الضغط غير المحصور

مقدمة:

يستخدم اختبار الضغط غير المحصور لقياس مقاومة الضغط غير المحصور للترب الناعمة التدرج. هذا الاختبار قابل للتطبيق على الترب الناعمة فقط مثل الغضاريات المشبعة أو غير المشبعة أو الترب المترابطة التي لها مقاومة قص بدون ضغط حصر. الرمل النظيف لا يمكن اختباره باستخدام اختبار الضغط غير المحصور حيث أنه لا يمكن أن يحتفظ بقوام إذا لم يكون هناك ضغط حصر. يستخدم هذا الاختبار للتقدير السريع لمقاومة القص غير المصرف للترب الناعمة التدرج ويوّصف وفق ASTM بالمعيار D 2166.

الاختبار:

لكي نحدد مقاومة الضغط غير المحصور، يُطبق تشوه محوري للعينة عند نسبة تشوه محددة مسبقا. (ويعرّف الاختبار التحكم بالتشوه). بازدياد التشوه، فإن القوة المحورية الشاقولية N تقاس عند تواترات تشوه منتظمة. عندما تنهار العينة، نعرف الاجهاد عند هذه النقطة بأنه مقاومة القص غير المصرف.

يحدد معيار كولومب للانهيار مقاومة القص للتربة بأنها

$$\tau = c_a + \sigma * \tan\phi \qquad (6.12)$$

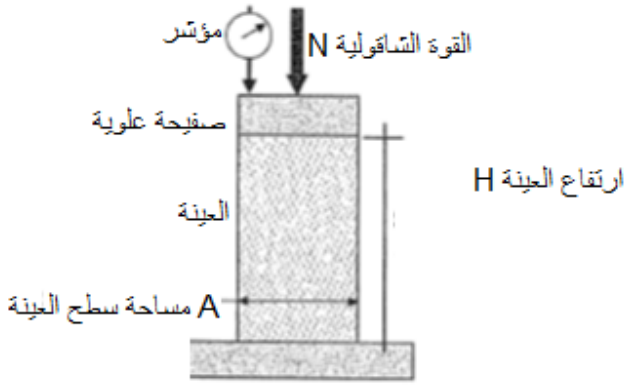
حيث τ (kPa) هي مقاومة القص، c_a (kPa) مسقط القص، σ (kPa) الاجهاد الناظمي، ϕ (deg) زاوية الاحتكاك. من أجل اختبارات غير المصرفة للغضار المشبع تكون $\phi=0$ وعندها تكون مقاومة القص غير المصرف للترب S_u :

$$S_u = c_a + \sigma * \tan(0)$$

حيث σ هي الاجهاد الكلي على مستوي القص.

إن اختبار الضغط غير المحصور هو طريقة سريعة لتحديد S_u للترب الغضارية. تعطى مقاومة الضغط غير المحصور بالعلاقة:

$$S_u = \frac{q_u}{2} \qquad \textit{undrained shear strength}$$



الشكل 1: اختبار الضغط غير المحصور

حيث q_u هو الاجهاد الناظمي الأعظمي عند الانهيار ويعطى بالعلاقة:

$$q_u = \frac{N_{\max}}{A_c} \qquad \textit{Unconfined compressive strength}$$

حيث أن N_{max} هو القوة المحورية الأعظمية عند الانهيار و A_c هو المساحة المصححة عند الانهيار.

نتائج الاختبار تبين أنه إذا كانت عينة الغضار مشبعة، فإن مقاومة القص غير المحصور تتناقص كلما ازداد المحتوى الرطب (أي تزداد نسبة الفراغات). إذا كانت عينة التربة غير مشبعة وكان وزنها الحجمي ثابت بغض النظر عن محتوى الماء، فإن مقاومة الضغط غير المحصور تتناقص مع ازدياد درجة الاشباع. هذا يحدث لأنه لإذا ازداد محتوى الماء فإن القوى الشعرية تتناقص.

التجهيزات:

-اطار الضغط:

يجب أن يملك الجهاز قدرة كافية لتحميل وانهيار العينات المختبرة، ويجب أن يكون قابل لضمان نسبة التحميل تتراوح (0.5-2%/min).

خلية التحميل أو حلقة قياس قوة القص: لنقيس الحمولة المحورية المطبقة على العينة. يجب أن يكون لخلية التحميل دقة أكثر من 1% من الحمولة عند انهيار العينة.

مؤشر القياس أو LVDT: هذه الوسائل تستخدم لقياس التشوه الشاقولي للعينة. يجب أن تكون ذات دقة على الأقل0.03mm ومسافة انتقال على الأقل 20% من الارتفاع الابتدائي لعينة التربة. من متطلبات ASTM أن يتم قراءة 10 نقاط على الأقل خلال الاختبار.

أداة قياس: لنحدد الأبعاد الأولية للعينة.

مؤقتة: يجب أن يستغرق الجهاز مدة لا تتجاوز 15 دقيقة.

ميزان: يجب أن تكون دقته أكثر من 0.1% من وزن العينة.

فرن التجفيف وجفنات: لتحديد محتوى الرطوبة للعينة المختبرة.

العينة:

يمكن اختبار عينات غير مضطربة أو معادة التشكيل للترب الناعمة في اختبار مقاومة الضغط غير المحصور. يجب ان يكون قطر العينة الأصغري 30mm، ونسبة القطر إلى الارتفاع ضمن المجال من 2 إلى 2.5. يجب أن يكون القطر الأعظمي للجزيئات أصغر عشر مرات من قطر العينة.

خطوات الاختبار:

- تشذيب العينة غير المضطربة، أو رص العينة معادة التشكيل عند نسبة الرطوبة والوزن الحجمي المطلوبين.
- تسجيل كتلة العينة M_s.
- قياس الارتفاع الابتدائي H_0 للعينة وقطرها الابتدائي D_0.
- نضع العينة في اطار الضغط غير المحصور و نحرك الصفيحة العلوية لتلامس سطح العينة.
- نقرأ القراءة الابتدائية لـ δ_0 في مؤشر التشوه أو LVDT .
- نقرأ القراءة الابتدائية N_0 في خلية التحميل أو الحلقة proving ring.
- نبدأ الاختبار بتطبيق نسبة تشوه ثابتة تقريبا 1% / min.
- نستمر بالاختبار حتى نسبة تشوه 2% بعد القوة الناظمية العظمى N_{max}.
- نرسم مخطط لمستوي الانهيار أو العينة المشوهة.
- نزيل العينة، ونحدد محتوى الماء w.

الحسابات:

التشوه المحوري:

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta H}{H_0}$$

مساحة سطح العينة الابتدائي:

$$A_0 = \pi * (\frac{D}{2})^2$$

مساحة السطح المصحح:

$$A_c = \frac{A_0}{1-\varepsilon}$$

الاجهاد (الشاقولي) المحوري:

$$\sigma = \frac{N}{A_c}$$

معادلة دائرة مور:

$$\left(\sigma - \frac{q_u}{2}\right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{q_u}{2}\right)^2$$

إن الاجهاد الرئيسي الأصغري يساوي الصفر في اختبار الضغط غير المحصور. نصف قطر الدائرة يساوي $q_u/2$.

تقديم النتائج:

- رسم التشوه المحوري مقابل الاجهاد الشاقولي
- رسم دائرة مور، وتعيين عليها مقاومة القص غير المصرف.
- تحديد مقاومة القص غير المصرف.

الانضغاطية باتجاه أحادي

مقدمة

تهبط جميع أنواع التربة تحت تأثير الأحمال، مما يتسبب في هبوط المنشآت القائمة عليها أو داخلها. إذا لم يُحافظ على الهبوط عند حد مقبول، فقد يتضرر الاستخدام المطلوب للهيكل، وبالتالي يقل عمره التصميمي. ومن الحالات الأخطر هو حدوث الهبوط التفاضلي وتجاوز الحدود المسموحة لقيم الهبوط.

يُعدّ برج بيزا المائل مثالًا كلاسيكيًا على الهبوط التفاضلي. بدأ بناء البرج عام 1173، وبحلول نهاية عام 1178، عندما اكتمل ثلثاه، مال. يقع أساس البرج على عمق حوالي 3 أمتار في طبقة من الرمل السيلتي، التي تعلو طبقة من الغضار الطري بسمك 30 مترًا والتي بدورها تتوضع على ترسبات رملية. ولوحظ تخلل طبقة رملية بسمك حوالي 5 أمتار طبقة الغضار الطري. بقي هيكل البرج سليماً إلا أن توظيفه تأثر بسبب الهبوط التفاضلي.

يمكن تجزيء الهبوط الكلي إلى ثلاثة مركبات أو مراحل: الانضغاط الفوري أو المرن، والانضغاط الأولي، والضغط الثاني.

عندما يطبق ضغط من الأساسات q فجأة على ترسبات تربة مشبعة، فإن الماء الموجود في الفراغات يتحمل الحمولة الزائدة، ويزداد ضغط الماء المسامي بينما يبقى الاجهاد الفعال ثابتاً. تعرف الزيادة في ضغط الماء المسامي بضغط الماء المسامي الزائد u_e. إلا أن الماء ليس لديه مقاومة قص، ومع الزمن يخرج من الفراغات وبالتالي ينقص ضغط الماء المسامي الزائد. ينتقل الضغط المضاف q لهيكل التربة، وهنا يزداد الاجهاد الفعال. تستجيب التربة لهذه العملية بتشوه يسبب هبوط الأساسات.

إن نسبة تشوه التربة وقيمة هبوط الأساسات يعتمد على الناقلية الهيدروليكية (التي تحدد سهولة جريان الماء ضمن التربة). في حالة الترب ذات الناقلية الهيدروليكية العالية (مثل الرمل والسيلت) تكون نسب التحميل أطول من الزمن الذي يحتاجه الماء ليخرج من فراغات التربة ويخفف ضغط الماء المسامي الزائد. ولذلك في معظم الحالات يهمل تأثير الزمن لأنه صغير مقارنة مع نسب التحميل. أما في حالة الترب ذات الناقلية الهيدروليكية المنخفضة (مثل الترب الغضارية)، نسبة التحميل أسرع من نسبة تبدد الضغط المسامي الزائد، ففي هذه الترب، تشوه وهبوط الأساسات يأخذ زمناً أكثر.

أما معامل الانضغاطية فيقيّم تبدد ضغط الماء المسامي من الترب المشبعة عند تحميلها. واختبار الانضغاطية يزودنا بمعلومات عن تشوه التربة استجابة للتحميل الشاقولي عليها. ونحدد قرينة الانتفاخ وقرينة الانضغاط مما يساعدنا على حساب الهبوط.

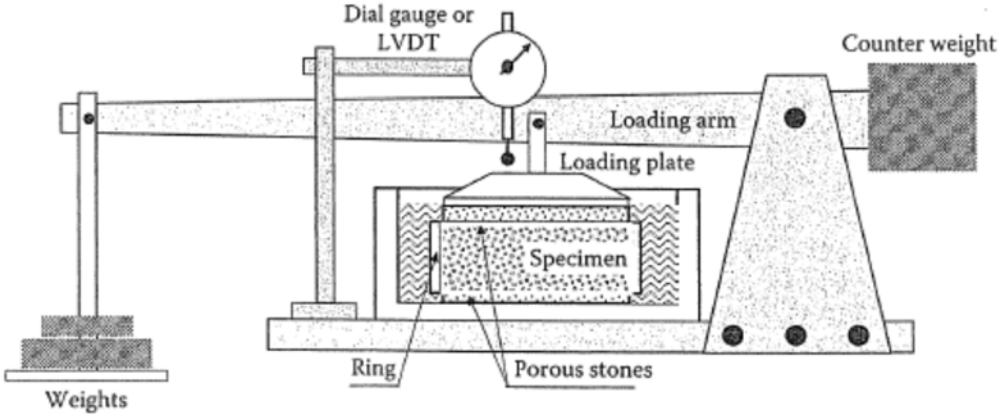
يمكن تحديد المقياس الزمني وقيمة التشوه والهبوط في التربة باستخدام بارامترات مثل قرائن الانضغاطية والانتفاخ (التحميل Loading وعدم التحميل Unloading) ومعامل الانضغاطية. تحدد هذه البارامترات من اختبار الانضغاطية أو الأودومتر. أول من اقترح هذا الاختبار هو K.Terzaghi، الذي يمكننا من تحديد مواصفات التشوه مقابل الاجهاد والتشوه مقابل الزمن بتطبيق مجموعة من الحمولات الشاقولية وقياس التشوهات الشاقولية.

إن اختبار الانضغاطية موّصف في ASTM وفق معيارين: D 2435، و D 4186. في المعيار 2435 موصوف طريقتين: طريقة A تتضمن تزايد حمولات ثابت كل 24h وفقط يتطلب قراءات التشوه مع الزمن في دورتي تحميل. الطريقة B تتطلب قراءات التشوه مع الزمن لكل دورات التحميل، وزيادات الحمولة تطبق مباشرة بعد انتهاء تطبيق الانضغاطية الأولية أو وفق فواصل زمنية ثابتة. يوضح المعيار رقم D 4186 اختبار الانضغاطية بالاعتماد على التحكم بالتشوه خلال الاختبار أكثر من أنه يتحكم بالتحميل. عادة يستخدم المعيار D2435 بسبب بساطته.

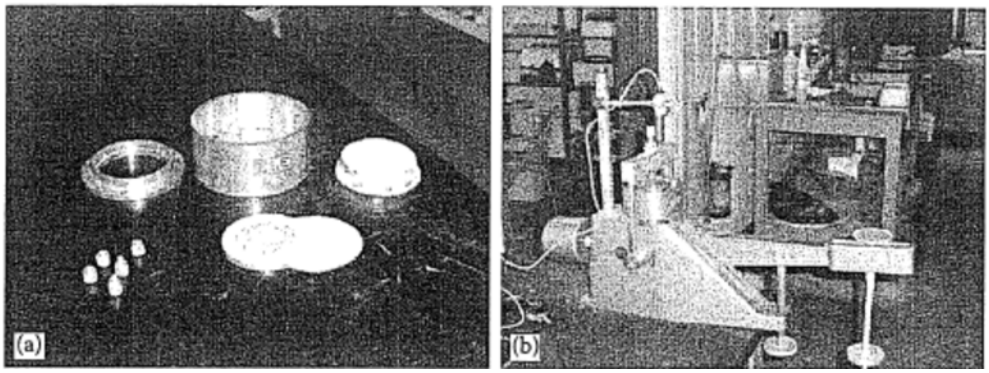
اختبار الانضغاطية:

ينفذ الاختبار بجهاز يسمى الاودومتر او كونسوليدومتر (الشكل 2، الشكل 3a، الشكل 3b). في الكونسوليدومتر، توضع العينة في حلقة معدنية مع قرصين مساميين، واحد في الأعلى وواحد في الأسفل. نسبة القطر/الارتفاع للعينة تكون عادة أكبر من 2.5. يتم حفظ العينة دائما تحت المياه للحفاظ على الاشباع. يتم تطبيق الحمولة عبر ذراع، ويتم قياس التشوه الشاقولي من مقياس أو محول ازاحة خطية متغيرة LVDT. من نتائج الاختبار، نحدد المعايير التالية:

- نسبة الفراغات الابتدائية e_0
- قرينة الانضغاطية C_c
- قرينة إعادة الانضغاط C_R
- قرينة الانتفاخ C_s
- ضغط قبل الانضغاطية Preconsolidtion pressure هو σ'_c (kPa)
- معامل الانضغاطية C_v (m^2/s)
- الناقلية الهيدروليكية k (m/s)



الشكل 2: مخطط عن جهاز الانضغاطية (consolidometer)



الشكل 3: في اختبار الانضغاطية، توضع العينة a) في حلقة معدنية وأقراص مسامية وورق ترشيح من الأعلى والأسفل وثم b) توضع الحلقة المعدنية في جهاز الاختبار

هذه البارامترات تستخدم في التصميم الهندسي لتقييم قيمة هبوط الاساسات والمنشآت الترابية، وفي تقدير عامل الأمان لاستقرار الردميات خلال وبعد الانشاء، ولحساب أثر التسربعلى السلوكية العامة للمنشآت geomaterial.

التجهيزات:

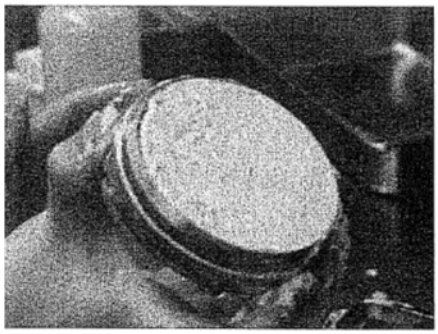
- جهاز الانضغاطية (الشكل 2)
- خلية الانضغاطية (الشكل 3a): على الأقل القطر الداخلي 50mm، وعلى الأقل الارتفاع 12mm وليست أقل من عشرة مرات أكبر قطر جزيئة. يجب أن تكون من مادة غير قابلة للاهتراء وتكون صلبة بحيث لاتتشوه أفقيا خلال الاختبار (التشوه الأفقي يجب أن يكون أقل من 0.03% تحت أكبر حمولة شاقولية)
- مؤشر رقمي أو LVDT لقياسات التشوه بدقة 0.0025mm.

- أقراص مسامية وورق ترشيح: يجب أن تكون مادة الأقراص مادة غير قابلة للاهتراء، أما ورق الترشيح يجب أن تكون ناقليته الهيدروليكية على الأقل عشر أضعاف أكبر من الناقلية الهيدروليكية للتربة.
- مؤقت: لنحدد زمنيا قراءات التشوه.
- ميزان: دقته 0.1g.
- فرن تجفيف وجفنات رطوبة.

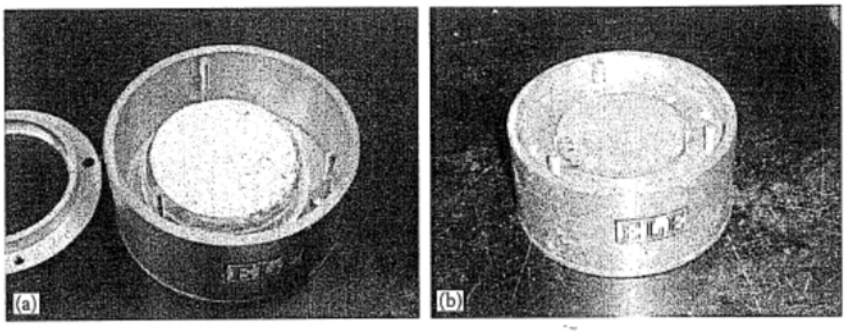
الخطوات:

- نقيس قطر حلقة الأودومتر D_r وكتلة الحلقة M_r وارتفاع الحلقة H_r (الشكل 4). إن ارتفاع الحلقة يتوافق مع الارتفاع الابتدائي للعينة H_0.
- نشذب العينة لتملئ الحلقة (الشكل 5). يجب الانتباه إلى أن هناك نوعان من العينات: غير مضطربة أو معادة التشكيل. إن دقة النتائج وصحتها تعتمد على كيفية الحصول على العينة غير المضطربة، كيف تم نقلها، وكيف تم وضعها في حلقة الأودومتر. يجب الانتباه كيف نتعامل مع العينة غير المضطربة لنتجنب عدم دقة النتائج.
- نسجل كتلة الحلقة مع عينة التربة M_{s+r}
- نرتب الجهاز بحيث نضع ورق الترشيح بين عينة التربة وبين الأقراص المسامية، نوازن الذراع، ونضع المؤشر على الصفر (الأشكال 6a,6b, 7)

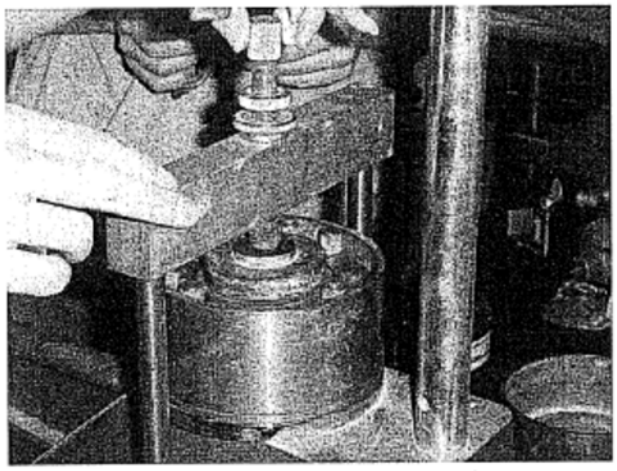
الشكل 4: وزن حلقة الأودومتر



الشكل 5: نقص العينة لنملئ الحلقة بشكل كامل



الشكل 6: نرتب حلقة الانضغاطية: a) حلقة الأودومتر توضع في الخلية فوق القرص المسامي وورق الترشيح b) القطعة العلوية تثبت على الحلقة. يوضع ورق الترشيح والقرص المسامي فوق العينة.



الشكل 7: نضع خلية الانضغاطية في جهاز تحميل الانضغاطية

- نضيف الماء المقطر لخلية الانضغاطية بنفس الوقت الذي نبدأ بتطبيق أول حمل. يجب أن تكون العينة مغمورة طول فترة الاختبار لنتحنب جفافها.
- نرتب الأوزان. على سبيل المثال نتبع التزايدات التالية :

- تحميل: 5N, 10N, 20N, 40N
- إزالة تحميل: 20N, 10N, 5N
- إعادة تحميل: 10N, 20N, 40N, 80N, 160N

يجب الانتباه إلى أن الحمل الفعلي المطبق لعينة التربة هو الوزن مضروب بالذراع (في معظم تجارب الانضغاطية نسبة الذراع = 10) وبالتالي نضرب كل وزن عشر مرات لنحصل على الحمل الفعلي المطبق على عينةالتربة. هذا ليس الاجهاد الشاقولي، حيث نحصل على الاجهاد بتقسيم الحمل المطبق على مساحة سطح العينة.

نضع الحمل المحدد خطاف جهاز الانضغاطية (باتباع مخطط التحميل المحدد) ومن ثم نسجل قياسات التشوه ΔH وفق فترات زمنية متساوية: (6sec، 15sec، 1min، 2min، 4min، 8min، 15min، 30min، 60min، 120min، 1440min)

إذا لم تؤخذ القراءات عند هذه الفواصل الزمنية نقوم بتسجيل الزمن الذي استطعنا الحصول فيه على قراءات. إذا كان الجهاز موصولا على كمبيوتر ويمكن التحكم بالبيانات فمن الممكن إعادة برمجة مخطط القراءات.

- باتباع منهجية التحميل – إزالة التحميل، نسمح للعينة بأن تنتفخ لمدة (1440min) 24h عند حمل نهائي 5N. نقرأ التغير النهائي في العينة ΔH_f.
- نزيل الحلقة من الخلية، نزيل الماء الفائض، ونحدد كتلة العينة مع الحلقة M_{sf+r}.
- نضع الحلقة والعينة في الفرن. نقيس كتلة الحلقة والعينة الجافة M_{d+r}.

<u>تعاريف :</u>

-**الانضغاطية:** هو الهبوط المرتبط بالزمن في الترب الناشئة عن خروج الماء من مسامات التربة.

الاجهاد من ضغط الماء المسامي الزائد إلى حبيبات التربة.

-**الانضغاطية الثانية:** هو التغير في حجم الترب الناعمة الناتج من ضبط نسيج التربة (البنية الداخلية) بعد انتهاء الانضغاطية الأولية.

-**ضغط الماء المسامي الزائد:** Δu هو الضغط المسامي في حال زيادة ضغط الماء المسامي في التوازن الحالي. مثلاً، اذا الضغط المسامي u_0 والحمولة تطبق على التربة ولذلك فإن الضغط المسامي يزداد لـ u_1فيكون عندها الضغط المسامي الزائد $\Delta u=u_1 - u_0$.

-**مسار التصريف** H_{dr} هو أطول مسار شاقولي يمكن أن تتبعه جزيئات الماء حتى تصل لسطح التصريف.

-**الاجهاد الفعال الشاقولي الأعظمي السابق** σ'_{zc} هو الاجهاد الفعال الشاقولي الأعظمي الذي كانت تتعرض له العينة سابقاً.

-**التربة المنضغطة طبيعياً** هي الترب التي لم تتعرض لأي اجهاد فعال أكبر من الاجهاد الفعال الحالي ($\sigma'_{zo}=\sigma'_{zc}$).

-**التربة المسبقة الانضغاط overconsolidated soil**: هي التي كانت تتعرض لاجهاد فعال سابق أكبر من الاجهاد الفعال الحالي ($\sigma'_{zo}<\sigma'_{zc}$)

-**نسبة الانضغاط OCR** هي النسبة بين الاجهاد الفعال السابق والاجهاد الفعال الحالي $OCR = \frac{\sigma'_{zc}}{\sigma'_{zo}}$

-**قرينة الانضغاط C_c** ميلان خط الانضغاطية الطبيعية في منحني بكون المحور الشاقولي هو لوغاريتم الاجهاد الفعال الشاقولي مقابل نسبة الفراغات.

<u>فرضيات ترزاكي:</u>

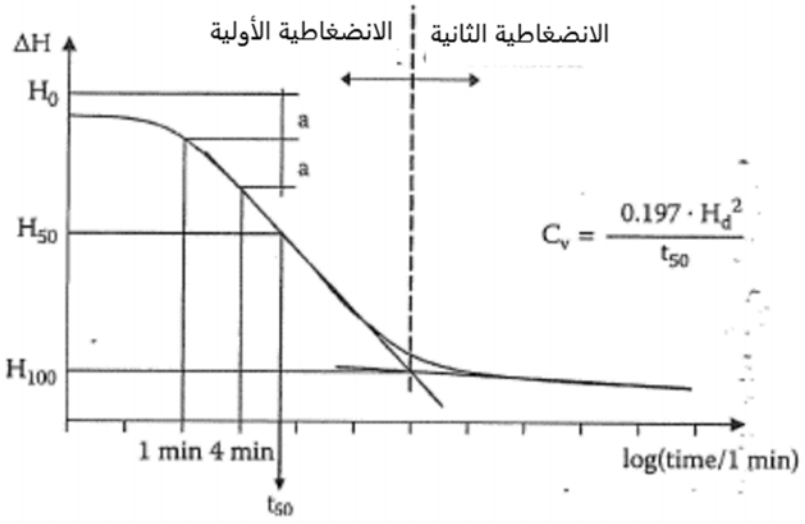
- نظام الغضار-ماء هو -------- (متجانس homogenous)
- الاشباع ------- (كامل)
- الماء ------ (غير منضغط)
- حبيبات التربة (غير منضغطة)
- -------- (أحادي الجريان 1D FLOW): هو الجريان في اتجاه الانضغاط فقط
- --------- (قانون دارسي) متاح ويمكن تطبيقه

تحديد البارامترات الجيوتكنيكية:

منحني الانضغاطية:

إن طرق تحديد معامل الانضغاطية تعتمد على مبدأ أن منحنيات الانضغاطية المخبرية مشابهة ولكنها ليست مطابقة لمنحنيات الانضغاطية النظرية.

تحديد معامل الانضغاطية – طريقة لوغاريتم الزمن (8الشكل):



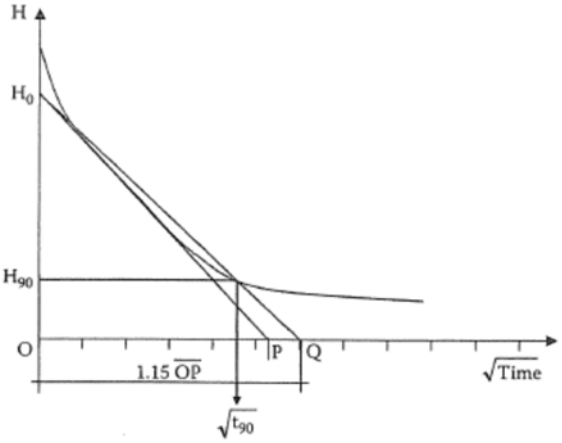
الشكل **8**: طريقة لوغاريتم الزمن لتحديد معامل الانضغاطية

- قراءات التشوه من المؤشر أو LVDT مقابل لوغاريتم الزمن.
- نرسم مماسين للقسمين المستقيمين في المنحني. نقطة تقاطع هذين الخطين تحدد انتهاء الانضغاطية الأولي ΔH_{100}.
- نختار الزمن t_1 قريب من ذروة الجزء الأولي من المنحني. ثم نخار $t_2=4t_1$. نقيس المسافة الشاقولية a بين النقاط على المنحني. ننقل المسلفة a على الاتجاه الشاقولي، ونحدد ΔH_0، بداية الانضغاطية الأولية.
- نحدد النقطة الوسطية بين ΔH_0 و ΔH_{100}. تكون هذه النقطة ΔH_{50}.
- نرسم الخط الأفقي من ΔH_{50} إلى منحني الانضغاطية. هذه النقطة توافق t_{50} وتشير إلى الزمن الذي حدث عنده 50% من الانضغاطية.
- نحسب معامل الانضغاطية الموافق لدورة التحميل هذه كما يلي:

$$C_v = \frac{0.197 * H_d^2}{t_{50}} \qquad (5.11)$$

حيث H_d هي طول مسار التصريف الأعظمي (H_d تساوي H/n، حيث n هي عدد مسارات التصريف 1 أو 2، و H تساوي الارتفاع الأولي للعينة عند بدء دورة التحميل مطروحا منه قراءة التشوه في مؤشر التشوه عند نسبة 50% انضغاطية)

تحديد معامل الانضغاطية – طريقة الجذر التربيعي للزمن (الشكل 9):



الشكل **9**: طريقة الجذر التربيعي لتحديد معامل الانضغاطية

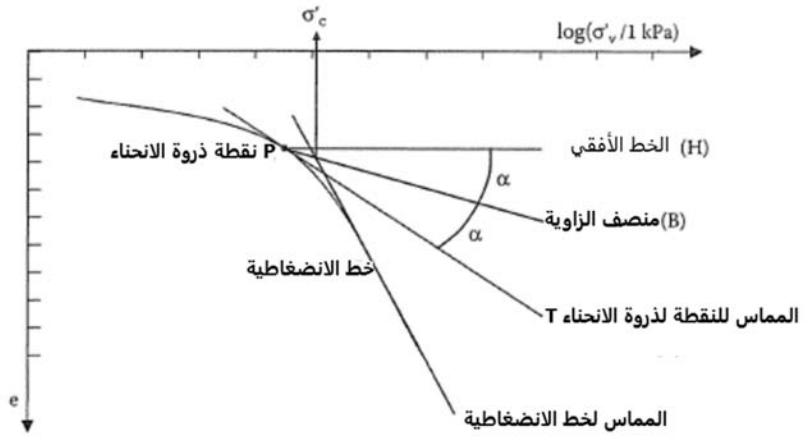
- نرسم منحني قراءات التشوه من المؤشر أو LVDT مقابل الجذر التربيعي للزمن.
- نرسم المماس للجزء المستقيم من المنحني. يقطع هذا المماس محور x نحدد النقطة P ومحور y يحدد النقطة ΔH_0.
- نقيس المسافة بين المبدأ 0 والنقطة P، ومن ثم نضرب هذه المسافة بـ 1.15. نحدد العلامة على المحور x ونحدد النقطة Q.
- نرسم الخط المستقيم بين النقاط ΔH_0 و Q. النقطة التي يقطع الخط الجزء الأسفل من منحني الانضغاطية يوافق 90% انضغاطية، ويحدد بالتالي $\sqrt{t_{90}}$
- نحسب معامل الانضغاطية الموافق لدورة التحميل هذه كما يلي:

$$C_v = \frac{0.848 * H_d^2}{t_{90}} \qquad (5.12)$$

- عادة، طريقة الجذر التربيعي ينتج قيما أعلى لمعامل الانضغاطية عما تعطيه طريقة لوغاريتم الزمن.

منحني الانضغاط

تحديد الاجهاد السابق للانضغاطية باستخدام طريقة كازاغراند σ'_c (الشكل 10):



الشكل **10**: طريقة كازاغراند لتقييم الاجهادات مسبقة الانضغاطية **preconsolidation**

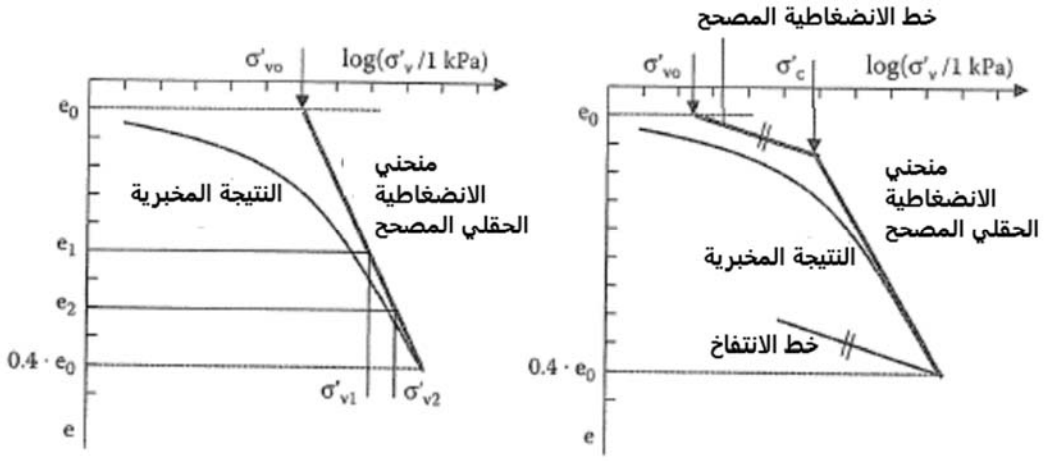
- تحديد نقطة الانحناء الأعظمية للمنحني ولتكن P
- نرسم من هذه النقطة مستقيما مماسيا ومستقيما أفقيا.
- نرسم منصف الزاوية المتشكلة بين المستقيم الأفقي والمستقيم المماسي من الخطوة السابقة (I).
- نرسم المماس لخط الانضغاطية (الأصلية virgin) (II)
- نقطة تقاطع المستقيم المنصف (I) والمستقيم المماس لخط الانضغاطية (II) يحدد الاجهاد ماقبل الانضغاطية σ'_c على محور الاجهادات الفعالة
- عندما نحدد قيمة الاجهاد ما قبل الانضغاطية نستطيع أن نوجد OCR من العلاقة:

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{vo}}$$

تحديد قرينة الانضغاط C_c وإعادة الانضغاط C_r وقرينة الانتفاخ C_s:

كل الترب تكون مضطربة عندما يتم اختبارها في المختبر حتى التي نقول عنها غير مضطربة. ولذلك فإن المنحنيات التي نحصل عليها في المخبر يجب أن تصحح لتناسب بشكل ما سلوك الترب في الحقل. يعتمد التصحيح على فرضية ان الاستجابة الحقلية والاستجابة المخبرية متساويتين عند النقطة الموافقة لـ e_0=0.4.
هناك منهجيتان مختلفتان للتصحيح: واحدة للغضاريات المنضغطة طبيعيا والثانية للغضاريات المسبقة الانضغاط (الأشكال 11a, 11b).

التصحيح للترب الغضارية المنضغطة طبيعيا (الشكل 11a)



الشكل **11**: تصحيح منحنيات الانضغاط المخبري: **a)** الترب المنضغطة طبيعيا **b)** الترب مسبقة الانضغاطية

- نوجد النقطة (σ'_v, e_0) حيث σ'_v هو الاجهاد الفعال الشاقولي و e_0 نسبة الفراغات الأولية في العينة.
- نصل النقطة (σ'_v, e_0) بالنقطة الموافقة لـ $0.4e_0$ في منحني الانضغاطية. هذا الخط هو منحني الانضغاط الحقلي المصحح. يكون ميل هذا المنحني :

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}\right)}$$

على خط الانضغاطية المصحح نوجد قرينة الانضغاطية. تنتج بقيمة سالبة.

تصحيح للغضاريات مسبقة الانضغاطية (الشكل 11b)

- نوجد النقطة (σ'_v, e_0)، حيث σ'_v الاجهاد الفعال الشاقولي، وe_0 هو نسبة الفراغات الأولية في العينة.
- نرسم خط موازي لخط الانتفاخ من النقطة (σ'_v, e_0) للنقطة الموافقة لاجهاد ماقل الانضغاطية. هذا الخط هو خط إعادة التحميل الحقلي المصحح، وميله يحسب من العلاقة:

$$C_r = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}\right)}$$

من أجل σ'_{v1} و $\sigma'_{v2} < \sigma'_c$ تكون هي قرينة إعادة الانضغاط.

-أخيرا، نصل النقطة الموافقة لـ $0.4e_0$. نستخدم 0.4 لنوافق منحني الانضغاطية مع خط إعادة التحميل المصحح عند الاجهاد مسبق الانضغاطية. هذا الخط الجديد هو خط الانضغاطية الأصلي الحقلي المصحح. ميلان هذا الخط هو:

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}\right)}$$

من أجل σ'_{v1} و $\sigma'_{v2} > \sigma'_c$ تكون هي قرينة الانضغاط.

- ميلان خط الانتفاخية، تكون قرينة الانتفاخ C_s مطابقة لقرينة إعادة الانضغاط C_c.

5.2.4 الحسابات:

حجم العينة الابتدائي:

$$V_0 = \pi * (\frac{D_r}{2})^2 * H_0$$

كثافة التربة الابتدائية:

$$\rho_0 = \frac{M_s}{V_0}$$

الوزن الحجمي الابتدائي للتربة:

$$\gamma_0 = g * \rho_0$$

المحتوى المائي الابتدائي للتربة:

$$w_0 = \frac{M_{s+r} - M_{d+r}}{M_{d+r} - M_r} * 100\%$$

درجة الاشباع الابتدائية:

$$S_{ro} = \frac{V_w}{V_v} = \frac{M_{s+r} - M_{d+r}}{\rho_w (V_0 - \frac{M_{d+r} - M_r}{G_s * \rho_w})}$$

حيث $\rho_w = 1000\ kg/m^3$

نسبة الفراغات الابتدائية:

$$e_i = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_0 - \frac{M_{d+r} - M_r}{G_s * \rho_w}}{\frac{M_{d+r} - M_r}{G_s * \rho_w}}$$

حجم التربة النهائي:

$$V_f = \pi * (\frac{D_r}{2})^2 * (H_0 - \Delta H_f)$$

كثافة التربة النهائية:

$$\rho_f = \frac{M_s}{V_f}$$

الوزن الحجمي النهائي للتربة:

$$\gamma_f = g * \rho_f$$

حيث $g=9.81m/s^2$ تسارع الجاذبية الأرضي

المحتوى المائي النهائي للتربة:

$$w_f = \frac{M_{sf+r} - M_{d+r}}{M_{d+r} - M_r} * 100\%$$

نسبة الفراغات النهائية للتربة:

$$e_f = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_f - \frac{M_{d+r} - M_r}{G_s * \rho_w}}{\frac{M_{d+r} - M_r}{G_s * \rho_w}}$$

معامل الانضغاطية:

$$C_v = \frac{0.197 * H_d^2}{t_{50}}$$

منحني لوغاريتم الزمن (منحني الانضغاطية):

$$C_v = \frac{0.848 * H_d^2}{t_{90}}$$

منحني الجذر التربيعي للزمن (منحني الانضغاطية)، حيث H_d هو مسار التصريف الأعظمي (في اختبار التصريف الثنائي $H_d=H/2$)

قرينة الانضغاطية:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}\right)}$$

خط الانضغاطية الحقلي المصحح.

قرينة الانتفاخ:

$$C_s = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}\right)}$$

خط ازالة التحميل – منحني الانضغاطية.

قرينة اعادة الانضغاط:

$$C_r = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}\right)}$$

خط اعادة التحميل- منحني الانضغاطية

معامل الانضغاط الحجمي:

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'_v}$$

معامل الانضغاطية:

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0}$$

الناقلية الهيدروليكية:

$$k = \frac{a_v}{1+e_0} * g * \rho_w * C_v$$

الانضغاطية الثانيية:

$$C_{ae} = -\frac{e_1 - e_2}{\log(\frac{t_1}{t_2})}$$

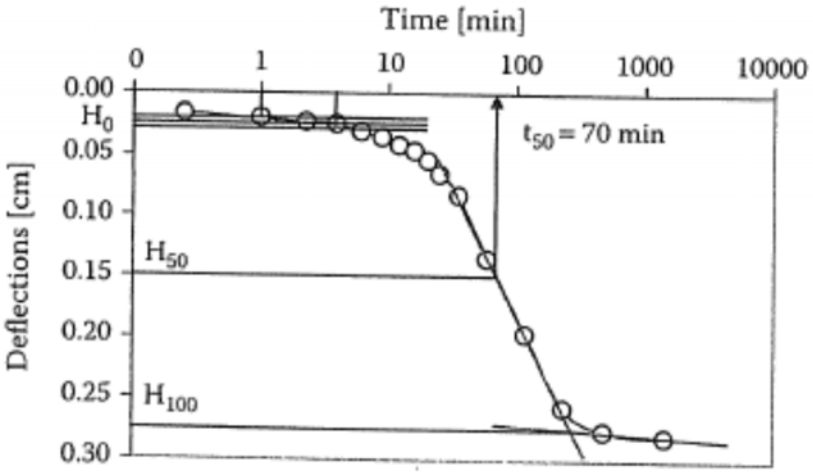
حيث e_1 و e_2 هي نسب الفراغات عند الزمن t_1 و t_2 تقاس بعد انتهاء الانضغاطية الأولية.

ملخص النتائج:

- نوجد نسبة الفراغات النهائية e_f للعينة (بفرض أن $G_s = 2.65$)

- نرسم الازاحة ΔH مقابل لوغاريتم الزمن و ΔH مقابل الجذر التربيعي للزمن لدورة التحميل المعينة. نحسب، باستخدام الطريقتين، معامل الانضغاطية C_v لدروة التحميل المعينة.
- نرسم منحني نسبة الفراغات e مقابل لوغاريتم الاجهاد الشاقولي المعدل $\log(\sigma v/1kPa)$.
- نحدد اجهاد ماقبل الانضغاطية σ_c باستخدام طريقة كازاغراند.
- نحدد قرينة الانضغاطية C_c وقرينة إعادة الانضغاطية C_r وقرينة الانتفاخ C_s.
- نحدد معامل الانضغاطية a_v لكل اجهاد مطبق. نرسم منحني معامل الانضغاطية مقابل الاجهادات الفعالة الشاقولية المطبقة
- نشير إلى خط الانصغاطية الأصلي.
- نستخدم نتائج معامل الانضغاطية C_v لنحسب الناقلية الهيدرولكية k.

منحني انضغاطية نموذجي للكاولينيت (الشكل 12):



الشكل **12**: تحليل منحني الانضغاطية

$$C_v = \frac{0.197 * H_d^2}{t_{50}} = \frac{0.197 * (5.5cm)^2}{70\,\text{min}} = 1.417 * 10^{-7}\, m^2/s$$

قيم معامل الانضغاطية لبعض أنواع الترب:

بعض القيم لمعامل الانضغاطية وفق Lambe 1951 و Bardet 1997:

نوع الغضار	C_v (10^4 cm^2/s)
غضار مدينة مكسيكو	0.2-0.47
غضار بوستن الأزرق Boston Blue Clay	1.89-5.68
غضار بوستن الأزرق Boston Blue Clay	10-20
طين سان فرانسيسكو San Francisco Bay	0.19-0.38
غضار لندن	0.6-2
غضار شاطئي	200-2000
غضار Maine	20-40
خث Newfoundland	0.2-0.3

قرائن الانضغاطية والانتفاخ:

نوع التربة	C_c (غير مضطربة)	C_s (الانتفاخ)
غضار مدينة مكسيكو	4.5	-
غضار لويزيانا	0.33	0.05
غضار New Orleans	0.29	0.04
غضار Maine	0.5	-
خث Newfoundland	8.5	-
مونتموريلونيت ، Na^+	2.6	-
مونتموريلونيت، Ca^{+2}	2.2	0.51
ايلليت ، Na^+	1.1	0.15
ايلليت، Ca^{+2}	0.86	0.21
كاولينيت ، Na^+	0.26	-
كاولينيت، Ca^{+2}	0.21	0.06

علاقات هامة:

بالعودة إلى Kulhawy and Bardet (1997) لدينا:

قرينة الانضغاطية تابع لقرينة اللدونة:

$$C_c = \frac{PI}{24}$$

قرينة الانتفاخ تابعة لقرينة اللدونة:

$$C_s = \frac{PI}{370}$$

قرينة الانتفاخ تابعة لقرينة الانضغاطية:

$$C_s = \frac{C_c}{5}$$

العلاقة بين قرينتي الانتفاخ وإعادة الانضغاطية:

$$C_r \approx C_s$$

مثال للبيانات والحسابات:

بفرض لدينا المعطيات التالية (الجدول 1):

الارتفاع الابتدائي للعينة $H_0 = 2cm$.

قطر العينة $D=6.3cm$.

كتلة الحلقة والعينة الابتدائية $M_{s+r} = 320g$

كتلة العينة والحلقة النهائية $M_{sf+r} = 308.46g$

كتلة العينة النهائية الجافة والحلقة $M_{d+r} = 300.83gr$

كتلة الحلقة 200gr

قراءة المؤشر الابتدائية $h_0 = 0.6cm = 0.6cm$

قراءة المؤشر النهائية $h_f = 0.3cm$

الرطوبة الابتدائية $w_0 = 38.9\%$

الثقل النوعي $G_s = 2.65$

الاجهادات الفعالة الشاقولية في الموقع $\sigma_{v0} = 300kPa$

الجدول **1**: الازاحة مقابل الاجهادات الشاقولية في نهاية دورة الانضغاطية

الاجهاد (kPa)	مؤشر الازاحة (cm)
0	0.600
157.4	0.560
314.7	0.520
629.4	0.479
1258.8	0.400
629.4	0.439
314.7	0.480
157.4	0.520
314.7	0.482
629.4	0.441
1258.8	0.390
2517.6	0.300
5035.2	0.200
10070.4	0.100
157.4	0.300

الازاحة مقابل الزمن لاجهاد شاقولي **314.7 kPa** (منحني الانضغاطية)

الاجهاد (kPa)	الزمن (min)	مؤشر الازاحة (cm)
314.7	0.00	0.520
	0.08	0.497
	0.25	0.496
	0.50	0.495
	1.00	0.492
	2	0.487
	4	0.483
	8	0.482
	15	0.481
	30	0.480
	60	0.480
	120	0.479
	1440	0.479

نوجد النسبة النهائية للفراغات في العينة:

$$e_f = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_0 - V_s}{V_s} = \frac{A * H_0 - \frac{M_{d+r} - M_r}{G_s * \rho_w}}{\frac{M_{d+r} - M_r}{G_s * \rho_w}} = \frac{0.02m * \pi(\frac{0.063}{2})^2 - \frac{0.301kg - 0.200kg}{1000\frac{kg}{m^3} * 2.65}}{\frac{0.301kg - 0.200kg}{1000\frac{kg}{m^3} * 2.65}} = 0.64$$

نرسم الازاحة ΔH مع لوغاريتم الزمن و ΔH مع الجذر التربيعي للزمن لدورة تحميل معينة. نحسب معامل الانضغاطية C_v لدروة الانضغاطية المعينة باستخدام الطريقتين السابقتين.

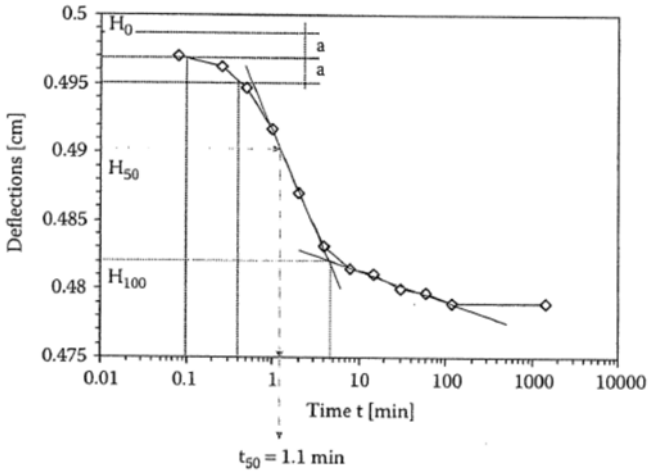
$$H_{ave} = \frac{[2.000 - (0.600 - 0.520)] + [2.000 - (0.600 - 0.479)]}{2}$$

$$H_{ave} = \frac{1.920 + 1.879}{2} = 1.900cm$$

حيث H_{ave} هو متوسط ارتفاع العينة خلال الانضغاطية لكل نسبة تزايد في التحميل (مثل من 5N إلى 10N). عند التحميل 314.7kPa يكون $H_{314.7}$=1.930cm وعند 629.4kPa يكون $H_{629.4}$ = 1.879cm. مسار التصريف $H_d = H_{ave}/2$.

$$H_d = \frac{1.9}{2} = 0.95cm \qquad Drainage\ path$$

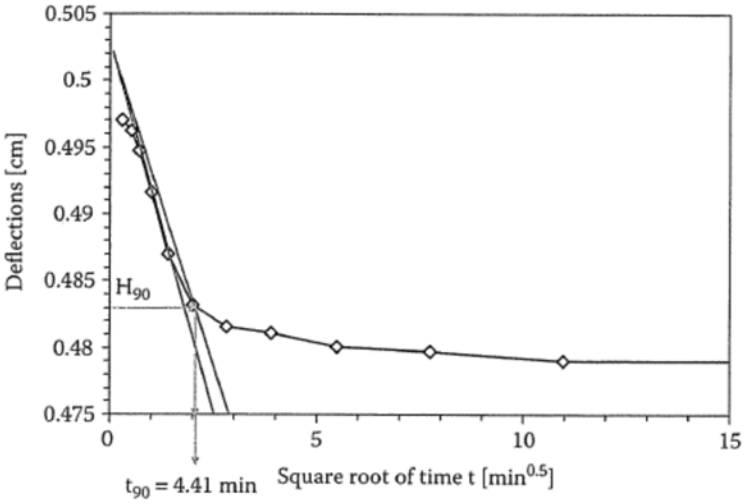
طريقة لوغاريتم الزمن (الشكل 13):



الشكل **13**: مثال: تقييم معامل الانضغاطية باستخدام طريقة لوغاريتم الزمن

$$C_v = \frac{0.197 * H_d^2}{t_{50}} = \frac{0.197 * (0.950cm)^2}{1.1\min} = 2.683 * 10^{-7} m^2 / s$$

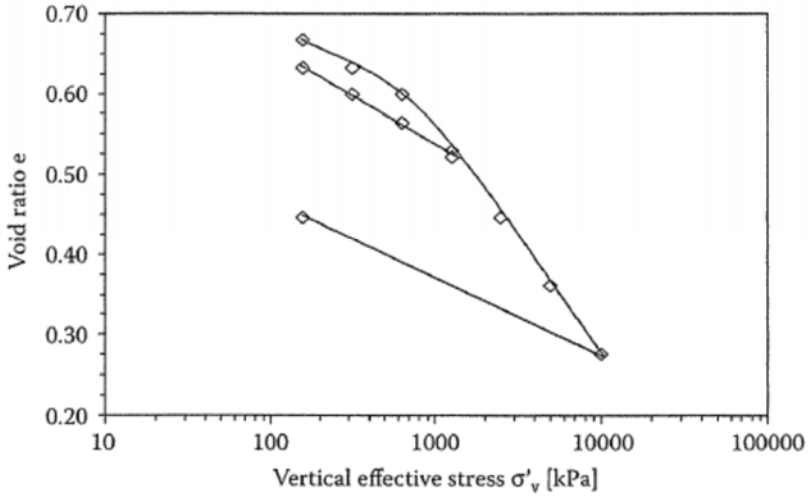
طريقة الجذر التربيعي للزمن (الشكل 14):



الشكل **14**: مثال: تقييم معامل الانضغاطية باستخدام طريقة الجذر التربيعي

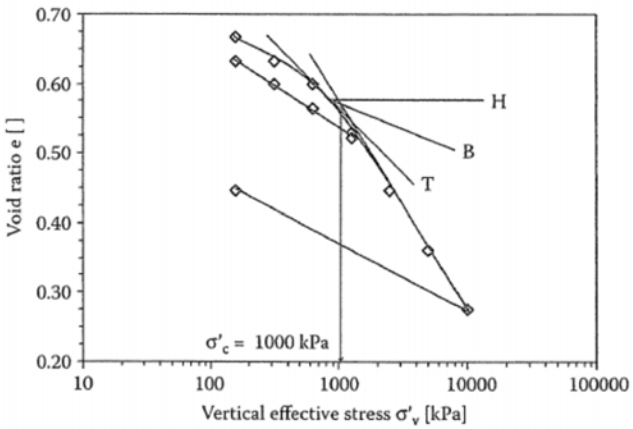
$$C_v = \frac{0.848 * H_d^2}{t_{90}} = \frac{0.848 * (0.950cm)^2}{4.41\min} = 2.9 * 10^{-7} m^2 / s$$

- نرسم نسبة الفراغات مقابل الاجهادات الفعالة المعدلة (الشكل 15):



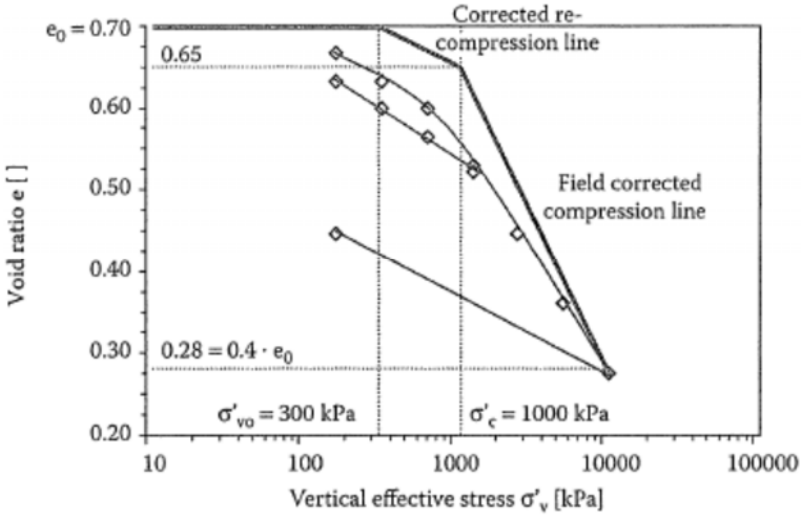
الشكل **15**: مثال: نسبة الفراغات مقابل لوغاريتم الاجهادات الشاقولية الفعالة

- نحدد اجهاد ماقبل الانضغاطية σ_c باستخدام طريقة كازاغراند (الشكل 16):



الشكل **16**: تقييم الاجهاد مسبق الانضغاط باستخدام طريقة كزاغراند

نحدد قرينة الانضغاطية C_c وقرينة إعادة الانضغاطية C_r وقرينة الانتفاخ C_s (الشكل 17):



الشكل **17**: مثال عن تحديد قرينة الانضغاط **C_c** وقرينة اعادة الانضغاط **C_r** وقرينة الانتفاخ **C_s** من منحنيات الحقل المصححة.

قرينة الانضغاط:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}\right)} = \frac{0.65 - 0.28}{\log(\frac{10000\,kPa}{1000\,kPa})} = \frac{0.37}{\log 10} = 0.37$$

ميل خط الانضغاطية الحقلي المصحح.

قرينة اعادة الانضغاط:

$$C_r = \frac{0.7 - 0.65}{\log\left(\frac{1000kPa}{300kPa}\right)} = \frac{0.05}{\log(3.33)} = 0.096$$

ميل خط اعادة التحميل الحقلي المصحح.

قرينة الانتفاخ: $C_s = C_r$

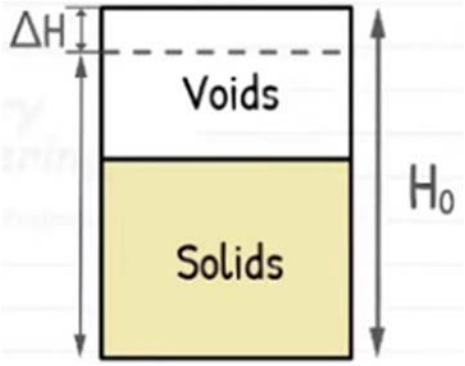
مفهوم وعلاقات الهبوط الناتج عن انضغاط التربة:

سنفترض أن الماء المسامي وجزيئات التربة غير منضغطة، والضغط المسامي الابتدائي يساوي الصفر. إن حجم الضغط المسامي الزائد الذي يتصرف من التربة هو عبارة عن قياس التغير الحجمي للتربة الناتج من عن تطبيق الحمولات. بما أن جانب الخلية قاسي فلا يحدث انزياح قطري. وبالتالي فإن التشوهات الجانبية والمحيطية تساوي الصفر ($\varepsilon_r=\varepsilon_\theta=0$) والتشوه الحجمي إذاً ($\varepsilon_p=\varepsilon_z+\varepsilon_r+\varepsilon_\theta$) يساوي التشوه الشاقولي $\varepsilon_z=\Delta z/H_0$ حيث Δz هي التغير في الارتفاع أو السماكة و H_0 هو الارتفاع الأولي أو سماكة التربة.

إذا طبقنا حمولة P على التربة عن طريق صفيحة التحميل ونبقي الصمام مغلقاً. بما أنه لا يوجد ضغط مسامي زائد يمكن أن يتصرف من التربة، فالتغير في حجم التربة يساوي الصفر $\Delta V=0$ ولا ينتقل إجهاد أو حمولة لجزيئات التربة أي $\Delta\sigma'_z=0$. الماء المسامي يحمل الحمولة كلها. الضغط المسامي الزائد في التربة Δu_0 يكون مساويا عندها للاجهاد الشاقولي المطبق $\Delta\sigma_z=P/A$ حيث A مساحة مقطع العينة من التربة، أو يكون مساوياً التغير في وسطي الاجهادات الكلية $\Delta P=(\Delta\sigma_z+2\Delta\sigma_r)/3$ حيث $\Delta\sigma_r$ هو التغير في الاجهاد القطري. من أجل طبقة التربة ذات السماكة القليلة، سوف نفترض أن ضغط الماء المسامي الزائد الأولي سوف يتوزع بانتظام مع العمق بحيث أنه في كل نقطة في طبقة التربة يكون، ضغط الماء المسامي الزائد الأولي مساوياً للاجهادات الشاقولية المطبقة. على سبيل المثال اذا كانت $\Delta\sigma_z$ = 100kPa تكون $\Delta u_0=100kPa$.

يحدث في التربة هبوط آني وهبوط الانضغاطية الذي يحدث نتيجة الانضغاط الحجمي ضمن التربة. للترب الحبيبية، تكون عملية الانضغاطية سريعة بمافيها الكفاية حيث أن هبوط الانضغاطية يكون متضمن في الهبوط الآني. الترب المتماسكة لديها ناقلية هيدروليكية أقل من الترب الحبيبية وكنتيجة لذلك تتطلب الانضغاطية زمناً أطول لتنتهي. وفي هذه الحالة لا بد من فصلها بعلاقة عن الهبوط الآني.

علاقات الهبوط:



العلاقة الأولى:

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_v + V_s}$$

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta V / V_s}{(V_v / V_s) + 1}$$

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

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

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

العلاقة الثانية:

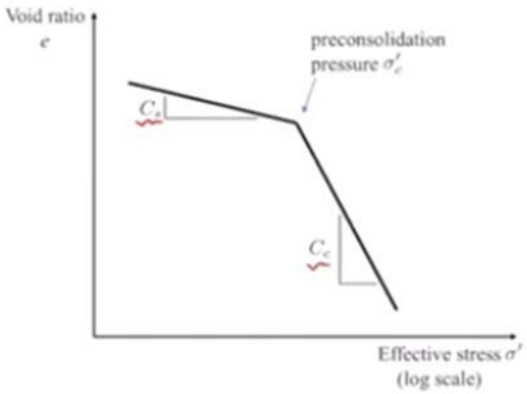
$$m_v = \frac{-\Delta V / V_0}{\Delta \sigma'}$$

$$\Delta V = -m_v * \Delta \sigma' * V_0$$

$$A * \Delta H = -m_v * \Delta \sigma' * A * H_0$$

$$\Delta H = -m_v * \Delta \sigma' * H_0$$

$$S_c = m_v * \Delta \sigma' * H_0$$



تحديد العلاقة حسب طبيعة انضغاط التربة:

الحالة الأولى $\sigma'_0 = \sigma'_c$ (منضغطة طبيعياً)

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}} \quad \Rightarrow \quad \Delta e = C_c * \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$$

$$S_c = \frac{H}{1+e_0} * \Delta e = \frac{H}{1+e_0} * C_c * \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0}$$

الحالة الثانية $\sigma'_0 < \sigma'_c < \sigma'_f$ (مسبق الانضغاطية)

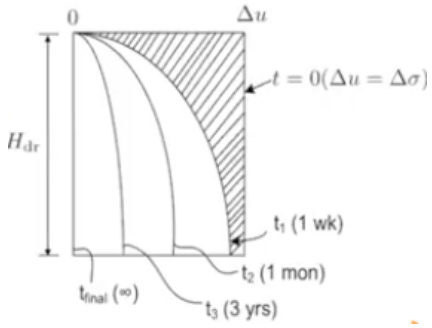
$$S_c = \frac{H}{1+e_0} * C_s * \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + \frac{H}{1+e_0} * C_c * \log \frac{\sigma'_f}{\sigma'_c}$$

الحالة الثالثة $\sigma'_0 < \sigma'_f < \sigma'_c$ (مسبق الانضغاطية)

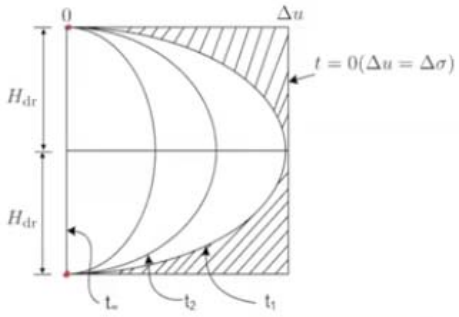
$$S_c = \frac{H}{1+e_0} * C_s * \log \frac{\sigma'_f}{\sigma'_0}$$

الانضغاطية الأولية:

- تصريف المياه من الفراغات مسببة تغير حجمي في الترب المتماسكة
- نسبة الانضغاطية تعتمد على نسبة جريان الماء من التربة حيث تعتمد على النفاذية ومسافة التصريف.
- بما أن S_c مرتبط بضغط الماء، Δu فإذا عرفنا توزيع Δu مع العمق عند أزمنة محددة t يمكن أن نتنبأ مقدرا الهبوط النهائي $S_{c(final)}$ الذي يحصل.



في حالة التصريف أحادي الاتجاه



حالة التصريف الثنائي

درجة الانضغاطية: U

إن نسبة الانضغاطية عند العمق z

$$U_z = \frac{u_0 - u_z}{u_0}$$

$$U = \frac{S_{c(t)}}{S_{c(final)}} * 100\%$$

حيث u_0 هو u في اللحظة t=0

أما u_z فهو u في اللحظة t

درجة الانضغاطية:

$$T_v = \frac{c_v * t}{H_{dr}^2} \text{ حيث } U = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 * T_v}$$

$$T_v = \frac{\pi}{4}(\frac{U\%}{100})^2 \text{ يكون U=0 – 60\%}$$

U>60% يكون $T_v = 1.781 - 0.933\log(100 - U\%)$

حساب درجة الانضغاطية U%:

1) إما يعطى U ويطلب حساب t (أي كم الزمن اللازم حتى نصل 50% انضغاطية)

نوجد T_v من الجدول أو نحسبه من العلاقات السابقة بدلالة U ومن ثم نطبق القانون $t = \frac{T_v * H_{dr}^2}{C_v}$

2) أو يعطى الزمن t ويطلب حساب U و الهبوط $S_{c(t)}$ (مثلا تحديد مقدار الهبوط بعد خمس سنوات)

من قيمة t نحسب T_v من العلاقة $T_v = \frac{C_v * t}{H_{dr}^2}$ ومن ثم بالعودة للجدول نقوم بحساب U ومنه

$$S_{c(t)} = U * S_{c(final)}$$

3) أو يطلب تحديد معاملات مثل k معامل النفاذية أو C_v معامل الانضغاطية

لحساب k

$$C_v = \frac{k}{m_v * \gamma_w} \quad \Rightarrow \quad k = C_v * m_v * \gamma_w$$

$$m_v = \frac{a_v}{1+e} \qquad a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'}$$

حيث a_v معامل الانضغاط

m_v معامل الانضغاط الحجمي

أما لحساب C_v

نأخذ العلاقة $C_v = \frac{T_v * H_{dr}^2}{t}$

<u>مسألة</u>

من اختبار انضغاطية على عينة تربة مصرفة من جهتين تم الحصول على المعطيات التالية:

سماكة عينة الغضار 25mm

σ'_1=50kPa, σ'_2=120kPa, e_1=0.92, e_2=0.78

الزمن اللازم لانضغاطية 50% هو 2.5min المطلوب حساب الناقلية الهيدروليكية k

$$C_v = \frac{k}{m_v * \gamma_w} \quad \Rightarrow \quad k = C_v * m_v * \gamma_w$$

$$m_v = \frac{a_v}{1+e} \qquad a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'}$$

$\Delta e = e_1 - e_2 = 0.93 - 0.78 = 0.14$

$\Delta \sigma' = \sigma'_2 - \sigma'_1 = 120 - 50 = 70 kPa$

$$e = e_{average} = \frac{1}{2}(e_1 + e_2) = 0.85$$

$$m_v = \frac{(0.14/70)}{1+0.85} = 1.08$$

من أجل U=50% يكون لدينا $T_v = 0.197$

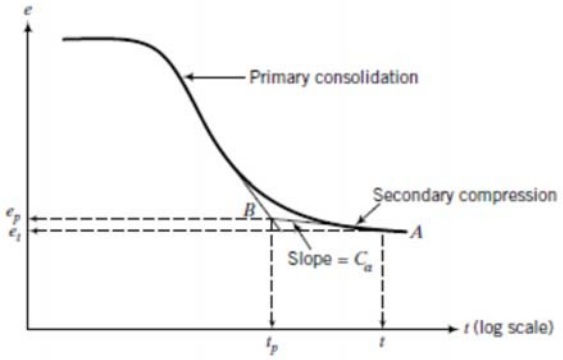
فيكون

$$C_v = \frac{T_v * H_{dr}^2}{t} = \frac{0.197 * (0.5 * 25 * 10^{-3})}{2.5} = 1.23 * 10^{-5} m^2 / \min$$

$$k = C_v * m_v * \gamma_w = 1.23 * 10^{-5} * 1.08 * 10^{-3} * 9.81 = 1.303 * 10^{-7} m / \min$$

الانضغاطية الثانية:

ذكرنا من البداية أن هبوط الترب ينتج عن ثلاثة مكونات: 1) الانضغاط الابتدائي 2) الانضغاطية الأولية 3) الانضغاطية الثانية. الانضغاطية الابتدائية في المخبر يمكن أن تنتج من أخطاء الجهاز، أو الاشباع الجزئي للعينة، او من تموضع غير مناسب للرأس الحامل. الانضغاطية الثانية هي كل الانضغاط الذي يتبع الانضغاطية الأولية كما في الشكل 18.



الشكل 18

الانضغاطية الثانية تحدث في حال كان الاجهاد الفعال الشاقولي ثابتاً مع الزمن. إن تفسير الانضغاطية الثاني ليس واضحاً حتى الآن إلا أنه ممكن أن يفسر بأنه نتيجة خروج الماء من المسامات الميكروية، تفسير آخر ممكن هو التشوه اللزج لبنية التربة.

مركبة الهبوط الناتج عن الانضغاطية الثانية تحسب من العلاقة:

$$S_s = C'_a * H * \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$$

$$C'_a = \frac{C_a}{1+e_p}$$

$$e_p = e_0 - \Delta e_{primary}$$

$$\Delta e = C_c \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right)$$

حيث C_a هو قرينة الانضغاط الثاني

Δe التغير في نسبة الفراغات

t_1, t_2 الأزمنة

e_p نسبة الفراغات في نهاية الانضغاطية الأولية

H سماكة طبقة الغضار

إن الانضغاطية الأولية تنتهي عند نقطة التقاطع من امتداد الجزئين المستقيمين من المنحني الشكل 18 كما هو مبين وتكون قرينة الانصغاطية الثانية:

$$C_\alpha = -\frac{(e_t - e_p)}{\log(t/t_p)} = \frac{|\Delta e|}{\log(t/t_p)}; \quad t > t_p$$

حيث $(t_p e_p)$ هي احداثيات نقطة تقاطع المماس لأجزاء المنحني الممثلة للانضغاطية الأولي والثاني ف يمنحني لوغاريتم الزمن مع نسبة الفراغات و (t,e) هي احداثيات أي نقطة من منحني الانضغاطية الثاني. فتكون قيمة هبوط الانضغاطية الثاني :

$$\rho_{sc} = \frac{H_o}{(1+e_p)} C_\alpha \log\left(\frac{t}{t_p}\right)$$

مسألة:

تحديد OCR مع العمق:

تم اجراء اختبار على غضار مشبع على عمق 10m تحت سطح الأرض الطبيعية وأعطى النتائج التالية: C_c=0.3، C_r=0.08، OCR=5، w=23%، G_s=2.7. مستوي المياه الجوفية عند السطح. تحديد ورسم المحتوى المائي ونسبة OCR مع العمق حتى عمق 50m.

الحل:

1 – نحدد e_0 و σ'_{z0}

التربة مشبعة لذلك تكون S=1.

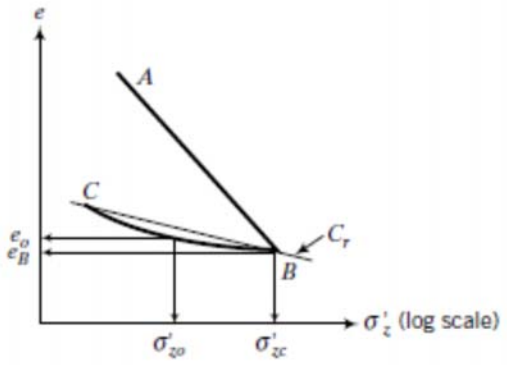
$$e_0 = G_s * w = 2.7 * 0.23 = 0.621$$
$$\gamma' = \frac{G_s - 1}{1+e} * \gamma_w = \frac{2.7-1}{1+0.621} * 9.81 = 0.3kN/m^3$$
$$\sigma'_0 = \gamma' \cdot z = 10.3 * 10 = 103kPa$$

2 – نحدد الاجهاد الفعال الشاقولي الأعظمي السابق

$$\sigma'_c = \sigma'_0 * OCR = 103 * 5 = 515kPa$$

3 – نوجد معادلة مستقي URL (unloading)

$$e_B = e_0 - C_r * \log\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0}$$



فيكون

$$e_B = 0.621 - 0.08 * \log 5 = 0.565$$

فتكون معادلة المستقيم لمرحلة ازالة التحميل:

$$e = 0.565 + 0.08 * \log(OCR) = 0.565$$

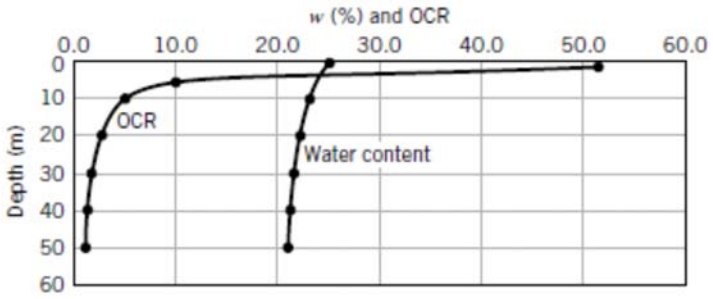
وبالتعويض بالمعادلة الاسبقة بالقيم التالية:

$e=w*G_s$ ($G_s=2.7$) و $OCR=515/\gamma'*z$ ($\gamma'=10.3kN/m^3$ ويكون z هو العمق) في المعادلة السابقة فتصبح

$$w = 0.209 + 0.03 * \log(\frac{50}{z})$$

نعوض قيمة z من 1m إلى 50m ومن ثم نعوض $e=w*G_s$ في المعادلة 1 لايجاد قيمة OCR. يبين الجدول التالي القيم المحسوبة والنتائج ومن ثم رسمها بالشكل

Depth	w(%)	OCR
1	26.0	51.4
5	23.9	10
10	23.0	5
20	22.1	2.5
30	21.6	1.7
40	21.2	1.2
50	20.9	1.0



نلاحظ أن التربة تصبح منضغطة طبيعيا مع ازدياد العمق. هذه خواص للترب الحقيقية.