 50% من الانضغاط إذا كانت طبقة الغضار ذات تصريف ثنائي (doubly-drained).

مسألة (4-26):

احسب متوسط الهبوط من الانضغاط الابتدائي لطبقة الغضار تحت مركز ركيزة جسر .



الشكل رقم (4-24)

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع المستخدمة

1. Braja M.Das. Advanced soil mechanics. Taylor & Francis e-Library, Third edition. 2007

2. Burland, J.B&Burbidge, M.C.1985.Settlements of foundations on sands and gravel. Proc. Part 1,78:1325-1381. London: Institution of Civil Engineers.

3. Aysen, A.2002.Soil mechanic: Basic concepts and engineering applications. liss: Balkema.

4. A.Aysen.Problem Solving in Soil Mechanics.Balkema publishers, Member of Swets & Zeitlinger Publishers. 2003

5. Luis A.Prieto-Portar. 300 Solved Problems Soil/Rock Mechanics and found ations Engineering.Florida International Uiversity, Miami, Florida. 2009.

6. Bowles, J. E., Elastic Foundation Settlement on Sand Deposits, J. Geotech. Eng., Am. Soc. Civ. Eng., vol. 113, no. 8, pp. 846-860, 1987.

7. D'Appolonia, D. J., H. G. Poulos, and C. C. Ladd, Initial Settlement of Structures on Clay, J. Soil Mech. Found. Div., Am. Soc. Civ. Eng., vol. 97, no. SM10, pp. 1359-1378, 1971.

8. Wroth, C. P. In Situ Measurement of Initial Stresses and Deform- ation Characteristics, in Proc. Specialty Conf. In Situ Meas. Soil Prop., vol. 2, Am. Soc. of Civ. Eng., pp. 180-230, 1975.

9. Terzaghi, K. and R. B. Peck, Soil Mechanics in Engineering Pra- ctice, 2nd ed., Wiley, New York, 1967

10. Scott, R. F., Principles of Soil Mechanics, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1963.

11. Skempton.A.W.1951.The bearing capacity of clays.Proc.building congress, 1: 180-189.London,UK.

12. Geddes, J.D. 1969. Boussinesq based approximations to the vertical stresses caused by pile type subsurface loadings.Geotechnique,19(4): 509-514.

13. Fadum, R.E. 1948. Influence values for estimating stresses in elastic foundation. Proc. 2nd intern. conf. SMFE, 3: 77-84.Rotterdam.

14. Vesic.A.S. 1961. Bending of beam resting on isotropic elastic solid. Journal EMD. ASCE, 87(2): 35-53.

15. أسامة الشافعي. "ميكانيك التربة". الجزء الأول والجزء الثاني. دار الراتب الجامعية. بيروت. 1988.

16. السيد عبد الفتاح القصبي. "ميكانيك التربة". دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع. مصر. 1993.

17. حنا يني. "ميكانيك التربة". الجزء الأول والجزء الثاني كلية الهندسة المدنية. جامعة دمشق. 1996-1997.

18. خلدون سراج الدين. "ميكانيك التربة". الجزء الأول والجزء الثاني كلية الهندسة المدنية. جامعة دمشق. 1995.

19. Абуханов, А.З Механика грунтов. - Феникс, 2006.Ростов на дону.

20. Далматов, Б.И Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник для ву- зов. - М.: Высшая школа, 1988.

21. Цытович, Н.А. Механика грунтов (краткий курс): учебник для ву-зов. - 3-е изд., доп. / Н.А. Цытович. - М.: Высшая школа, 1979. - 272с.

اللجنة العلمية

الدكتور عبد المنير نجم	أستاذ في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق
الدكتور ابراهيم حمود	أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق
الدكتور محمد كيال	أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق

المدقق اللغوي

الدكتور خالد الحلبوني	أستاذ في كلية الآداب بجامعة دمشق

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعي

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University