الفصل الخامس

إجراء الاختبار
Running the Test

• إنزال الأنبوب الأسطواني • نفخ الأنبوب الأسطواني : الاختبار القياسي • اختبارات خاصة • سحب الأنبوب الأسطواني • تسلسل الاختبار • حالة خاصة للحفر العميقة الجافة

(٥,١) إنزال الأنبوب الأسطواني LOWERING THE PROBE

ينفخ الأنبوب الأسطواني بعد المعايرة ثلاث مرات لتجهيز المطاط عند حجمه الصفري، ثم تؤخذ المجموعة الأولى من القراءات الصفرية (الضغط p_5 ، الحجم v_5) عند ارتفاع مؤشر قياس الضغط. وبعد سحب لقمة الحفر مباشرة يربط الأنبوب الأسطواني بمجموعة من قضبان الحفر وينزل في الثقب، ويجب أن يكون الأنبوب الأسطواني مجوفاً ليسمح لوحل الحفر بالجريان بحرية ماراً بالأنبوب الأسطواني عند إنزاله. تميل الأنابيب الأسطوانية الصلبة لأحداث التأثير المكبسي غير المرغوب به عند إنزالها في ثقب حفر ضيقة ممتلئة بالوحل.

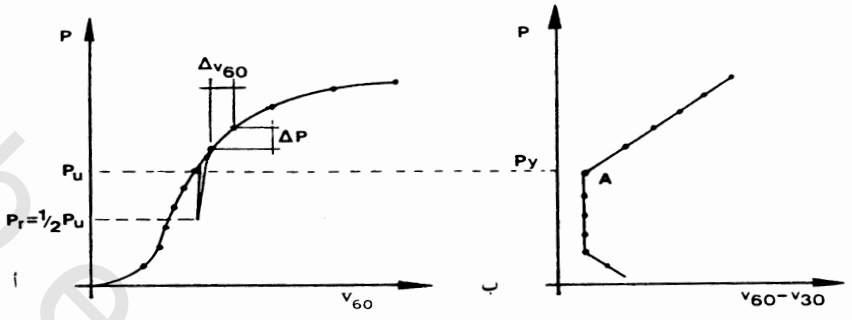
تم وضع التوصيات الآتية للتركيب المناسب للأنبوب الأسطواني. يجب التأكد من وجود مساحة كافية لماسورة مقياس الضغط بين القضبان وجدار ثقب الحفر. لابد أيضا أن تظل الماسورة مشدودة أثناء إنزال الأنبوب الأسطواني وأن يربط بشريط مع القضبان

كل ثلاثة أمتار. باستطاعة شخصين هز الأنبوب الأسطواني لأعلى ولأسفل بمفتاحي ربط على القضبان حتى تتوسع تلك المنطقة الضيقة. إذا واجه الأنبوب الأسطواني منطقة ضيقة في ثقب الحفر والتي عندها لا يستطيع النزول أكثر تحت وزن القضبان، وأياً كانت الظروف فالأنبوب الأسطواني لا يجب أن يدفع بضغط هيدروليكي من جهاز الحفر. أما عمق الاختبار فهو العمق إلى منتصف الجزء القابل للانتفاخ في الأنبوب الأسطواني، وعندها تؤخذ قراءات جديدة للضغط p_6، والحجم v_6.

(٥,٢) نفخ الأنبوب الأسطواني : الاختبار القياسي

INFLATING THE PROBE: THE STANDARD TEST

يمكن نفخ الأنبوب الأسطواني كما في معايرة الغشاء المطاطي بسلسلة من زيادات الضغط المتساوية (طريقة A)، أو عن طريق سلسلة من زيادات الحجم المتساوية (طريقة B). وفي اختبارات زيادة الضغط (طريقة A) يمكن تقدير حد ضغط التربة المتوقع (الضغط المقابل للنقطة D في شكل رقم ٦) باستخدام جدول رقم (٨). تختار الزيادة في الضغط كعُشر حد الضغط المتوقع. وتستمر كل زيادة ضغط Δp دقيقةً واحدةً متضمنةً الوقت الكافي لزيادة الضغط بمقدار Δp.ولكل زيادة ضغط تؤخذ قراءة الحجم المدخل بعد ٣٠ ثانية v_{30} ، وبعد ٦٠ ثانية v_{60} . يصل الاختبار عادة إلى حد ضغط التربة الأقصى بعد عشر زيادات في الضغط للاختبار ذي العشر دقائق، وعملياً يصل الاختبار الجيد إلى حد ضغط التربة الأقصى بعد ٧ - ١٤ زيادة في الضغط. يظهر المنحنى النموذجي للبيانات الأولية في شكل رقم (١٨أ)، وهو يمثل العلاقة بين قراءات الضغط p وقراءات الحجم عند ٦٠ ثانية v_{60}. ويوضح شكل رقم (١٨ب) نشوء v_{60}-v_{30} ، وهو قياس زحف التربة كدالة في مستوى الضغط. تبدأ التربة في الخضوع عندما تبدأ قيمة v_{60}-v_{30} في الزيادة الملحوظة (نقطة A في شكل رقم ١٨ أ و ب).



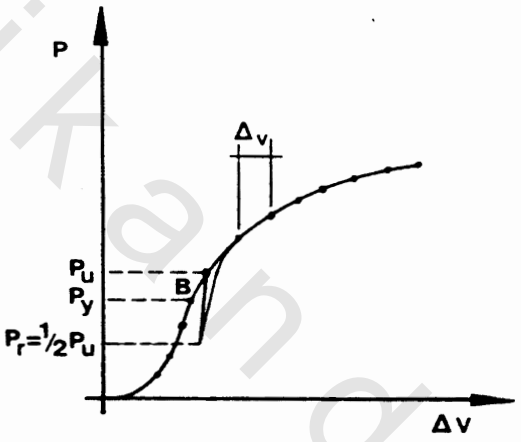
شكل رقم (١٨). طريقة زيادة الضغط.

جدول رقم (٨) : المبادئ الأساسية لتقدير الضغط النهائي للتربة.

التربة	مقياس الضغط p_L (kPa)	عدد الضربات SPT N (ضربة/٣٠ سم)	قوة القص غير المصرفة S_u (kPa)
رمل مفكك	٠ - ٥٠٠	٠ - ١٠	
متوسط	٥٠٠ - ١٥٠٠	١٠ - ٣٠	
كثيف	١٥٠٠ - ٢٥٠٠	٣٠ - ٥٠	
كثيف جداً	٢٥٠٠ <	٥٠ <	
طين رخو	٠ - ٢٠٠		٠ - ٢٥
قوي	٢٠٠ - ٤٠٠		٢٥ - ٥٠
قاس	٤٠٠ - ٨٠٠		٥٠ - ١٠٠
قاس جداً	٨٠٠ - ١٦٠٠		١٠٠ - ٢٠٠
صلب	١٦٠٠ <		٢٠٠ <
ملاحظة : ١ سم = ٠,٠٣٣ قدم و١٠٠ كيلو باسكال = ١,٠٤٤ طن/قدم^2			

يزداد حجم جزء الأنبوب الأسطواني القابل للانتفاخ في زيادات مساوية لـ $V_O/40$ في اختبارات زيادة الحجم (طريقة B) ، تستغرق كل خطوة زيادة حجم ١٥ ثانية متضمنةً الوقت الكافي لزيادة الحجم بمقدار Δv . وتؤخذ قراءة الضغط p_{15} لكل زيادة

حجم عند نهاية الزيادة ذات الـ ١٥ ثانية. ويصل الأنبوب الأسطواني مرتين لحجمه الابتدائي V_o بعد ٤٠ زيادة حجم للاختبار ذي العشر دقائق. ويظهر منحنى البيانات النموذجي في شكل رقم (١٩)، وهو يمثل العلاقة بين قراءات الضغط عند ١٥ ثانية p_{15} وبين الزيادة في حجم الأنبوب الأسطواني v_3. وتبدأ التربة في الخضوع في نهاية الجزء المستقيم من المنحنى (نقطة B في شكل رقم ١٩).



شكل رقم (١٩). طريقة زيادة الحجم.

الشكلان رقما (٢٠ و ٢١) مثالان لأوراق بيانات طريقة اختبار زيادات الضغط وزيادات الحجم على الترتيب . وهي مفيدة، لأسباب ستشرح لاحقاً، لتنفيذ دورة إنزال الحمل-إعادة التحميل في نهاية الجزء الخطي من منحنى مقياس الضغط (شكلان رقما ١٨ و ١٩). ويتم الحصول على نهاية الجزء الخطي من المنحنى أثناء الاختبار باتباع أثر الزيادات المتتالية في الحجم Δv_{60} (شكل رقم ١٨أ) لاختبارات الزيادة في الضغط، وباتباع أثر الزيادات المتتالية في الضغط Δp_{15} (شكل رقم ١٩) لاختبارات الزيادة في الحجم. حيث

إن قيمة Δv_{60} أو Δp_{60} ثابتة نسبياً أثناء الجزء الخطي من المنحنى، ومن ثم تتزايد أو تتناقص على التوالي عندما تبدأ التربة في الخضوع. سيتناقص الضغط عند ذلك إلى نصف قيمته في زيادة واحدة، ويزداد مرة أخرى في زيادة واحدة، كما يظهر في الشكلين رقمي (١٨ و ١٩). تثبت هذه الزيادات حتى قبل دورة إنزال-إعادة التحميل.

رقم التجربة = V_o للأنبوب الأسطوانى =

رقم ثقب الحفر = R_o للأنبوب الأسطوانى =

ارتفاع الجهاز عن سطح الأرض = العمق =

الضغط	الحجم		الزيادة الحجمية	الضغط	الحجم		الزيادة الحجمية
p	v_{30}	v_{60}	Δv	p	v_{30}	v_{60}	Δv

شكل رقم (٢٠). نموذج بيانات اختبار زيادة الضغط. الطريقة A.

رقم التجربة = V_o للأنبوب الأسطواني =

رقم ثقب الحفر = R_o للأنبوب الأسطواني =

ارتفاع الجهاز عن سطح الأرض = العمق =

الضغط	الحجم	الزيادة الضغطية		الضغط	الحجم	الزيادة الضغطية
p_{15}	v	Δp_{15}		p_{15}	v	Δp_{15}

شكل رقم (٢١). نموذج بيانات اختبار زيادة الحجم. الطريقة B.

obeikandl.com

(٥,٣) اختبارات خاصة SPECIAL TESTS

يمكن من الاختبار القياسي المشروح في البند ٥,٢ إيجاد الثوابت الاصطلاحية لمقياس الضغط مسبق الحفر، ونقصد بها معامل التحميل الأول لمقياس الضغط E_O، ومعامل إعادة التحميل لمقياس الضغط E_R، وحد الضغط p_L ، وهذه الثوابت ستعرف في الفصل السابع. تستخدم إجراءات اختبار خاصة إذا أريد البحث عن ثوابت أخرى.

يقدر معامل ضغط التربة عند السكون K_O من بداية منحنى الضغط (AB في شكل رقم ٦)، وفي هذه الحالة لابد أن تعرف بداية المنحنى بشكل جيد. يتطلب ذلك استخدام زيادات الحجم الصغيرة ($\Delta v = V_O/40$) أو زيادات ضغط صغيرة كافية (مثل $\Delta p = p_L/40$) لجمع نقاط كافية في بداية المنحنى . ولابد أن تستغرق كل خطوة وقتاً كافياً للحصول على قراءات ثابتة. وسوف تشرح خطوات حساب K_O في الفصل السابع ، والاختبار موضح في شكل رقم (٢٢).

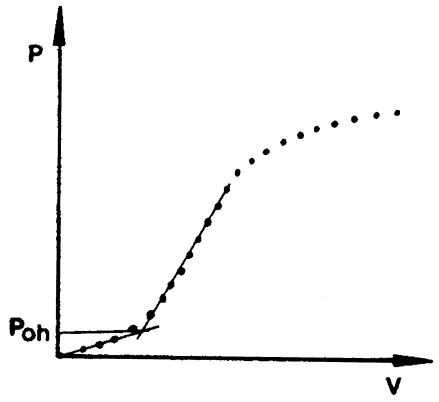
تدرس خواص الزحف والاندماج للتربة بإجراء اختبار بطريقة خاصة. وفي هذه الحالة يتم اختيار ضغط p أثناء الاختبار القياسي، ويثبت هذا الضغط p، بينما تؤخذ قراءات الزيادة في الحجم والزمن (ولنقل ٠,٢٥ ، ٠,٥٠ ، ١ ، ١,٥ ، ٢ ، ٣ ، ٥ ، ١٠ دقائق). ويمكن تنفيذ عدد من هذه الخطوات للضغط عند عدة مستويات ضغط لدراسة خواص التربة المتأثرة بالوقت كدالة عن مستوى الإجهاد (الفصل السابع). وكبديل لهذه الطريقة يمكن تثبيت حجم الأنبوب الأسطواني لمدة عشر دقائق، وبهذا يمكن دراسة خواص الاسترخاء للتربة. وإذا كانت خطوات الضغط أو الحجم لمدة أقل مما يسمح الاختبار القياسي فهذا يُمكن من دراسة تأثير معدل التحميل على رد فعل التربة، وهذا الاختبار موضح في الشكلين رقمي (٢٣ و ٢٤).

يمكن التحقق من الخواص الدورية للتربة، وذلك بتطبيق سلسلة من الدورات أثناء الاختبار. وعند الوصول إلى ضغط معين يتم ترديد الضغط بين ضغطين مختارين. وهنالك طريقة أخرى، حيث يمكن إجراء الدورات بين حجمين مختارين. ويمكن تنفيذ سلسلة من الدورات تتراوح ما بين ١٠و٢٠ دورة أثناء مدة زمنية معقولة ويوثق الانخفاض في المعامل القصي للتربة كدالة على عدد الدورات (الفصل السابع)، والاختبار موضح في شكل رقم (٢٥).

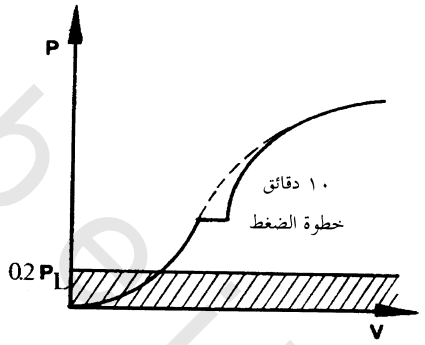
يمكن دراسة تأثير مستوى الإجهاد على معامل التربة بإجراء دورات (إزالة وإعادة التحميل) عند مستويات متغيرة للضغط الأفقي أثناء الاختبار، حيث إنه من الضروري التأكد من أن التغير في الحجم بين أقصى ضغط وأقل ضغط في الدورة يبقى ثابتاً لجميع الدورات، وهذا يضمن الحصول على المعاملات عند نفس مدى الانفعال، وهذا الاختبار موضح في شكل رقم (٢٦).

يمكن أيضاً دراسة تأثير مستوى الانفعال على معامل التربة وذلك عن طريق إجراء دورات من إزالة وإعادة التحميل لنطاقات مختلفة من تغيرات في الحجم .وفي هذه الحالة فإنه من الضروري تمركز الدورات حول ضغط متوسط أفقي مختار .وهذا يضمن أن المعاملات أوجدت عند نفس متوسط مستوى الإجهاد. هذا الاختبار موضح في شكل رقم (٢٧).

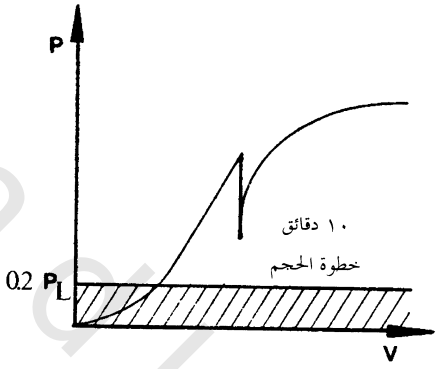
تتطلب هذه الاختبارات الخاصة إجراء معايرات مناظرة خاصة.وتجرى هذه المعايرات باتباع سلسلة من التغيرات في الضغط والحجم والتي تحدث خلال الاختبار الخاص. ولا تعطي اختبارات الزحف الدورية ومستوى الإجهاد ومستوى الانفعال نتائج موثوقة إذا تضمنت ضغوطاً أقل من ٢٠ ٪ من حد ضغط التربة خلال الجزء الخاص من الاختبار.



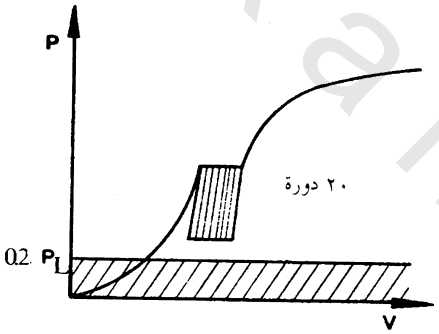
شكل رقم (٢٢). اختبار معامل السكون K_o.



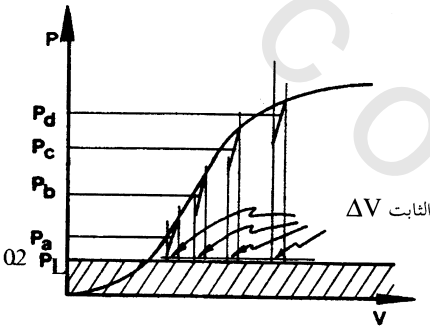
شكل رقم (٢٣). اختبار زحف الاندماج.



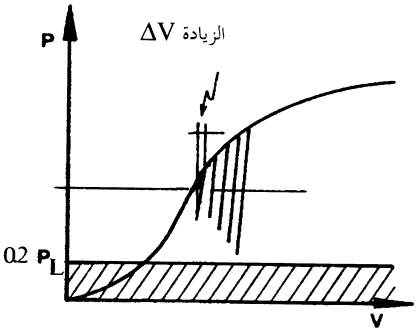
شكل رقم (٢٤). اختبار الاسترخاء.



شكل رقم (٢٥). اختبار دوري.



شكل رقم (٢٦). اختبار تأثير مستوى الإجهاد.



شكل رقم (٢٧). اختبار تأثير مستوى الانفعال.

obeikandl.com

(٥,٤) سحب الأنبوب الأسطواني WITHDRAWING THE PROBE

يمكن سحب الأنبوب عندما يتم تفريغ الأنبوب الأسطواني تماماً من الهواء للخارج بالسلك الموجود على جهاز الحفر .ولابد أن تصعد مجموعة الأنبوب الأسطواني - القضيب إلى أعلى بكل سهولة . وإذا تعذر ذلك (بوجود شد عالٍ في الكيبل) فإنه يكون بسبب التصاق الأنبوب الأسطواني بالتربة أو بسبب انهيار الثقب في أعلى الأنبوب الأسطواني . وتحدث مشكلة الالتصاق كثيراً في الطين اللدن الصلب، وإذا التصق الأنبوب الأسطواني بالتربة، فإنه من الصعب تفريغه من الهواء. وفي هذه الحالة يتم تفريغ الأنبوب الأسطواني بقدر المستطاع وسحبه للأعلى بالسلك لمسافات صغيرة (ولنقل ٥ مم) ومن ثم يدفع لأسفل بواسطة شخصين باستخدام مفاتيح ربط الأنبوب على القضبان، ويعاد متابعة هذا القص الدوري بزيادة الحركة لأعلى ببطء دائماً مع الاستمرار بتفريغ الهواء من الأنبوب الأسطواني إن كان ممكناً حتى يفك التصاق الطين، وبذلك يتحرر الأنبوب الأسطواني. ويحدث الالتصاق للأنبوب الأسطواني عادة عندما يتم الحفر باستخدام الماء، وأبسط الطرق لتجنب الالتصاق هو استخدام وحل الحفر المعد سابقاً، وهو كتلة من الوحل تستخدم لتشحيم جدار ثقب الحفر وعادة ما تمنع مشكلة الالتصاق. يمكن طلاء الجزء القابل للانتفاخ من الأنبوب الأسطواني كبديل آخر بطبقة رقيقة من شحم السليكون.

وفي بعض الأحيان ينهار الثقب في الرمل المتفكك في بعض الأحيان عندما لا يكون وحل الحفر سميكاً بدرجة كافية، وفي هذه الحالة يوصى بعمل نفس التتابع المستخدم لحل مشكلة الالتصاق في الطين، وعدم استخدام السحب الدوري يؤدي إلى حشر الأنبوب الأسطواني في الرمل وتصبح الأمور أكثر سوءاً. إلا أن العملية التدويرية لأعلى وأسفل تضعف التربة وتحرر الأنبوب الأسطواني.

لابد أن تبقى المواسير مشدودة خلال استرجاع الأنبوب الأسطواني وينظف الأنبوب الأسطواني عند إخراجه من الثقب، حيث يتم نفخ الأنبوب الأسطواني أثناء

تنظيف الغلاف الخارجي من أي حبيبات حادة ، وينظف أيضاً الجزء المجوف من الأنبوب الأسطواني، وهذا يضمن جريان الوحل بحرية من خلال الأنبوب الأسطواني عند إنزاله مرة أخرى.

(٥, ٥) تسلسل الاختبار TESTING SEQUENCE

يجب حفر ثقب الحفر بما يكفي لإجراء اختبار واحد ، فإذا كانت الاختبارات المطلوبة عند ٣، ٦ ، ٩ ، ١٢ متراً عندئذٍ يحفر الثقب إلى أربعة أمتار تقريباً (لجعل مساحة لهبوط مخلفات الحفر) ،فتسحب لقمة مثقاب الحفر والقضبان، وعلى الفور ينزل الأنبوب الأسطواني داخل ثقب الحفر، حتى يكون عمق منتصف الجزء القابل للاتساع من الأنبوب الأسطواني ثلاثة أمتار. يسحب الأنبوب الأسطواني بعد الاختبار ويحفر الثقب إلى سبعة أمتار.وتسحب اللقمة وينزل الأنبوب الأسطواني لاختبار الستة أمتار، وهكذا دواليك . أبطأ هذا التتابع من حفر ١٤ متراً دفعة واحدة، ومن ثم إجراء اختبار عند الأعماق الأربعة المطلوبة .ومع ذلك ففي هذه الحالة غالباً ما يكون الاختبار الأعمق (١٢ م) هو الاختبار الجيد ؛ حيث إنه من المحتمل أن يكون قطر الثقب في الاختبارات العليا (٣ ، ٦ ، ٩)كبيراً جداً.

ومن المتوقع أن تجرى ثمانية اختبارات مقياس ضغط في المتوسط في اليوم ذي الثماني ساعات عمل، ويتغير هذا العدد من الاختبارات بين ٥و ١٢ اختباراً . ينفجر في بعض الأحيان الغشاء أثناء الاختبار ويندر حدوث هذا في الطين والطمي والرمل الناعم، إلا أنه ممكن في التربة الحصوية عندما تكسر اللقمة حبيبات الحصى الكبيرة، لأن أجزاء من الحبيبات تحشر بين شرائح الفولاذ المتشابكة لغلاف الأنبوب الأسطواني وتثقب المطاط. و يقل هذا الخطر بالتنظيف الداخلي للأنبوب الأسطواني بعد كل اختبار. ويمكن للأنبوب الأسطواني أن ينفجر أيضاً في التربة الصلبة عندما يكون قطر ثقب الحفر كبيراً جداً، وسبب ذلك أنه عندما يلامس الأنبوب الأسطواني المنفوخ

التربة ويصبح الضغط عالياً، بينما يكون الغلاف غير ملامس عند طرفي الأنبوب الأسطواني. وتقل هذه المشكلة بعدم السماح للضغط بتجاوز ٢٥٠٠ كيلوباسكال عندما يكون قطر ثقب الحفر كبيراً (قطر ثقب الحفر >١,٢ قطر الأنبوب الأسطواني).

(٥,٦) حالة خاصة للحفر العميقة الجافة SPECIAL CASE OF DEEP DRY HOLES

يساوي الفرق في الضغط ، في مقاييس الضغط الهيدروليكية ، بين الأنبوب الأسطواني ومؤشر القياس في وحدة التحكم، الفرق في الارتفاع بين الأنبوب الأسطواني ومؤشر القياس مضروباً في وحدة الوزن للماء في نظام مقياس الضغط، كما هو مشروح في البند ٢,١.

إذا تم الحفاظ على الضغط في وحدة التحكم ثابتاً عند الضغط الجوي فالضغط في الأنبوب الأسطواني يزداد في ثقب الحفر. وإذا كان ثقب الحفر مملوءاً بالماء أو وحل الحفر فالضغط الهيدروستاتيكي في الوحل يتوازن مع الضغط في الأنبوب الأسطواني، ويبقى حجم الأنبوب الأسطواني ثابتاً . أما في حالة الحفر الجافة العميقة فإن الضغط خارج الأنبوب الأسطواني لا يزداد مع العمق، في حين يتسع الأنبوب الأسطواني غير المحصور. وإذا أصبح عمق الاختبار، وبالتالي الضغط، كبيراً جداً (مثلاً ١٠ م) فإن الأنبوب الأسطواني ينتفخ إلى أن يلامس جدار ثقب الحفر وربما التصق بسبب الضغط الأفقي المفرط.

يفضل في حالة الحفر الجافة العميقة استخدام مقاييس الضغط مسبقة الحفر المصممة لاختبار الصخور (البند ٢,٣)، وتنفخ هذه الأجهزة إما بغاز لتجنب مشكلة الضغط الهيدروستاتيكي في الأنبوب الأسطواني أو بالنفخ الهيدروليكي بمضخة المكبس الموضوعة مباشرةً فوق الأنبوب الأسطواني وتتبعه داخل الثقب .وبشكل عام، إذا كان مستوى الماء عميقاً وبالإمكان حفر الثقب بالهواء، فإن الاحتمالية تزداد بأن تكون التربة صلبة جداً، وعلى هذا فإن مقاييس الضغط مسبقة الحفر الخاصة بالصخور تصبح ملائمة نظراً لقوة التربة.