

地盤のセルフボーリングプレッシャーメータ 試験方法

Method for self-boring pressuremeter test of the ground

1 適用範囲

この基準は、掘削部を有するプローブを用いて、試験孔の掘削作業の後にプローブを抜くことなく孔壁面を一樣な圧力で載荷して地盤の変形特性を求めるためのプレッシャーメータ試験方法について規定する。試験対象は、掘削及び試験が可能な地盤とする。

2 引用規格及び基準

次に掲げる引用規格は、この基準に引用されることによって、その一部又は全部がこの基準の要求事項を構成している。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS A 0207 地盤工学用語

3 用語及び定義

この基準で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、JIS A 0207による。

3.1

孔壁圧力, p

加圧部がゴムチューブを介して孔壁に加える載荷圧力

3.2

有効孔壁圧力, p'

孔壁圧力から試験深さにおける孔内の流体圧力を減じた値

3.3

孔壁ひずみ, ε_c

孔壁変位を試験孔の初期圧力時半径で割った値

3.4

孔壁変位, Δr

真円と仮定した試験孔の半径の初期圧力時からの変位量

3.5

容積変化, ΔV

容積計で測定した加圧部の容積の初期圧力時からの変化量

3.6

プレッシャーメータ曲線

有効孔壁圧力と孔壁ひずみとの関係を示す曲線

2

0000 : 0000

3.7

初期圧力 (リフトオフ圧力), p_0

孔壁圧力と孔壁変位との関係の初期勾配が急変するときの孔壁圧力

3.8

せん断剛性率, G

せん断応力とせん断ひずみとの比であり、プレッシャーメータ曲線の直線部の勾配を用いて算出する値

3.9

変形係数, E_D

試験で求めた新規载荷部のせん断剛性率よりポアソン比を仮定して算出する値

3.10

接線弾性係数, E_t

試験で求めた除荷・再载荷の繰返し载荷部の直線部分のせん断剛性率よりポアソン比を仮定して算出する値

3.11

割線弾性係数, E_s

試験で求めた除荷・再载荷の繰返し载荷部の始点と終点とを結ぶ直線のせん断剛性率よりポアソン比を仮定して算出する値

3.12

降伏圧力, p_y

初期圧力を超えて载荷して、プレッシャーメータ曲線の勾配が一定の部分以降に急変し始めたときの有効孔壁圧力

3.13

試験深さ

地表から加圧部の中心までの深さ

4 試験装置

4.1 試験装置の構成

試験装置は、プローブ、圧力発生部、制御・測定部、ホース・ケーブル類及び支持部からなり、その他に掘削部を併せ持つ。プローブのゴムチューブを保護する必要がある場合には、ゴムチューブの外側に被覆部材を設けてもよい。

注記 試験装置の基本構成の例を図 1 に示す。掘削機構は、地上に設けるタイプもある。

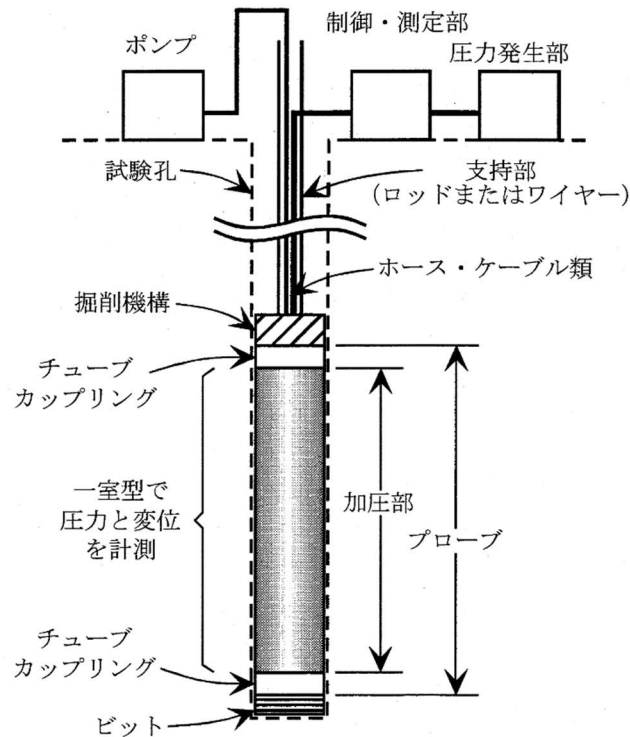


図1—セルフボーリング方式のプレッシャーメータ試験装置の例

4.2 プローブ

プローブは、次の条件を満たすものとする。

- a) ゴムチューブに覆われた加圧部及びチューブカップリングからなる。
- b) 加圧部は、十分な長さを有するものとする。加圧部の長さは、長さ/直径の比が6以上とすることが多い。なお、直径とは加圧部の無膨張時の直径で、56 mm以上が望ましい。

4.3 圧力発生部

圧力源、容積計などからなる。圧力源は、高圧ガスポンベによるガス圧や、ポンプによる非圧縮性の液圧を用いる。液圧は使用する環境で凍結しないものを用いる。ガス圧は容積計内で液圧に転換され、圧力媒体を連結するホースを通じてプローブに伝達される。

4.4 制御・測定部

圧力計及び圧力制御装置並びに孔壁変位の測定装置からなる。

- a) 圧力計は、孔壁圧力を測定するもので、地上部又はプローブ内に設置する。なお、孔壁圧力の測定精度は、測定最大圧力の1/2000程度が望ましい。
- b) 圧力制御装置は、加圧コックの開閉などを利用して圧力源からの圧力を制御するもので、圧力計を有するもの。
- c) 孔壁変位の測定装置には、次の2種類がある。なお、孔壁変位の測定精度は、1/100 mm程度を基本とし、硬岩の場合1/1000 mm程度が望ましい。
 - 1) 加圧部の容積変化を計測する装置は、加圧部に注入された液体の体積を容積計に設置した変位計で計測する。
 - 2) 加圧部の孔径変化を計測する装置は、プローブに設置した変位計で直径の変化を計測する。

4.5 ホース・ケーブル類

ホース・ケーブル類は、次の条件を満たすものとする。

- a) 圧力媒体を連結するホース及び制御・計測の信号を伝達するケーブルからなる。
- b) 圧力媒体のホースは、加圧に対する膨張量の少ないものを用い、圧力発生部からプローブまで圧力の伝達ロスが生じないように十分な送水断面を有するものとする。
- c) 計測及び制御の信号を伝達するケーブルは、絶縁・耐圧・防水性能が十分に高いものとする。

4.6 支持部

プローブを昇降及び保持するためのロッド又はワイヤーとする。

4.7 掘削部

掘削部は、試験孔を掘削するためのビット、ビットに回転力及び軸力を伝達するための掘削機構、掘削流体を送出するためのポンプからなる。

5 試験の準備

5.1 装置の組み立て

試験に先立ち、試験装置が安全に動作することを確認し、プローブ、圧力発生部、制御部をホース並びにケーブルにより接続する。

5.2 キャリブレーション

5.2.1 一般事項

キャリブレーションは、計測器及び計測誤差に対する補正量について実施する。

5.2.2 計測器に対するキャリブレーション

圧力計、容積計、変位計のキャリブレーションは、一連の現場試験に先立って実施する。また、それぞれの計測器やロガーを修理や交換した直後にも実施する。

5.2.3 孔壁圧力、孔壁変位の計測誤差に対するキャリブレーション

孔壁圧力、孔壁変位の計測誤差に対するキャリブレーションは、次の方法で行う。

a) 孔壁圧力の計測誤差に対する補正量

- 1) ゴムチューブの張力による孔壁圧力の補正量は、プローブを鉛直に立てて無拘束の状態に加圧部を膨張させ、加圧部の容積変化又は孔径変化に対する載荷圧力の変化として求める。
- 2) このキャリブレーションは、ゴムチューブを最大膨張範囲まで3回以上膨張させて、可逆的な挙動が確認された後に実施する。

b) 孔壁変位の計測誤差に対する補正量

- 1) 加圧部の容積変化を計測して孔壁変位を求める場合には、十分な剛性をもつパイプ中でプローブの外径を拘束した状態で加圧するキャリブレーションを行い、載荷圧力の変化に対する容積変化として求める。その際、プローブと圧力発生部とを連結するホース中の気泡は測定前に除去しておく。
 - 2) 加圧部の孔径変化を計測して孔壁変位を求める場合には、十分な剛性を持つパイプ中でプローブの外径を拘束した状態で加圧するキャリブレーションを行い、載荷圧力の変化に対する内径変化として求める。
- c) 実施時期は、同一サイトで行う一連の試験に先立って実施する。また、加圧部のゴムチューブを交換した場合にも実施する。

5.3 掘削

試験孔の掘削は、掘削部を備えた装置を使用して、地盤及び掘削の状況を考慮して適切に掘削する。孔壁の応力状態が変化することなく、加圧部と孔壁とが密着した状態でプローブを挿入することを理想とする。加圧部と

孔壁とのクリアランスが大きすぎて応力解放を許したり，不適切な掘削や小さめに掘削した孔にプローブを無理に押し込むことにより孔壁を乱したりすることがないように十分に注意する。

5.4 試験箇所の選定

試験に際しては，試験の目的や数量，地質・地盤の状況などを考慮して試験箇所を選定する。試験箇所の間隔は，隣接する試験箇所の荷重の影響がないように十分な距離を保つ。なお，試験箇所の最小の間隔は，加圧部の長さの1.5倍以上が望ましい。

6 試験方法

6.1 プローブの設置

プローブの設置箇所まで試験孔を掘削する。プローブの位置，荷重及び計測のシステムを確認した後，試験を行う。試験は，試験孔の掘削が終了してから15分～30分程度の静置時間をとった後に開始することが多い。

6.2 荷重圧力の最大値

試験の目的や地質・地盤の状況，装置の加圧性能を考慮して荷重圧力の最大値を設定する。荷重圧力の最大値は，試験の目的で対象とする応力レベルの2～3倍とすることが多い。

6.3 荷重パターン

荷重パターンは，次のとおり設定する。

- 荷重パターンは，連続的な単調荷重を基本とし，必要に応じて除荷・再荷重のループを含めた繰り返し荷重を行う。荷重パターンの例を図2に示す。
- 繰り返し荷重の繰り返し幅は，小ひずみから大ひずみへと変化させる。また，除荷時にはゴムチューブを孔壁から離さないようにする。
- 除荷・再荷重による繰り返しループは，線形弾性で見なせる範囲で行うことが望ましい。また，繰り返し荷重の大きさは，繰り返しループで生じる孔壁ひずみが微小で弾性的な挙動が認められる範囲に留めるようにするため，除荷直前の孔壁圧力の1/2以下とすることが多い。
- 荷重・除荷を反転する際には，一定の孔壁圧力の下で孔壁変位が時間と共に変化しないこと，又は一定の孔壁変位の下で孔壁圧力が時間と共に変化しないことを確かめてから行うことが望ましい。

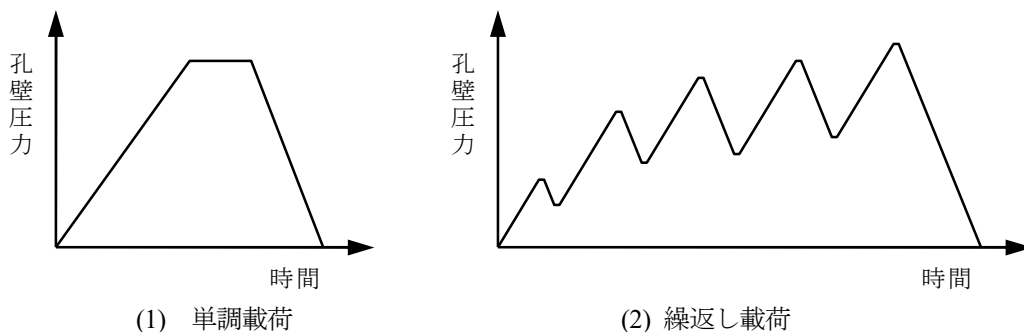


図2—荷重パターンの例

6.4 荷重の制御方法

荷重の制御は，圧力制御又は変位制御，あるいはその二つの組合せのいずれかにより行う。リフトオフ（膨張が開始する点）までは，圧力制御により一定の荷重速度で加圧し，リフトオフ後に変位制御に切り替えることがある。

6.5 載荷速度及び除荷速度

載荷速度及び除荷速度は、載荷の制御方法に応じて一定になるように定めておく。圧力制御による場合には、載荷圧力の最大値を考慮して適切に定めることが望ましい。また、変位制御による場合には、想定される最大孔壁ひずみを考慮して、孔壁ひずみの変化率が 0.05~1.0 %/分の範囲となるように変位速度を設定することが望ましい。

6.6 試験の終了

試験は、以下の状態を確認して終了とする。

- a) 試験計画を完了した場合に、試験を終了する。
- b) 試験計画を完了しない段階で、ゴム膜が許容する最大変位に達した場合、計器の一つの測定範囲を超えた場合、試験を継続すると装置が損傷する可能性があるかと判断された場合、ゴム膜が破裂した場合には、試験計画が完了していない場合でも試験を終了する。

6.7 プロープの回収

プロープの回収は、次の手順で行う。

- a) 一連の載荷試験が終了した後、速やかにプロープを回収する。載荷によって孔壁を乱しているため、載荷圧力をゼロにした状態で放置すると孔壁が崩壊する可能性があることに注意する。
- b) プロープを地上に回収した時に、加圧部のゴムチューブに異常がないかどうかを観察・点検する。プロープの局所的な変形や表面に残された加圧の痕跡によって、載荷した孔壁面の状況の推測が可能な場合があることに留意する。

7 試験結果の整理

7.1 データの整理

データの整理は、次による。

- a) 測定した載荷圧力と孔径変化又は容積変化との関係から、キャリブレーションによって求めた補正関係を用いて、孔壁圧力 p と孔壁変位 Δr 又は容積変化 ΔV との関係を求める。
- b) 孔壁圧力と孔壁変位又は容積変化との関係から、初期圧力時の孔壁変位又は容積変化を求め、初期圧力時の孔半径 r_0 又は容積 V_0 を決定する。孔壁圧力と孔壁変位又は容積変化との関係から、**図 3** に示すように初期圧力 p_0 を初期圧力時の孔壁変位又は容積変化と共に求める。

注記 載荷を始める段階で理想的に孔壁に接触していると仮定するので、孔壁圧力が加わって孔壁変位又は容積変化が発生したリフトオフ時をリフトオフ圧力と等しいと仮定し、初期圧力 p_0 とする。

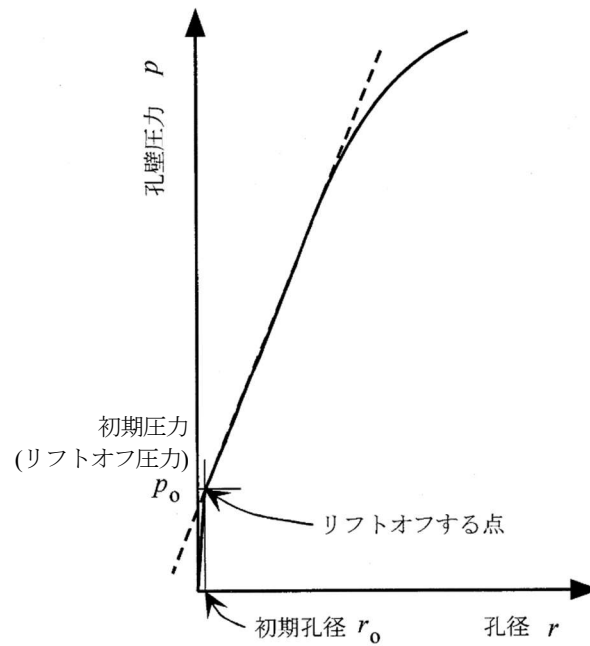


図3—孔壁圧力と孔壁変位との関係（単調荷荷の場合）

c) プレッシュャーメータ曲線を求める。

1) 有効孔壁圧力は式(1)により求める。

$$p' = p - u_0 \quad \text{----- (1)}$$

ここで、
 p' : 有効孔壁圧力 (kN/m²)
 p : 孔壁圧力 (kN/m²)
 u_0 : 荷荷区間の中心深さの孔内水圧 (kN/m²)

2) 孔壁ひずみは式(2)又は式(3)により求める。

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta r}{r_0} = \frac{r - r_0}{r_0} \quad \text{----- (2)}$$

ここで、
 ε_c : 孔壁ひずみ
 Δr : 孔径増分 (m)
 r_0 : 初期孔径 (m)
 r : 孔径 (m)

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta V}{2V_0} = \frac{V - V_0}{2V_0} \quad \text{----- (3)}$$

ここで、
 ΔV : 容積増分 (m³)
 V_0 : 初期容積 (m³)
 V : 容積 (m³)

7.2 地盤の変形特性値の算出

地盤の変形特性値の算出は、次による。

a) せん断剛性率を式(1)で算出する。

$$G = 0.5 \times \Delta p / \Delta \epsilon_c \text{ ----- (1)}$$

ここで、
 G : せん断剛性率 (kN/m²)
 Δp : 圧力～孔壁ひずみ曲線の直線部分における圧力増分 (kN/m²)
 $\Delta \epsilon_c$: 圧力～孔壁ひずみ曲線の直線部分におけるひずみ増分

プレッシャーメータ曲線よりせん断剛性率を算出する例を図4に示す。図4を参考に、式(1)を利用して以下に示す各種のせん断剛性率 G を求める。

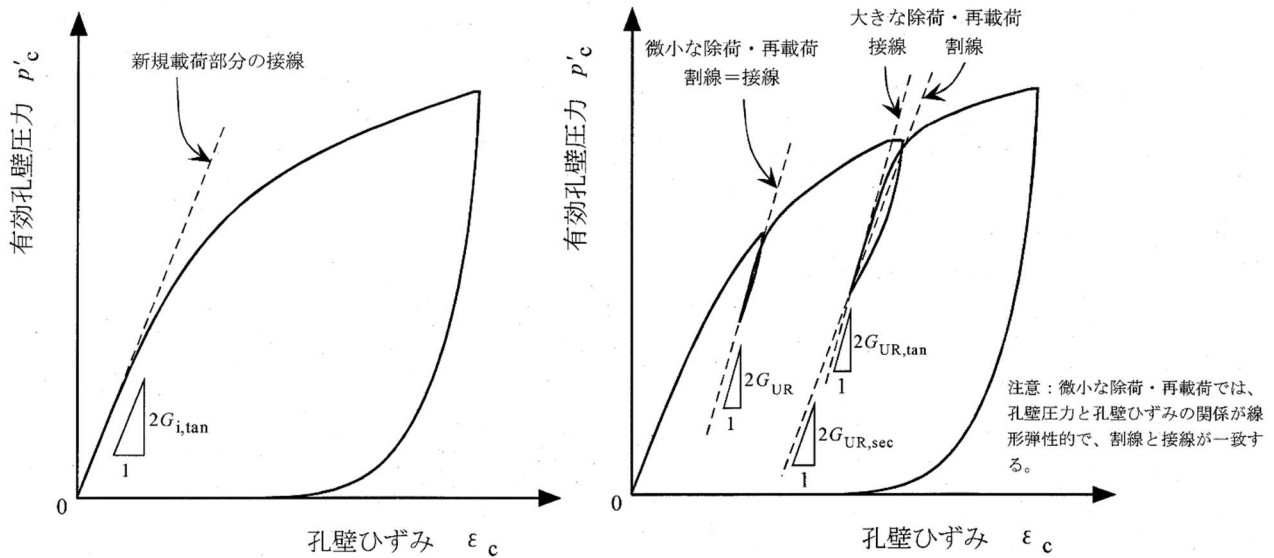
- ・新規载荷部分の接線より、新規载荷部の接線せん断剛性率 $G_{i,tan}$
- ・微小な除荷・再载荷部分の接線（割線）より、繰返し载荷部のせん断剛性率 G_{UR}
- ・大きな除荷・再载荷部分の割線より、繰返し载荷部の割線せん断剛性率 $G_{UR,sec}$
- ・大きな除荷・再载荷部分の接線より、繰返し载荷部の接線せん断剛性率 $G_{UR,tan}$

ポアソン比を仮定して、式(2)より変形係数又は弾性係数を算出する。

$$E = 2 (1 + \nu) G \text{ ----- (2)}$$

ここで、
 E : 変形係数又は弾性係数 (kN/m²)
 ν : ポアソン比

注記 試験で求めた新規载荷部のせん断剛性率よりポアソン比を仮定して算出する変形係数を E_D 、除荷・再载荷の繰返し载荷部の直線部分のせん断剛性率よりポアソン比を仮定して算出する接線弾性係数を E_t 、除荷・再载荷の繰返し载荷部の始点と終点とを結ぶ直線のせん断剛性率よりポアソン比を仮定して算出する割線弾性係数を E_s と表記する。



(1) 単調载荷の例

(2) 繰返し载荷の例

図4—プレッシャーメータ曲線よりせん断剛性率を算出する方法

8 報告事項

8.1 試験箇所の位置等に関する情報

試験箇所の位置等に関して、次の情報を報告する。

- a) 試験孔の位置及び地点番号
- b) 試験深さ
- c) 試験日時

8.2 試験箇所の地盤の状況

試験箇所の地盤の状況として、次の情報を報告する。

- a) ボーリングコアを得た場合には、試験箇所の土質、岩質などの状況を観察し記載する。
- b) 孔内水位、及び孔壁の状況を記載する。

8.3 試験の方法

試験方法の報告事項は、次による。

- a) 試験孔の径
- b) プローブ（加圧部）の直径及び長さ
- c) 载荷パターン
- d) 载荷の制御方法
- e) 载荷速度及び除荷速度

8.4 試験の結果

試験結果の報告事項は、次による。

- a) 試験後のプローブの観察状況
- b) 孔壁圧力と孔壁変位又は容積変化との関係
- c) 初期圧力 p_0 及び初期の半径 r_0 又は初期の容積 V_0
- d) プレッチャーメータ曲線（有効孔壁圧力と孔壁ひずみ又は孔径との関係）
- e) 各種のせん断剛性率（算出に用いた孔壁圧力、孔壁ひずみ又は孔径との範囲と共に）
- f) その他の特性値（降伏圧力、変形係数又は弾性係数を求める場合に仮定したポアソン比など）

8.5 キャリブレーション試験結果

8.6 その他

その他の報告事項は、次による。

- a) この基準と部分的に異なる試験方法を用いた場合には、その方法
- b) その他、特記すべき事項