

اختزال البيانات ومتغيرات مقياس الضغط للتربة

Data Reduction and PMT Soil Parameters

- تصحيح البيانات الأولية • معامل ضغط التربة عند السكون K_0 • الانفعال • رسم منحنى مقياس الضغط بيانياً
- معامل مقياس الضغط E_0 ومعامل إعادة التحميل E_R
- ضغط الخضوع، النهائي، و النهائي الصافي • القيم العامة
- وتعريف التربة • الحكم على جودة الاختبار • الدقة
- والتكرارية • الأنايب الأسطوانية أحادية الخلية مقابل ثلاثية الخلية ونسبة الطول إلى القطر • طريقة اختبار الزيادة في الحجم مقابل الضغط • المعاملات كدالة في مستوى الانفعال
- المعاملات كدالة في مستوى الإجهاد • المعاملات كدالة في عدد الدورات • المعاملات كدالة في مدة تطبيق الإجهاد

(٧, ١) تصحيح البيانات الأولية CORRECTING THE RAW DATA

يوجد برنامج حاسب آلي يدعى PRESRED يقوم باختزال البيانات ورسمها أتوماتيكياً (Tucker and Briaud, 1986 c).

تشتمل البيانات الأولية المجمعة أثناء الاختبار على الضغط المقروء من مؤشر القياس لوحدة التحكم p_r والحجم المقروء على جهاز قياس الحجم لوحدة التحكم

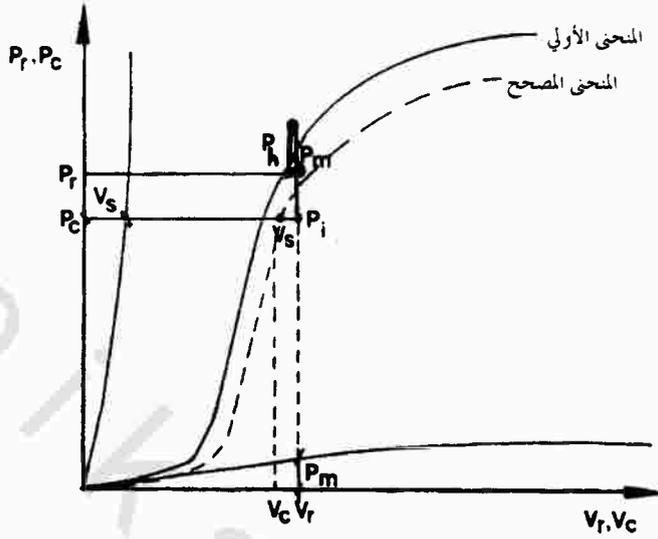
v_r ، ويجب أن تصحح هذه البيانات الأولية للحصول على الضغط p_c المؤثر على جدران تجويف التربة والزيادة في حجم الأنبوب الأسطواني v_c . يشتمل التصحيح على تصحيح مقاومة الغشاء والضغط الهيدروستاتيكي والقراءة المبدئية وانضغاطية الجهاز.

يتضمن تصحيح مقاومة الغشاء طرح الضغط p_m المقروء عند حجم معين خلال معايرة مقاومة الغشاء (البند ٣،٤) من الضغط الأولي p_r المقروء عند نفس الحجم (شكل رقم ٣٩). من المؤكد أن الضغط p_m ضروري للتغلب على مقاومة الغشاء فقط وليس مسطاً على جدار تجويف التربة.

يتضمن تصحيح الضغط الهيدروستاتيكي إضافة الضغط الأولي p_r إلى الضغط الهيدروستاتيكي p_h الناتج من عمود الماء الموجود بين وحدة التحكم والأنبوب الأسطواني الموجود عند عمق الاختبار في ثقب الحفر (شكل رقم ٣٩). ومن المؤكد أن هذا الضغط p_h موجود في الأنبوب الأسطواني، ولكنه غير مشمول في الضغط الأولي المقروء على مؤشر قياس وحدة التحكم.

يتضمن تصحيح القراءة المبدئية طرح الضغط المبدئي p_i و/أو الحجم المبدئي v_i من القراءات الأولية لـ p_r و v_r ، ولقد أخذت القراءات المبدئية p_i و v_i عند الحجم الصفري للأنبوب الأسطواني عند ارتفاع مؤشر قياس وحدة التحكم مباشرة قبل إنزال الأنبوب الأسطواني في ثقب الحفر (البند ٥،١). ويجب أن تكون قيم p_i و v_i مساوية للصفر، ولكن في بعض الأحيان وبسبب تأثيرات درجة الحرارة أو أي تأثيرات أخرى قد لا تكون، فلو كانت هذه القيم صغيرة فمن الملائم تصحيح البيانات بدلاً من إعادة تصفير الجهاز.

يتضمن تصحيح انضغاطية الجهاز طرح الحجم v_s المقروء عند ضغط معين خلال معايرة انضغاطية الجهاز (البند ٣،٣) من الحجم الأولي v_r المقروء عند نفس الضغط (شكل رقم ٣٩). ومن المؤكد أن الحجم v_s ناتج من انضغاطية الجهاز وليس من الزيادة في حجم الأنبوب الأسطواني؛ حيث تم حسابه عندما كان الأنبوب الأسطواني موضوعاً بأحكام داخل الأنبوب الصلب ذي الجدار السميك.



شكل رقم (٣٩). تصحيح البيانات الأولية.

وعلى هذا يتم الحصول على الضغط المصحح p_c والحجم المصحح v_c كالتالي:

(٧٥)

$$p_c = p_r - p_m + p_h - p_i$$

(٧٦)

$$v_c = v_r - v_s - v_i$$

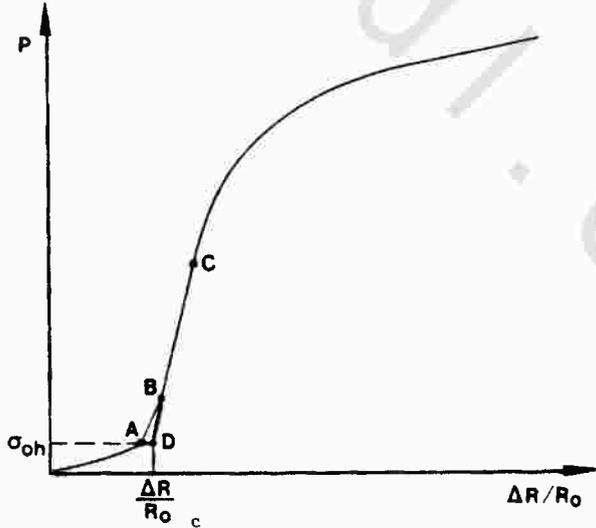
يمثل المتغيران p_c و v_c الضغط على جدران التجويف والزيادة في حجم الأنبوب على التوالي. ويمثل الرسم p_c مقابل v_c منحنى مقياس الضغط المصحح (شكل رقم ٣٩) والذي يستخدم لحساب جميع المعاملات.

(٧, ٢) معامل ضغط التربة عند السكون K_0

COEFFICIENT OF EARTH PRESSURE AT REST

يمكن الحصول على قيمة معامل ضغط التربة عند السكون من بداية منحنى مقياس الضغط. حيث إن الإجهاد الأفقي قبل حفر الثقب هو الإجهاد الأفقي عند السكون σ_{OH} . يتحرك جدار ثقب الحفر للداخل خلال الحفر، وبذلك يقل الإجهاد الأفقي.

وبعد الانتهاء من الحفر وقبل إدخال الأنبوب الأسطواني يتناقص الإجهاد الأفقي إلى أن يصل إلى الصفر تقريباً. وبعد إدخال الأنبوب الأسطواني ينفخ الأنبوب الأسطواني بزيادات بسيطة؛ مما يدفع جدار ثقب الحفر للخلف إلى موقعة الأصلي ويتعدى بعدها ذلك الموقع. يتزايد الإجهاد الأفقي عند حدوث ذلك ويمر خلال البداية الخاصة بالضغط المناظرة للضغط الأفقي عند السكون σ_{OH} . وقد تم برهان أن σ_{OH} يوجد في بداية منحنى مقياس الضغط عند نقطة أقصى انحناءه (النقطة A في شكل رقم ٤٠). ويعاد ضغط التربة قبل النقطة A، أما بعدها فإن التربة تجهد في سلوك يكرر. إذا تم تجهيز ثقب الحفر بصورة صحيحة، فإن تحديد النقطة A سهل نسبياً وصعب إذا خلخلت جدران ثقب الحفر أثناء عملية الحفر. ويكون الانتقال بين إعادة الانضغاط والسلوك اليكر واضحاً للثقب المجهز جيداً. أما للثقب المخلخل فإن هذا الانتقال يكون تدريجياً ويؤدي إلى بداية جيدة الاستدارة للمنحنى ويصعب الحصول على نقطة أقصى انحناءه. الطريقة الوحيدة للتأكد من الانحناءه وجعل الحصول على النقطة A سهلاً هو رسم البيانات p مقابل $\log(\Delta R/R_0)$.



شكل رقم (٤٠). الحصول على الضغط الأفقي عند السكون.

إن الضغط المناظر للنقطة A هو σ_{OH} - الإجهاد الأفقي الكلي عند السكون - وبالتالي نحصل على معامل ضغط التربة عند السكون كالتالي :

$$(٧٧) \quad K_o = \frac{\sigma_{OH} - u_o}{\sigma_{ov} - u_o}$$

حيث إن σ_{ov} هو الإجهاد الرأسي الكلي عند السكون و u_o هو ضغط الماء الهيدروستاتيكي. تم حساب هذه القيم من البيانات للعمق ووحدة الوزن الكلي ومستوى المياه الجوفية. وقد وجد أن قيم K_o المتحصل عليها بهذه الطريقة منطقية ومتناسقة مع القياسات الأخرى { (Gan and Briaud, 1987) SBPMT } .

اقترح كل من مارسلاندراندولف (Marsland and Randolph, 1977) طريقة مختلفة للحصول على σ_{OH} من نتائج مقياس الضغط.

(٧, ٣) الانفعال $\epsilon_{\theta\theta}$, STRAIN

إذا كان حجم الأنبوب الأسطوانى بعد الانكماش V_o وكان L هو طول الجزء المنتفخ من الأنبوب، فإن نصف القطر المبدئي للأنبوب الأسطوانى :

$$(٧٨) \quad R_o = \sqrt{\frac{V_o}{\pi L}}$$

والزيادة في حجم الأنبوب الأسطوانى هي v_c ، فإن الزيادة في نصف القطر هي :

$$(٧٩) \quad \Delta R = \sqrt{\frac{V_o + v_c}{\pi L}} - \sqrt{\frac{V_o}{\pi L}}$$

والزيادة النسبية لنصف قطر الأنبوب الأسطوانى هي :

$$(٨٠) \quad \frac{\Delta R}{R_o} = \sqrt{\frac{V_o + v_c}{V_o} - 1}$$

يحدد الحجم الابتدائي لتجويف التربة كالتالي : إن الحدود الطرفية لخط المستقيم من منحنى مقياس الضغط هي B و C (شكل رقم ٤٠) ويمد الخط BC ليتقاطع مع الخط الأفقى المار بالنقطة "A" والمناظرة لـ σ_{OH} (البند ٧,٢)، حيث إن نقطة التقاطع هي "D".

الإحداثي السيني لـ "D" هو $(\Delta R/R_o)_c$ والمناظر للحجم الابتدائي للتجويف V_c .

$$(٨١) \quad V_c = \pi L \left(R_o + \left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_c R_o \right)^2 = V_o \left(1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_c \right)^2$$

نصف القطر للتجويف الابتدائي هو :

$$(٨٢) \quad R_c = \sqrt{\frac{V_c}{\pi L}}$$

والزيادة في نصف قطر التجويف هي :

$$(٨٣) \quad \Delta R_c = \sqrt{\frac{V_o + V_c}{\pi L}} - \sqrt{\frac{V_c}{\pi L}}$$

والانفعال المحيطي $\epsilon_{\theta\theta}$ (البند ٦،١) كالتالي :

$$(٨٤) \quad \epsilon_{\theta\theta} = \frac{\Delta R_c}{R_c} = \sqrt{\frac{V_o + V_c}{V_c}} - 1$$

أو في صورة الزيادة النسبية في نصف قطر الأنبوب الأسطواني $\Delta R/R$:

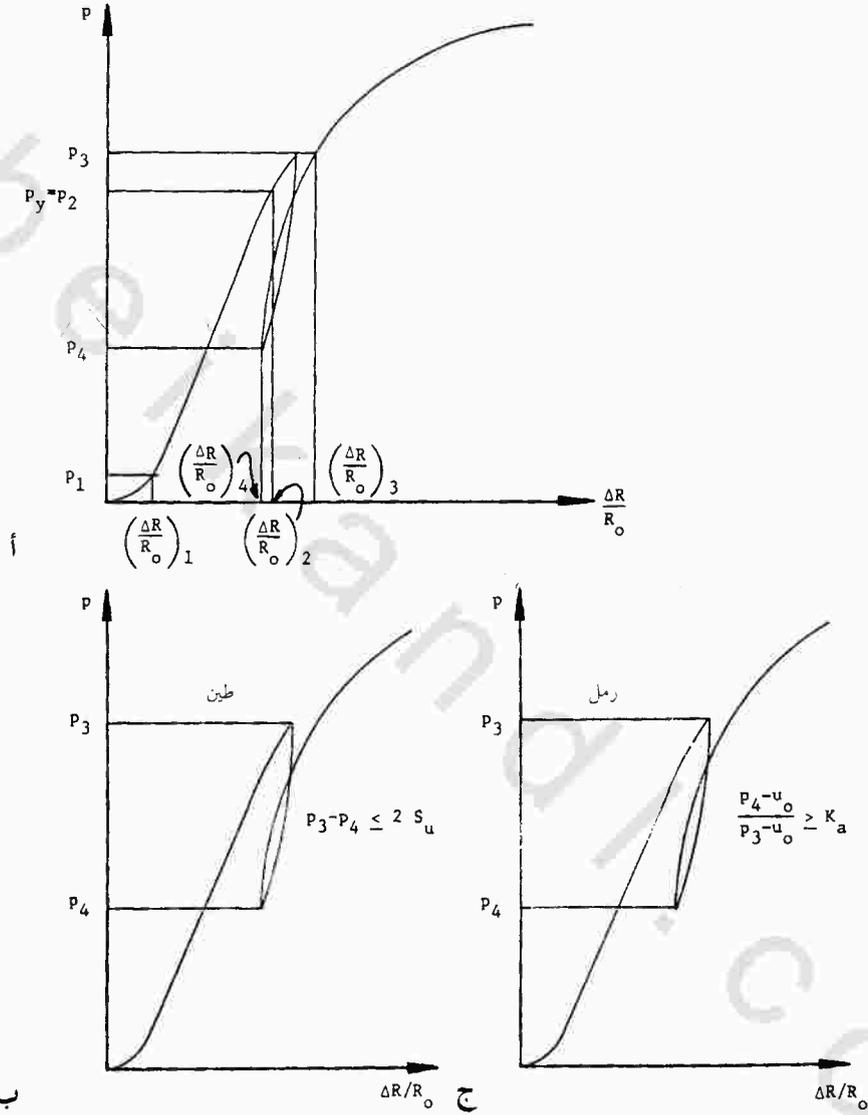
$$(٨٥) \quad \epsilon_{\theta\theta} = \frac{\Delta R_c}{R_c} = \frac{\frac{\Delta R}{R_o} - \left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_c}{1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_c}$$

يحسب تزايد الانفعال المحيطي أعلى وأسفل دورة إنزال الحمل - إعادة التحميل كالتالي (شكل رقم ٤١):

$$(٨٦) \quad \epsilon_{\theta\theta} = \frac{\left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_3 - \left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_c}{1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_c} - \frac{\left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_4 - \left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_c}{1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o} \right)_c}$$

ويطبق تعريف " $\epsilon_{\theta\theta}$ " في المعادلة ٨٤ في حالة الانفعالات الصغيرة، أما الانفعالات الكبيرة " $\epsilon_{\theta\theta}$ " فتعرف كالتالي (Baguelin, et al., 1978):

$$(٨٧) \quad \epsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_c}{V_c}$$



شكل رقم (٤١). حلقة إنزال وإعادة التحميل خلال اختبار مقياس الضغط.

حيث إن ΔV_c هي الزيادة في حجم التجويف. وعليه عند الانفعالات الكبيرة تصبح :

$$(٨٨) \quad \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{2} \frac{V_o + v_c - V_c}{V_c}$$

(٧, ٤) رسم منحنى مقياس الضغط بيانياً

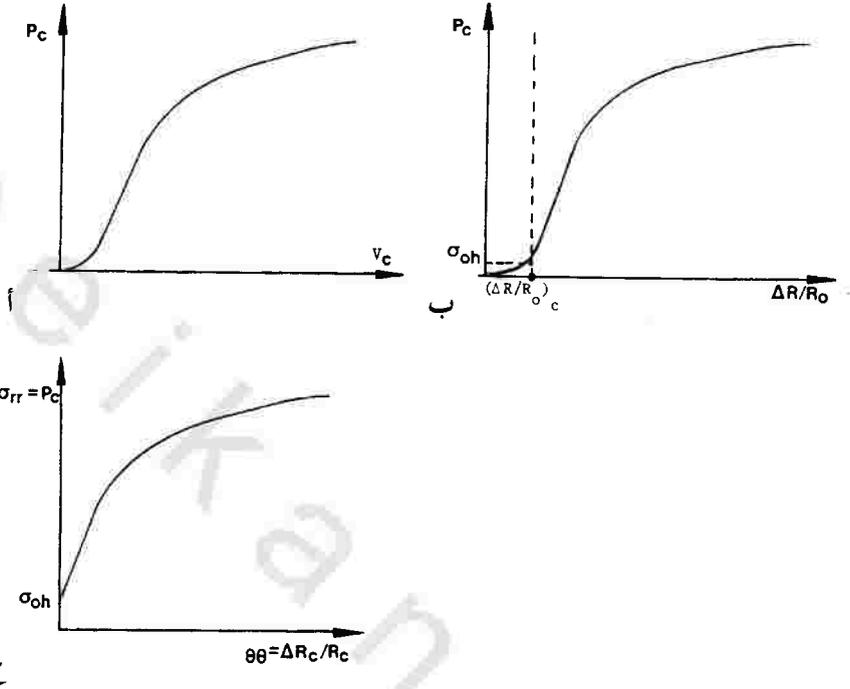
PLOTTING THE PRESSUREMETER CURVE

يمثل منحنى مقياس الضغط المصحح في شكل رقم (٣٩)، في صورة ضغط مصحح p_c مقابل الزيادة المصححة في حجم الأنبوب v_c . يعطي هذا مشكلة في تلك الأنابيب الكبيرة المعطية لقيم كبيرة لـ v_c ، والأنابيب الصغيرة المعطية لقيم صغيرة لـ v_c ، وبالتالي لا يمكن مقارنة نتائج الـ PMT المتحصلة من مقاييس الضغط مختلفة الأحجام. وفي محاولة لمعالجة منحنى مقياس الضغط يوصى برسم المنحنى كضغط مقابل الزيادة النسبية في نصف قطر الأنبوب $\Delta R/R_o$ (شكل رقم ٤٠)، وبالتالي فإن المنحنيات المتحصلة بأي مقياس ضغط يمكن أن تقارن. يمكن بالتالي أن يتحول منحنى الضغط p_c مقابل $(\Delta R/R_o)$ إلى منحنى الضغط p_c مقابل $(\Delta R_c/R_c)$ باستخدام شكل رقم (٤٠) وتفسير المحور الأفقي عند $(\Delta R/R_o)_c$ والذي يقابل الموقع المبدئي لجدار الفجوة (شكل رقم ٤٢). إن الرسم البياني في شكل رقم (٤٢) هو منحنى إجهاد - شد σ_{rr} "مقابل $\varepsilon_{\theta\theta}$ " حيث إن σ_{rr} هو إجهاد نصف قطري عند جدار الفجوة و $\varepsilon_{\theta\theta}$ هو شد محيطي عند جدار الفجوة.

(٧, ٥) معامل مقياس الضغط E_o ومعامل إعادة الحمل E_R

PRESSUREMETER MODULUS E_o AND RELOAD MODULUS E_R

يحسب معامل مقياس الضغط E_o باستخدام ميل الجزء المستقيم من منحنى مقياس الضغط. وبالرجوع إلى شكل رقم (٤١) للتعريف، فإن المعامل E_o يُحسب كالتالي (معادلة ٣٢):



شكل رقم (٤٢). الحصول على منحنى الإجهاد - الانفعال من منحنى مقياس الضغط.

$$(٨٩) \quad E_o = (1+\nu)(p_2 - p_1) \frac{\left(1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o}\right)_2\right)^2 + \left(1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o}\right)_1\right)^2}{\left(1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o}\right)_2\right)^2 - \left(1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o}\right)_1\right)^2}$$

تؤخذ قيمة نسبة بويسون $\nu = 0,33$ كتطبيق عام لجميع أنواع التربة لحساب هذا المعامل. هذه القيمة غير ملائمة للسلوك غير المصرف في التربة الطينية. ويجب ذكر افتراض ν دائماً عند عرض معامل مقياس الضغط E . وفي المقابل يمكن عرض معامل مقياس الضغط القصي، حيث ليس من الضروري افتراض ν في هذه الحالة:

$$(٩٠) \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

ويحسب معامل مقياس الضغط لإعادة التحميل E_R بنفس الطريقة كالتالي :

$$(٩١) \quad E_R = (1+\nu)(p_3 - p_4) \frac{\left(1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o}\right)_3\right)^2 + \left(1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o}\right)_4\right)^2}{\left(1 + \left(\frac{\Delta R}{R_o}\right)_3\right)^2 - \left(1 - \left(\frac{\Delta R}{R_o}\right)_4\right)^2}$$

انظر شكل رقم (٤١) للتعريف. نلاحظ أن المعامل E_R يقاس عندما يكون $p_3 = 0.5 p_4$. ونلاحظ أيضاً أنه يجب أن يكون الضغط عند أسفل الدورة P_4 والضغط عند أعلى الدورة p_3 في حلقة إنزال التحميل-إعادة التحميل (شكل رقم ٤١) مستوفيين للشروط التالية (Worth, 1982):

$$(٩٢) \quad p_3 - p_4 \leq 2S_u \quad \text{في التربة الطينية}$$

$$(٩٣) \quad \frac{p'_4}{p_3} \geq K_a \quad \text{في التربة الرملية}$$

حيث إن p_3, p_4 هما الضغطان النصف قطري الكلي للتحميل وإنزال التحميل على التوالي كما قيسا أثناء تجربة مقياس الضغط (شكل رقم ٤١). في حين أن p'_3 و p'_4 هما الضغطان النصف قطري الفعال المناظر والمتحصل عليهما بطرح الضغط الهيدروستاتيكي من p_3, p_4 (بافتراض اختبار مصرف)، و S_u هي القوة القصية المحبوسة و K_a هو معامل ضغط التراب النشط. تؤكد المعادلتان ٩٢ و ٩٣ أن حد المرونة للتربة لا يتم تجاوزه خلال دورة التحميل-إعادة التحميل (Worth, 1982). والتوصيات آنفة الذكر توصي بأخذ p_3 قريبة من ضغط الخضوع p_y (جزء البند ٥.٢) وأن p_4 مساوية لـ $0.5 p_3$ ، لتستوفي المعادلتان ٩٢ و ٩٣.

قيمة معامل مقياس الضغط E_o منخفضة نسبياً لسبب واحد أو أكثر :

أولاً: يقاس E_o على مدى انفعال كبير، ويتغير هذا المدى من ٢ - ٥ % كما هو معطى بالفارق $(\Delta R/R_o)_2 - (\Delta R/R_o)_1$ وموضح في شكل رقم (٤١).

ثانياً: يفترض في المعادلة ٢٨ - وهي أساس المعادلة ٨٩ - أن التربة المرنة لها نفس المعامل للشد والضغط، وحيث إن مقاومة التربة ضعيفة جداً للشد، وأن الشد

يمكن حدوثه في الاتجاه المحيطي خلال تمدد مقياس الضغط (البند ٦.٣) فإن قيمة E_0 تمثل القيمة المتوسطة لمعامل الضغط والشد للتربة (Briaud et al., 1986d).

ثالثاً: يتأثر E_0 بمخلخلة جدار ثقب الحفر، فعلى سبيل المثال، لو امتدت المنطقة المخلخلة إلى ١.٤١ من نصف قطر التجويف R_c (سماكة المنطقة المخلخلة هي $0.41 R_c$). ولو كان معامل التربة المخلخلة داخل المنطقة المخلخلة يساوي ٠.١ من معامل التربة غير المخلخلة، فإن قيمة E_0 المقاسة ستكون ٢٥٪ أقل من معامل التربة غير المخلخلة (Baguelin et al., 1978)، وعلى هذا فإنه من المهم اتباع الخطوات الموصى بها لتحضير ثقب الحفر.

رابعاً: يتأثر E_0 بنسبة الطول إلى القطر L/D ، للأنبوب الأسطواني لمقياس الضغط، والمعادلة ٨٩ مبنية على افتراض أن طول الأنبوب الأسطواني لا نهائي. وقد بين هارتمان (Hartman, 1974) أنه عند نسبة $L/D = 6.5$ فإن قيمة المعامل المحسوب بالمعادلة ٨٩ أكبر ٥٪ من معامل التربة (المعامل المحسوب لو كان طول مقياس الضغط لا نهائياً). وتؤدي الأنابيب الأسطوانية القصيرة إلى أخطاء كبيرة، ولهذا يوصى باستخدام نسبة L/D تساوي ٦.٥.

خامساً: يتم قياس E_0 خلال دقيقتين تقريباً، بينما تحمّل قواعد المبنى التربة في حوالي ٥٠ عاماً، وقد استخدم بيربود (Briaud et al., 1986b) نموذجاً يشير إلى أن المعامل عند ٥٠ عاماً قد يكون أربع مرات أصغر من المعامل عند دقيقتين للتربة الطينية الرخوة و ١.٤ مرة أصغر للتربة الطينية الصلبة والرمل.

سادساً: يقيس مقياس الضغط المعامل الأفقي E_H وليس المعامل الرأسي E_V . والاهتمام بتباين الخواص في جميع الاتجاهات ليس مهماً كما يبدو لأن كلا من E_H و E_V يدخل في تجاوب الأساس للحمل الرأسي، ولأن عدد من الباحثين (Leichner, 1966; Jezequel et al., 1968; Shields and Bauer, 1975) اختبروا أنواعاً مختلفة من التربة ووجدوا أن الاختلاف بين E_H و E_V ٥٪ في الأكثر.

قادت جميع العوامل السابقة كل من مينارد وروسو (Menard and Rousseau, 1962) إلى اقتراح معامل التصحيح α (جدول رقم ٩) في معادلته للهبوط للحصول على توافق أفضل بين الهبوط المتوقع والهبوط المقاس. استخدام E_o في معادلة الهبوط المرن لشكل محدد للأساس يؤدي إلى تجاوز الهبوط المتوقع عند حمل التشغيل أثناء اختبار الحمل على ذلك الأساس. وقد اقترح أن E_o/α مساوياً لمعامل يونج للتربة (Leblanc, 1982) ونجح آخرون في توقع الهبوط وذلك باستخدام معامل إعادة التحميل E_R مع معادلات الهبوط المرن (Kahle, 1983; Konstantinidis et al. 1986).

جدول رقم (٩) : معامل α لمينارد.

رمل وحصى		رملية		طينية		طينية		عضوية		نوعية التربة
α	E/p^*_L	α	E/p^*_L	α	E/p^*_L	α	E/p^*_L	α	E/p^*_L	
٣/١	$10 <$	٢/١	$12 <$	٣/٢	$14 <$	١	$16 <$	١		زائدة الاندماج
٤/١	$10-6$	٣/١	$12-7$	٢/١	$14-8$	٣/٢	$16-9$	١	لكل القيم	عادية الاندماج
٤/١		٣/١		٢/١		٢/١	$9-7$	١		متفتت و/أو مخلخلة
خفيف التصدع أو متفتت جداً		أي شيء آخر				متصدع جداً				
$3/2 = \alpha$		$2/1 = \alpha$				$3/1 = \alpha$				

(٧, ٦) ضغط الخضوع، النهائي، والنهائي الصافي

YIELD, LIMIT AND NET LIMIT PRESSURE

يوجد ضغط الخضوع p_y عند نهاية الجزء الخطي من منحنى مقياس الضغط (شكل رقم ٤١ أ) ويمكن تحديده بمعاينة بسيطة للمنحنى أو الاستفادة من منحنى الزحف، كما هو موضح في الشكل رقم (١٨) والبند (٥,٢). ويمثل ضغط الخضوع أهمية في تحديد ما بعد الضغط الهام لحدوث الزحف طويل الأجل للتربة.

يعرف الضغط النهائي نظرياً بأنه الضغط الذي تم الوصول إليه لتمدد لانهايي للأسطوانة. ولا يمكن الوصول لمثل هذا التمدد اللانهائي أثناء التجربة، وبدلاً من ذلك عرّف الضغط النهائي عملياً بالضغط الذي تم الوصول إليه عندما ينتفخ تجويف التربة لضغط حجمه الابتدائي، P_L وهو الضغط عند $\Delta V_c / V_c = 1$. وهذا يناظر زيادة النسبة في نصف قطر الأنبوب الأسطواني $(\Delta R / R_o)_L = 0.41 + 1.41(\Delta R / R_o)_c$ ، حيث إن $(\Delta R / R_o)_c$ هي الزيادة النسبية في نصف قطر الأنبوب الأسطواني المناظرة للحجم الابتدائي للتجويف (الشكلان رقماً ٤٠، ٤٢). وقد لا يمكن الوصول إلى قيمة $(\Delta R / R_o)_L$ أثناء التجربة وبذلك فمن الضروري استخدام تقنية الاستكمال للحصول على P_L . وقد تم اقتراح عدد من تقنيات الاستكمال (Bauguelin et al., 1978)، والطريقة الموصى بها هي مد المنحنى يدوياً إلى $(\Delta R / R_o)_L$ وقراءة p_L على منحنى الاستكمال، أما الطرق الأخرى فهي ليست دائماً صحيحة.

يعرف الضغط النهائي الصافي p_L^* كالتالي :

$$(94) \quad p_L^* = p_L - \sigma_{OH}$$

حيث إن σ_{OH} هو الإجهاد الأفقي الكلي عند السكون والذي تم الحصول عليه إما من منحنى مقياس الضغط (البند ٢، ٧) أو بواسطة الحسابات أثناء عمل الفرضيات الضرورية. وقيمة المتغير p_L^* هي مقياس لقوة التربة.

قيمة p_L^* غير حساسة بالنسبة لخلخلة جدار ثقب الحفر والذي قد يحدث أثناء عملية الحفر (Bauguelin et al., 1978). نظرياً إن p_L^* حساس نسبياً من نسبة الطول إلى قطر الأنبوب الأسطواني لمقياس الضغط، وهذا صحيح وبخاصة في التربة الرملية؛ حيث إن p_L^* يزداد بمقدار ٢٠٪ عندما تقل L/D من ٥ إلى ١٠ (Briaud et al., 1986d). ولا يكون هذا الاختلاف مهماً في التربة الطينية. ويوصى أن تكون نسبة الطول إلى القطر هي ٦،٥.

يتم الحصول على قيم الإجهادات الفعالة لضغط الخضوع p_y والضغط النهائي p_L للترية غير المتماصة بطرح ضغط الماء المسامي الهيدروستاتيكي u_0 من p_L و p_y على التوالي.

$$(٩٥) \quad p_y' = p_y - u_o$$

$$(٩٦) \quad p_L' = p_L - u_o$$

يستخدم ضغط الماء المسامي الهيدروستاتيكي u_o ؛ وذلك بسبب افتراض عدم تكوّن ضغط مسامي زائد أثناء تجربة العشر دقائق في التربة غير المتماسكة. وتكون قيمة u_o مساوية لـ $\gamma_w h$ ، حيث إن γ_w هي وحدة وزن الماء و h هي المسافة من منطقة التجربة إلى مستوى الماء.

(٧, ٧) القيم العامة وتعريف التربة

COMMON VALUES AND SOIL IDENTIFICATION

يبين الجدول رقم (١٠) القيم العامة بالنسبة للضغط النهائي الصافي لمختلف أنواع التربة وبعمق يصل إلى ٣٠ متراً. وكذلك القيم العامة للمعامل E_o وعادة ما يكون ضغط الخضوع p_y حوالي نصف الضغط النهائي للتربة الطينية وثلث الضغط النهائي للتربة الرملية. وتكون نسب E_R/E_o حوالي ١,٥ - ٥ للتربة الطينية و ٣-١٠ للتربة الرملية.

يمكن أن تستخدم النسبة E_o/p_L كتعريف لنوع التربة. وتستخدم النسب التالية كدليل عام للتعرف على التربة:

$$(٩٧) \quad \frac{E_o}{p_L} > 12 \quad \text{للتربة الطينية}$$

$$(٩٨) \quad 7 < \frac{E_o}{p_L} < 12 \quad \text{للتربة الرملية}$$

يظهر أيضاً هذا التباين في السلوك بين التربة الطينية والرملية في شكل رقم المنحنى. تظهر عموماً التربة الطينية انحناء حاداً نسبياً في المنحنى ، ويكون الضغط النهائي واضحاً نسبياً (شكل رقم ٤٣). وكلما كانت التربة الطينية أكثر تماسكاً كلما كانت هاتان السماتان أكثر وضوحاً. وعلى العكس ، فإن التربة الرملية لا تظهر انحناءات حادة ، ولكن فضلاً عن ذلك ، تظهر انحناءة سلسلة ومُتصلة دون دليل واضح للوصول إلى

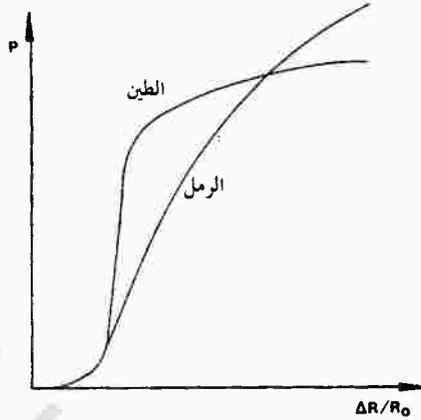
الضغط النهائي (شكل ٤٣). والسبب في هذا الاختلاف هو أن التربة الرملية بها مواد احتكاكية تستمد مقاومتها القصية من الإجهاد العمودي على مستوى الانهيار. ويؤدي تمدد مقياس الضغط إلى قص التربة الرملية، ولكنه أيضاً سوف يزيد من مستوى الإجهاد العمودي في التربة، وبالتالي تزداد قوة التربة الرملية، فكلما زاد تمدد مقياس الضغط كلما أصبحت التربة الرملية أقوى. ونتيجة لذلك لا يظهر الانهيار واضحاً في منحنى مقياس الضغط للتربة الرملية. أما في التربة الطينية، فإن مقاومة القص المحبوس (تعتبر اختبارات مقياس الضغط التي تستغرق ١٠ دقائق اختبارات محبوسة في التربة الطينية) غير مرتبطة بزيادة الإجهاد الكلي العمودي الذي يحدثه تمدد مقياس الضغط، لذا يظهر انهيار واضح في نهاية الاختبار.

وفي الخلاصة تتيح المجموعة المكونة من شكل منحنى مقياس الضغط وقيم كل من p_L^* , E_o , E_o/p_L^* والفحص للقطع الحجرية أثناء الحفر التعرف المناسب على التربة.

جدول رقم (١٠) : قيم شائعة تقريبية لمتغيرات مقياس الضغط.

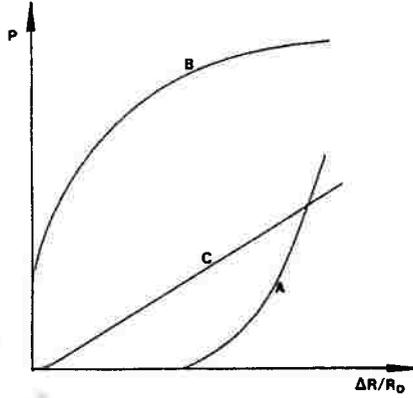
طين					
نوعية التربة	رخو	متوسط	قاس	قاس جداً	صلب
p_L^* كيلو باسكال	٢٠٠-٠	٤٠٠-٢٠٠	٨٠٠-٤٠٠	١٦٠٠-٨٠٠	١٦٠٠ <
E_o كيلو باسكال	٢٥٠٠-٠	٥٠٠٠-٢٥٠٠	١٢٠٠٠-٥٠٠٠	٢٥٠٠٠-١٢٠٠٠	٢٥٠٠٠ <
رمل					
نوعية التربة	متفكك	مدموك	كثيف	كثيف جداً	
p_L^* كيلو باسكال	٥٠٠-٠	١٥٠٠-٥٠٠	٢٥٠٠-١٥٠٠	٢٥٠٠ <	
E_o كيلو باسكال	٣٥٠٠-٠	١٢٠٠٠-٣٥٠٠	٢٢٥٠٠-١٢٠٠٠	٢٢٥٠٠ <	

ملاحظة : ١٠٠ كيلو باسكال = ١.٠٤ طن/قدم^٢



شكل رقم (٤٣). الاختلاف في منحنى مقياس الضغط للتربة الطينية والرملية.

(٧,٨) الحكم على جودة الاختبار **JUDGING THE QUALITY OF THE TEST** يمكن الحكم على جودة الاختبار، وذلك بفحص منحنى مقياس الضغط. ويوضح شكل رقم (٤٤) نتائج اختبار أجري في حفرة كبيرة أكبر من اللازم (منحنى A) وتعتبر الحفرة أكبر من اللازم عندما يكون نصف قطر التجويف ١,٢ مرة أكبر من نصف قطر الأنبوب مفرغاً. وأحياناً تكون الحفرة أكبر من اللازم، ومع ذلك فإنه من الممكن الحصول على المعامل E_0 . ويوضح شكل رقم (٤٤) أيضاً نتائج اختبار أجري في حفرة أصغر من اللازم (منحنى B). وفي هذه الحالة لا بد أن يُدفع الأنبوب داخل التربة، وبالتالي يُوجد ضغط مبدئي أقصى على الأنبوب الأسطواني قبل بدء التمدد، وفي هذه الحالة لا يمكن الحصول على المعامل E_0 . ولكن يمكن الحصول على الضغط النهائي p_L ، وهو غير حساس نسبياً للخلخلة "الاضطراب" البسيطة. يظهر المنحنى "C" في شكل رقم (٤٤) نتائج اختبار لتربة تمت خلخلتها بصورة كبيرة نتيجة لعملية الحفر، ولا يمكن استخدام نتائج مثل هذه التجربة.



شكل رقم (٤٤). أمثلة لمنحنيات مقياس الضغط ذات جودة ضعيفة.

يمكن الحكم على جودة الاختبار أيضاً بقيمة نسبة E_o / p_L^* لأن المعامل E_o أكثر حساسية تجاه الخلخلة من الضغط النهائي، والقيم E_o / p_L^* والأقل بكثير عن تلك المذكورة في البند ٧, ٧ قد تكون مؤشراً لخلخلة زائدة.

(٧, ٩) الدقة والتكرارية ACCURACY AND REPEATABILITY

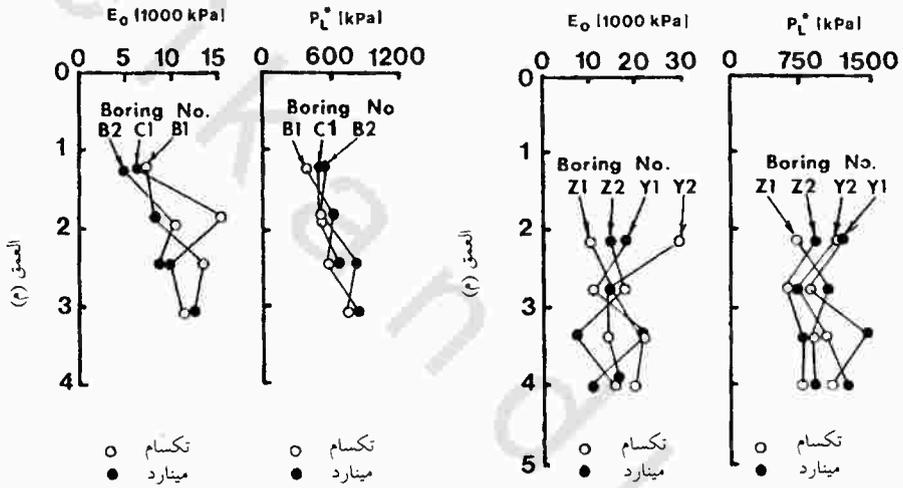
تعتمد دقة قياسات الضغط النهائي للتربة p_L على مقدار مقاومة غشاء الأنبوب الأسطواني عند الانتفاخ الكامل، p_{mL} . وإذا تم تحديد p_{mL} بدقة ٥٪، حيث إن p_{mL} لا يمكن أن تكون أكبر من p_L ، وعليه يمكن إيجاد p_L بدقة ٥٪. بالنسبة لمقاييس الضغط والتي لها قيمة p_{mL} تساوي ١٠٠ كيلو باسكال (الحالة العادية)، فهذا يعني أن الضغط النهائي أقل من ١٠٠ كيلو باسكال (التربة الطينية الطرية جداً) له دقة تقريبية تعادل ٥٪. وأن ضغط التربة النهائي للتربة الصلبة أو الكثيفة تعرف بدقة أفضل كثيراً، وتعتبر الخلخلة المحدودة (المحصورة) لجدار ثقب الحفر أفضل كثيراً. وتعتبر الخلخلة المحدودة لجدار ثقب الحفر عاملاً ثانوياً، حيث إن p_L لا يتأثر بصورة واضحة بالخلخلة (البند ٧, ٦) والأكثر أهمية من مقاومة الغشاء والخلخلة المحدودة هي نسبة الطول إلى قطر الأنبوب الأسطواني (البند ٧, ١٠)، وعليه فمن الضروري أن تكون كل الأنابيب

الأسطوانية التجارية لها نفس نسبة الطول إلى القطر. ويوصى أن تكون نسبة L/D تساوي ٦,٥ ، لأنها من بين أشياء أخرى تستخدم لتطوير قاعدة معلومات الأساس وقوانين تصميم الأساس.

تعتمد دقة قياسات معامل التربة E_o على مقدار انضغاطية الجهاز. فإذا اعتبر أن منحنى الانضغاطية (شكل رقم ١٤) هو منحنى مقياس الضغط ، فإنه يمكن احتساب معامل افتراضي E_{sc} من المنحنى. وإذا تم إيجاد المعامل بدقة ٥٪ ، فإن E_{sc} لا يمكن أن تكون أكبر من E_o ، بحيث يمكن إيجاد E_o بدقة ٥٪. وبالنسبة لمقاييس الضغط والتي لها قيمة E_{sc} تساوي ٢٥٠ ميغا باسكال (الحد الأدنى المسموح به) ، ويعني هذا أن التربة التي لها E_o تساوي ٢٥٠ ميغا باسكال (الصخر اللين ، مقاومة الضغط غير المحصور $\equiv 80$ طن/قدم^٢) تعرف بدقة ٥٪ ، وأن معاملات مقياس الضغط للتربة الأكثر ليونة تعرف بدقة أفضل. تؤثر الخلخلة في جدار ثقب الحفر على المعامل. وكما ذكر في البند ٥ ، ٧ ، أن نقصاً قدره ٢٥٪ من قيمة E_o قد يكون مرتبطاً بسوء تجهيز ثقب الحفر. نسبة طول الأنبوب الأسطواني إلى قطره L/D لها تأثير ثانوي على المعامل E_o . إذا كانت نسبة L/D تساوي ٦,٥ فإن المعامل E_o سوف يكون أكبر بـ ٥٪ عن المعامل E_o عندما تكون النسبة لا نهائية.

تم اختبار تكرارية الاختبار والمقادير من مقياس ضغط إلى آخر ، بواسطة بريود (Briaud et al., 1986d). وأجريت الاختبارات بمقاييس ضغط في اثنين من رواسب التربة جيدة التوثيق ؛ واحد في الطين والآخر في الرمل. وتم اختبار ثقبين لكل مقياس ضغط لضمان الأخذ في الحسبان التباين في رواسب التربة في المقارنة ، ويوضح الشكلان رقماً (٤٥ و ٤٦) هذه النتائج. كما تم إجراء اختبارات أخرى للمقارنة باستخدام مقاييس ضغط أخرى في الرمل والحصى عند Lock & Dam 26 (Briaud et al. 1984 b). وقد تم التحقق من تكرارية الاختبار باستخدام نفس مقياس الضغط في طبقة رمل معدة بإحكام. وتبين إمكانية تكرار الاختبار والمعاملات في مدى $\pm 5\%$ (Briaud, 1979). وكنتيجة

للملاحظات والدراسات السابقة فإنه من المعقول القول إنه إذا استخدم مقياس ضغط ذو نسبة طول إلى قطر = ٦,٥ ، وإذا تم تحضير ثقب الحفر بعناية ؛ وذلك باستخدام تقنيات الحفر الموصى بها ، وإذا اتبعت طريقة اختبار واختزال المعلومات الموصى بها ، فإن المعاملات E_o و p_L^* يمكن الحصول عليها بدقة $\pm 10\%$. وعليه فلا حاجة لإعطاء E_o و p_L^* بأكثر من ثلاثة أرقام متميزة.



شكل رقم (٤٥). مقارنة للنتائج بين مقياس ضغط مينارد وتكسام لموقع تربة رملية. شكل رقم (٤٦). مقارنة للنتائج بين مقياس ضغط مينارد وتكسام لموقع تربة طينية.

(٧,١٠) الأنابيب الأسطوانية أحادية الخلية مقابل ثلاثية الخلية ونسبة الطول إلى القطر MONOCELL VERSUS TRICELL PROBES AND THE LENGTH TO DIAMETER RATIO

تحتوي بعض الأنابيب الأسطوانية على ثلاث خلايا ، خلية قياس واحدة بين خلتي حماية ، والفكرة هي عزل الانفعال المستوي الحقيقي بالتمدد الأسطواني في الجزء الأوسط من الأنبوب وتسجيله بخلية القياس. تسجل بعض مقاييس الضغط

الأخرى أحادية الخلية رد فعل التربة على كامل طول الأنبوب شاملة تأثير الأطراف. مقياس الضغط أحادية الخلية أكثر بساطة من الثلاثية الخلية، حيث إنها أكثر سهولة في إصلاحها مقارنة بثلاثية الخلية. وما يهمنا هو هل يعطي مقياس الضغط أحادي الخلية ومقياس الضغط ثلاثي الخلية نفس النتائج أم لا، وتحديد المعامل والضغط النهائي.

أعطى ترانتر (Tranter, 1964) حلاً نموذجياً قريباً لمشكلة الحفرة الأسطوانية اللانهائية الطول ذات قطر D مضغوطة على كامل الطول L في حيز مرن متجانس موحد الخواص في جميع الاتجاهات. واستخدم هارتمان (Hartman, 1974) حل ترانتر لحساب نسبة الحجم المزاح V_f لمقياس الضغط المحدد الطول L للحجم المزاح V_i لنفس الطول L لمقياس الضغط اللانهائي الطول. وأوضح هارتمان أن قيمة الخطأ صغير حتى في حالة الأنبوب القصير نسبياً (شكل رقم ٤٧). الأنبوب $Texam NX$ له نسبة $L/D = 6.6$ ، والأنبوب $LLTNX$ له نسبة $L/D = 7.5$.

وفي الواقع، فإن أعلى قيمة للخطأ يمكن الحصول عليها إذا قام أحدهم بنفخ أنبوب ذي نسبة $L/D = 1$ ، في الأساس جسم كروي، ويقوم باستخدام المعادلة للتمدد الأسطواني لحساب المعامل، وهذه المعادلات كالتالي :

$$(٩٩) \quad G = \frac{\Delta p}{\Delta V} V_m \quad \text{للأسطوانة}$$

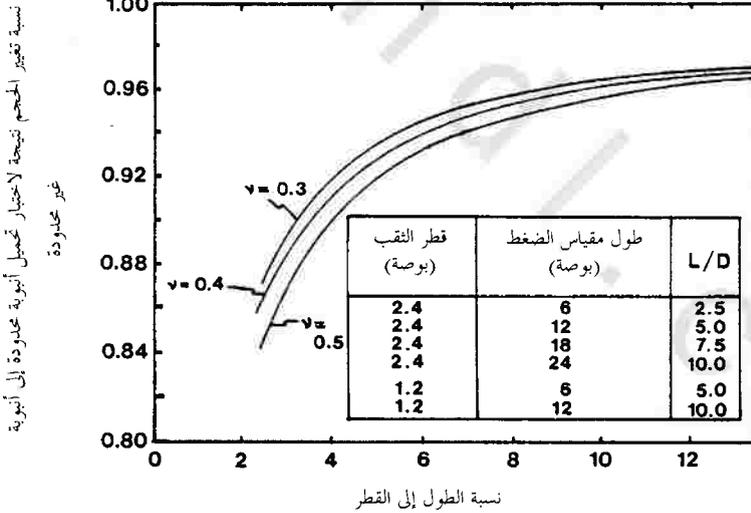
$$(١٠٠) \quad G = \frac{3}{4} \frac{\Delta p}{\Delta V} V_m \quad \text{للكرة}$$

حيث إن G هو معامل القص، و Δp هي الزيادة في الضغط عند جدار التجويف، و ΔV هي الزيادة في حجم التجويف، و V_m هو حجم التجويف. وعليه فإذا قام أحدهم بنفخ كرة واستخدم معادلة الأسطوانة، فإن المعامل المحسوب سيساوي ١.٣٣ مرة للمعامل الحقيقي للتربة. وهذا يوضح أن الحد الأقصى للخطأ لأقصر أنبوب أحادي الخلية هو ٣٣٪. ولكن الأنابيب أحادية الخلية لها نسب L/D أكبر كثيراً من "١" وبالتالي فإن الخطأ أقل بكثير من ٣٣٪ (شكل رقم ٤٧).

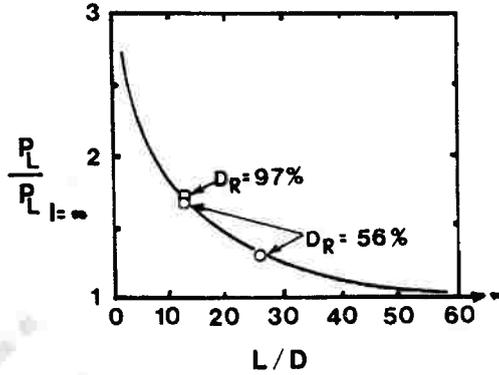
يمكن أن تتضمن حسابات المعامل لأي مقياس ضغط استخدام معامل تصحيح هارتمان-ترانتر I_o :

$$(١٠١) \quad E = 2 \frac{(1+\nu)}{I_o} \frac{\Delta p}{\Delta V} V_m$$

حيث إن E معامل يونج، و ν هي نسبة بويسون، و I_o هو معامل التصحيح من الشكل رقم (٤٧). فإذا تم تجاهل المعامل I_o في مقياس الضغط أحادية الخلية ذات نسب L/D أكبر من "٦" فإن المعاملات المتحصلة ستكون في معظمها أعلى من المطلوب بـ ٥٪.



شكل رقم (٤٧). نسبة الحجم المزاح لاختبار مقياس الضغط المحدود وغير المحدود (الأنبوب الأسطواني). (Hartman, 1974).



شكل رقم (٤٨). تأثير طول الأنبوب الأسطواني على الضغط النهائي في تربة رملية جافة (Laier, 1973).

استخدم لاير (Laier, 1973) أنابيب أسطوانية ثلاثية الخلية ذات نسب مختلفة من L/D في الرمل الجاف، ووجد أنه لا تأثير تقريباً لهذه النسب على معامل مقياس الضغط، ولكنه على كل حال وجد تأثيراً جلياً لنسبة L/D على الضغط النهائي (شكل رقم ٤٨). وقد حصل على الضغط النهائي بالاستكمال لمنحنى مقياس الضغط لتمدد لانهائي باستخدام تقنية جيسون وأندرسون (Gibson and Anderson, 1961) ووجد أنه حينما تقل نسبة L/D بمعامل "٢" فإن الضغط النهائي يزيد بمعامل ١.٢٨. وقد قارن سوياما (Suyama et al., 1982, 1983) بين مقياس ضغط أحادي الخلية وثلاثي الخلية ذات نسب متماثلة من L/D ووجد اختلافاً قليلاً جداً في الضغط النهائي والمعامل المتحصل عليه من الجهازين.

يمكن تقييم تأثير نسبة L/D على الضغط الحدي p_L ؛ وذلك بمقارنة التعبير النظري p_{Lcyl} للأسطوانة ($L/D = \infty$) و p_{Lsph} للكرة ($L/D = 1$). وهذه التعبيرات في حالة الرمل (البند ٦.٤) كالتالي:

$$(102) \quad p_{Lcyl} = p_o(1 + \sin \phi) \left[\frac{G}{p_o \sin \phi} \right]^{0.5(1-K_d)}$$

$$(103) \quad p_{Lsph} = p_o \frac{3(1 + \sin \phi) \cos \phi}{(3 - \sin \phi) \sin \phi} \left[\frac{G(3 - \sin \phi)}{3p_o \sin \phi} \right]^{0.66(1-K_a)}$$

حيث إن p_o هو الإجهاد الأفقي عند السكون، ϕ هي زاوية الاحتكاك، G هو معامل القص، K_a هو معامل ضغط التربة النشط. ولقيم معقولة للمتغيرات السابقة، فإن نسبة p_{Lsph}/p_{Lcyl} تتراوح ما بين ٤ للرمل المفكك و ٣ للرمل الكثيف.

أما بالنسبة للسلوك غير المصروف للتربة الطينية فإن التعبيرات هي :

$$(104) \quad p_{Lcyl} = p_o + S_U \left(1 + Ln \frac{G}{S_U} \right)$$

$$(105) \quad p_{Lsph} = p_o + \frac{4}{3} S_U \left(1 + Ln \frac{G}{S_U} \right)$$

وهنا تكون نسبة p_{Lsph}/p_{Lcyl} تساوي في الأكثر ١.٣٣. في الرمل تقارن النسبة ٣ - ٤ بصورة جيدة مع منحنى لاير، وتسمح بمدّه إلى نسبة $L/D = 1$ (شكل رقم ٤٨). ولا بد من الأخذ في الاعتبار أن قيم p_L المذكورة أعلاه هي لتمدد لا نهائي للأنبوب الأسطواني، في حين أنه عملياً يعرف p_L على أنه الضغط الواصل عند بلوغ حجم التجويف ضعف حجمه الابتدائي.

أجرى بيربود وآخرون (Briaud et al., 1985 a) عدداً من تجارب مقياس الضغط لموقعين، أحدهما في التربة الرملية والآخر في التربة الطينية، وقد استخدموا جهازين أحدهما مقياس ضغط مينارد والآخر مقياس ضغط تكسام. ولمقياس ضغط مينارد أنبوب ثلاثي الخلية بنسبة $L/D=5$. أما مقياس تكسام فله أنبوب أحادي الخلية بنسبة $L/D=6.6$. وقد أجريت جميع الاختبارات فوق مستوى المياه الجوفية. يتكون الراسب الرملي من الطمي الرملي، وبمتوسط ١٥ طرقة كبل ٣٠ سم لاختبار الاختراق المعياري (SPT)، والمحتوى المائي ١٤٪، ووحدة الوزن ١٩.٣ كيلو نيوتن/م^٣. وتتكون الطبقة من طين عالي اللدونة، وبمتوسط مقاومة القص المحبوسة المحددة من اختبارات الانضغاط غير المحصور ١١٨ كيلو باسكال، والمحتوى المائي ٢٠٪، ووحدة الوزن ٢٠.٤ كيلو

نيوتن/م^٢. ويوضح الشكلان رقما (٤٥ و ٤٦) نتائج سلسلة من اختبارات المقارنة. وأظهرت النتائج تبعثراً؛ وذلك نتيجة التباين الطبيعي للتربة. وقد أوضح التفسير المعمق عدم وجود ميل محدد يسمح باستنتاج فرق بين نتائج اختبارين لمقياس الضغط. تبين كل الدلائل المذكورة أعلاه أن نسبة الطول إلى القطر لها تأثير بسيط على المعامل وبعض الأثر على الضغط النهائي. وعليه فمن الضروري اختبار نسبة مميزة من الطول إلى القطر لأي مقياس ضغط معياري، ويوصى أن تكون النسبة ٦,٥. ولهذه النسبة من L/D ولجميع الأغراض العملية يبدو أنه لا يوجد فرق بين مقياس ضغط أحادي الخلية وثلاثي الخلية. وبالنسبة لمقاييس الضغط التي تقيس التمدد نصف القطري عبر أذرعه الجس الكهربائية الواقعة عند متوسط طول الأنبوب، فإن تأثير نسبة L/D على النتائج أقل، وبغرض التجانس فإنه يوصى بنفس النسبة L/D .

(٧, ١١) طريقة اختبار الزيادة في الحجم مقابل الضغط

PRESSURE VERSUS VOLUME INCREMENT TEST PROCEDURE

يمكن إجراء اختبار مقياس الضغط، بزيادة ضغط الأنبوب بزيادات متساوية، أو بزيادة حجم الأنبوب بزيادات متساوية أو بزيادة حجم الأنبوب بمعدل زيادة ثابتة. يجب أن ينجز مقياس الضغط المعياري في حكم التجاوز بمضاعفة الحجم المبدئي للأنبوب الأسطواناني في خلال عشر دقائق. وهذا بالتالي يستخدم لحساب معدل التحميل، وزيادة الضغط، وزيادات الحجم أو معدل التضخم، والتي أجريت عندها الاختبارات.

توجد هناك عيوب ومزايا لكل من طريقة زيادة الضغط والحجم. وعيب طريقة زيادة الضغط هو أن قيمة الضغط النهائي p_L يجب أن تقدر قبل إجراء الاختبار، وهذه ميزة لطريقة زيادة الحجم، حيث لا نحتاج لتقدير p_L . العيب في طريقة زيادة الحجم إنه إذا لم تكن زيادات الحجم صغيرة بشكل كافٍ، فإن جزء المنحنى المستخدم لحساب المعامل قد يتم تحديده بعدد قليل من النقاط. وهذه ميزة طريقة زيادة الضغط؛ حيث إن

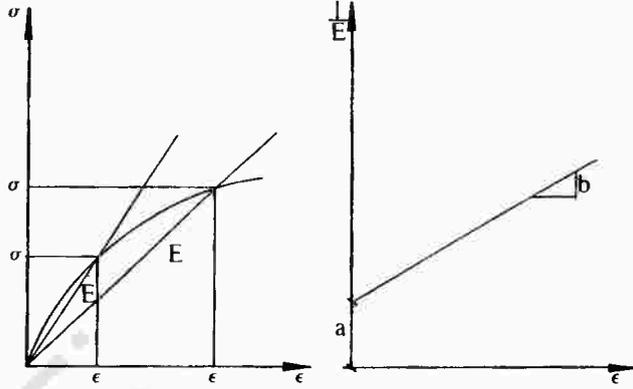
المعامل جيد التحديد عادة. وباعتبار هذه الملاحظات، يوصى بعشر زيادات وكل زيادة بعد دقيقة ومساوية لـ $p_L/10$ لطريقة زيادة الضغط (شكل رقم ٣١)، ويوصى بأربعين زيادة (واحدة كل ١٥ ثانية) مساوية لـ $V_s/40$ لطريقة زيادة الحجم، حيث إن V_s هو الحجم المنكمش للأنبوب الأسطواني (شكل رقم ٣٢). هذه الزيادات في الحجم، صغيرة بصورة كافية لتوكيد تحديد مناسب للمعامل، وتسمح بوصف دقيق لكامل المنحنى شاملاً الجزء الأولي منه الضروري لضغط التربة عند السكون.

هناك اختلاف بين الطريقتين. مع زيادات الحجم فإن معدل التحميل خلال جزء المنحنى المستخدم لحساب المعامل، قد يكون أسرع ثلاث مرات عن زيادات الضغط. وبالتالي يكون المعامل أعلى قليلاً، وقد يكون أعلى بما يقارب $3 \times 10^{-3} = 0.003$ أو 0.006 (Briaud and Garland 1985). والعكس صحيح بالنسبة للضغط الحدي p_L أما فيما يختص بـ p_L قد يُلاحظ أيضاً أنه وزيادات الحجم: فإن الحجم المبدئي للأنبوب الأسطواني يتضاعف في عشر دقائق بالتحديد، في حين أنه مع زيادات الضغط فإنه يتضاعف في ٧-١٤ دقيقة اعتماداً على دقة تقدير p_L . تم إنجاز الاختبارات الموضحة في الشكلين رقمي (٤٥ و ٤٦) باستخدام الطريقتين. اختبارات Menard هي اختبارات زيادة ضغط (بين ٧ و ١٥ زيادة، كل بعد دقيقة واحدة) في حين أن اختبارات Texam اختبارات زيادة حجم (٤٠ زيادة كل بعد ١٥ ثانية). يوجد مرةً أخرى فرق ضئيل بين نتائج الاختبارين. وباعتبار الأدلة عالية ولكل الأغراض العملية يبدو أن طريقتي زيادة الحجم والضغط الموصى بهما يمكن أن تستخدم بالتبادل.

(٧, ١٢) المعاملات كدالة في مستوى الانفعال

MODULI AS A FUNCTION OF STRAIN LEVEL

تم وصف اختبارات خاصة (أشكال أرقام ٢٢-٢٧) في البند ٥.٣، وتضمنت اختبارات للحصول على معاملات كدالة في مستوى الانفعال، ومستوى الإجهاد، ودورات ومدة الإجهاد. وسيتم وصف هذه المعاملات منفصلة في البنود الأربعة التالية.



شكل رقم (٤٩). المعاملات كدالة في مستوى الانفعال.

يعتمد معامل التربة على الانفعال الذي يقيس عنده المعامل (شكل رقم ٤٩).
النموذج الشائع المستخدم لوصف اعتمادية المعامل على الانفعال هو النموذج
زائدي المقطع (Hyperbolic model) (Kondner, 1963).

$$(106) \quad \sigma = \frac{\epsilon}{a + b\epsilon}$$

ويمكن أن تكتب:

$$(107) \quad \frac{1}{E} = a + b\epsilon$$

حيث إن σ و ϵ هما الإجهاد و الانفعال على التوالي، و E هو معامل القاطع للانفعال
 ϵ ، و a ، و b هما متغيرا نموذج الانفعال. وتبين أن $1/a$ هو معامل المماس الابتدائي ($\epsilon=0$).
وتحسب المتغيرات a و b بقياس المعامل القاطع E لقيم مختلفة من ϵ ، وباستخدام تحليل
التراجع الخطي يتم إيجاد الجزء المحصور للتقاطع a والميل b (شكل رقم ٤٩). ويمكن
إيجاد المتغيرات a و b باختبار خاص لمقياس الضغط، كما هو موصوف في شكل رقم
(٢٧). وتجرى دورات إنزال التحميل - إعادة التحميل حول نفس الإجهاد الأفقي σ_{rr}
ولكن لقيم مختلفة من $\epsilon_{\theta\theta}$. يحسب المعامل E لكل حلقة (دورة تحميل) باستخدام المعادلة

٩١ ، يحسب الانفعال المحيطي المتزايد بالنسبة لكل حلقة باستخدام معادلة ٨٦. ويحسب هذا الانفعال $\varepsilon_{\theta\theta}$ عند جدار التجويف. ويتناقص الانفعال في التربة كلما زادت المسافة القطرية. وقد تم احتساب متوسط الانفعال $\bar{\varepsilon}_{\theta\theta}$ في التربة كالتالي (Briaud et al., 1987) :

$$\bar{\varepsilon}_{\theta\theta} = 0.32\varepsilon_{\theta\theta} \quad (108)$$

يؤدي بالتالي الرسم البياني لـ I/E مقابل $\bar{\varepsilon}_{\theta\theta}$ إلى الحصول على قيم مقياس الضغط لـ a و b والتي تسمح بالحصول على المعامل لأي مستوى انفعال مطلوب. وتمت مقارنة معامل التماس المبدئي والذي تم الحصول عليه بهذه الطريقة بنجاح مع اختبارات اللوح الديناميكي صغيرة الحمل ، عند ثلاثة مطارات (البند ١٠٤ ، ١٤) (Briaud et al., 1987).

(٧، ١٣) المعاملات كدالة في مستوى الإجهاد

MODULI AS A FUNCTION OF STRESS LEVEL

يعتمد معامل التربة على مستوى الإجهاد الذي تم قياس المعامل عنده (شكل رقم ٥٠). إن النموذج العام المستخدم لوصف اعتمادية المعامل على الإجهاد هو نموذج قانون القوة (Janbu, 1963) ويكتب كالتالي :

$$E = k \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{n_\theta} \quad (109)$$

حيث θ هي متوسط الإجهاد العمودي الفعال ، p_a هو الضغط الجوي ، k هو رقم المعامل و n_θ هي القوة الجبرية للنموذج ، مع ملاحظة أن E لهذا النموذج عادة ما يشير إلى معامل التماس الابتدائي. وتُحسب المتغيرات k و n_θ بقياس معاملات التماس الابتدائي لقيم مختلفة من θ ، وبالرسم البياني لقيم E مقابل قيم θ/p_a ، وبإيجاد الميل n_θ وقيمة k عند $\theta/p_a=1$ (شكل رقم ٥٠). يمكن الحصول على المقادير k و n_θ بواسطة اختبار مقياس ضغط خاص ، كما وصف في شكل رقم (٢٦) في البند ١٤-٩ وكذلك بتحليل الارتداد الخطي. تؤدي دورات إنزال التحميل-إعادة التحميل على نفس مدى زيادة الانفعال $\varepsilon_{\theta\theta}$ ولكن عند مستويات مختلفة من الإجهاد النصف قطري σ_{rr} . ويختار

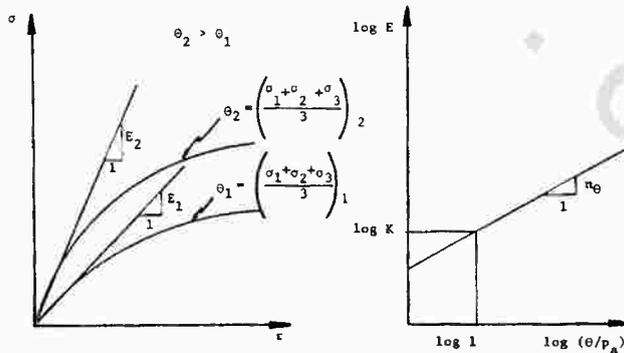
الانفعال $\epsilon_{\theta\theta}$ بحيث يكون صغيراً جداً ($\epsilon_{\theta\theta}=0.001$). يحسب المعامل E باستخدام المعادلة ٩١ لكل حلقة ويقرأ الإجهاد النصف قطري σ_{rr} من المنحنى عند منتصف الحلقة، حيث إن هذا الإجهاد النصف قطري عند جدار التجويف. يتناقص الإجهاد النصف قطري في التربة كلما زادت المسافة القطرية، إضافة لذلك يجب الأخذ في الاعتبار كلاً من الإجهاد المحيطي $\sigma_{\theta\theta}$ والرأسي σ_{zz} لحساب معدل متوسط الإجهاد العمودي θ . وحيث إن σ_{rr} و $\sigma_{\theta\theta}$ هما الإجهادات الرئيسية فيمكن التعبير عن θ كالتالي:

$$(110) \quad \theta = \frac{1}{3}(\bar{\sigma}_{rr} + \bar{\sigma}_{\theta\theta} + \bar{\sigma}_{zz})$$

حيث إن σ_{rr} ، $\sigma_{\theta\theta}$ ، σ_{zz} هي متوسط الإجهادات النصف قطرية و المحيطية والرأسية في التربة حول مقياس الضغط. وتختلف قيمة متوسط θ بناء على نوع التربة والفرضية، وقد قدم بيريود (Briaud et al., 1987) تقديراً مناسباً لها كالتالي:

$$(111) \quad \theta = \frac{1}{3}(0.8\sigma_{rr} + \sigma_{zz})$$

حيث إن σ_{rr} هو الإجهاد النصف قطري عند جدار التجويف والذي تم الحصول عليه من منحنى مقياس الضغط عند منتصف حلقة إنزال التحميل-إعادة التحميل، و σ_{zz} هو الإجهاد الرأسي عند عمق مقياس الضغط والذي تم حسابه من بيانات وحدة وزن التربة، و θ هو معدل متوسط الإجهاد العمودي في التربة حول مقياس الضغط.



شكل رقم (٥٠). المعاملات كدالة في مستوى الإجهاد.

نلاحظ في نموذج المعادلة ١٠٩ أن θ قد عبر عنها بالإجهاد الفعال، وعليه فإن σ_{zz} و σ_{rr} في المعادلة ١١١ يجب أن تكون إجهادات فعالة. ويتطلب الإجهاد الفعال تقدير ضغط الماء المسامي. فلو أُجري اختبار مقياس الضغط في تربة غير مشبعة، أو في تربة خشنة الحبيبات (رمل وحصى)، أو ببطء شديد في تربة ناعمة الحبيبات، فإن ضغط الماء المسامي الزائد سيكون صفرًا وبحسب ضغط الماء المسامي كضغط مسامي هيدروستاتيكي u_0 . وي طرح هذا ضغط الماء المسامي الهيدروستاتيكي من σ_{zz} و σ_{rr} قبل استخدامه في المعادلة ١١١ للحصول على معدل متوسط الإجهاد العمودي الفعال θ . وإذا أُجري اختبار مقياس الضغط في تربة مشبعة وناعمة الحبيبات فإن ضغط الماء المسامي الزائد u_e سيتواجد، وبذلك يصبح التقدير النظري لـ u والتوزيع النصف قطري ضرورياً (Carter et al., 1979; Baguelin et al., 1986b). وفي هذه الحالة لا يمكن استخدام المعادلة ١١١ مباشرة.

(٧.١٤) المعاملات كدالة في عدد الدورات

MODULI AS A FUNCTION OF THE NUMBER OF CYCLES

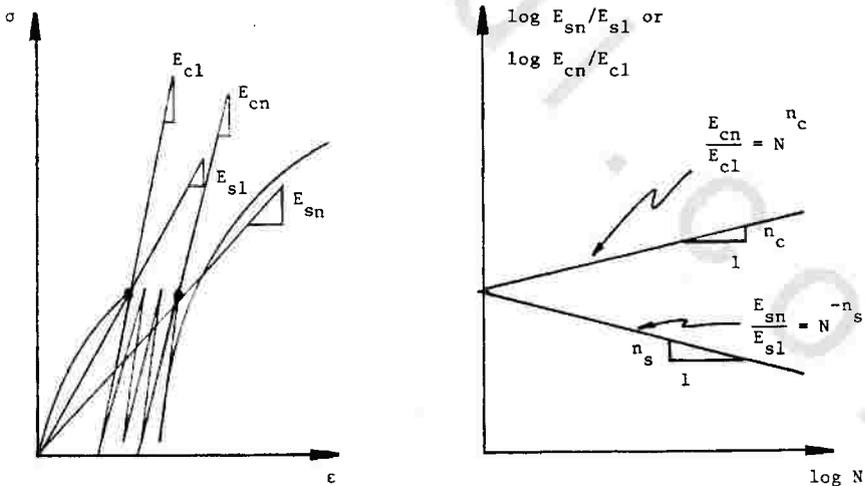
يعتمد معامل التربة على عدد دورات إنزال التحميل-إعادة التحميل المطبقة (شكل رقم ٥١). ويمكن استخدام نموذج قانون الطاقة لوصف استخراج المعاملات كلما زاد عدد الدورات (Idriss et al., 1978):

$$(١١٢) \quad E_{SN} = E_{Sl} N^{-n_s}$$

$$(١١٣) \quad E_{CN} = E_{Cl} N^{-n_c}$$

حيث إن E_{sn} و E_{sl} هما معاملا التقاطع عند أعلى الدورة الأولى والدورة N^{th} على التوالي، و E_{cn} و E_{cl} هما معاملا الدوران للحلقة الأولى وللحلقة N^{th} على التوالي، N هو عدد دورات إنزال التحميل-إعادة التحميل و n_s و n_c هما أس التخفيض الدوري. تحسب المتغيرات n_s و n_c وذلك بقياس معامل التقاطع والمعامل الدوري لعدد من الدورات. وبرسم لوغاريتم E_{sn}/E_{sl} مقابل لوغاريتم N نحصل على n_s وهو ميل أفضل

خط مستقيم لائق، وكذلك لوغاريتم E_{cn}/E_{cl} مقابل لوغاريتم N للحصول على n_c وهو ميل أفضل خط مستقيم لائق (شكل رقم ٥١). ويمكن الحصول على المتغيرات n_s و n_c من الاختبار الخاص لمقياس الضغط والذي تم وصفه في شكل رقم (٢٥). تجرى دورات إنزال التحميل - إعادة التحميل بين مستويات الإجهاد المناظرة للتحميل المتوقع من الأساس، ويوصى بأن يكون عدد الدورات ما بين ١٠ و ٢٠ دورة، حيث يحسب معامل التقاطع E_{sn} والمعامل الدوري E_{cn} لكل دوره N وذلك باستخدام المعادلة ٩١. بالنسبة لمعامل التقاطع E_{sn} فإن p_3 و $(\Delta R/R_o)_3$ في المعادلة ٩١ هما σ_{OH} و $(\Delta R/R_o)_c$ على التوالي (النقطة D في شكل رقم ٤٠)، وكذلك p_4 و $(\Delta R/R_o)_4$ في المعادلة ٩١ تناظر إحداثيات أعلى الدورة N^{th} وبالنسبة للمعامل الدوري E_{cn} فإن p_3 ، $(\Delta R/R_o)_3$ ، p_4 ، $(\Delta R/R_o)_4$ تحدد للدورة N^{th} كما هو موضح للدورة الأولى في شكل رقم (٤١ أ). ويؤدي رسم لوغاريتم E_{sn}/E_{s1} مقابل لوغاريتم N إلى إيجاد قيمة n_s بينما يؤدي رسم لوغاريتم E_{cn}/E_{c1} مقابل لوغاريتم N إلى إيجاد قيمة n_c (شكل رقم ٥١). وتسمح هذه القيم n_c و n_s مع المعادلتين ١١٢ و ١١٣ إلى توقع التجاوب حتى عدد كبير من الدورات.



شكل رقم (٥١). المعاملات كدالة في عدد الدورات.

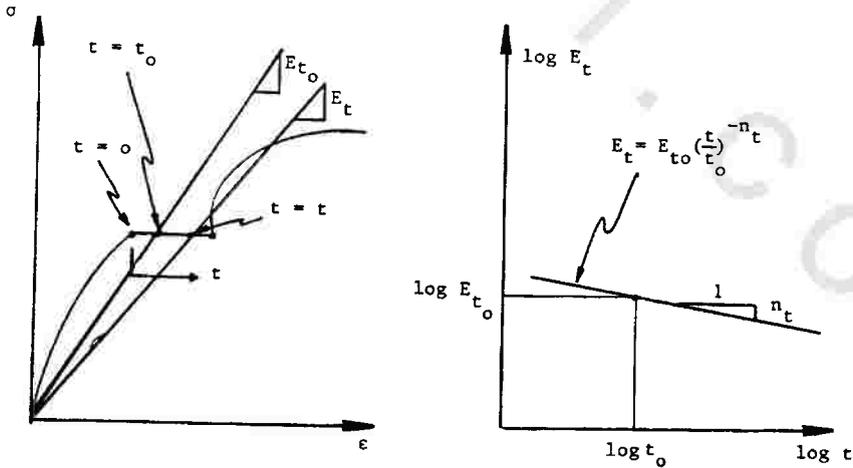
(٧, ١٥) المعاملات كدالة في مدة تطبيق الإجهاد

MODULI AS A FUNCTION OF THE DURATION OF THE APPLIED STRESS

يعتمد معامل التربة على مدة تطبيق الإجهاد (شكل رقم ٥٢). فكلما طالت مدة تطبيق الإجهاد كبر التشوه وبذلك يصغر معامل التقاطع. وقد أقتراح نموذج للزوجة لوصف اعتمادية معامل التربة على الوقت (Riggins, 1981):

$$(114) \quad E_t = E_{t_0} \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-n_t}$$

حيث إن E_{t_0} و E_t هما معاملا التقاطع عند الوقت t و t_0 على التوالي بعد بداية تطبيق الإجهاد و n_t هو أس اللزوجة. ويحسب المتغير n_t بقياس E_t كدالة في الوقت t ، ثم يرسم لوغاريتم E_t مقابل لوغاريتم t للحصول على n_t كميل أفضل مستقيم لائق (شكل رقم ٥٢). ويمكن الحصول على المتغير n_t من الاختبار الخاص لمقياس الضغط والذي تم وصفه في شكل رقم (٢٣). يحتفظ بهذا الضغط لمدة خمس دقائق أو من الأفضل عشر دقائق بعد الوصول إلى ضغط معين أثناء الاختبار، بينما يتم تسجيل الزيادة في



شكل رقم (٥٢). المعاملات كدالة في مدة بقاء الإجهاد.

حجم الأنبوب الأسطواني لكل دقيقة. وبحسب المعامل E_t لقراءة كل دقيقة بالمعادلة ٩١. وقيم p_3 و $(\Delta R/R_0)_3$ في المعادلة ٩١ هي σ_{OH} و $(\Delta R/R_0)_c$ على التوالي (النقطة D في شكل رقم ٤٠)، أما القيم p_4 و $(\Delta R/R_0)_4$ في المعادلة ٩١ هي إحداثيات النقطة الواصلة عند الوقت t بعد بداية خطوة الاحتجاز (شكل رقم ٥٢).

يؤدي رسم لوغاريتم E_t مقابل لوغاريتم t إلى القيمة n_t . تختار في العادة دقيقة واحدة كوقت مرجعي، وعلى هذا فإن قراءة لوغاريتم E_{t_0} عند قيمة لوغاريتم t_0 تعطي قيمة E_{t_0} . ويسمح هذا النموذج بتوقع المعامل لأي مدة تطبيق للإجهاد، ويطبق هذا النموذج على التربة على أن تتمذج كمادة لزجة مرنة.