

# 新規制定の地盤工学会基準案「岩盤のプレッシャーメータ試験方法」について

## 地盤工学会基準部

### 1. まえがき

今回告示する学会基準案は、新たに制定を提案する「岩盤のプレッシャーメータ試験方法」に関するものである。原案は、「岩盤の孔内水平載荷試験方法基準化委員会」(委員会構成：表一)において作成されたものである。以下に、基準案の作成に至る経緯ならびに基準案の概要、留意事項について述べる。

なお、ここに公示する基準案についての意見は、平成15年11月末日までに書面にて地盤工学会基準部宛にご提出いただきたい。この基準案は、会員から意見が出された場合には、それらを岩盤の孔内水平載荷試験方法基準化委員会および岩の試験・調査規格・基準化検討委員会で検討した後、基準部および理事会における所定の審議手続きを経た上で学会基準として制定される予定である。

### 2. 基準案作成の経緯

岩の試験・調査方法のうち、原位置試験法の基準化に向けて地盤工学会が取り組むべき方向とその内容について検討するために、平成12年5月に基準部会の岩の試験・調査規格・基準化検討委員会に「原位置試験ワーキンググループ(主査：伊藤 洋 (財)電力中央研究所)」が設立された。ワーキンググループでは、土質工学会「岩の試験方法検討委員会(主査：吉中龍之進 サンコーコンサルタント(株))」が平成7年に取りまとめた総括報告書も踏まえ、その報告書以降、新たに研究開発された国内外における岩盤の原位置調査・試験方法の既往の基準等に関する調査を行い、基準化の対象とすべき試験項目の検討および各試験項目に対する基準化の必要性を検討した。これらは、平成13年3月に「WG 総括報告書」として取りまとめられた。その中で、岩盤の孔内水平載荷試験は基準化すべき優先順位の高い試験方法の一つとして位置付けられるに至った。

岩盤の孔内水平載荷試験は、原位置における岩盤の変形特性を把握するためにダム基礎、原子力発電所基礎地盤、橋梁基礎、鉄塔基礎、トンネル、大規模地下空洞などの岩盤構造物の設計・施工あるいは安定性評価のために広く実施されている試験の一つである。この試験は、土木学会の「孔内載荷試験法の現状と課題—指針化の試み—」、「軟岩の調査・試験の指針(案)—1991年版—」における「孔内載荷試験」、「原位置岩盤試験法の指針」における「岩盤の孔内載荷試験法の指針」、地盤工学会の「孔内水平載荷試験法(JGS1421-1995)」あるいは

表一 岩盤の孔内水平載荷試験方法基準化委員会委員構成

委員長	谷 和 夫	横浜国立大学大学院工学研究院
委員兼幹事	荘 司 泰 敬	応用地質つくば技術開発センター
委員兼幹事	小早川 博 亮	(財)電力中央研究所我孫子研究所
委員	神 野 邦 彦	(株)愛媛建設コンサルタント
委員	齊 藤 正 男	中央開発(株)
委員	座 間 俊 男	(株)ダイヤコンサルタント
委員	瀬 下 雄 一	東電設計(株)
委員	津 野 究	(財)鉄道総合研究所
委員	秦 樹一郎	基礎地盤コンサルタンツ(株)
委員	水 戸 義 忠	京都大学大学院工学研究科
委員	結 城 則 行	川崎地質(株)
旧 委 員	徐 光 黎	中国地質大学工程学院 (元(株)コンサルタンツ大地)

建設省河川砂防技術基準(案)同解説・調査編、日本鉄道建設公団地質調査標準示方書(No. 12.1.3:1991年改正)、日本道路公団規格(JHS508-1992)、水資源開発公団ダム設計指針(案)等に基づいて岩盤の特徴や構造物の設計条件を考慮して行われてきた。

国際的にもISRM指針(1987年および1996年)、ASTM基準D4971-89(1989年制定、1991年改正)、BSI規 準BS5930:1999(1999年)、CEN規 規格ENV1997-3:1999(1997年)、CEN規 準DDENV1997-3:2000(1999年)など多くの基準・規格があり、各国がそれぞれの試験方法の考えに基づいて行っている。

このように本試験法は、国内外を問わず、多くの岩盤構造物を対象として実施されている。また、国際的な基準化の動きを考えると、近い将来ISO基準として規格化される可能性も高い。そこで、新しい研究成果や知見を加えて我が国の指針として基準化を図っておくことは、我が国の統一的な試験方法の考え方を反映させる上で極めて重要なことと考え、基準案の作成に至った。

ここに公示する「岩盤のプレッシャーメータ試験方法基準(案)」は、岩盤の孔内水平載荷試験方法基準化委員会で作成された原案に対して、岩の試験・調査規格・基準化検討委員会および基準部において審議を重ね、基準案としての成案を得たものである。

### 3. 本基準の概要と留意点

#### (1) 名称と対象

本基準では地盤工学会において、従来、孔内水平載荷試験と呼称された試験方法のうち、等圧分布載荷方式のみを対象とし、名称をプレッシャーメータ試験とした。国際整合性(試験の原理が全く異なる等圧分布載荷方式と剛板(等変位)載荷方式を同じ基準で扱うのは我が国だけである)をとること、斜孔や水平孔で試験を実施

する場合に孔内水平載荷試験では不適切であること、学会の標準キーワードがプレッシャーメータであることなどがその理由である。

なお、剛板（等変位）載荷方式の基準化については、別途基準化委員会を立ち上げて活動するか否かを岩の試験・調査規格・基準化検討委員会にて審議する予定である。

#### (2) プレボーリング型とセルフボーリング型

プレッシャーメータ試験は、プローブの挿入方法または試験孔の掘削方法により大きく2種類に分類される。あらかじめ掘削されたボーリング孔の所定の位置にプローブを挿入して試験を実施する方式と、先端に掘削機構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試験を実施する方式である。前者はプレボーリング型のプレッシャーメータ試験、後者はセルフボーリング型のプレッシャーメータ試験と呼ばれ、試験手順と試験装置が異なるので、それぞれについて記述した。試験対象となる地盤の乱れの影響を極力減らすことができるセルフボーリング型のプレッシャーメータ試験は、最近の研究により、均質な軟岩を対象として後述の物性測定型の試験として実施されるようになってきた。

#### (3) 指標型と物性測定型

プレッシャーメータ試験の結果の解釈は、その開発の地域的かつ歴史的な経緯にも関連して、2種類の考え方によって行われている。試験の結果を指標値と見なして解釈して過去の経験に基づいて地盤の特性を評価する考え方と、試験の結果を境界値問題の境界値と見なして解

釈して地盤の特性を記述するモデルに基づいて理論解析的に評価する考え方である。前者は主にフランスにおける考え方で、我が国で実施されるほとんどの試験もこの考え方に則っており、基準では指標型の試験と呼ぶこととした。一方、後者は主にイギリスにおける考え方で、我が国でもセルフボーリング型の試験で時々実施され、基準では物性測定型の試験と呼ぶこととした。

指標型の試験と物性測定型の試験の選択は、試験の結果の解析方法のみならず、試験装置（特に、プレボーリング型とセルフボーリング型の選択や、孔壁変位の計測精度）や試験の手順にまで重大な影響を及ぼす。よって、基準の内容は二つの考え方に従って記述し、その考え方を基準の解説に詳しく説明することとした。

#### (4) 地盤工学会基準「孔内水平載荷試験方法」との関係

現行の標記基準（JGS 1421-1995）では、適用範囲に岩盤も含められており、プレボーリング方式で行われる指標型のプレッシャーメータ試験のみが等分布荷重方式の孔内水平載荷試験として規定されている。したがって、この部分は適用範囲という点で現行基準と重複するが、基準部としては以下のように解釈している。すなわち、岩盤を対象とした試験の場合には、セルフボーリング方式や物性測定型の試験も網羅して最新の技術状況を反映した新しい基準に従って試験を行うことが原則となる。しかしながら岩盤に剛板載荷型を適用する場合は従来の基準に従って試験を行う。一方、土質地盤を対象とした試験の場合には、引き続き従来の基準に従って試験を行うこととなる。

## 地盤工学会基準（JGS XXXX-2004）

### 岩盤のプレッシャーメータ試験方法地盤工学会基準

#### Method for Pressuremeter Test on Rocks

#### 1. 総則

##### 1.1 試験の目的

- (1) 岩盤に掘削したボーリング孔の壁面を一律な圧力で載荷して、岩盤の変形特性を求めることを主な目的とする。
- (2) 試験方法の考え方には、指標型の試験と物性測定型の試験の2種類があり、試験の方法、試験装置、結果の解釈などの選択において十分に考慮する必要がある。

##### 1.2 適用範囲

ロータリーボーリングによって掘削したボーリング孔の壁面が滑らかで自立するような岩盤や、改良によって固化した地盤を対象とする。

##### 1.3 用語の定義

- (1) プレボーリング型のプレッシャーメータ試験とは、あらかじめ掘削されたボーリング孔の所定の位置にプローブを挿入して試験を実施する方式で、PB-PMT と称する。

- (2) セルフボーリング型のプレッシャーメータ試験とは、先端に掘削機構を有するプローブを用いて、削孔作業の後にプローブを抜くことなく試験を実施する方式で、SB-PMTと称する。
- (3) 初期圧力とは、孔壁圧力と孔壁ひずみの関係の載荷初期に勾配が急変するときの孔壁圧力をいう。
- (4) プレッシャーメータ曲線とは、有効孔壁圧力と孔壁ひずみの関係をいう。
- (5) 降伏圧力とは、プレッシャーメータ曲線の載荷中盤に勾配が急激に減少し始めたときの有効孔壁圧力をいう。

#### 【付帯条項】

- 1.a. 本基準で規定するプレッシャーメータ試験は、プレボーリング型およびセルフボーリング型の等圧分布載荷方式の孔内載荷試験とする。
- 1.b. 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容を報告事項に明記しなければならない。

- c. 本基準に規定されていない事項については、以下の基準を参照する。

#### JGS 1421「孔内水平載荷試験」

- 1.1(1) プレッシャーメータ試験によって求められる変形特性は、主に等方線形理論に基づくせん断剛性率である。
- 1.1a. プレッシャーメータ試験は、掘削された円形のボーリング孔壁にゴム膜を介して一様な圧力を加えて、孔壁圧力と孔壁変位の関係を計測して地盤の特性や状態を調べる試験である。
- b. 試験の結果を解釈する際には、等方で均質な地盤がボーリング孔の軸方向に垂直な断面内で連続的に変形する軸対称平面ひずみの条件を仮定する。
- c. 変形特性以外に、地盤の特性として強度特性や支持力など、地盤の状態として初期地圧を求める場合もある。
- d. 指標型の試験は、試験の結果を指標値と見なして解釈して過去の経験に基づいて地盤の特性を評価する試験である。経験則を利用するため、過去の経験が得られた状況と同様の装置を用い、同様の方法に従い、同様な地盤に適用する必要がある。
- e. 物性測定型の試験は、試験の結果を境界値問題の境界値と見なして解釈して地盤の特性を記述するモデルに基づいて理論解析的に評価する試験である。試験の状況や地盤の特性を理想的にモデル化するため、試験地盤の乱れや孔壁面の不陸、計測の誤差などを極力小さくし、適切な地盤の構成関係を選択する必要がある。
- 1.2 セルフボーリング型のプレッシャーメータ試験は、主に軟岩を対象とする。
- 1.3(1) プローブとは、ボーリング孔に挿入してその壁面を加圧する部材で、加圧部とチューブカップリングからなる。
- (3) 孔壁圧力から孔内水圧を減じた値を有効孔壁圧力と呼び、孔壁変位を初期の孔半径で割った値を孔壁ひずみと呼ぶ。
- (4) セルフボーリング型のプレッシャーメータ試験では、孔壁圧力と孔壁変位（ないし容積変化）の関係の初期勾配が急減する時の圧力を特にリフトオフ圧力と呼ぶ。

## 2. 試験装置

### 2.1 試験装置の分類

- (1) プローブが削孔する性能を持たないプレボーリング型と、削孔する性能を持つセルフボーリング型の2種類に分類される。
- (2) プレボーリング型の試験装置は、あらかじめ掘削されたボーリング孔を利用する試験(PB-PMT)に用いる。
- (3) セルフボーリング型の試験装置は、プローブに掘削機構を付加して、削孔の後にプローブを抜くことなく試験(SB-PMT)を実施する。

### 2.2 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、支持部とコード・ケーブル類から構成される。SB-PMTの試験装置では、その他に掘削部を併せ持つ。

### 2.3 プローブ

耐圧性のゴムチューブに覆われた加圧部とチューブカップリングからなる。加圧部は平面ひずみ状態が計測区間で保たれるように、十分な長さを有するものとする。

### 2.4 圧力発生部

高圧ガスポンベによるガス圧や、ポンプによる油圧または

水圧などの液圧を標準とする。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。

### 2.5 制御・測定部

- (1) 孔壁圧力は、地上部またはプローブ内に設けた圧力計で計測した圧力媒体の圧力より求める。
- (2) 孔壁変位を求める方法には2種類ある。一つは、加圧部の容積変化から間接的に求める方法である。もう一つは、加圧部の孔径変化から直接的に求める方法である。
- (3) 孔壁を載荷または除荷をする制御は、圧力制御あるいは変位制御によって、圧力発生部において自動または手動で行う。

### 2.6 ホース・ケーブル類

圧力媒体を連結するホースと計測および制御の信号を伝達するケーブルからなる。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る。

### 2.7 支持部

プローブの支持および連結部を固定するためのロッドまたはワイヤーとする。

### 2.8 掘削部

セルフボーリング型の試験装置においては、削孔をするためのビット、ビットに回転力およ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を併せ持つ。

### 【付帯条項】

2. 試験装置をプレッシャーメータと呼ぶ。

- 2.1 プレボーリング型およびセルフボーリング型の試験装置の概要を図-1に示す。

- 2.2a. プレボーリング型の試験装置の基本構成を図-2に示す。

図-2(a)は加圧部が一室型で、プローブ内の圧力計と変位計によって圧力媒体の圧力と孔径変化を計測する装置である。一方、図-2(b)は加圧部が三室型で、地上部の圧力計と容積計によって圧力媒体の圧力と容積変化を計測する装置である。

- b. セルフボーリング型の試験装置の基本構成を図-3に示す。掘削機構は、地上に設けることも可能である。

- 2.3a. 加圧部の長さは、長さ/直径の比が6以上を標準とする。なお、直径とは、加圧部の無膨張時の直径で、56 mm以上を標準とする。

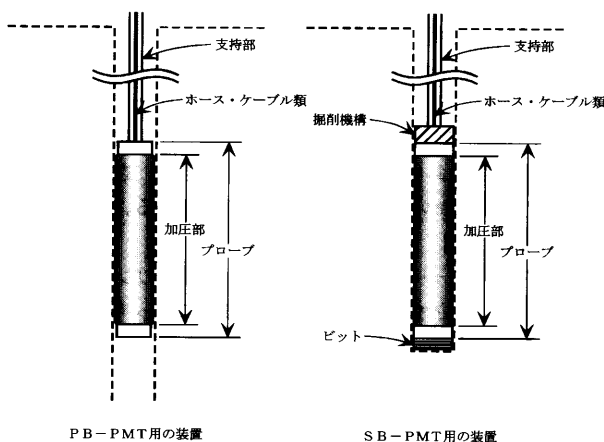


図-1 試験装置の分類

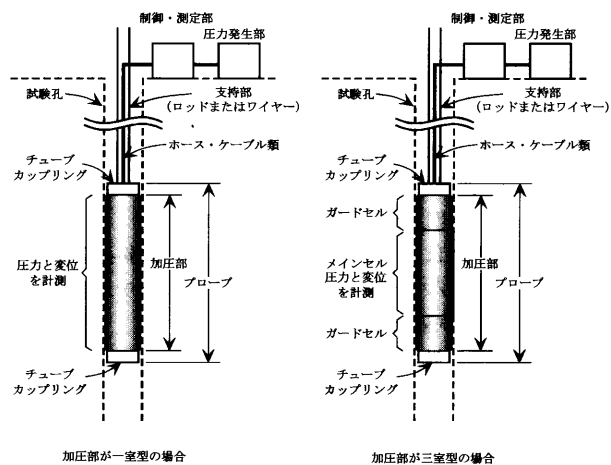


図-2 プレボーリング型のプレッシャーメータ試験装置

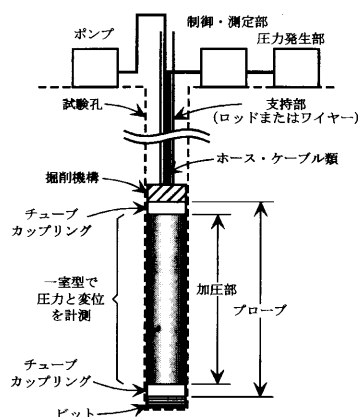


図-3 セルフボーリング型のプレッシャーメータ試験装置

- b. 孔壁変位を加圧部の容積変化から求める場合には、加圧部の両端部における拘束の影響を避けるために、加圧部を三室型の構造として計測を中央部分（メインセル）で行うことが望ましい。
- c. ゴムチューブを保護する目的で、外側に被覆部材（メタル・シースなど）を設けることができる。
- 2.4a. ガスには二酸化炭素や窒素を利用する。ただし、安全性の面から、加圧部にガス圧を直接供給することは望ましくない。
- b. 载荷圧力の最大値は、軟岩の場合10 MPa以上、硬岩の場合は20 MPa以上を標準とする。
- 2.5a. 孔壁変位の測定精度は、軟質岩盤の場合1/100 mm程度、硬質岩盤の場合1/1000 mm程度を標準とする。
- b. 地上部で圧力を計測する場合は、加圧部の中央高さと同圧力計の設置高さの水頭差を補正しなければならない。
- c. 加圧部の容積変化を計測する場合は、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。求められる孔壁変位は、加圧区間全体の平均的な値である。容積計と加圧部をつなぐ連結管は、加圧に対する膨張量の少ないものを用いるとともに、キャリブレーションを行って、測定系全体のシステム・コンプライアンスによる計測誤差に対する補正量を求める必要がある。
- d. 加圧部の孔径変化を計測する場合は、プローブに設置した変位計で複数の方向の直径の変化を計測する。変位計の耐圧性能と剛性に留意すると共に、キャリブレーションを

行って、測定系全体のシステム・コンプライアンスによる計測誤差に対する補正量を求める必要がある。

- 2.6a. 圧力媒体のホースは、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。
- b. 計測および制御の信号を伝達するケーブルは、耐圧・耐水性能が十分に高いものとする。

### 3. 試験の準備

#### 3.1 キャリブレーション

- (1) 試験に先立ち、試験装置が安全に動作するように点検すると共に、適切な測定が行われるようにキャリブレーションを行う。
- (2) キャリブレーションは、計測器と計測誤差に対する補正量について適切な手順で実施し、その結果を記録する。
- a. 共通項目
- ① 圧力計
  - ② ゴムチューブの張力による孔壁圧力の計測誤差に対する補正量
- b. 容積変化を計測する場合
- ③ 容積計
  - ④ システム・コンプライアンスによる容積変化の計測誤差に対する補正量
- c. 孔径変化を計測する場合
- ⑤ 変位計
  - ⑥ システム・コンプライアンスによる孔径変化の計測誤差に対する補正量

- (3) 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ーガーを修理や交換した直後にも実施する。
- (4) 孔壁圧力、容積変化、孔径変化の計測誤差に対する補正量のキャリブレーションは、現場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際には、交換直後に実施する。

#### 3.2 試験孔の掘削

##### (1) PB-PMT

加圧部の直径と孔壁のクリアランスが大きくなるように孔径を保ち、かつ、孔壁が滑らかで乱れが最小限となるようにロータリドリリングで行う。

##### (2) SB-PMT

孔壁が滑らかで乱れが最小限になるような掘削機構を備えた装置を使用して、岩盤および掘削の状況に応じて適切に削孔する。

#### 3.3 試験箇所を選定

試験に際しては、試験の目的や数量、地質や岩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载荷の影響がないように十分な距離を保つ。

#### 【付帯条項】

- 3.1a. 土質地盤に比較して岩盤の剛性は一般に高いため、孔壁変位は大きくない。したがって、孔壁変位を求めるための容積変化または孔径変化の計測系の圧力変化に対するシステム・コンプライアンスが十分に小さくなるように留意しなければならない。
- b. 点検は、加圧部の損傷や圧力媒体の漏れの有無、各種の

計測器などについて行う。

- c. 計測器と計測誤差に対する補正量に対するキャリブレーションは、その方法を標準化し、その結果と補正の方法などを報告する。
- d. ゴムチューブは、寸法や材質のばらつきや経時変化が大きく、これが測定の結果に与える影響が大きい。孔壁圧力と孔壁変位はゴムチューブの内側に設置した計測器で求めるために、ゴムチューブの影響を正確に把握することが重要である。したがって、孔壁変位の計測器と各種の補正量にかかわるキャリブレーションは、ゴムチューブを交換することに実施する必要がある。
- e. 孔壁変位の計測に関して、ゴムチューブの厚さの変化は重要である。ゴムチューブの厚さの変化は、圧力媒体により圧縮される分と膨張に伴うポアソン効果による分の二つの要素が寄与している。孔壁変位を容積変化から求める場合と、孔径変化から求める場合でゴムチューブの内径変化を計測する方式では、このゴムチューブの厚さの変化による計測誤差がある。孔壁変位の計測誤差に対する補正量は、通常、十分な剛性をもつ直径の異なる複数の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または内径変化として求める。
- f. ゴムチューブの張力による孔壁圧力の計測誤差に対する補正量は、通常、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、加圧部の容積変化または孔径変化に対する載荷圧力の変化として求める。なお、このキャリブレーションは最大膨張範囲まで3回以上膨張させてなじませた後に実施する。
- g. 地上に容積計を設置して容積変化を計測して孔壁変位を求める場合には、加圧系全体の膨張、とりわけ、圧力媒体を連結するホースの加圧による膨張の影響が大きい。加圧系全体の剛性や圧力媒体のエア抜き、キャリブレーションの精度に十分に留意する必要がある。

### 3.2

- (1)a. ロータリードリングによる削孔は、適切な掘削ツールを使用し、適切な掘削条件（掘進速度、軸力または給圧、回転数、循環流体の種類と特性、送水圧および送水量など）で行う。
- b. 掘削後の試験孔の仕上がり孔径は、加圧部の無膨張時の直径の1.1倍以内を標準とする。
- c. 孔の断面形状が真円で孔壁を滑らかな状態になるように設けることが重要である。掘削後の孔内の状況を、コア観察、ポアホールTV観察、キャリパー検層などで確認することが望ましい。
- (2)a. 孔壁の応力状態が変化することなく、加圧部と孔壁が密着した状態にプローブが挿入できることが理想である。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、不適切な削孔や小さめに掘削した孔にプローブを無理に押し込んで孔壁を乱したりすることがないように十分に注意する必要がある。
- b. プローブが保有する掘削機構の機能と岩盤の状況を把握し、適切なビットと掘削条件を選定する。削孔中は異常な状況がないかどうか注意し、掘削の状況を計測し報告することが望ましい。
- 3.3a. 試験箇所での最小の間隔は、加圧部の長さの1.5倍以上を標準とする。

## 4. 試験方法

### 4.1 プローブの設置

- (1) PB-PMT では、試験孔の掘削後、プローブを速やかに試験箇所を設置する。プローブの位置、載荷および計測のシステムを確認した後、載荷試験を行う。
- (2) SB-PMT では、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、載荷および計測のシステムを確認した後、載荷試験を行う。

### 4.2 載荷圧力の最大値

試験の目的や地質や岩盤の状況、装置の耐圧性能を考慮して載荷圧力の最大値を設定する。

### 4.3 載荷パターン

載荷パターンは、試験の目的に応じて選択する。

### 4.4 載荷方式

#### (1) 圧力制御による方式

載荷圧力は段階的あるいは連続的に加える。載荷圧力の速度や増分は、十分な精度を持つ解析が可能になるような測定点数を確保するように設定する。段階的な載荷においては、各圧力段階で載荷圧力を一定の時間保持する。

#### (2) 変位制御による方式

- a. PB-PMT では、ゴムチューブが孔壁に密着するまでは、圧力制御で加圧する。密着後、変位を段階的あるいは連続的に加える。
- b. SB-PMT では、リフトオフ（孔壁の拡大が開始する点）までは圧力制御で加圧する。リフトオフ後は、変位を段階的あるいは連続的に加える。
- c. 段階的な載荷においては、孔壁圧力と孔壁ひずみの関係が滑らかな曲線となるように十分に小さい増分とする。

### 4.5 載荷速度および除荷速度

- (1) 載荷速度および除荷速度は、載荷方式に応じて一定になるように定めておく。
- (2) 段階的な載荷においては、各載荷段階であらかじめ定められた時間保持する。

### 4.6 測定の間隔

測定の間隔は、孔壁圧力と孔壁ひずみの関係が滑らかな曲線として得られるように十分に短い間隔で行う。

### 4.7 プローブの回収

- (1) 一連の載荷試験が終了した後、速やかにプローブを回収する。
- (2) プローブを地上に回収した時に、加圧部のゴムチューブに変状などの異常がないかどうかを観察・点検する。

### 【付帯条項】

#### 4.1

- (1) 孔壁の乱れが試験の結果に及ぼす影響が大きい。したがって、試験孔の掘削後、速やかにプローブを挿入して1時間以内に載荷試験を行うことを標準とする。なお、1孔で複数の載荷試験を行う場合は、孔壁の乱れが少ない場合に限り、深い深度から順に載荷試験を行う。
- (2) 削孔が適切に行われた場合には、プローブを理想的な状態で設置することが可能である。しかし、削孔が適切に行われなかった場合には、過剰間隙水圧が発生したり孔壁近傍の地盤を乱したりする可能性がある。よって、試験箇所の状況が落ち着いてから載荷することが望ましい。削孔の終了から載荷試験の開始ま

での時間は、最小30分、最大1時間を標準とする。

4.2 載荷圧力の最大値は、試験の目的で対象とする応力レベルの2~3倍を標準とする。ただし、あらかじめ定められたゴムチューブの最大膨張量や装置の耐圧性能を超えて載荷しない。

4.3a. 載荷パターンを例として図-4に示す。一定の載荷速度による連続的な載荷が望ましい。

b. 指標型の試験の場合には段階的な載荷が、物性測定型の試験の場合には連続的な載荷が選択されることが多い。

c. 必要に応じて、単調載荷の中に、除荷・再載荷のループを含めた繰返し載荷を行うことができる。繰返し載荷の大きさは、除荷・再載荷の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必要があり、除荷直前の孔壁圧力の1/2以下を標準とする。

d. 載荷と除荷を反転する際には、圧力制御の場合には一定の孔壁圧力の下で孔壁変位が時間とともに変化しないことを、変位制御の場合には一定の孔壁変位の下で孔壁圧力が時間とともに変化しないことを確かめてから行うことが望ましい。

#### 4.4

(1)a. PB-PMTにおいては、ゴムチューブが孔壁に密着するまでは、孔壁への密着を確認できるように載荷圧力の速度や増分を小さくし、測定間隔を密に行う。

b. 段階的な載荷の場合には、載荷圧力の増分を載荷過程において10段階以上となるようにする（ただし、微小な除荷・再載荷ループを求めるときを除く）。また、各圧力段階で1分間程度保持する。

(2)a. PB-PMTにおいては、ゴムチューブが孔壁に密着するまでは、圧力制御により一定の載荷速度で加圧し、密着後に変位制御に切り替える。

b. SB-PMTにおいては、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載荷速度で加圧し、リフトオフ後に変位制御に切り替える。

c. 段階的な載荷の場合には、変位の増分を載荷過程において10段階以上となるようにする（ただし、微小な除荷・再載荷ループを求めるときを除く）。

4.5a. 圧力制御による方式では、孔壁圧力の変化率が0.1~1 MPa/分の範囲において設定することを標準とし、一定の速度になるように載荷・除荷を行う。

b. 変位制御による方式では、孔壁ひずみの変化率が、0.05~0.5%/分の範囲において設定することを標準とし、一定の速度になるように載荷・除荷を行う。

c. 段階的な載荷の場合に各載荷段階で孔壁圧力ないし孔壁変位を保持する時間は、1分間を標準とする。

4.6a. 孔壁圧力と孔壁ひずみの関係を精度良く求めるために、単調載荷の場合に載荷圧力の最大値までに10点以上の測定を行うことを標準とする。



図-4 載荷パターンの例

4.7a. 載荷によって孔壁を乱しているために、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。よって、測定終了後は、速やかにプローブを回収する。

b. ゴムチューブの局所的な変形や表面に残された加圧の痕跡より載荷した孔壁面の状況を推測することができる。地盤の状況（不均質性や不連続面の存在など）や、載荷中に軸対称平面ひずみ条件が守られたか、などをチェックする。引張り強さが小さい軟岩では、放射状にクラックが発生しやすいことに留意する。

## 5. 試験結果の整理

### 5.1 データの整理

(1) 測定した載荷圧力と孔径変化ないし容積変化の関係から、孔壁圧力 $p$ と孔壁変位 $\Delta r$ （ないし容積変化 $\Delta V$ ）の関係を求める。

(2) 孔壁圧力と孔壁変位（ないし容積変化）の関係より、初期の孔径変位ないし容積変化を求め、初期の孔径 $r_0$ ないし容積 $V_0$ を決定する。

(3) プレッチャーメータ曲線（有効孔壁圧力と孔壁ひずみの関係）を求める。

a. 有効孔壁圧力 $p'$ は次式により求める。

$p' = p - u_0$  ただし、 $u_0$ は載荷地点の孔内水圧を示す。

b. 孔壁ひずみ $\varepsilon_c$ は次式により求める。

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta r}{r_0} = \frac{r - r_0}{r_0}$$

または

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta V}{2V_0} = \frac{V - V_0}{2V_0}$$

### 5.2 岩盤の特性値の算定

プレッシャーメータ曲線から、指標型の試験として結果の解釈を行い、以下の特性値を求める。

(1) せん断剛性率

(2) その他の特性値

### 5.3 物性測定型の試験として結果の解釈

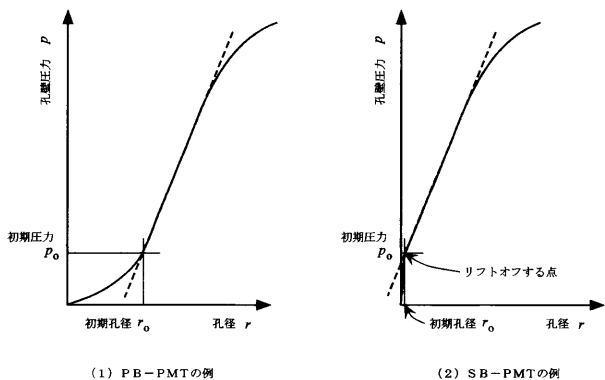
孔壁の乱れや計測の精度などに十分に配慮してプレッシャーメータ曲線を正確に求めた場合には、岩盤の特性や状態を仮定したモデルのパラメータを逆解析により推定することができる。

## 【付帯条項】

### 5.1

(1) キャリブレーションによって求めた補正関係を用いて、測定した載荷圧力と孔径変化ないし容積変化を補正して孔壁圧力と孔壁変位（ないし容積変化）を求める。

(2)a. 孔壁圧力と孔壁変位（ないし容積変化）の関係より、図-5に示すように初期圧力 $p_0$ を初期の孔壁変位（ないし容積変化）とともに求める。PB-PMTでは、孔壁圧力と孔壁変位の関係の載荷初期に変曲点が認められる場合が多く、このときの孔壁圧力を初期圧力 $p_0$ と称する。この変曲点までの孔壁変位（ないし容積変化）は、ゴムチューブと孔壁のなじみや孔壁の応力解放による緩みなどの影響を反映する。一方、SB-PMTでは、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（ないし容積変化）が発生したりリフトオフ時より、初期圧力 $p_0$ を初期の半径 $r_0$ （ないし初期の容積 $V_0$ ）とともに求める。



図—5 孔壁圧力と孔壁変位の関係 (単調荷荷の場合)

- b. あらかじめ定めた無膨張時の加圧部の半径ないし容積に初期の孔壁変位 (ないし初期の容積変化) を足して、初期の半径  $r_0$  (ないし初期の容積  $V_0$ ) を決定する。岩盤が弾性体で、初期圧力  $p_0$  が初期地圧と等しいと仮定して、孔壁が削孔前の位置に戻った理想状態を想定している。
- c. 硬岩の場合には、初期圧力  $p_0$  が不明瞭な場合が多く、その際にはゴムチューブが孔壁に密着した状態を適当に推定して初期の半径  $r_0$  (ないし初期の容積  $V_0$ ) とする。
- (3)a. プレッシャーメータ曲線を基に地盤の特性や状態を評価する。
- b. 孔壁ひずみは、等方線形理論によれば、孔壁面の平均周方向ひずみの符号を逆にした値を意味する。

5.2

- (1)a. プレッシャーメータ曲線よりせん断剛性率を算定する例を図—6に示す。

- b. 等方線形理論に基づき、以下の式よりせん断剛性率  $G$  を計算する。

$$G = \frac{\Delta p}{2\Delta \epsilon_c}$$

また、ヤング率  $E$  は適切なポアソン比  $\nu$  の値を仮定して、以下の式より計算される。

$$E = 2(1 + \nu)G = (1 + \nu) \frac{\Delta p}{\Delta \epsilon_c}$$

- c. 図—6を参考に、上式を利用して以下に示す各種のせん断剛性率  $G$  を求める。

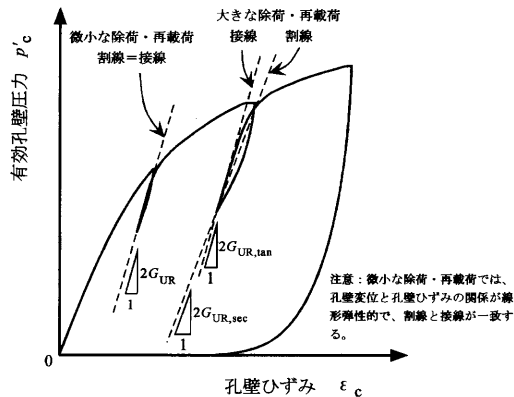
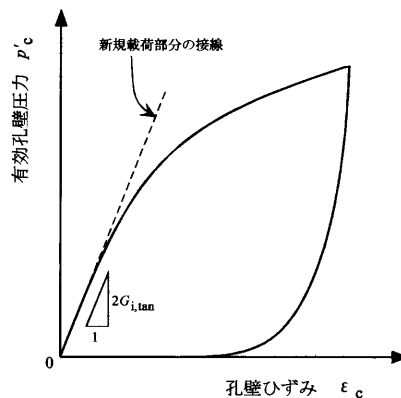
新規荷荷部分の接線より、新規荷荷部の接線せん断剛性率  $G_{i,tan}$

微小な除荷・再荷荷部分の接線 (割線) より、繰返し荷荷部のせん断剛性率  $G_{UR}$

大きな除荷・再荷荷部分の割線より、繰返し荷荷部の割線せん断剛性率  $G_{UR,sec}$

大きな除荷・再荷荷部分の接線より、繰返し荷荷部の接線せん断剛性率  $G_{UR,tan}$

- d. PB-SPTの場合、上式のポアソン比  $\nu = 0.3$  として求められたヤング率を、特にメナードの弾性剛性  $E_M$  と呼び、指標値としてさまざまな設計上の特性値と関連付けられている。これらの関連付けは経験則に基づいているため、その根拠となるデータベースの性質 (対象とする地盤、使用した試験装置や計測方法、試験の方法、結果の整理方法など) を十分に検討して用いる必要がある。ポアソン比の値は、硬岩は0.2、軟岩は0.4とすることもある。



図—6 有効孔壁圧力-孔壁ひずみの関係より各種の特性値を求め方法 (上)単調荷荷の例 (下)繰返し荷荷の例

- (2)a. 初期圧力を超えて荷荷すると、プレッシャーメータ曲線がほぼ線形な擬弾性域に入り、さらに有効孔壁圧力が増加すると孔壁ひずみが急激に増加し直線性が失われる点が見られる。この時の有効孔壁圧力を降伏圧力  $p'_y$  と称し、孔壁近傍の地盤が弾性的な状態から次第に塑性ないし破壊状態に至る状況を反映していると仮定する。なお、硬質で亀裂のない岩盤等では、これらの変曲点が明瞭に認められない場合が多い。
- b. 降伏圧力を超えて荷荷して、加圧部の容積が初期の容積の2倍に等しくなる時の有効孔壁圧力を極限圧力  $p'_l$  と称す。ただし、岩盤は剛性が高いので極限圧力まで荷荷することが難しいことが多い。

- 5.3a. PB-PMTは孔壁の乱れや計測の精度などに十分に配慮することが難しいので、指標型の試験に位置づけられることが多い。

- b. 丁寧に行われたSB-PMTは、物性測定型の試験に位置づけられる場合が多い。指標型と同じく等方線形理論に基づいて剛性を評価する他、非排水状態を仮定して応力とひずみの関係や非排水せん断強さ、あるいは非粘着性を仮定して内部摩擦角、さらに過剰間隙水圧の消散過程から圧密係数を評価する方法などが提案されている。ただし、多くの解析手法は土質地盤に対して提案されたもので、岩盤に対する適応性は十分に検討されていない。主に、均質な軟岩を対象に適用される。

6. 報告事項

以下に示す事項を報告する。

- (1) 試験箇所の情報
- (2) 試験箇所の岩盤の状況
- (3) 試験の方法
- (4) 試験の結果
- (5) キャリブレーションの結果
- (6) 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には、その方法
- (7) その他、特記すべき事項

**【付帯条項】**

6. 試験結果は、必要な図表および写真を添付し、以下の各事項について報告する。

- (1) 試験孔の位置，試験を行った深度
- (2)a. ボーリングコアの観察より，試験箇所の岩種，岩質，割れ目（節理，亀裂）などの不連続面の状況を記載する。
- b. 孔内水位，および孔壁の状況を記載する。試験前後のポアホール TV による撮影の結果などを記載することが望ましい。

- c. ボーリングコアを得た場合には RQD を記載する。
- (3) 試験孔の径，使用した試験装置の詳細，試験の方式，計測器の種類と仕様，載荷パターンなどについて記載する。
- (4)a. 次の基本事項について記載する。
  - ① 試験後のプローブの観察状況
  - ② 孔壁圧力と孔壁変位（または容積変化）の関係
  - ③ 初期圧力  $p_0$  と初期の半径  $r_0$ （ないし初期の容積  $V_0$ ）
  - ④ プレッチャーメータ曲線（有効孔壁圧力と孔壁ひずみの関係）
- b. 次の特性値について記載する。
  - ① 各種のせん断剛性率  $G$ （算定した孔壁圧力と孔壁ひずみの範囲とともに）
  - ② その他の特性値
- (5) キャリブレーションの方法，結果および得られた補正の関係について記載する。
- (7) 当該地点で他の試験が行われている場合には，その試験の結果を併記しておくことが望ましい。