

# 岩盤の原位置三軸圧縮試験方法

## Method for in-situ triaxial compression test on rocks

### 1 適用範囲

この基準は、供試体に成形した岩盤が拘束圧を受けた状態で軸方向に圧縮されるとき強度・変形特性を求める原位置試験方法について規定する。主として軟岩から硬岩までを対象とする。均質・連続な岩盤だけでなく、不均質・不連続な岩盤や破碎帯などにも準用できる。また、一軸圧縮試験及び繰返し載荷試験にも準用できる。

### 2 引用規格及び基準

次に掲げる規格及び基準は、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。これらの引用規格及び基準は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

- JIS A 0207 地盤工学用語
- JIS B 7507 ノギス
- JIS B 7510 精密水準器
- JIS B 7512 鋼製巻尺
- JIS B 7516 金属製直尺
- JIS Z 8401 数値の丸め方
- JGS 2134 岩石の含水比試験方法
- JGS 2511 岩石の供試体の作製方法
- JGS 2533 軟岩の圧密非排水（CU-）三軸圧縮試験方法
- JGS 2561 岩石の多段階繰返し非排水三軸圧縮試験方法
- JGS 2562 岩石の疲労特性を求めるための繰返し非排水三軸圧縮試験方法
- JGS 2563 軟岩の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法

### 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

#### 供試体

2

3541 : 0000

露頭及び坑道底面を柱状に切り出した岩体

3.2

**軸方向応力,  $\sigma_a$**

供試体の長軸方向に作用する応力

3.3

**側方向応力,  $\sigma_r$**

供試体の長軸方向に直交する方向に作用する応力

3.4

**軸ひずみ,  $\varepsilon_{a,t}$**

軸方向に測定した供試体のひずみ

3.5

**側方向ひずみ,  $\varepsilon_{r,t}$**

周方向又は半径方向に測定した供試体のひずみ

3.6

**主応力差,  $\sigma_a - \sigma_r$**

軸方向応力と側方向応力との差

3.7

**等方応力状態**

軸方向応力と側方向応力とが等しい応力状態

3.8

**セル圧,  $\sigma_r$**

供試体に拘束圧を加えるために三軸セル室内に供給する圧力

**注釈** セル圧は側方向応力に等しい

3.9

**拘束圧条件下における圧縮強さ,  $(\sigma_a - \sigma_r)_{\max}$**

供試体に加え得る最大の主応力差

3.10

**変形係数,  $E$**

軸方向応力－軸ひずみ曲線の割線勾配及び接線勾配

**注釈** 圧縮強さの 50%における割線勾配で求めた変形係数を  $E_{s,50}$  , 接線勾配で求めた変形係数を  $E_{t,50}$  と表記する

## 4 試験装置

### 4.1 供試体の作製装置

供試体の作製装置は、供試体を切り出すための装置であり、コアリング装置、研磨機などで構成される。供試体が角柱の場合は、切断機などを用いる。

### 4.2 三軸圧縮試験機

三軸圧縮試験機は、圧縮装置、三軸セル、載荷板、ピストン、セル圧供給装置、荷重計、変位計、圧力計などから構成され、次に示す条件を満たすものとする。

- a) 三軸圧縮試験機の構成の例を **図 1** に示す。この構成は、供試体が円柱であり、三軸セルがメンブレンと一体となっており、メンブレンの設置が容易で耐圧性が高く、供試体が角柱の場合に比べて供試体の作製が容易で、供試体内の応力に一様性がある。現場状況等により三軸圧縮試験機を選定する。その他の構成を **附属書 A** に示す。
- b) **図 1** の三軸セルは、摺動部を有し、載荷板の移動と共にメンブレンの上端が下方に移動する機構を備えること。メンブレンは、供試体の変形を妨げず、その厚さは 2.5 mm～10 mm のものが望ましい。
- c) 最大セル圧及び供試体の最大軸圧縮力に対し、十分な耐荷重容量及び負荷能力を有すること。
- d) 軸方向変位又は軸方向応力を連続して一定速度で制御できること。
- e) 所定のセル圧を、200 kN/m<sup>2</sup> 未満では±4 kN/m<sup>2</sup>、200 kN/m<sup>2</sup> 以上では±2%の圧力変動の範囲内で、1 供試体の試験が終了するまで連続して加圧できること。
- f) 軸圧縮力を供試体の最大軸圧縮力まで、その±1%の許容差で測定できること。**図 1** の例では、軸圧縮力の計測を外部荷重計及び内部荷重計で測定できる。外部荷重計では三軸セルの摺動部の摩擦力を測定して、軸圧縮力の測定値を補正すること。
- g) セル圧を 200 kN/m<sup>2</sup> 未満では±2 kN/m<sup>2</sup>、200 kN/m<sup>2</sup> 以上では±1%の許容差で測定できること。
- h) 軸変位量を供試体高さの±0.1%の許容差で測定できること。供試体の側面に局所変位計を設置して、局所的な軸変位量を測定できること。局所変位計を設置する範囲は供試体の上端及び下端の影響を受けない範囲とし、局所変位計の測定長は、供試体高さの 50～70%程度とすることが望ましい。**図 1** の例では、軸変位の計測を外部変位計でも行っている。供試体の側面に局所変位計を設置せず、載荷板等に設置した外部変位計のみで計測する場合には、供試体の上端のベディングエラー及び供試体の下端と連続する地山の変形の影響を含んでいることに留意すること。
- i) 周方向又は側方向の変位を測定する場合には、軸変位と同等の精度で測定すること。

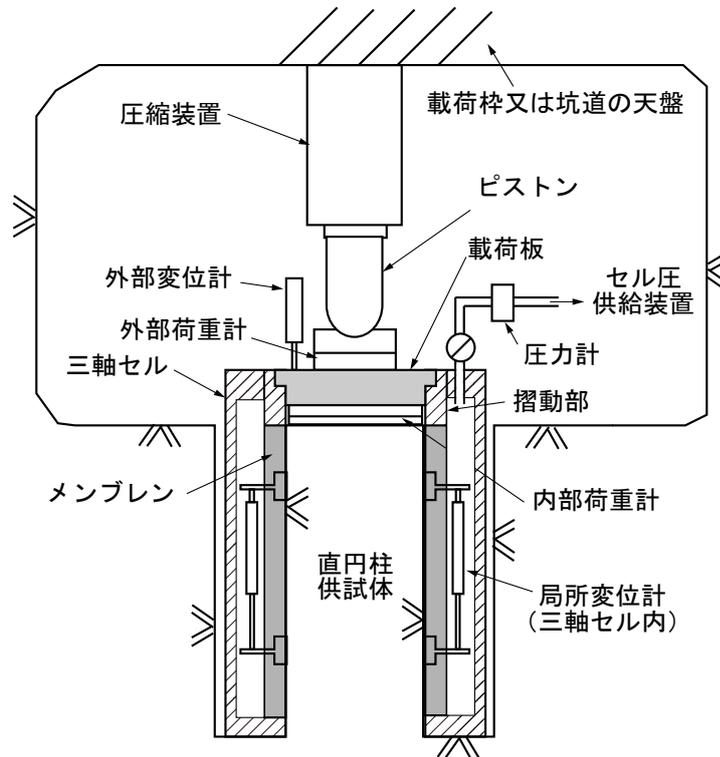


図 1-三軸圧縮試験機の例

### 4.3 その他の器具

#### 4.3.1 供試体の寸法測定器具

供試体の直径の測定はノギスによる。ノギスは **JIS B 7507** による。供試体の高さの測定は、鋼製巻尺又は金属製直尺による。鋼製巻尺は **JIS B 7512** により、金属製直尺は **JIS B 7516** による。供試体の上端面の傾きの測定は精密水準器により、これは **JIS B 7510** による。

ノギスによる直径の測定が困難な場合には、鋼製巻尺により、円周の長さを計測し、直径を算出してもよい。

#### 4.3.2 供試体の回収装置

試験後の供試体を回収する場合、供試体の下端を切断し、引き上げて回収することができる装置を準備する。

## 5 供試体の作製

### 5.1 試験箇所の選定

対象とする岩盤を代表する試験箇所を粗く整形した地表面、露頭及び周辺で得られたボーリングコアの地質観察などにより選定する。

強度特性を調べる場合には、試験箇所の岩盤の性状が同一であることを地質観察などにより確認し、応

力を変えて3個以上の供試体に対して試験を行うことが望ましい。

## 5.2 供試体の形状及び寸法

供試体の形状及び寸法は、次の条件を満たすものとする。

- a) 供試体の形状は直円柱を標準とし、直四角柱、直円筒の供試体にも準用できる
- b) 供試体の直径は、300 mm～600 mmを標準とし、直径100 mm～1 000 mmの直円柱の供試体にも準用できる。粗粒結晶を持つ岩石及び礫岩を対象とする場合には、供試体の直径は、構成粒子の最大寸法の5倍以上が望ましい。
- c) 供試体の高さは、直径の2.2倍を標準とし、直径の2倍～3倍の供試体にも準用できる。
- d) 供試体には曲げが作用しないように軸方向を鉛直方向とする。

## 5.3 供試体の掘削

供試体の掘削は、次による。

- a) 供試体の上端面は、研磨機で平坦に成形するか、又はモルタル等でフェーシングする。
- b) コアリング装置は掘削軸が鉛直となるように所定の位置に設置し、供試体を所定の直径になるように掘削する。

## 5.4 供試体の測定

供試体の測定は、次による。

- a) 上端面の傾きを精密水準器で測定する。供試体の中心軸が鉛直であると仮定して、上端面の傾きが**JGS 2511**を満足することを確認する。
- b) 供試体の直径は、供試体の上端付近において、直交する2方向でノギス、鋼製巻尺又は金属製直尺により測定し、これらの平均値を供試体の初期の直径 $D_0$  (mm)として記録する。
- c) 供試体の高さは、3箇所以上において鋼製巻尺又は金属製直尺で測定し、これらの平均値を供試体の初期の高さ $H_0$  (mm)として記録する。
- d) 必要に応じて、供試体を作製する際の岩片の中から代表的な試料を分取し、供試体の初期の含水比 $w_0$  (%)を**JGS 2134**により求め、記録する。
- e) 供試体の初期状態を地質観察し、スケッチ、写真などで記録する。

## 6 試験装置の組立て

### 6.1 三軸セル及びセル圧供給装置の設置

三軸セル内の局所変位計の初期位置を確認した後、供試体に三軸セルを設置し、三軸セルに圧力計及びセル圧供給装置を接続し、セル圧媒体を入れる。

### 6.2 圧縮装置などの設置

供試体の上端面に載荷板、外部変位計、ピストン、荷重計及び圧縮装置を設置する。設置の際には、

供試体の上端面に設置する装置の重量が供試体に作用しないように工夫するか、又は等方応力状態を保つように、重量と同等のセル圧を加える。

## 7 試験方法

本試験方法は1つの等方応力に対する単調载荷試験に適用される。さらに、1つの供試体に段階的に大きさを変えた等方応力を加圧して、軸圧縮を破壊の近傍まで行って複数の等方応力に対する圧縮強さを求める多段階载荷試験にも適用できる。

### 7.1 等方応力の加圧

等方応力の加圧は、次による。

- a) 各測定装置の設置状況を確認し、必要に応じて初期値を読み取る。
- b) 所定の等方応力状態になるように、軸方向応力及び側方向応力を供試体に加圧する。段階的に繰返し加圧してもよい。圧縮量が大きいと想定される場合には、軸方向の変位量  $\Delta H$  (mm) を計測し、その値が収束することを確認する。

### 7.2 軸圧縮

軸圧縮は、次による。

- a) 荷重計及び軸方向の変位計の原点を確認する。必要に応じて、周方向又は側方向の変位計の原点の確認を行う。
- b) セル圧を一定に保ちながら、軸ひずみ速度を一定にして連続的に载荷する。軸ひずみ速度は、毎分0.01 %～0.1 %とする。ただし、軸ひずみ速度を一定に保つことが困難な場合には、この軸ひずみ速度に相当する軸応力速度で载荷してもよい。繰返し载荷にも適用でき、その载荷方法については、**JGS 2561**, **JGS 2562**, **JGS 2563** を参考にする。
- c) 圧縮中は軸圧縮力  $P$  (kN) 及び軸方向の変位量  $\Delta H$  (mm) を計測し、記録する。計測の間隔は、主応力差－軸ひずみ曲線を滑らかに描くことのできるように設定する。必要に応じて、周方向又は側方向の変位量  $\Delta l$  (mm) を計測する。
- d) 軸ひずみ速度を一定で制御する場合には、荷重計の読みが最大となってから引き続き圧縮し、主応力差の変化が認められない状態に達したら圧縮を終了する。荷重計の読みが増加し続ける場合には、軸ひずみが5 %に達したら圧縮を終了する。軸応力速度を一定で制御する場合には、軸変位が急激に増大した時点で圧縮を終了する。

### 7.3 供試体の回収

供試体の回収は、次による。

- a) 载荷装置、荷重計、ピストン、载荷板、三軸セルなどを取り外す。その後、可能な場合には、試験後の供試体を回収する。
- b) 供試体の変形・破壊状況などを観察し、記録する。破断面が見られる場合は、勾配が最も急に見える方向から観察を行い、角度を読み取り、記録する。供試体の不均質な性状、不連続面の性状、異物の混入状況などを観察し、記録する。

- c) 必要に応じて、試験後の供試体の岩片の中から代表的な試料を分取し、供試体の含水比  $w$  (%) を **JGS 2134** により求め、記録する。

## 8 試験結果の整理

試験結果の整理は、次による。

- a) 供試体の軸ひずみ  $\varepsilon_a$  (%) を次式で算出する。軸ひずみ  $\varepsilon_a$  を直接測定した場合には、その値を%に換算する。等方応力の加圧による供試体の圧縮が大きい時には、**JGS 2533** を参考に、その圧縮量を考慮して  $H_0$  を補正する。

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta H}{H_0} \times 10^2 \dots\dots\dots(1)$$

ここで、  $\Delta H$  : 供試体の軸変位量 (mm)

- b) 軸ひずみ  $\varepsilon_a$  (%) のときの主応力差 ( $\sigma_a - \sigma_r$ ) ( $\text{MN/m}^2$ ) を次式で算出する。等方応力の加圧による供試体の圧縮が大きい時には、**JGS 2533** を参考に、その圧縮量を考慮して  $A_0$  を補正する。

$$\sigma_a - \sigma_r = \frac{P}{A_0} \left( 1 - \frac{\varepsilon_a}{100} \right) \times 10^3 \dots\dots\dots(2)$$

ここで、  $P$  : 供試体に作用する軸圧縮力 (kN)。ただし、等方応力状態のときは  $P=0$

$\sigma_a$  : 供試体に作用する軸方向応力 ( $\text{MN/m}^2$ )

$\sigma_r$  : 供試体に作用する側方向応力 ( $\text{MN/m}^2$ )

$A_0$  : 供試体の初期の断面積 ( $\text{mm}^2$ )

- c) 周方向又は側方向の変位を測定した場合は、供試体の側方向ひずみ  $\varepsilon_r$  (%) 及びポアソン比  $\nu$  を次式で算出する。また、側方向ひずみ  $\varepsilon_r$  を直接測定した場合は、ポアソン比  $\nu$  を同式で算出する。

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l}{\pi D_0} \times 10^2 = \frac{\Delta d}{D_0} \times 10^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$\nu = - \frac{\Delta \varepsilon_r}{\Delta \varepsilon_a} \dots\dots\dots(4)$$

ここで、  $\Delta l$  : 供試体の周方向の変位量 (mm)

$\Delta d$  : 供試体の側方向の変位量 (mm)

- d) 主応力差 ( $\sigma_a - \sigma_r$ ) ( $\text{MN/m}^2$ ) を縦軸に、軸ひずみ  $\varepsilon_a$  (%) を横軸にとって主応力差-軸ひずみ曲線を図示する。
- e) 主応力差の最大値を求め、圧縮強さ ( $\sigma_a - \sigma_r$ )<sub>max</sub> ( $\text{MN/m}^2$ ) とし、数値は **JIS Z 8401** の規則 B により有効数字 3 桁に丸める。また、そのときのひずみを破壊ひずみ  $\varepsilon_f$  (%) とし、その値も **JIS Z 8401** の規則 B により有効数字 3 桁に丸める。供試体の主応力差が最大値を示したのち軸ひずみの増加に対して、一定となった場合、その値を残留強さ ( $\sigma_a - \sigma_r$ )<sub>R</sub> ( $\text{MN/m}^2$ ) とする。
- f) 変形係数  $E$  ( $\text{MN/m}^2$ ) を次式で算出し、圧縮強さの 50 % における軸方向応力-軸ひずみ曲線の割線勾配  $E_{s,50}$  ( $\text{MN/m}^2$ ) を求め、**JIS Z 8401** の規則 B により有効数字 3 桁に丸める。必要に応じて、接線勾配  $E_{t,50}$  ( $\text{MN/m}^2$ ) を求める。

$$E = \frac{\Delta\sigma_a}{\Delta\varepsilon_a} \times 10^2 \dots\dots\dots(5)$$

ここで、  
 $\Delta\varepsilon_a$  : 軸ひずみの増分 (%)  
 $\Delta\sigma_a$  : 軸ひずみの増分に対応する軸方向応力の増分 (MN/m<sup>2</sup>)

## 9 報告事項

### 9.1 試験箇所の位置図

試験箇所及びその周辺がわかる図面を記す。

### 9.2 試験箇所の岩盤状況

試験箇所の岩盤状況は、次による。

- a) 地点名及び供試体上端面の地表面からの深さ、必要に応じて、試験箇所の地下水位、湧水の状況などを記す
- b) 岩種、岩質、節理や亀裂などの不連続面の状況
- c) 岩盤分類が行われている場合には、試験箇所の岩盤分類及び適用した岩盤分類基準
- d) 試験前の試験箇所の岩盤状況のスケッチ及び写真

### 9.3 供試体に関する事項

#### 9.3.1 供試体の形状及び作製方法

#### 9.3.2 供試体の初期の高さ及び初期の直径

含水比を測定した場合には、供試体の初期状態の含水比又は試験後の含水比を報告する。

#### 9.3.3 供試体の観察結果

供試体の軸に対する層理、葉理、亀裂などの傾斜角、岩質などの地質性状について報告する。

### 9.4 試験方法に関する事項

試験方法に関する事項は、次による。

- a) 载荷方法（载荷装置、载荷パターンなど）
- b) 測定方法（測定装置、変位計配置など）

### 9.5 試験結果に関する事項

#### 9.5.1 セル圧

#### 9.5.2 軸圧縮過程のひずみ速度又は応力速度

#### 9.5.3 圧縮強さ $(\sigma_a - \sigma_r)_{\max}$ (MN/m<sup>2</sup>)、及び破壊ひずみ $\varepsilon_f$ (%)

残留強さが得られた場合には、残留強さ  $(\sigma_a - \sigma_r)_R$  (MN/m<sup>2</sup>)、及び残留強さを求めた軸ひずみ  $\varepsilon_R$  (%) の範囲を報告する。

#### 9.5.4 変形係数

割線勾配で算出した変形係数を  $E_{s,50}$  (MN/m<sup>2</sup>), 必要に応じて接線勾配で算出した変形係数を  $E_{t,50}$  (MN/m<sup>2</sup>) を報告する。

#### 9.5.5 主応力差一軸ひずみ曲線

周方向変位又は側方向ひずみを測定した場合には, 必要に応じて, 主応力差一側方向ひずみ曲線, 主応力差一ポアソン比曲線を報告する。

#### 9.5.6 供試体の破壊状況

載荷終了後の供試体の側面及び破断面の写真並びにスケッチを報告する。

#### 9.5.7 圧縮強さ一正方応力関係

必要に応じて, 圧縮強さを表すモールの応力円に対する包絡線及び包絡線から求めたせん断抵抗角  $\phi$  及び縦軸切片  $c$  を報告する。ただし, 包絡線が非線形の場合には,  $\phi$  及び  $c$  を求めた応力範囲を表示する。さらに, 残留強さを表すモールの応力円に対する包絡線及び包絡線から求めた場合には, せん断抵抗角  $\phi_R$  及び縦軸切片  $c_R$  を報告する。

### 9.6 その他特記すべき事項

本基準と部分的に異なる方法を用いた場合には, その内容を報告する。

## 附属書 A

### (参考)

三軸圧縮試験機の図 1 以外の構成例を以下に示す。

図 A. 1 の例は、直円筒の供試体を用い、三軸セル（外セル）の外周面にもメンブレンを設ける装置である。セル圧に対する反力を周辺の岩盤に取ることができるため、三軸セルの耐圧性能の面から有利である。また、中空部分にも三軸セル（内セル）が設置されている。なお、三軸セル（外セル）及び三軸セル（内セル）の圧力は等しい。

図 A. 2 の例は、直円柱の供試体及び周辺岩盤表面の両方にメンブレンを被せ、それらの上面に蓋状の三軸セルを設置する装置である。

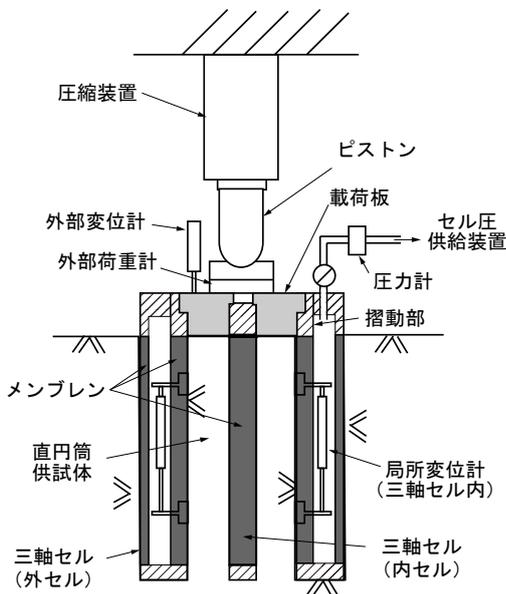


図 A. 1-試験装置の例 (その 1)

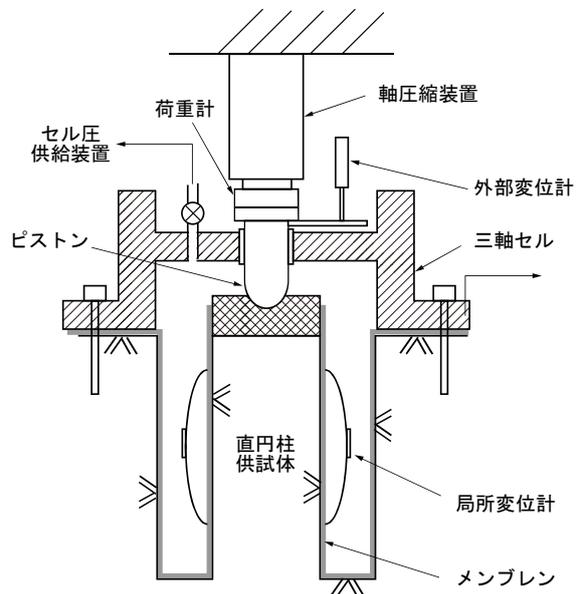


図 A. 2-試験装置の例 (その 2)

図 A. 3 の例は、直円柱の供試体にメンブレンを被せてから三軸セルを組み立てる装置である。三軸セルの上盤と荷重板との間の摩擦に留意する必要がある。

図 A. 4 の例は、直四角柱の供試体にフラットジャッキを設置し、周辺岩盤で反力をとる装置である。岩盤を直四角柱に整形することは困難であるが、ディスクカッターを用いるか、又は柱列ボーリングにより削孔して、平面に研磨するか、若しくは平面になるようにフェーシングするなどの方法が考えられる。フラットジャッキと供試体との摩擦に留意する必要がある。

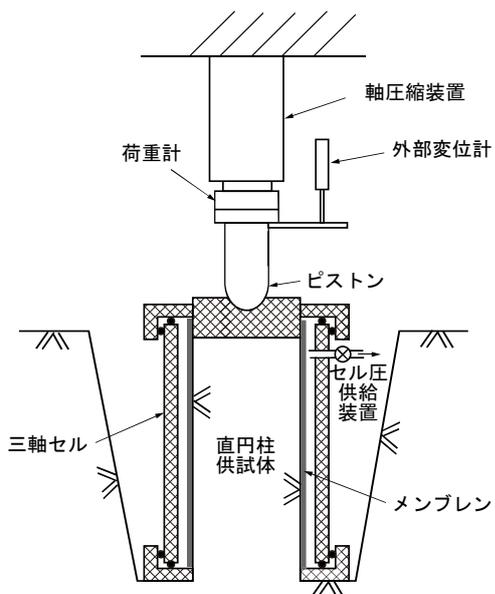


図 A. 3-試験装置の例 (その 3)

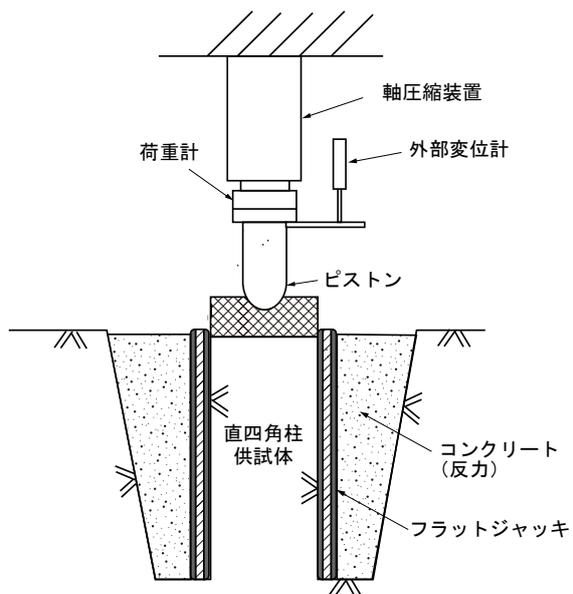


図 A. 4-試験装置の例 (その 4)

# 地盤工学会基準 (JGS) の改正について

## 地盤工学会基準部

### 岩盤の原位置三軸圧縮試験方法

項目	改正案	現行基準	備考
1 適用範囲	この基準は、供試体に成形した岩盤が拘束圧を受けた状態で軸方向に圧縮されるとき強度・変形特性を求める原位置試験方法について規定する。主として軟岩から硬岩までを対象とする。均質・連続な岩盤だけでなく、不均質・不連続な岩盤や破碎帯などにも準用できる。また、一軸圧縮試験及び繰返し載荷試験にも準用できる。	この基準は、供試体に成形した岩盤が拘束圧を受けた状態で軸方向に圧縮されるとき強度・変形特性を求める原位置試験方法について規定する。主として軟岩から硬岩までを対象とする。	適用範囲の明確化
2 引用規格及び基準	次に掲げる規格及び基準は、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。これらの引用規格及び基準は、その最新版（追補を含む。）を適用する。 <b>JISA 0207</b> 地盤工学用語 <b>JIS B 7507</b> ノギス <b>JIS B 7510</b> 精密水準器 <b>JIS B 7512</b> 鋼製巻尺 <b>JIS B 7516</b> 金属製直尺 <b>JIS Z 8401</b> 数値の丸め方 <b>JGS 2134</b> 岩石の含水比試験方法 <b>JGS 2511</b> 岩石の供試体の作製方法 <b>JGS 2533</b> 軟岩の圧密非排水（CU-）三軸圧縮試験方法 <b>JGS 2561</b> 岩石の多段階繰返し非排水三軸圧縮試験方法 <b>JGS 2562</b> 岩石の疲労特性を求めるための繰返し非排水三軸圧縮試験方法 <b>JGS 2563</b> 軟岩の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法	次に掲げる規格及び基準は、この基準に引用されることによって、この基準の一部を構成する。これらの引用規格及び基準は、その最新版（追補を含む。）を適用する。 <b>JISA 0207</b> 地盤工学用語 <b>JIS B 7507</b> ノギス <b>JIS B 7510</b> 精密水準器 <b>JIS B 7512</b> 鋼製巻尺 <b>JIS B 7516</b> 金属製直尺 <b>JGS 2134</b> 岩石の含水比試験方法 <b>JGS 2511</b> 岩石の供試体の作製方法 <b>JGS 2533</b> 軟岩の圧密非排水（CU-）三軸圧縮試験方法 <b>JGS 2561</b> 岩石の多段階繰返し非排水三軸圧縮試験方法 <b>JGS 2562</b> 岩石の疲労特性を求めるための繰返し非排水三軸圧縮試験方法 <b>JGS 2563</b> 軟岩の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法	必要な規格（JIS Z 8401 数値の丸め方）を追記した。
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、 <b>JISA 0207</b> による。 3.4 軸ひずみ 軸方向に測定した供試体のひずみ 3.5 側方向ひずみ 周方向又は半径方向に測定した供試体のひずみ	この基準で用いる主な用語及び定義は、 <b>JISA 0207</b> によるほか、次による。	軸ひずみと側方向ひずみの用語と定義を追記した。