

# 「埋設ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

地盤工学会基準（JGS -2007）

## 埋設ひずみ法による初期地圧の測定方法

### Method for Initial Stress Measurement by Overcoring Technique Using Multi-axial Strain Gauge

1. **適用範囲** 本基準は、ボーリング孔を利用した埋設ひずみ法による岩盤の三次元初期地圧の測定方法について規定する。
2. **引用基準** なし。
3. **定義** 本基準で用いる用語の定義は、次のとおりとする。
  - a) **初期地圧** 原位置岩盤応力のうち、坑道掘削などの人為的な擾乱による応力変化を受けていない岩盤応力のこと。
  - b) **カットボーリング** 図1の例に示すように、測定位置までの大口径ボーリングのことで、口径はオーバーコアリングと同一とする。
  - c) **パイロットボーリング** 図1の例に示すように、多軸ひずみ計を埋設するための小口径ボーリングのことで、削孔されたボーリング孔をパイロット孔という。
  - d) **オーバーコアリング** 図1の例に示すように、多軸ひずみ計が埋設された岩盤を周囲の岩盤から大口径ボーリングにより切り離すことをさす。
  - e) **応力解放** オーバーコアリングにより多軸ひずみ計の埋設された岩盤が周囲の岩盤応力から解放されること。
  - f) **回収コア** 図1の例に示すように、オーバーコアリングにより回収された多軸ひずみ計が埋設されている岩石コアをさす。
  - g) **解放ひずみ** 応力解放によって発生するひずみのこと。
  - h) **ひずみ感度試験** 回収コアに三軸等方応力（静水圧）を作用させてひずみ感度係数を求める試験。
  - i) **ひずみ感度係数** ひずみ感度試験で得られる応力-ひずみ曲線から求まる係数。

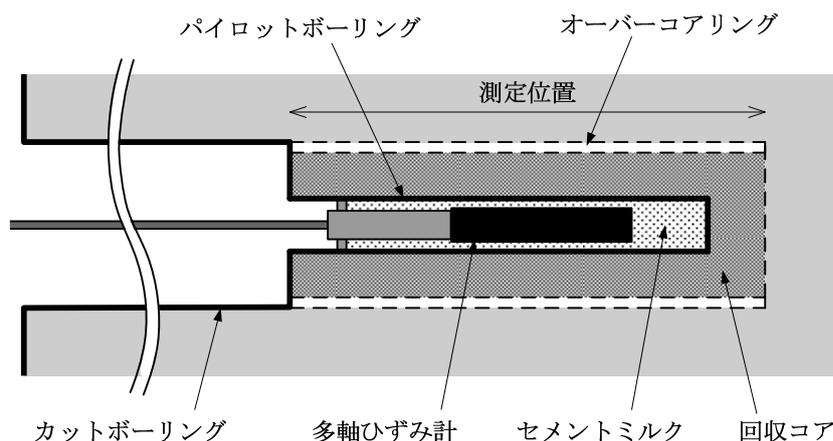


図1 測定方法の概念図

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** 孔軸を一致させて大口径および小口径で削孔のできる岩盤用ボーリングマシン、大口径および小口径のビット、コアチューブ、センタリングガイド、ロッド、センタライザ、特殊ウォータースイベルか

## 「埋設ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

らなる。ボーリングマシンはコア採取および計測を伴うので、ロータリー式とする。

**備考 1** 大口径ボーリングはコア径が 200mm 程度、小口径ボーリングはコア径が 30mm 程度を標準とする。

**備考 2** センタリングガイド：小口径ボーリングを大口径ボーリングの孔軸に一致させて行うために用いるガイド管。

**備考 3** センタライザ：大口径ボーリングの削孔中にロッドがぶれないようにするため、ロッドの継ぎ目に取り付けて使用するもの。

**備考 4** 特殊ウォータースイベル：計測用ケーブルの取出し口を備えたウォータースイベル。

- b) 多軸ひずみ計** オーバーコアリングにより引き起こされるパイロット孔の変形を測定するためのひずみ計。三次元の初期地圧評価のためには、最低 6 つの独立した方向のひずみが計測できるひずみ計が必要である。多軸ひずみ計の剛性は周辺岩盤の剛性に比較して十分低いものとする。

**備考 1** ひずみ測定分解能は  $1 \times 10^{-6}$  を標準とする。

**備考 2** 多軸ひずみ計の回転角を測定するための角度計をその端部に取り付ける。回転角の測定分解能は  $1^\circ$  を標準とする。

**備考 3** 多軸ひずみ計の温度変化を測定するための温度計をその端部に取り付ける。温度の測定分解能は  $0.1^\circ\text{C}$  を標準とする。

**参考** 多軸ひずみ計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、通常孔径方向 4 成分、斜め方向 4 成分の計 8 成分が測定できるひずみ計が標準的に用いられている。図 2 に、8 成分の多軸ひずみ計の例を示す。

- c) 多軸ひずみ計埋設機材** 多軸ひずみ計挿入用ロッド、早強セメントや混和剤等の埋設材料、セメントミルク混練器具、セメントミルク注入器具からなる。

**備考 1** 多軸ひずみ計挿入用ロッド：外径約 35mm、内径約 25mm のロッドで、多軸ひずみ計後部に接続して、多軸ひずみ計をセンタリングガイド内に挿入し、パイロット孔内の所定の深度に設置する際に用いるもの。多軸ひずみ計のケーブルおよびセメントミルク注入用のホースは多軸ひずみ計挿入用ロッド内に通し、オーバーコアリングの際も多軸ひずみ計に接続したままケーブルの保護管として使用する。

**備考 2** 埋設材料：孔壁とひずみ計の間に隙間無く充填するための流動性を有すること。孔壁およびひずみ計との付着力を十分に有するように材料と配合比を選定する。

**備考 3** セメントミルク混練器具：多軸ひずみ計を埋設するセメントミルクを作製するために、埋設材料を所定の配合比で計量し、気泡の混入が少なく均一に攪拌・混合する器具。

**備考 4** セメントミルク注入器具：多軸ひずみ計を設置したパイロット孔内にセメントミルクを注入するための加圧器具。

- d) 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装置。
- e) 変位計** オーバーコアリングの掘進長を測定できるもの。変位計の測定分解能は 1mm 以下を標準とし、測定範囲は 500mm 以上とする。
- f) 回収コア成形器具** ひずみ感度試験に供する回収コアの端面を成形する器具で、回収コアをコア軸に直角かつ平滑に切断するためのコアカッター、回収コアの端面をキャッピングするためのりん青銅板や石こうからなる。
- g) ひずみ感度試験器** 加圧容器、加圧装置、圧力計からなり、その例を図 3 に示す。

**備考 1** 加圧容器：耐圧が 25MPa 以上で、容器内部の直径 250mm 以上、高さ 800mm 以上が標準。

**備考 2** 加圧装置：加圧容器内の圧力を一定の载荷速度で制御できる装置とする。

**備考 3** 圧力計：加圧容器の圧力を測定するもの。想定される初期地圧の 2 倍以上の容量で、分解能が容量の  $1/2000$  以下。

「埋設ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

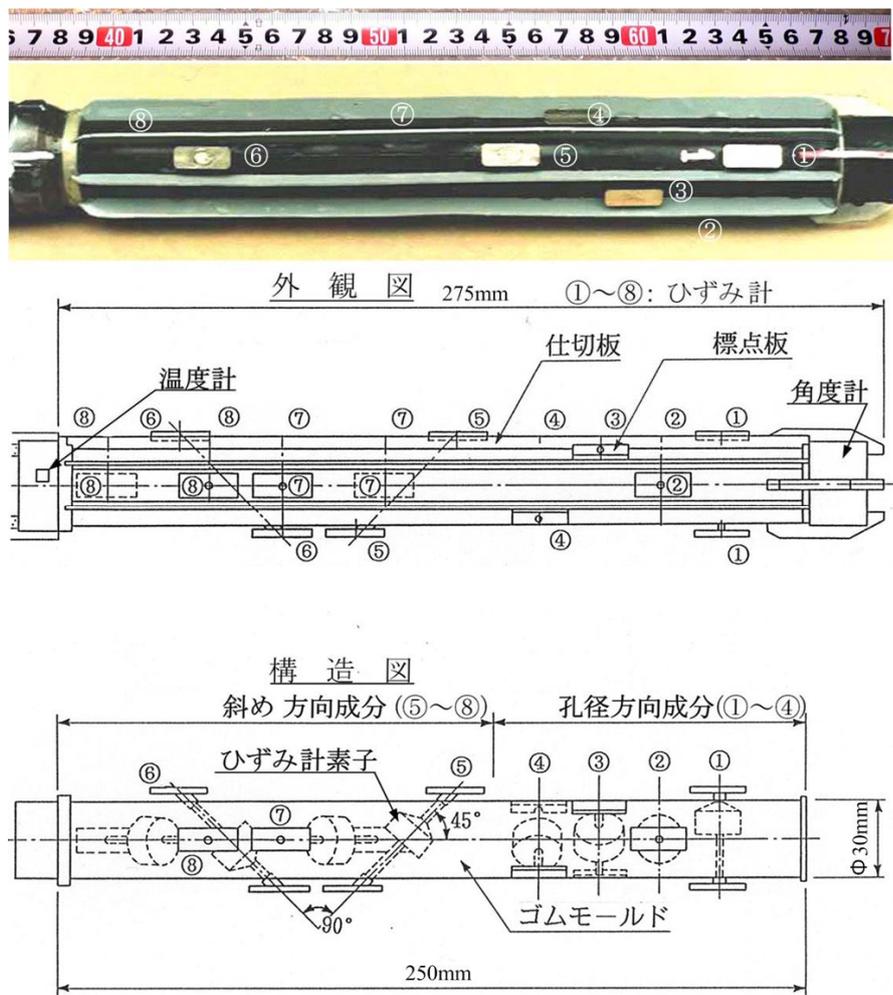


図2 多軸ひずみ計の例

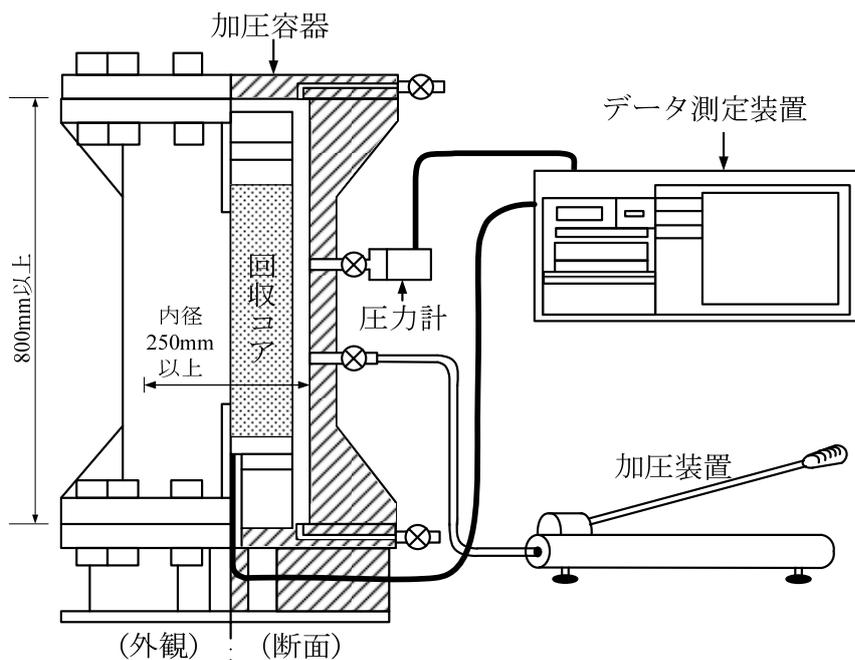


図3 ひずみ感度試験器の基本構成例

## 「埋設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。

原位置での試験手順は、準備、多軸ひずみ計の設置、解放ひずみの測定、ひずみ感度試験の順で行う。

#### 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初期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。  
**備考** 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 多軸ひずみ計の設置 多軸ひずみ計の設置は、次のとおりとする。

- a) **カットボーリング** 測定位置の選定により決定された多軸ひずみ計の設置深度の手前までカットボーリングを行う。  
**備考 1** カットボーリングの方位および仰角を  $1^\circ$  の単位で測定しておく。  
**備考 2** カットボーリングの仰角：孔口から孔底を見て、水平から上向きに測ったボーリングの上げ角度。
- b) **パイロットボーリング** パイロットボーリングは、カットボーリング孔内に挿入したセンタリングガイドを用いて孔軸を一致させてカットボーリングの孔底から 800～1000mm 程度行い、コアを採取する。  
**参考** 多軸ひずみ計設置位置は、ボーリング孔底の応力が擾乱された領域から離すために、カットボーリング孔底からひずみ計の位置を 300mm 以上離すとともに、パイロットボーリング孔底からも 100mm 以上離す必要がある。多軸ひずみ計の全長（約 300mm）を考慮すると、ボーリング長は 800～1000mm 程度必要となる。
- c) **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、多軸ひずみ計の設置区間に割れ目が認められないことを確認して、設置深度を決定する。
- d) **多軸ひずみ計の設置** 挿入用ロッドを用いて多軸ひずみ計をセンタリングガイド内に挿入し、パイロット孔内の所定の深度に設置した後、多軸ひずみ計の回転角を  $1^\circ$  の単位で測定する。  
**備考** 多軸ひずみ計の回転角：水平孔の場合、孔口から孔底を見て多軸ひずみ計の孔径方向成分①の設置方向を鉛直上から反時計回りに測った角度のこと。
- e) **多軸ひずみ計の埋設** パッカーを用いてパイロット孔内の設置区間にセメントミルクを注入し多軸ひずみ計を埋設する。
- f) **硬化養生中の計測** セメントミルク硬化養生中は、データ測定装置により多軸ひずみ計のひずみと温度の関係を、経過時間を横軸にモニター上で図化し、ひずみの変化が収束することを確認する。  
**備考** ひずみ変化の収束条件は、ひずみ変化率が毎時  $3 \times 10^{-6}$  以下を標準とする。

#### 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** オーバーコアリングは、カットボーリングと同一口径、同一軸で行う。セメントミルクの硬化養生終了後、センタリングガイドを引き抜き、オーバーコアリング用のビット、コアチューブ、ロッドを孔内に挿入し、多軸ひずみ計のケーブルを特殊ウォータースイベルから外に取り出し、データ測定装置に接続する。これらの概念図を図 4 に示す。
- b) **オーバーコアリング** カットボーリングの孔底から削孔を開始し、オーバーコアリングの長さは 800～1000mm を標準とする。この間、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データ測定装置で  $1 \times 10^{-6}$  の単位で測定する。ひずみの測定間隔はオーバーコアリングの掘進長 10mm に対し 1 回以上となる間隔

## 「埋設ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

とする。

**備考** 削孔に伴う温度の変化も測定する。

- c) **解放ひずみの決定** 図5に示すように、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。

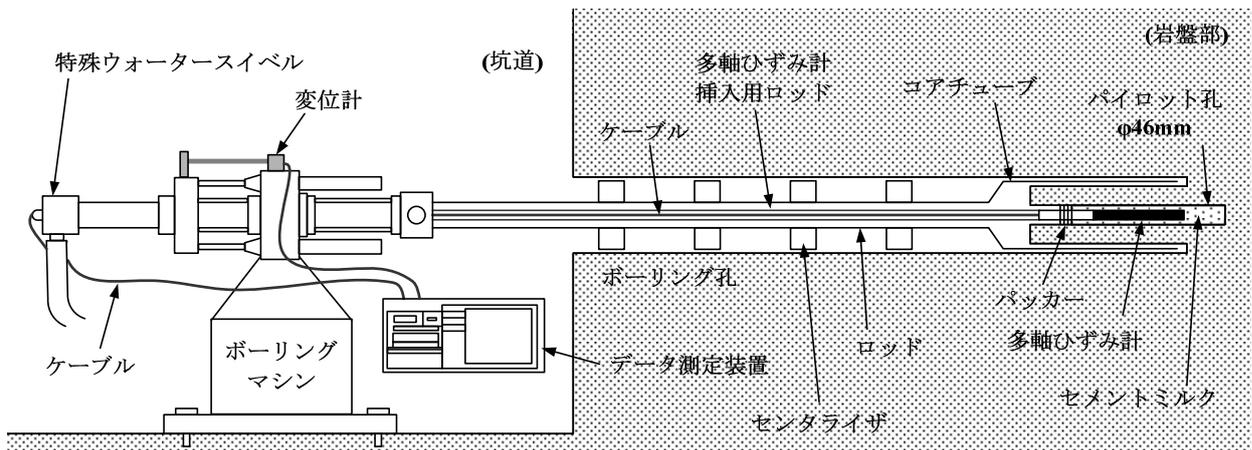


図4 オーバーコアリング概念図

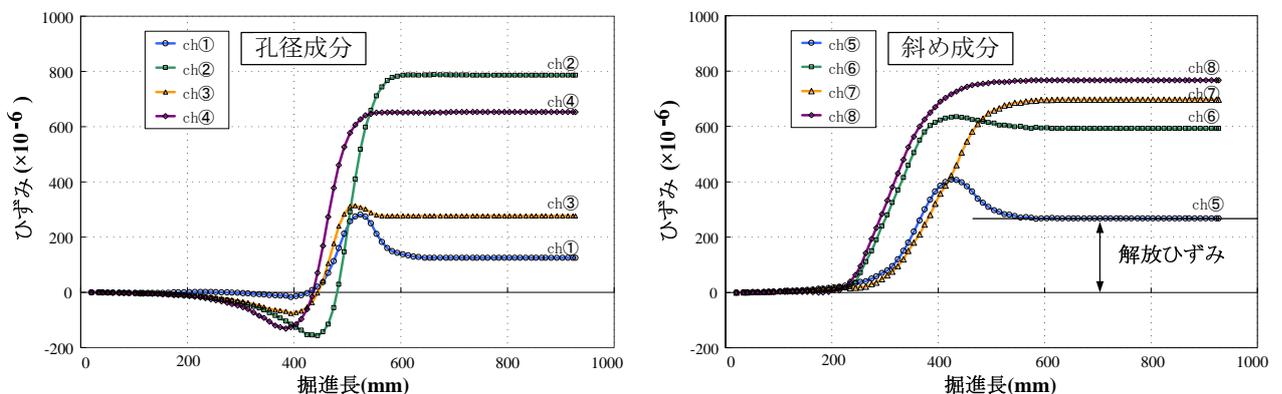


図5 オーバーコアリングに伴うひずみ変化の例 (ch 番号は図2に対応)

5.4 ひずみ感度試験 ひずみ感度試験は、次のとおりとする。

- a) **回収コアの成形** 図6に示すように、ひずみ感度試験の供試体とするため、回収コアの成形を行う。回収コアの長さ 500mm 程度を目安として、多軸ひずみ計を含む区間の両端をコア軸に垂直に切断し、両端面を平滑に成形し、キャッピングを行う。
- 備考** キャッピングには岩石より強度および剛性が大きい石こうを用いる。
- b) **回収コアへの加圧とひずみの測定** 成形した回収コアにゴムスリーブ等の被覆材を施して加圧容器内にセットし、測定された解放ひずみを超えるまで静水圧を逐次作用させ、静水圧と8成分のひずみを測定する。
- 備考** 静水圧としての最大载荷圧力は、原則として各成分のひずみがオーバーコアリングで得られた解放ひずみを超えるまでとする。载荷は圧力制御で単調载荷とし、最大载荷圧力まで20分程度となる载荷速度とする。
- c) **ひずみ感度係数の算出** 図7に示すようなひずみ感度試験で得られた応力-ひずみ曲線から、オーバーコアリ

「埋設ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

ングで得られた各成分の解放ひずみ $\varepsilon_{pi}$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) に対応した静水圧, すなわち三軸等方力 $\sigma_{ci}$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) を求める。この $\varepsilon_{pi}$ ,  $\sigma_{ci}$ とポアソン比 $\nu$ から各成分のひずみ感度係数 $E_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) を次式により求める。

$$E_i = (1 - 2\nu) \frac{\sigma_{ci}}{\varepsilon_{pi}} \quad (5.1)$$

備考 ポアソン比 $\nu$ は, 0.30 を標準として用いる。

- d) **みかけひずみの算出** 等方均質な岩盤のヤング率 $E_0$ を任意に仮定し,  $E_i$ に対する解放ひずみ $\varepsilon_{pi}$ から,  $E_0$ に対応するみかけひずみ $\varepsilon_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) を次式により求める。

$$\varepsilon_i = \frac{E_i}{E_0} \varepsilon_{pi} \quad (5.2)$$

参考  $E_0$ は, 通常,  $E_i$ の平均値とする。

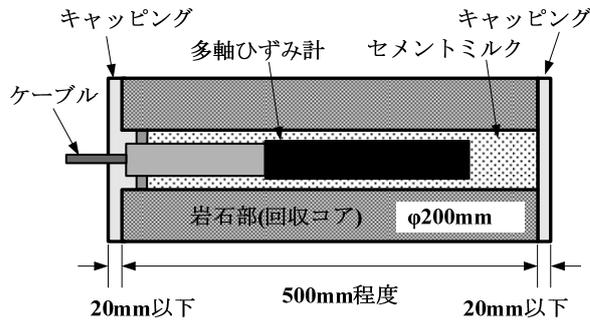


図6 回収コアの成形の例

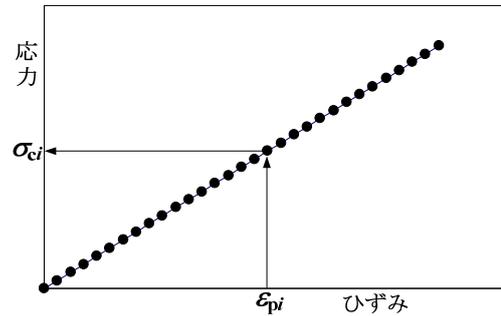


図7 ひずみ感度係数の算出方法の例

6. 計算 初期地圧の算定は, 以下のようにして行う。

ボーリング孔軸を $x$ 軸とし, これに直交する2方向を $y$ 軸,  $z$ 軸とする直交座標系 $(x, y, z)$ を定め, 初期地圧 $\{\sigma\}$ をこの座標系の応力成分によって,  $\{\sigma\}^T = \{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}\}$ と定義する。ここに, 上付きの添え字 $T$ は転置行列を表す。

オーバーコアリング及びひずみ感度試験から合計 $n$ 個のみかけひずみが得られる場合, みかけひずみを $\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n\}$ とすると, 初期地圧 $\{\sigma\}$ の観測方程式は次のように表示できる。

$$\{\varepsilon\} = [B]\{\sigma\} \quad (6.1)$$

ここに,  $[B]$ は $n \times 6$ の係数マトリクスであり, 多軸ひずみ計の方向とポアソン比 $\nu$ , 5.4 d)で仮定した等方均質な岩盤のヤング率 $E_0$ から求められる。

初期地圧の最確値は, 最小二乗法の原理から, 次の連立方程式を解いて求める。

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

ここに, 上付きの添え字 $-1$ 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仰角, 多軸ひずみ計の設置深度と回転角)
- b) 回収コアの写真とスケッチ

「埋設ひずみ法による初期地圧の測定方法（案）」

- c) 硬化養生中のひずみ変化（経過時間とひずみ変化の関係図）
- d) 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
- e) ひずみ感度試験の結果（応力-ひずみ曲線，ひずみ感度係数）
- f) 解放ひずみとみかけひずみの値
- g) 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  $\{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}\}$  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。

- h) 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合は，その内容
- i) その他，特記すべき事項