

「円錐孔底ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

4. 試験器具 試験のために準備する試験器具は、次のとおりとする。

- a) **ボーリング機材** パイロットボーリング（外径 $2R$ ）およびオーバーコアリングを行うための岩盤用ボーリングマシン、円錐ビット、オーバーコアリング用薄肉ビット（外径 $2R$ ，肉厚 $0.09R \sim 0.13R$ 程度），ロッド，特殊ウォータースイベルからなり，その例を図 3 (a)～(c)に示す。ボーリングマシンはコア採取および計測を伴うので，ロータリー式であること。

備考 特殊ウォータースイベルとは計測用ケーブルの取り出し口を備えたものである。

- b) **ポアホールボトムスコープ** 孔底面を観察するためのカメラおよび画像を表示するモニターからなる装置であり，その例を図 3 (d)に示す。

備考 カメラは孔底部の細かな割れ目や脈の判別が可能な解像度を有すること。原則として 25 万画素程度以上の解像度が望ましい。

- c) **孔底面清掃用器具** ストレインセル貼付前の孔底を清掃する器具であり，その例を図 3 (e)に示す。

- d) **接着剤** ストレインセルを孔底面に貼付するための接着剤。貼付面に極力薄く塗付でき，ある程度粘性があり，比較的短時間（15 分程度）で接着できるもの。

- e) **ストレインセル** 表面に三軸あるいは二軸直交ひずみゲージが等間隔で所定の数配置されたひずみを測定するためのひずみ計。初期地圧の評価のためには，独立なひずみ感度係数を有する 6 成分の測定ひずみが最小限必要である。ストレインセルの剛性は周辺岩盤の剛性と比較して十分低いものとする。

備考 ひずみゲージの測定分解能は 1×10^{-6} で測定範囲は $\pm 25000 \times 10^{-6}$ を目安とする。

参考 ストレインセルの測定成分の増加により初期地圧の測定精度が高まるので，ひずみゲージ数は 12 成分（二軸直交ひずみゲージ 6 枚）以上を標準とし，16 成分（二軸直交ひずみゲージ 8 枚）あるいは 24 成分（三軸ひずみゲージ 8 枚）を推奨する。図 3 (g)に，24 成分のストレインセルの例を示す。

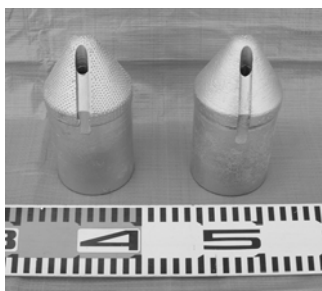
- f) **ストレインセル貼付装置** 孔底にストレインセルを貼付するための装置で，貼付したストレインセルの回転角度が測定できるものであり，その例を図 3 (f)に示す。

備考 傾斜計などの回転角を 1° の単位で測定できる計器が内蔵されている。

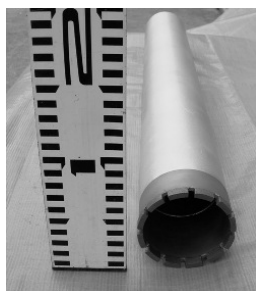
- g) **データ測定装置** 必要な測定点数を備え，ひずみを測定および収録のできるもの。

- h) **変位計** オーバーコアリングの掘進長を測定できるもの。測定分解能は 1 mm 以下を標準とし，測定範囲は 500 mm 以上とする。

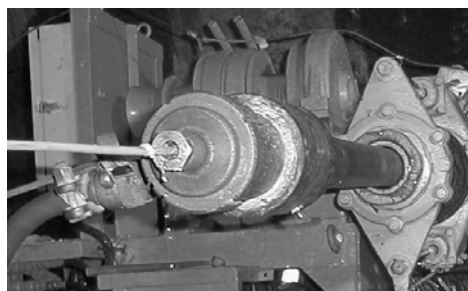
「円錐孔底ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」



(a) 円錐ビット（左：荒削り用
右：仕上げ用）



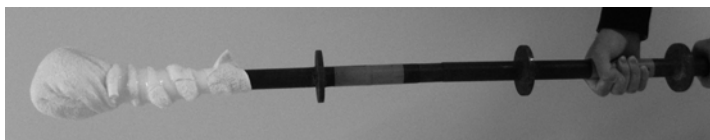
(b) オーバーコアリング用
薄肉ビット



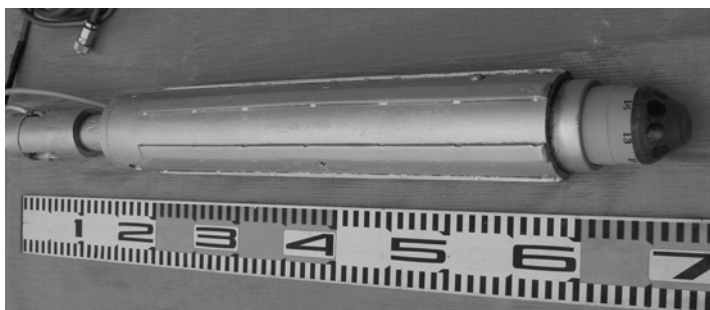
(c) 特殊ウォータースイベル



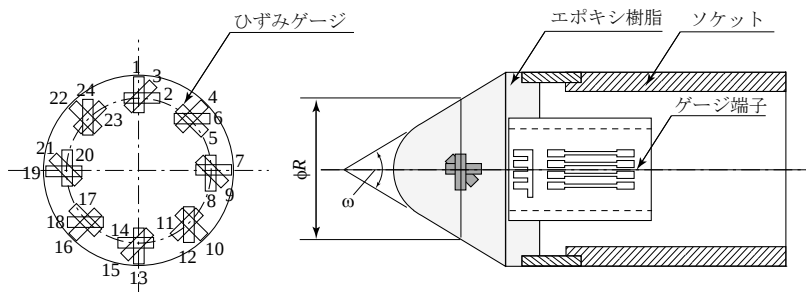
(d) ボアホールボトムスコープ



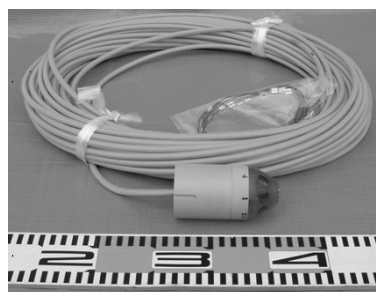
(e) 孔底面清掃用器具



(f) ストレインセル貼付装置



岩盤側から見る（24成分の例）
数字はチャンネル番号を示す



(g) ストレインセルの構造図と写真（計測用ケーブル付）

図3 試験器具の例

「円錐孔底ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

5. 試験方法 試験方法は、次のとおりとする。

5.1 準備 準備は、次のとおりとする。

- a) 地質状況の把握 測定位置周辺の地質状況は地圧測定の目的に応じて既往調査結果等を参考に十分把握しておく。
- b) 測定位置の選定 オーバーコアリングにより初期地圧を測定する範囲には、明瞭な割れ目（節理，層理，断層等による分離面）が存在しない岩盤を選定する必要がある。測定を調査坑内で行う場合，調査坑による地圧の擾乱が少ない位置とする。

参考 測定位置は，少なくとも調査坑の壁からその直径以上離れた位置とする。

5.2 ストレインセルの設置 ストレインセルの設置は，次のとおりとする。

- a) パイロットボーリング 図4 a)の例に示すように，測定深度までパイロットボーリングを行う。
備考1 パイロットボーリングの方位および仰角を測定しておく。
備考2 パイロットボーリングの仰角：孔口から孔底を見て，水平から上向きに計ったボーリングの上げ角度。
- b) パイロットボーリングのコア観察 パイロットボーリングのコアを観察し，孔底付近に明瞭な割れ目が認められないことを確認して，ストレインセル設置深度を決定する。
- c) 孔底の円錐加工 図4 b)の例に示すように，荒削り用の円錐ビットによって孔底の円錐加工を行い，その後も孔底に清水を送り続け，孔底面から削孔屑を除去する。
- d) 孔底観察 図4 c)の例に示すように，ボアホールボトムスコープによって円錐孔底面を観察し，円錐孔底面に割れ目や湧水が認められないことを確認する。図5に孔底観察結果の例を示す。
- e) 孔底面研磨仕上げ 図4 d)の例に示すように，仕上げ用の円錐ビットで孔底面を研磨し，その後孔底に清水を送り続け孔底面から削孔屑を除去する。
- f) 孔底面清掃 図4 e)の例に示すように，孔底面清掃用器具を用いて，アセトンを含ませた柔らかい布で孔底面を拭き，さらに乾燥した柔らかい布で孔底面の水分を拭き取る。
- g) ストレインセルの貼付 図4 f)の例に示すように，ストレインセル貼付装置を用いて，貼付面に接着剤を塗付したストレインセルを円錐孔底面に貼付し，貼付したストレインセルの回転角を測定する。接着剤が硬化するまでは貼付圧を保持する。

備考 貼付したストレインセルの回転角：孔口から孔底を見て，基準となるゲージの位置を水平右から反時計回りに計った角度のこと。

参考 ストレインセルの貼付圧は0.1～0.3 MPa とする。

「円錐孔底ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

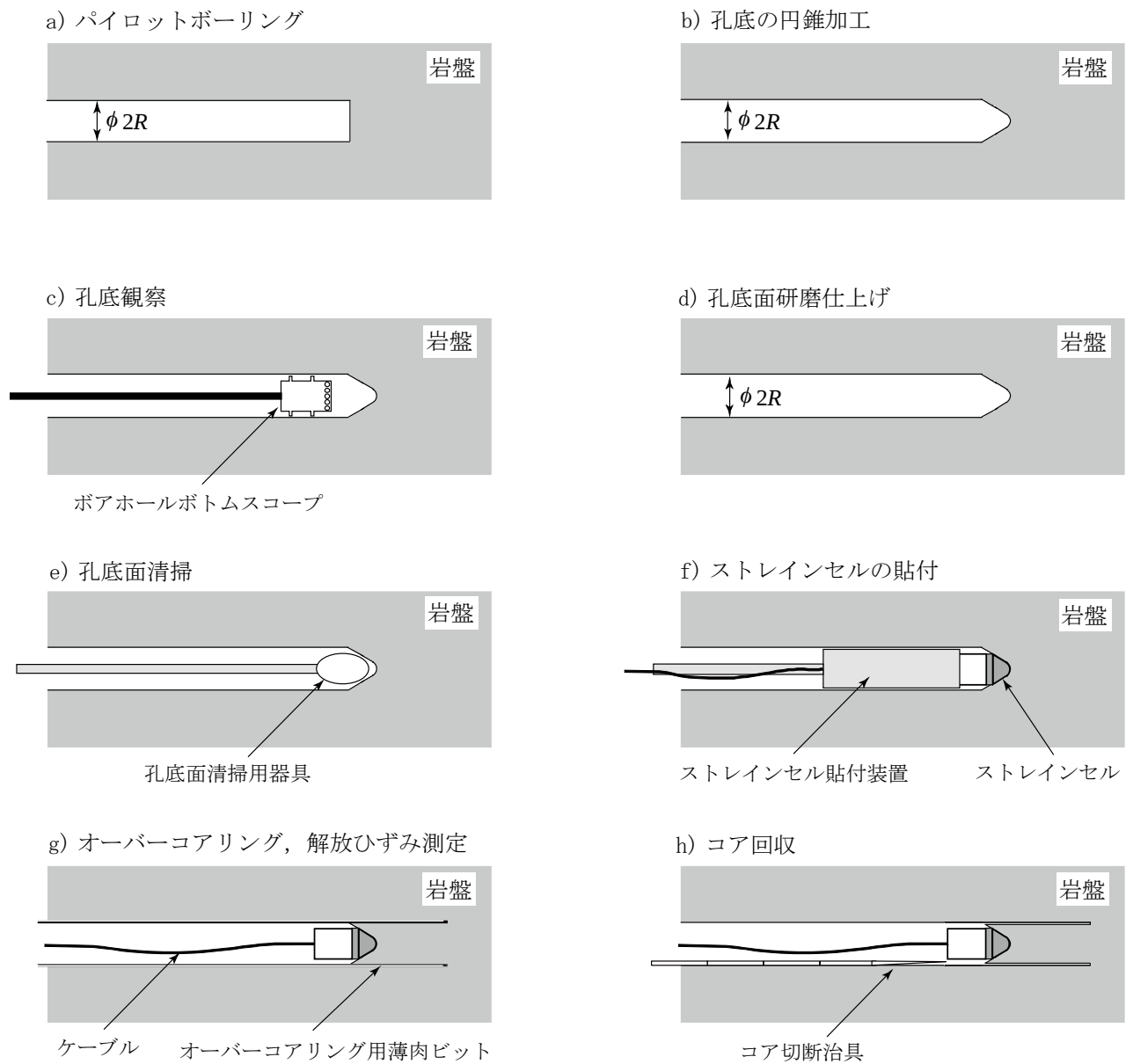


図 4 円錐孔底ひずみ法の測定概念図

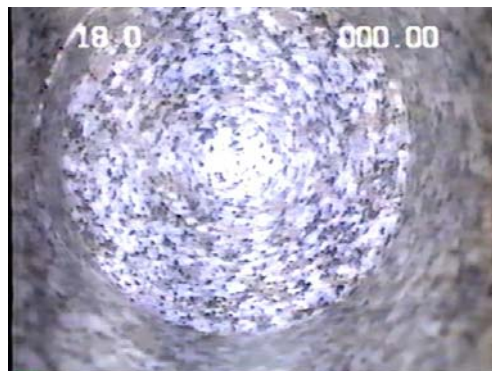


図 5 孔底観察結果の例

「円錐孔底ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

5.3 解放ひずみの測定 解放ひずみの測定は、次のとおりとする。

- a) **オーバーコアリングの準備** 接着剤の硬化後、ストレインセルのケーブルをオーバーコアリング用薄肉ビット、ボーリングロッドおよび特殊ウォータースイベルの中に通し、ケーブルをデータロガーに接続する。オーバーコアリングを開始する前から削孔水を循環させ、ストレインセルと円錐孔底まわりの温度分布ができるだけ一様になるようにする。
- b) **オーバーコアリング** オーバーコアリングの長さは $8R \sim 13R$ を標準とする。オーバーコアリングの実施に伴い掘進長を変位計で測定するとともに、削孔に伴うひずみの変化を測定する。ひずみの測定間隔はオーバーコアリングの掘進長 $2 \sim 5 \text{ mm}$ の範囲毎に 1 回とする。
- c) **解放ひずみの決定** 図 6 に例を示すように、オーバーコアリングで得られる掘進長を横軸にひずみ変化を縦軸に図化する。このひずみ解放曲線図において、オーバーコアリング最終段階の安定したひずみの値を読み取り、これを解放ひずみとする。
- d) **コア回収** オーバーコアリング終了後、コアチューブを引き出してコアを回収する。

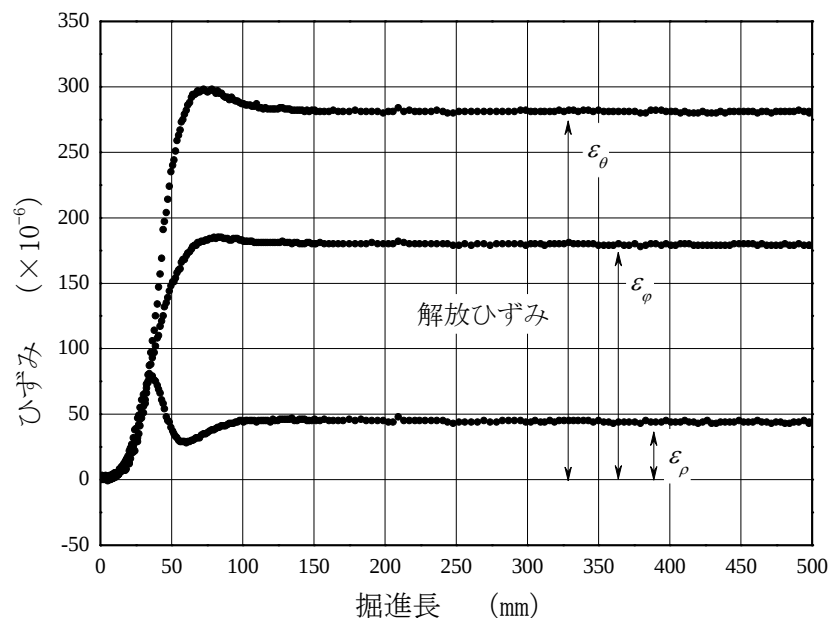


図 6 オーバーコアリングに伴うひずみ変化の例

5.4 一軸繰返し試験 一軸繰返し試験は、次のとおりとする。

- a) **供試体作製** 図 7 に例を示すように、回収コアを互いに直交する 2 つ以上の方向からコアリングし、円柱供試体を作製する。円柱供試体の寸法は、直径 25 mm 、長さ 50 mm を標準とする。円柱供試体の軸ひずみと横ひずみを測定するため二軸直交ひずみゲージを接着する。ひずみゲージの接着位置は円柱供試体の側面中央とし 90° 間隔に合計 4 枚のゲージを接着する。
- b) **载荷パターン** 図 8 に例を示すように、载荷・除荷のサイクルは 5 回を標準とし、各サイクルにおける最大の载荷応力はサイクルが進むにつれて大きくする。

最終サイクルの最大载荷応力は岩石の一軸圧縮強度の 60% 以下とし、载荷速度は応力制御方式の载荷により $0.05 \sim 0.1 \text{ MPa/s}$ とする。

「円錐孔底ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

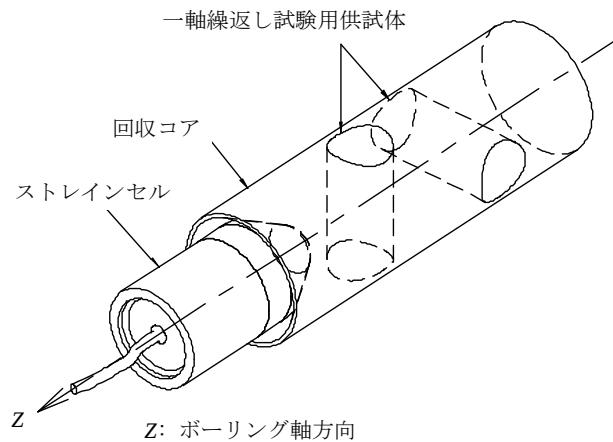


図7 回収コアと一軸繰返し試験用供試体の採取方法の例

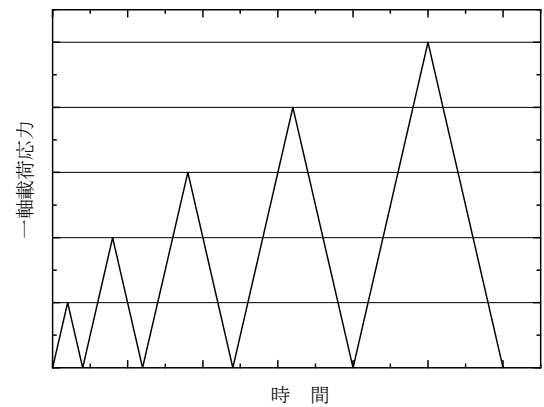


図8 一軸繰返し試験の载荷パターンの例

c) ヤング率、ポアソン比の決定 図9に例示するような一軸繰返し载荷試験により得られる応力—ひずみ曲線に基づきヤング率、ポアソン比を以下のように求める。

各繰返し载荷の除荷開始時から次の载荷開始直前までの応力と各軸ひずみの変化量を読み取る。次に、図10に例示するように、読み取った応力の変化量と各軸ひずみの変化量（弾性回復ひずみ）をそれぞれ縦軸と横軸にとって再度プロットし、5つのプロット点を直線で最小二乗近似する（応力—弾性回復ひずみ関係）。この直線の傾きをヤング率 E とする。同様に、各繰返し载荷の除荷時の横ひずみの変化量から直線の傾きを求め、軸ひずみの傾きを横ひずみの傾きで除した値をポアソン比 ν とする。

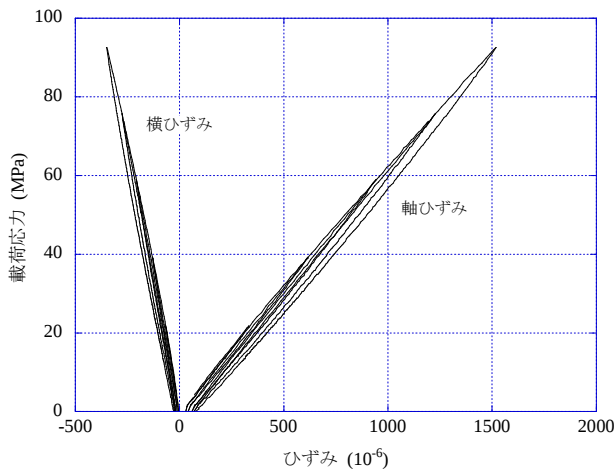


図9 一軸繰返し試験の応力—ひずみ曲線の例

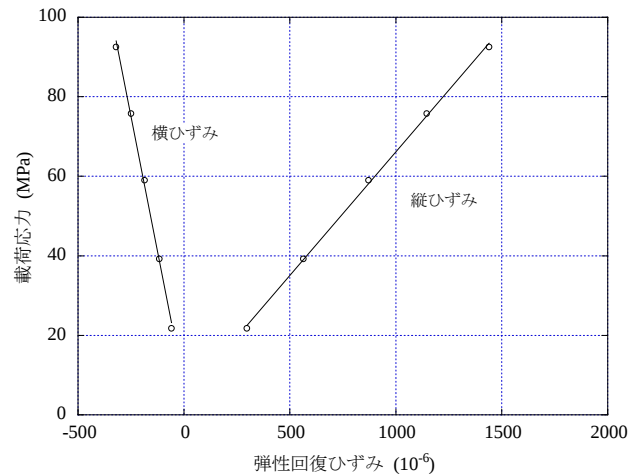


図10 応力—弾性回復ひずみ関係の例

6. 計算 初期地圧の算定は、以下のようにして行う。

パイロット孔が作られる以前に岩盤に作用していた初期地圧 $\{\sigma\}$ を直交座標系 (x, y, z) の応力成分によって、

$$\{\sigma\}^T = \{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xy}\} \text{ と定義する。ここに、上付き添え字 } T \text{ は転置行列を表す。}$$

図1に示す各ひずみ測定位置において ε_θ 、 ε_ρ および ε_ϕ がそれぞれ同時に測定され、測定された合計 n 個の解放ひずみの測定値を $\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n\}$ とすると、初期地圧 $\{\sigma\}$ の観測方程式はつぎのように表示できる。

「円錐孔底ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

$$\{\varepsilon\} = \frac{1}{E} \cdot [A] \cdot \{\sigma\} \quad (6.1)$$

ここに、 $[A]$ は $n \times 6$ の係数マトリックスである。

初期地圧 $\{\sigma\}$ の最確値は、最小二乗法の原理から、次の連立方程式を解いて求める。

$$\{\sigma\} = E \cdot [A]^T \cdot [A]^{-1} \cdot [A]^T \cdot \{\varepsilon\} \quad (6.2)$$

ここに、上付き添え字-1は逆行列を表す。

7. 報告事項 測定結果については、次の事項を報告する。

- a) 測定概要（ボーリング孔の方位とその仰角、ストレインセル設置深度、貼付したストレインセルの回転角）
- b) 回収コアの写真とスケッチ
- c) オーバーコアリングで得られた掘進長とひずみ変化の関係
- d) 一軸繰返し試験の結果（応力—ひずみ線図、応力—弾性回復ひずみ関係、ヤング率、ポアソン比）
- e) 解放ひずみと理論ひずみの比較（図 11 に例示するような比較図）

備考 理論ひずみ：初期地圧の最確値を用いて、式(6.1)から求められる弾性理論解析上の解放ひずみのこと。

f) 初期地圧の計算結果（応力の大きさ、方向）

備考 応力は 6 成分表記 $\{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xy}\}$ と主応力表記 $\{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3\}$ で報告する。

参考 必要に応じて応力の 6 成分の標準偏差を報告する。

g) 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合は、その内容

h) その他、特記すべき事項

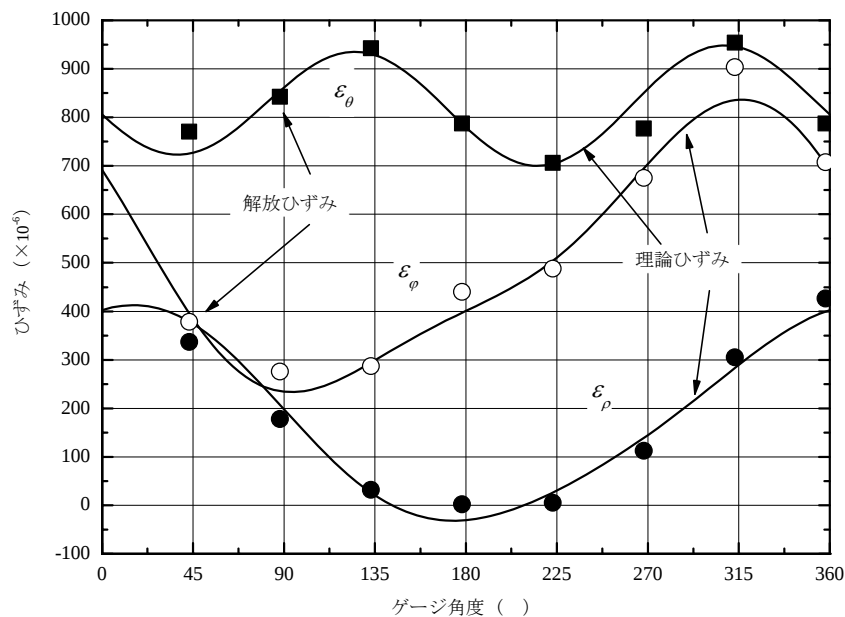


図 11 解放ひずみと理論ひずみの比較の例