

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。

注記 1 均質・連続な岩盤だけでなく、不均質・不連続な岩盤にも適用できる。また、破碎帯などにも適用できる。

注記 2 三軸圧縮試験だけでなく、一軸圧縮試験にも適用できる。

注記 3 単調載荷試験だけでなく、繰返し載荷試験にも適用できる。

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、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。

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

JGS 2134 岩石の含水比試験方法

JGS aaaa 岩石の供試体の作製方法（注：審議中のため基準番号は不記載）

JGS bbbb 岩石の変形特性を求めるための繰返し三軸圧縮試験方法（注：審議中のため基準番号は不記載）

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

3 用語及び定義

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

3.1

供試体

露頭や坑道底面を柱状に切り出した岩体。

3.2

軸方向応力, σ_a

供試体の長軸方向に作用する応力。

3.3

側方向応力, σ_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

主応力差, $\sigma_a - \sigma_r$

軸方向応力と側方向応力の差。

3.5

等方応力状態

軸方向応力と側方向応力の等しい応力状態。

3.6

セル圧, σ_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。なお、セル圧は側方向応力に等しい。

3.7

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。

3.8

変形係数, E

軸方向応力一軸ひずみ曲線の割線勾配と接線勾配。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。

注記 供試体が角柱の場合は切断機などを用いることもある。

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。

注記 三軸圧縮試験機の構成を図 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、供試体内の応力の一様性にも優れている。現場状況等により三軸圧縮試験機を選定するものとする。その他の構成を附属書 A に示す。

- a) 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が下方に移動しなければならない。メンブレンは、供試体の変形を妨げず、その厚さは 2.5~10 mm のものが望ましい。
- b) 最大セル圧及び供試体の最大軸圧縮力に対し、十分な耐荷容量と負荷能力を有する。
- c) 軸方向変位又は軸方向応力を連続して一定速度で与えることができる。
- d) 所定のセル圧を、200 kN/m² 未満では±4 kN/m²、200 kN/m² 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えることができる。
- e) 軸圧縮力を供試体の最大軸圧縮力まで、その±1 %の許容差で測定することができる。図 1 の例では、軸圧縮力の計測を外部荷重計と内部荷重計で行うことができる。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。

- f) セル圧を 200 kN/m^2 未満では $\pm 2 \text{ kN/m}^2$, 200 kN/m^2 以上では $\pm 1\%$ の許容差で測定することができる。
- g) 軸変位量を供試体高さの $\pm 0.1\%$ の許容差で測定することができる。供試体の側面の中央高さに局所変位計を設置して、局所的な軸変位量を求める。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。
- 注記** 供試体の側面に局所変位計を設置せず、載荷板等の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、又は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。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する。
- h) 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ができる。

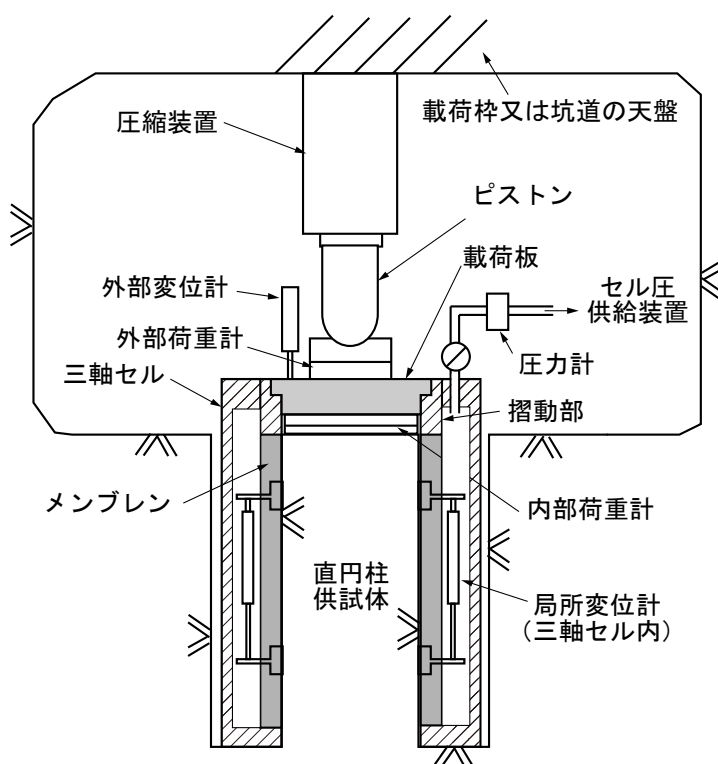


図 1-試験装置の例

4.3 その他の器具

a) 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 による。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る。精密水準器は JIS B 7510 による。

注記 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。鋼製巻尺は JIS B 7512 による。

b) 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。

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や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。

注記 強度特性を調べる場合には、等方応力を変えて 3 個以上の供試体に対して試験を行うことが望ましい。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する。

5.2 供試体の形状および寸法

a) 供試体の形状は直円柱とする。

注記 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、300～600 mm とする。

注記 1 直径 100～1 000 mm の直円柱の供試体にも準用できる。

注記 2 粗粒結晶を持つ岩石や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 倍とし、直径の 2～3 倍であれば許される。

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

a) 供試体の上端面を研磨機で平坦に成形する。モルタル等でフェーシングしてもよい。

b) コアリング装置を掘削軸が鉛直となるように所定の位置に設置する。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

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ことを仮定して、上端面の傾きが JGS aaaa を満足することを確認する。

b) 供試体の直径を、供試体の上端付近において、直交する 2 方向でノギスにより測定し、これらの平均値を供試体の初期の直径 D_0 として記録する。

注記 鋼製巻尺又は金属製直尺を用いてもよい。

c) 供試体の高さを、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 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

供試体の上端面にキャップ、外部変位計、ピストン、荷重計及び圧縮装置を設置する。

注記 供試体の上端面に設置するもの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

1つの等方応力に対する単調载荷に適用する。

注記 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

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。

注記 1 段階的に繰返し加圧してもよい。段階数については、3～5回程度で実施する場合が多い。

注記 2 圧縮量が大きいと想定される場合には、軸方向の変位量 ΔH (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

a) 荷重計及び軸方向の変位計の原点を確認する。

注記 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程度の軸応力速度で供試体に载荷してもよい。

注記 繰返し载荷にも適用できる。载荷方法については、JGS bbbb, JGS2561 及び JGS2562 を参考にしてもよい。

c) 圧縮中は軸圧縮力 P (kN) 及び軸方向の変位量 ΔH (mm) を計測し、記録する。

注記 1 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。

注記 2 必要に応じて、周方向又は側方向の変位量 Δl (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

a) 载荷装置、ロードセル、ピストン、キャップ、三軸セルなどを取り外す。その後、必要に応じて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。

注記 圧縮試験終了後の供試体の変形・破壊状況は、それらの状況が最も顕著に見える方向から観察を行い、記録する。また、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、おおよその角度が読み取れる程度に記録する。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

- a) 供試体の軸ひずみ ε_a (%) を次式で算出する。軸ひずみ ε_a を直接測定した場合には、その値を%に換算する。

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta H}{H_0} \times 10^2$$

ここに、 ΔH : 供試体の軸変位量 (mm)

注記 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。

- b) 軸ひずみ ε_a (%) のときの主応力差 ($\sigma_a - \sigma_r$) (MN/m²) を次式で算出する。

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

ここに、 P : 軸圧縮力 (kN)。ただし、等方応力状態のときは $P=0$ 。

σ_a : 供試体に作用する軸方向応力 (MN/m²)

σ_r : 供試体に作用する側方向応力 (MN/m²)

A_0 : 供試体の初期の断面積 (mm²)

注記 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。

- 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 ε_r (%) 及びポアソン比 ν を次式で算出する。また、側方向ひずみ ε_r を直接測定した場合は、同式でポアソン比 ν を算出する。

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

$$\nu = -\frac{\Delta \varepsilon_r}{\Delta \varepsilon_a}$$

ここに、 Δl : 供試体の周方向の変位量 (mm)

Δd : 供試体の側方向の変位量 (mm)

- d) 主応力差を縦軸に、軸ひずみ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 ($\sigma_a - \sigma_r$)_{max} とし、四捨五入によって有効数字3桁に丸める。また、そのときのひずみを破壊ひずみ ε_f (%) とし、四捨五入によって有効数字3桁に丸める。

注記 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値を残留強さとする。

- f) 変形係数 E (MN/m²) 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 $E_{s,50}$ を求め、四捨五入によって有効数字3桁に丸める。

$$E = \frac{\Delta \sigma_a}{\Delta \varepsilon_a} \times 10^2$$

ここに、 $\Delta \varepsilon_a$: 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/m²)

注記 必要に応じて、接線勾配 $E_{t,50}$ を求める。

9 報告事項

9.1 試験箇所の位置図

試験箇所とその周辺がわかる図面を記す。

9.2 試験箇所の岩盤状況

a) 地点名及び供試体上端面の地表面からの深さ

注記 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

注記 例えば、砂岩、花崗岩、凝灰岩などを記す。

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

a) 供試体の形状及び作製方法

b) 供試体の初期の高さ及び初期の直径

注記 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。

c) 供試体の観察結果

注記 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

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

a) セル圧

b) 軸圧縮過程のひずみ速度又は応力速度

c) 圧縮強さ $(\sigma_a - \sigma_r)_{\max}$ (MN/m²)、及び破壊ひずみ ϵ_f (%)

注記 残留強さが求められた場合には、残留強さ (MN/m²)、及び残留強さを求めた軸ひずみ (%) の範囲を報告する。

d) 変形係数

割線勾配で算出した変形係数を $E_{s,50}$ (MN/m²)、必要に応じて接線勾配で算出した変形係数を $E_{t,50}$ (MN/m²) を報告する。側方向ひずみを測定又は算出した場合には、必要に応じて、ポアソン比を報告する。

e) 主応力差－軸ひずみ曲線

注記 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－側方向ひずみ曲線、側方向ひずみ－軸ひずみ曲線及びポアソン比を報告する。

f) 供試体の破壊状況 g) 圧縮強さ－等方応力関係

注記 1 必要に応じて、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 ϕ 及び縦切切片 c を報告する。ただし、包絡線が非線形の場合には、 ϕ 及び c を求めた応力範囲を表示する。

注記 2 必要に応じて、残留強さ並びにモールの応力円に対する残留状態におけるせん断抵抗角 ϕ_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 A1 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た例である。中空部分にもセル（三軸内セル）が設置されている。また、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。なお、等方三軸試験を行う場合には直円筒供試体の外側のセル（三軸外セル）と内セルの圧力は等しい。

図 A2 の例は、直円柱の供試体と周辺岩盤表面の両方にメンブレンを被せ、それらの上面に蓋上の三軸セルを設置する構造である。

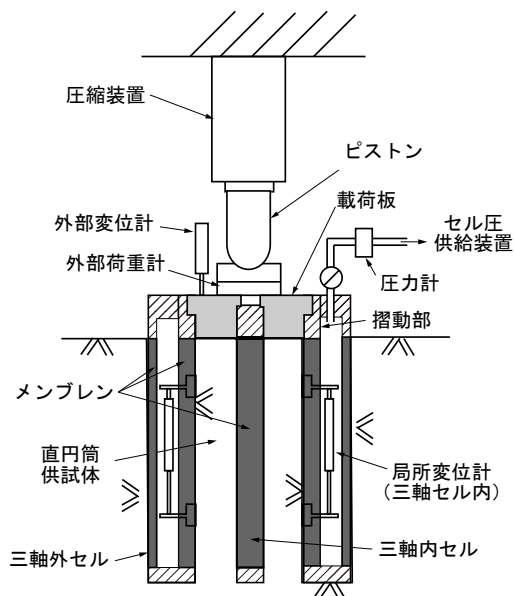


図 A1-試験装置の例 (その 1)

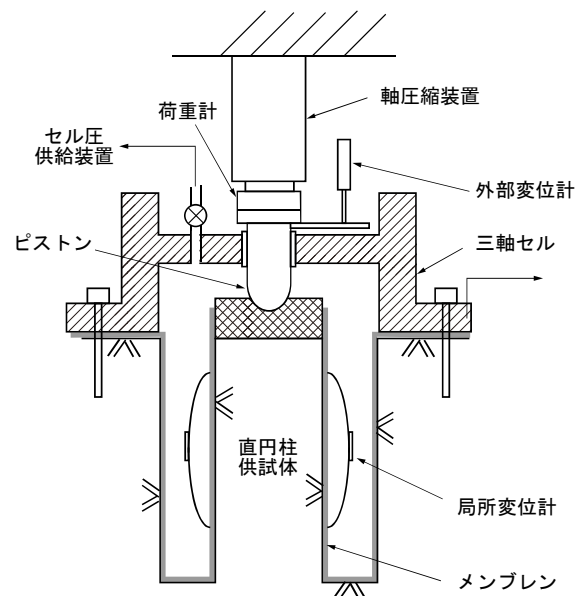


図 A2-試験装置の例 (その 2)

図 A3 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ていく構造の試験装置である。三軸セルの上盤と荷荷板の摩擦に留意する必要がある。荷荷棒は必ずしも必要ではない。

図 A4 の例は、直四角柱の供試体にフラットジャッキを設置し、周辺岩盤でその反力をとる試験装置の例である。岩盤を直円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、も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の摩擦に留意する必要がある。

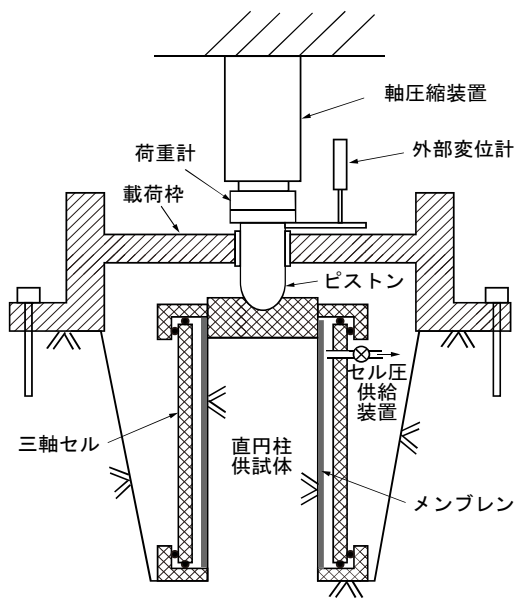


図 A3-試験装置の例 (その 3)

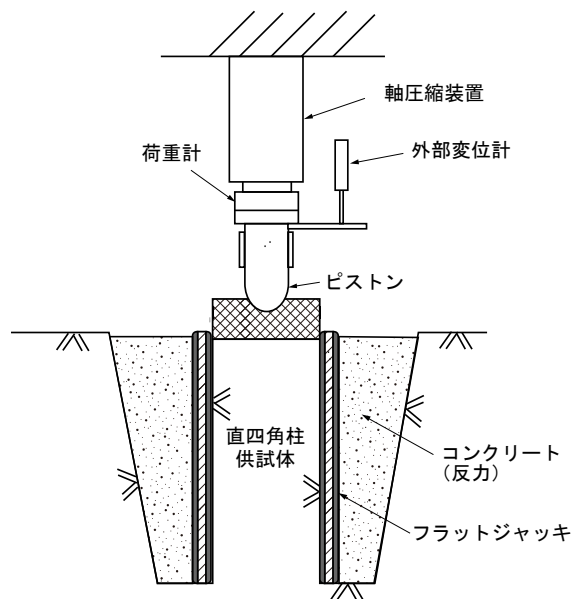


図 A4-試験装置の例 (その 4)