

新規制定の地盤工学会基準案「岩石の圧密排水（CD） 三軸圧縮試験方法」について

地盤工学会基準部

1. ま え が き

ここに公示する新規学会基準案は、「岩石の圧密排水（CD）三軸圧縮試験方法」に関して新たに制定することを企図し提案するものである。原案は、「岩石の圧密排水（CD）三軸圧縮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、基準案作成に至る経緯ならびに本基準の位置づけ、留意事項について述べる。

表一 岩石の圧密排水（CD）三軸圧縮試験方法基準化委員会委員構成

委員長	田中 莊一	応用地質(株)
委員兼幹事	瀬戸 政宏	独立行政法人産業技術総合研究所
委員兼幹事	岩本 健	応用地質(株)
委員	青木 謙治	京都大学大学院工学研究科
委員	荒川 哲一	(株)ダイヤコンサルタント
委員	池田 利昭	中央開発(株)
委員	太田 岳洋	軌鉄道総合技術研究所
委員	長田 昌彦	埼玉大学地圏科学研究センター
委員	木山 保	三井建設(株)
委員	鈴木健一郎	(株)大林組
委員	西野 隆之	東京電力(株)
委員	早野 公敏	独立行政法人港湾空港技術研究所
委員	渡辺 浩平	清水建設(株)
委員	アイダン・オメル	東海大学海洋学部

なお、公示する基準案に対してご意見のある学会員は、平成13年12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。会員から意見が出された場合には、その内容を慎重に検討した上で、基準部ならびに理事会における所定の審議手続きを経た後、この基準案が学会基準として制定される運びとなる。

2. 基準案作成の経緯

平成5年に発足した「岩の試験方法検討委員会（委員長：吉中龍之進 埼玉大学教授（当時）」において、地盤工学会として基準化をはかるべき岩の室内試験と原位置試験をリストアップするために、国内外の学協会および関係機関の基準や指針類の実態を調査するとともに、実務面での利用度や新たな基準の必要性等についての検討が行われた。2年間にわたる検討の結果、岩石供試体を用いた一軸および三軸圧縮試験は実務においても広く利用されている重要な試験であるが、軟岩から硬岩までの多様な性状を示す岩石を包括する形の諸基準がなく、新たな基準作成の必要性がきわめて高い試験であることが示された¹⁾。

このような背景のもとで、基準化を進める準備段階として、必要な情報を収集し整理する活動が「岩の一軸お

よび三軸試験方法検討委員会（委員長：吉中龍之進 埼玉大学教授（当時）」（以下、「検討委員会」）において平成7年度から3箇年にわたって進められた²⁾。主要な活動内容は、(1)アンケート調査、(2)全国一斉試験、(3)文献調査、(4)試験方法の基準化に向けての要点の整理、および(5)岩の一軸および三軸圧縮試験方法をテーマとしたシンポジウムの開催の5項目である。その後、この「検討委員会」の成果等を踏まえ三軸圧縮試験方法の基準化が順次進められている。

ここに示した岩石の圧密排水（CD）三軸圧縮試験方法の基準は、平成12年に発足した「岩石の圧密排水（CD）三軸圧縮試験方法基準化委員会」において原案が作成され、さらに「岩の試験・調査規格・基準検討委員会」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. 本基準の位置づけ

本基準案は、軟岩から硬岩までを含む主として飽和した岩石および岩石質地盤材料の圧密排水（CD）三軸圧縮試験の方法を規定するものである。すなわち、三軸圧力室内に設置した供試体にあらかじめセル圧を作用させて圧密し、その後セル圧を一定に保持しながら間隙水が供試体内外に自由に出入りできる状態で、軸方向応力を単調に増加させて供試体を破壊させる試験を対象としている。

前述の「検討委員会」において、岩石の一軸圧縮試験、三軸圧縮試験に関して、どのような種類の試験がどのような目的で実施され、その結果がどのように利用されているかという点についての国内の現状を把握するためのアンケート調査が実施された。国内79の機関（回収率65%）から寄せられた調査結果が多面的に分析されている。これらのうち、岩石の三軸圧縮試験の実施状況や目的、結果の利用方法に関して次のような国内の現状が明らかにされた²⁾。

- (1) 岩石の三軸圧縮試験は軟岩、硬岩ともに岩石の一軸圧縮試験に次いで実施頻度の高い重要な試験である。
- (2) 実務で行われている岩石の三軸圧縮試験の方法としては UU, $\overline{CU}$, CD 試験がある。軟岩においては UU, $\overline{CU}$, CD の3種類の三軸圧縮試験がほぼ同様の割合で実施されているが、硬岩においては、 $\overline{CU}$, CD はまれで UU の実施頻度が圧倒的に多い。

これらの検討に基づいて、平成10～11年度に、軟岩、硬岩ともに実施頻度が高く最も基本的な試験方法である UU 試験について基準化委員会が設立され、「岩石の非圧密非排水（UU）三軸圧縮試験方法（JGS 2531-2000）」

の基準が策定された。引き続いて、圧密非排水三軸圧縮試験方法さらには圧密排水条件における試験方法についての基準化が進められてきたものである。

我が国の社会資本整備にあたり、地下空間利用の重要性がいわれている。広範な地域で軟岩を対象とする建設事業も多く、その長期安定性は軟岩特有の重要な力学特性としてあらかじめ把握しておくことが肝要である。また、大深度地下利用においては硬岩の長期挙動にかかわる力学特性を知ることが重要である。しかし、こうした間隙水の移動を伴った長期の安定性評価にかかわる岩石の三軸圧縮試験方法に定まった基準等がなく、土の試験法を準用する等各機関での扱いは必ずしも統一されていない現状にある。

このような背景のもと、本基準化委員会では岩石の圧密排水 (CD) 三軸圧縮試験について、供試体の作製、試験装置、試験手順と方法、変形量の測定など試験結果に影響を与える要素を整理し、圧密排水条件の下での力学特性を把握する基準を確立することとした。

なお、岩石の圧密非排水 (CU・ $\overline{CU}$) 三軸圧縮試験方法については別途基準化作業が進められている。

4. 基準案の概要

本基準案は、「1. 総則」から「7. 報告事項」まで七つのパートから構成されている。基本的には UU 試験方法および CU, $\overline{CU}$ 試験方法と同様の構成および基準条文内容となっているが、試験環境、圧密時間の決定、載荷速度など圧密排水試験実施上とくに重要な「5. 試験方法」に関しては、事例をひも解き慎重に審議を重ねた上で基準案を作成した。これらに関しては、基準条文や付帯条項で詳細に述べるのが難しく判断も必要とされることから、解説を充実し事例等を示す中で試験実施上の利便を図るようにしている。

4.1 総則

本基準案の適用範囲を「主として飽和した岩石および岩石質地盤材料」とした。硬岩を対象とした試験の実施にあたっては、供試体の初期含水状態、骨格の硬さ、間隙の形状、透水係数と試験時の応力状態から、供試体の飽和化が困難な場合も想定される。「主として」という表現を用いたのは、このような状況を反映させたことによる。

ここで圧密とは等方応力に対して間隙水等が供試体外へ排出される現象と定め、圧密排水条件下における圧縮強さとは圧密終了時の有効側方向応力のもと排水状態で供試体に加え得る最大の主応力差と定義している。

強度・変形特性を評価するための必要供試体数については、「岩石の圧密非排水 (UU) 三軸圧縮試験方法 (JGS 2531-2000)」にならい「通常、4 個以上」とした。

4.2 試験用具

岩石の CD 三軸試験では背圧供給装置および体積変化測定系を有することが必要であり、ここではとくにセル圧と背圧の容量および測定精度を規定した。また、軸変位量の許容差を供試体高さの $\pm 0.01\%$ とし、供試体の体積変化量は初期体積の $\pm 0.03\%$ の許容差で測定できるこ

ととした。体積変化の測定方法として種々の技術が適用されているが、ここでは代表的な五つの測定方法を付帯条項に示した。

4.3 供試体の作製と測定

供試体の直径は「5.0 cm を標準」、高さは「直径の 2 倍を標準」とした。これは、前出のアンケート調査において大多数の機関からこのような回答が寄せられたことによる。なお、供試体寸法に関する付帯条項で、「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 5 倍以上が望ましい」とした。

供試体の作製方法としては、本基準は広く岩石全般を対象とすることから、一般に行われているコアリング法ならびにトリミング法について規定した。

4.4 供試体の設置と飽和

供試体の飽和度を高めることは重要な作業であり、岩石の種類や供試体の状態に応じて採用すべき方法として四つの方法を提案した。また背圧の与え方について、「加圧に際しては供試体の有効応力の急激な変動をさけるため、徐々に加えることが望ましい」との考えから、作業手順を付帯条項に示した。

4.5 試験方法

ひずみ速度との関係で比較的長期の試験となることから、試験室内の温度環境に留意する必要があることを付帯条項で説明した。

CD 試験の重要なプロセスの一つである圧密中の体積変化量測定を規定するとともに、圧密打切り時期の決定方法について $\overline{CU}$ 試験方法に準じて付帯条項で説明した。

大多数の機関において、軸圧縮過程の制御方式として変位制御もしくはひずみ制御方式を採用していることが前出のアンケート調査で明らかにされている。本基準案の軸圧縮過程として「軸変位速度または軸ひずみ速度を一定にして連続的に圧縮する」としたのはこのような実態を反映したことによる。また、軸ひずみ速度については付帯条項および基準の解説で詳しく説明しているが、緩速の試験が望ましいもののアンケート結果による実態を考慮し毎分 0.001~0.01% を標準とすることとした。

4.6 試験結果の整理

圧密過程および軸圧縮過程における各諸量の算出方法は、土の圧密排水 (CD) 三軸圧縮試験方法 (JGS 0524-2000) と同様である。これらの算出方法に加えて、ポアソン比の算出式を付帯条項および基準の解説で説明した。

4.7 報告事項

試験の目的が、強度特性とあわせて変形特性も求めることに置かれている場合も多いという状況²⁾を考慮し、付帯条項で変形係数の報告についても言及した。この変形係数の取扱いについては岩石の UU 試験および CU, $\overline{CU}$ 試験方法と同様である。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会 岩の試験方法検討委員会：岩の試験方法検討委員会委員会総括報告書，1995。
- 2) 地盤工学会 岩の一軸および三軸試験方法検討委員会：岩の一軸および三軸試験方法検討委員会報告書，1998。

岩石の圧密排水 (CD) 三軸圧縮試験方法 (JGS 2534-200*)

Method for Consolidated-Drained Triaxial Compression Test on Rocks

1. 総 則

1.1 試験の目的

この試験は、等方応力状態で圧密された岩石が排水状態で軸圧縮されるときの強度・変形特性を求めることを目的とする。

1.2 適用範囲

主として飽和した岩石および岩石質地盤材料を対象とする。

1.3 用語の定義

- (1) CD とは圧密後、排水状態でせん断することをいう。
- (2) 軸方向応力とは、供試体の長軸方向に作用する応力をいい、側方向応力とは、供試体の半径方向に作用する応力をいう。両応力の差を主応力差という。ここで、軸方向応力の値は供試体中央高さで定義する。セル圧とは、三軸圧力室内に加える圧力をいい、側方向応力に等しい。
- (3) 等方応力状態とは、軸方向応力と側方向応力の等しい応力状態をいう。
- (4) 排水状態とは、間隙水が供試体内外に自由に出入りできる状態のことをいう。
- (5) 背圧とは、有効応力を一定に保ったまま供試体に加える間隙水圧をいう。
- (6) 圧密応力とは、圧密過程において供試体の外側から作用している応力から背圧を差し引いたものをいう。
- (7) 岩石の圧密排水条件下における圧縮強さとは、圧密終了時の有効側方向応力のもと、排水状態で供試体に加えられる最大の主応力差をいう。

【付帯条項】

1. a. 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。
1. b. 本基準に規定されていない事項については、次の基準を参照する。
JGS 2521-2000 「岩石の一軸圧縮試験方法」
JGS 2531-2000 「岩石の非圧密非排水 (UU) 三軸圧縮試験方法」
JGS 2532-200* 「軟岩の圧密非排水 (CU) 三軸圧縮試験方法」
JGS 2533-200* 「軟岩の圧密非排水 (C $\bar{U}$) 三軸圧縮試験方法」
1. c. この試験は「岩石の CD 三軸試験」と略記することができる。
1. 1a. 同一の試料から作製した、強度特性を評価するのに十分な数 (通常、4 個以上) の供試体について、必要とされる応力の範囲内の相異なる等方応力のもとで試験を行う。
1. 2a. 岩石質地盤材料とは、改良された地盤材料や人工的につくられた地盤材料をいう。
1. 3a. ここでいう圧密とは、等方応力に対して間隙水等が供試体外部へ排出される現象をいう。

2. 試験用具

2.1 三軸圧縮試験機

三軸圧縮試験機は三軸圧力室、セル圧供給装置、圧縮装置、

および荷重・変位・体積変化測定装置から構成され、次に示す条件を満たすものとする。

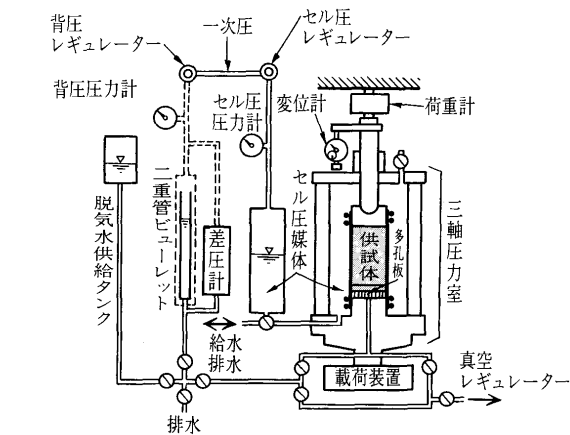
- (1) 最大セル圧および供試体の最大軸圧縮力に対し十分な耐荷容量と負荷能力を有すること。
- (2) 所定のセル圧を、200 kN/m² 未満では ± 4 kN/m², 200 kN/m² 以上では $\pm 2\%$ の圧力変動の範囲内で、1 供試体の試験が終了するまで連続して加え得ること。
- (3) 軸方向変位を連続して一定速度で与え得ること。
- (4) 所定のセル圧を 200 kN/m² 未満では ± 2 kN/m², 200 kN/m² 以上では $\pm 1\%$ の許容差で測定できること。
- (5) 軸圧縮力を供試体の最大軸圧縮力まで、その $\pm 1\%$ の許容差で測定できること。
- (6) 軸変位量を供試体高さの $\pm 0.01\%$ の許容差で測定できること。
- (7) 供試体の体積変化量を最大変化量まで、供試体初期体積の $\pm 0.03\%$ の許容差で測定できること。

2.2 その他の用具

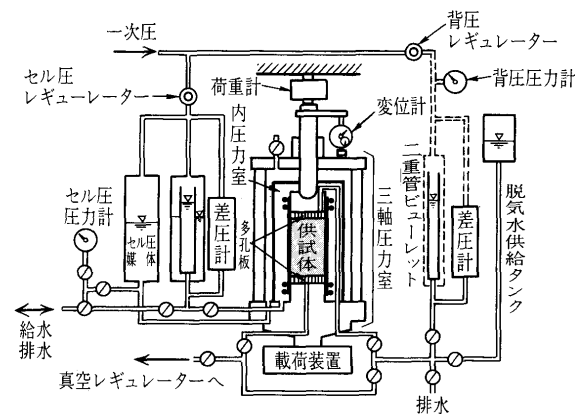
- (1) 供試体被覆材
- (2) 供試体寸法測定用具：供試体の直径および高さを 0.1 mm 以下まで読み取れるもの。
- (3) はかり：0.01 g 以下まではかることができるもの。
- (4) 供試体作製用具

【付帯条項】

2. 1a. 背圧を負荷する場合は、背圧供給装置および背圧圧力計を用意する。このとき装置の満たすべき条件は、2. 1(2), (4) に準ずるものとする。
2. b. 三軸圧縮試験機の構成例を図-1 に示す。ただし、図-1 中に破線で示した背圧用レギュレーター、背圧圧力計および二重管ビューレットは、背圧を用いる場合のみ必要である。三軸圧力室の構造を模式的に示したものが図-2, 3 で、図-2 はピストンとキャップが剛結されている形式、図-3 は両者が剛結されていない形式の例である。いずれの形式も、キャップとベDESTAL の間にこれらと同一直径の供試体を設置して、ゴムスリーブで覆い、O リングなどで密閉できるものとする。
2. c. 体積変化測定方法としては、1) ビューレットを用いる方法、2) 差圧計を利用する方法 (図-1 (a)), 3) ひずみゲージを用いる方法 (図-3 (a)), 4) 軸および周方向変位を計測する方法、5) 二重セル (内圧力室を含む) を利用する方法 (図-1 (b)), 等が挙げられる。見込まれる排水量によって測定方法を選択する必要があるが、装置の満たすべき条件は、2. 1(7) に準じるものとする。
- (1) セル圧の負荷能力は、目的に応じて選ぶ。また、最大軸圧縮力が大きくなることが予想される場合には、フレームのたわみ量が供試体の軸変位量測定に影響を及ぼさないような高剛性フレームを選ぶ。
- (5) 荷重計を三軸圧力室の外に設置する形式の試験機の場合は、ピストンと三軸圧力室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。荷重計を三軸圧力室の内側に設置する場合は、セル圧の影響を検定して軸圧縮力の測定値を補正する。
- (6) 変形特性を求めることを主たる目的とする場合は、供試体の軸変位量を適切な方法で供試体側面において測定する (図



(a) 一般的な三軸圧力室を用いた場合 (破線: 背圧装置)



(b) 内圧力室を用いた場合

図-1 CD 三軸試験機の構成例

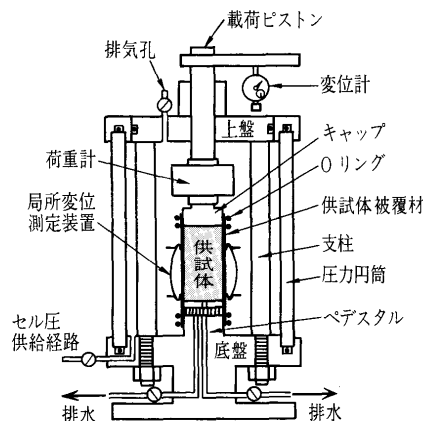


図-2 荷重ピストンとキャップが剛結されている場合の三軸圧力室の例

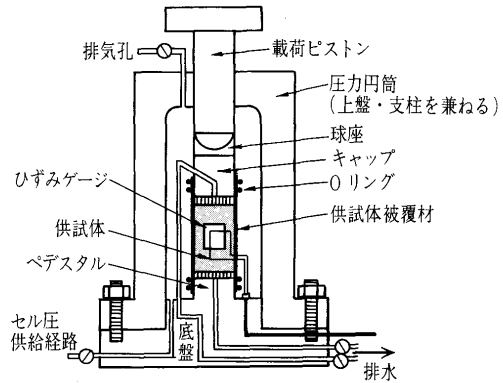
一2および図-3参照)。

- (7) 飽和していない岩石を対象とする場合は、供試体の体積変化量を、供試体側面での変位またはひずみを計測することにより求めるか、二重セルを用いて計測する。二重セルを用いる場合は、セル圧と三軸圧力室の膨張量の関係をあらかじめ検定しておき体積変化量の補正を行う。

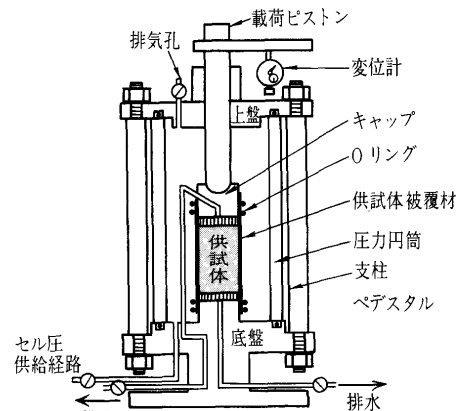
2.2

- (1) 供試体被覆材には、ゴムスリーブ、熱収縮チューブ、シリコンゴムなどを用いる。供試体被覆材をキャップおよびペDESTALに固定する場合には、Oリング、ゴムひも、鋼製リング等を用いて締め付ける。

a. ゴムスリーブを用いる場合、ゴムスリーブ拡張器は円筒形とし、その長さおよび内径は供試体の高さおよび直径よ



(a) 上盤、支柱が一体となっている場合



(b) セルが支柱の内側にある場合

図-3 荷重ピストンとキャップが剛結されていない場合の三軸圧力室の例

りも5~10%程度大きいものとする。また、負圧を与えることによりゴムスリーブを拡張器の内面に密着できる構造とする。キャップとピストンが剛結されている場合には、二つ割りの構造のものを用いることが望ましい。この場合、二つ割りの部分は気密構造になるものとする。

- b. フィルターは、供試体の透水性に比べて十分に大きな透水性を有するものとする。上下方向の排水を目的としてキャップおよびペDESTALにフィルターを付ける場合は、圧縮性が小さく摩擦が少ない材質を用いることが望ましい。圧密時間短縮の目的で供試体側面に巻くフィルターは、スリットを入れるなどせん断変形をできるだけ拘束しない形状とすることが望ましい。
- (2) 供試体の直径の測定は、ノギスまたはバーニア付きスチールテープを用いる。
- (4) 供試体作製用具には、マイターボックス、トリマー、直ナイフ、研磨機、切断機、コアリング装置などを用いる。

3. 供試体の作製と測定

3.1 供試体の形状および寸法

- (1) 供試体の形状は、直円柱とする。
- (2) 供試体の直径は、5.0 cm を標準とする。
- (3) 供試体の高さは、直径の2倍を標準とする。

3.2 供試体の作製

- (1) 供試体側面を成形しない場合

試験に用いるボーリングコアが、所定の供試体直径である場合には、供試体の端面を切断機により切断し、端面の平滑程度に応じて研磨機にかける。

- (2) トリミング法による場合

- ① 供試体の側面を、所定の直径の円柱になるようにトリマー、直ナイフなどを用いて成形する。
 - ② 供試体の端面を、マイターボックス、直ナイフなどを用いて成形する。
- (3) コアリング法による場合
- ① 試料ブロックから供試体を所定の直径になるようにコアリングする。
 - ② 供試体の端面を切断機により切断し、端面の平滑程度に応じて研磨機にかける。

3.3 供試体の測定

- (1) 供試体の直径を、供試体の中央付近および両端付近において、0.1 mm 以下まではかり、これらの平均値を供試体の初期直径 D_0 (cm) とする。
- (2) 供試体の高さを、3 箇所以上において 0.1 mm 以下まではかり、これらの平均値を供試体の初期高さ H_0 (cm) とする。
- (3) 供試体の質量 m_0 (g) を、0.01 g 以下まではかる。
- (4) 必要に応じて、供試体成形の際に削り取った岩片の中から代表的な試料を分取し、含水比を測定して供試体の初期含水比 w_0 (%) とする。
- (5) 供試体の初期状態を観察し、記録する。

【付帯条項】

3.1

- (2)a. 本基準は、直径 2~10 cm の直円柱供試体にも準用できる。
- b. 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。
- (3) 供試体の高さは直径の 2 倍を標準とするが、直径の 1.8~2.5 倍を許容範囲とする。

3.2

- a. 軟岩試料では採取後、直ちに成形し試験を行うことが望ましいが、試験実施までに期間を要する場合には、試料を傷つけたり、含水比を変化させるなど原位置での性状を著しく変化させることのないようにしなければならない。
 - b. 供試体の作製には、サンプリングなどで明らかに乱されていると判断される部分を取り除いたものを用いる。
 - c. 供試体の作製は、試料の含水比を変化させないように手際良く行い、また、試料に乱れを与えないように十分注意しなければならない。
 - d. 供試体の作製時に試料の方向（上下、ブロック試料にあっては方位）が不明にならないように注意する。
 - e. 試料は、原則として供試体の高さより余裕をもった大きさのものを用意する。
 - f. 供試体の側面は、滑らかで凹凸部分がなく、供試体全長にわたってまっすぐなものとする。
- (1) 端面成形を行うとき、水の影響を受けやすい試料の場合には、試料にビニールフィルムを巻き少量の水か油を用いて切断機により端面を切る。
 - (2)a. トリミング法は、試料が供試体直径より大きいボーリングコアあるいはブロックで、水の影響を受けやすい場合に適用する。
 - b. 供試体の端面は、供試体の下端面を基準とする上端面の任意点での高さの差が供試体高さの 0.1% 以内であることとし、ベDESTAL 上にセットされた供試体の上端面とキャップの下端面とのなす角度が 0.5° 以下とする。
 - (3)a. コアリング法は、試料が供試体直径より大きいボーリングコアあるいはブロックで、水の影響を受けにくい場合に

適用する。

- b. 供試体の両端面は、0.02 mm 以上の凹凸がないように平滑にする。また、両端面は供試体の軸に直交するものとし、そのずれは 0.001 ラジアン以内あるいは 50 mm で 0.05 mm 以内とする。

3.3

- (3) 必要に応じて、初期状態の供試体の湿潤密度 ρ_{t0} (g/cm³) および乾燥密度 ρ_{d0} (g/cm³)、間隙比 e_0 、有効間隙率 n_{e0} (%)、飽和度 S_{r0} (%) をそれぞれ次式で算定する。ただし、 n_{e0} を求める場合には、供試体を 72 時間以上水浸させたものを用いる。

$$\rho_{t0} = \frac{m_0}{V_0}, \quad \rho_{d0} = \frac{m_s}{V_0}, \quad e_0 = \frac{V_0 \rho_s}{m_s} - 1$$

$$n_{e0} = \frac{m_{0w} - m_s}{m_{0w} - m_w} \times 100, \quad S_{r0} = \frac{m_0 - m_s}{V_0 \rho_s - m_s} \times \frac{\rho_s}{\rho_w} \times 100$$

ここに、

$$V_0: \text{供試体の初期体積 (cm}^3\text{)} (V_0 = \frac{\pi}{4} D_0^2 H_0)$$

ρ_s : 構成粒子の密度 (g/cm³)

ρ_w : 水の密度 (g/cm³)

m_s : 供試体の炉乾燥質量 (g)

m_{0w} : 供試体を 72 時間以上水浸させた後の質量 (g)

m_w : 供試体を 72 時間以上水浸させた後の水中における見かけの質量 (g)

- (4) 試験後の供試体を用いて含水比を求める場合には、削り取った岩片の含水比の測定を省いてよい。
- (5) 成形した供試体について岩質および層理、葉理、亀裂などの性状、風化や変質の程度などの観察を行い、軸方向に対する層理、葉理、亀裂の角度を測定する。

4. 供試体の設置と飽和

4.1 供試体の設置

- (1) 供試体側面を被覆材で覆う。
- (2) 供試体をベDESTAL とキャップの間に設置する。
- (3) 三軸圧力室を組み立て、三軸圧力室内にセル圧媒体を入れる。

4.2 供試体の飽和

- (1) 必要に応じて、適切な方法を組み合わせて供試体の飽和度を高める。
- (2) 背圧を負荷する場合は、供試体に作用する有効等方力を変化させないように、背圧 u_b (MN/m²) と等方圧力を同時に作用させる。

【付帯条項】

4. 供試体の設置が完了してからセル圧を供試体に加えるまでは、供試体に過大なせん断力を加えないように注意する。特に、供試体の圧縮強さが小さいと予想される試料の場合、供試体上端面に作用する軸方向応力は、10 kN/m² 以下とする。

4.1

- a. 供試体の被覆方法により、4.1(1)と(2)の順序を入れ替えてもよい。
- (1) ひずみゲージ等の計測装置を供試体に設置する場合、または、排水用にフィルターを設置する場合は、この段階で行う。
- (2)a. 付帯条項 3.2(2)、(3)に示す条件を満たせない場合には、供試体の上下端面に 1~3 mm 程度の厚さで石膏等を用いたキャッピングを行う。キャッピング材の強度および剛性は、試料よりも大きいものを用いる。

資料—575

- b. 必要に応じて、供試体上下面あるいは側面に排水用フィルターを設置する。
- (3)a. セル圧媒体には水か油を用いることが多い。場合によっては（低圧の場合）、空気を用いることもある。
- b. 装置の組立ての手順は、それぞれ試験機の構造に合わせて行うものとする。

4.2

- (1) 供試体の飽和度を高める場合は、岩石の種類、供試体の状態に応じて、次の四つの方法を適切に組み合わせる。
 - a. セル圧を加えた供試体の内部に脱気水を通水する方法。
 - b. 背圧を十分に加える方法。
 - c. セル圧を加えた供試体内の間隙の空気を炭酸ガスと置き換えてから、a, bの方法を用いる方法。
 - d. 有効等方応力を変えずに供試体と三軸圧力室内に 0.09 MN/m² 程度の負圧を加えて、供試体内部の空気を吸い出す方法。必要に応じて、負圧を与えたまま脱気水を通水する。
- (2) 加圧に際しては、供試体の有効応力の変動を避けるために、次のように徐々に加えることが望ましい。

体積変化測定装置に通じる排水バルブを閉じて、最終的な背圧の値の1/4～1/2程度に相当する等方応力の増分を供試体に加える。次に同量の背圧を加えておいてバルブを開く。このように、常に供試体に作用する等方応力と背圧との差を最初に設定した圧力差に保ちながら、背圧が所定の値に達するまでこの操作を繰り返す。

5. 試験方法

5.1 圧密過程

- (1) 各計測装置の設置状況を確認し、必要に応じて初期値を読み取っておく。
- (2) 供試体に通じる排水バルブを閉じ、所定の圧密応力になるように等方応力のみを増加させる。
- (3) 排水バルブを開いて圧密を開始する。
- (4) 圧密中の体積変化量 ΔV_t (cm³)、および可能な場合は軸変位量 ΔH_t (cm) を適当な経過時間 t ごとにはかり、片対数グラフ上に図示する。
- (5) 十分な時間が経過したら圧密を終了し、圧密による体積変化量 ΔV_c (cm³)、および可能な場合は軸変位量 ΔH_c (cm) を求める。

5.2 軸圧縮過程

- (1) 各計測装置の原点を確認し、必要に応じて初期値を読み取っておく。
- (2) セル圧を一定に保ちながら、軸変位速度または軸ひずみ速度を一定にして連続的に圧縮する。
- (3) 圧縮中は軸圧縮力 P (kN)、軸変位量 ΔH (cm) および体積変化量 ΔV (cm³) をはかる。
- (4) 荷重計の読みが最大値を示した後も引き続き圧縮し、原則として主応力差の変化が認められない残留状態に達した段階で圧縮を終了する。
- (5) 供試体を三軸圧力室から取り出し、供試体の変形・破壊状況などを観察し、記録する。

【付帯条項】

- 5a. 本試験を実施する場合には、試験室内の温度環境が試験結果に影響を与える。したがって、試験の実施にあたっては、温度環境を常温で一定に保つように留意する。

5.1

- (2)a. キャップとピストンが剛結されている場合は、所定の等方応力状態にするために、セル圧と共に、ピストンを介して軸圧縮力を加える。加える軸圧縮力とセル圧の関係はピストンの直径と自重により異なるので、あらかじめこの関係を求めておく必要がある。
- b. キャップとピストンが剛結されていない場合は、これらの操作の前に荷重計、ピストンおよびキャップを接触させる。
- (4)a. 測定の時間間隔は、 ΔV_t -log t 曲線を滑らかに描くことができる程度とする。（JIS A 1217「土の段階載荷による圧密試験方法」を目安とする。）
- b. 軸変位量 ΔH_t (cm) の代わりに、供試体側面に貼付したひずみゲージの値 ϵ_{at} (%) を用いてもよい。
- c. ピストンとキャップが剛結されていないために、軸変位量 ΔH_t (cm) を測定できず、かつ圧密中の軸ひずみ ϵ_{at} (%) も測定できない場合は、供試体に余分な力を加えないよう荷重計の読みに注意しながらピストンをキャップに接触させ、変位計の読みを取り、この値を圧密による軸変位量 ΔH_c (cm) とする。
- d. 飽和していない岩石を対象として体積変化計を用いる場合は、圧密による体積変化量の読取り値に対して、三軸圧力室の膨張分、載荷ピストンの移動量分の補正を行い、この値を圧密による体積変化量 ΔV_c (cm³) とする。
- (5) 圧密の打ち切り時期は、試料の透水特性および構造骨格の剛性などと密接に関連している。 ΔV_t -log t 曲線上で、圧密理論に従う時間曲線を描き、3 t 法により圧密の打ち切り時期を判断する（JGS 2532-200*「軟岩の圧密非排水（CU）三軸圧縮試験方法」参照）。ただし、一次圧密が明確に求められない場合には、体積変化量、過剰間隙水圧、供試体表面でのひずみなどの間隙量の変化に密接に関連した計測値の収束状況を調べ、打ち切り時期を判断する。

5.2

- a. 試験終了後、必要に応じて供試体の炉乾燥質量 m_s (g) をはかる。ただし、削り屑を用いて含水比を求めた場合はこれを省いてよい。
- (2)a. 軸変位速度または軸ひずみ速度を一定に保つことが困難な場合には、この速度に相当する応力速度で供試体を圧縮してもよい。
- b. 軸ひずみ速度は、毎分0.001～0.01%を標準とする。
- (3) 軸圧縮力と軸変位量または軸ひずみ量を連続記録しない場合には、これらの測定間隔は、主応力差-軸ひずみ曲線を滑らかに描くことのできる程度とする。
- (4) 主応力差-軸ひずみ曲線にピークが見られない場合、圧縮の終了は、軸ひずみ量が15%に達した時点とする。ただし硬岩の場合には、必要に応じてピストンの最大変位量までとしてもよい。応力制御の場合には、軸変位が急激に増大した時点で圧縮を終了する。
- (5) 圧縮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（すべり面）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。供試体の不均質状態や異物の混入状況などを観察し、記録する。

6. 試験結果の整理

6.1 圧密過程

- (1) 圧密後の供試体体積 $V_c(\text{cm}^3)$ を次式で算定する。

$$V_c = V_0 - \Delta V_c$$

ここに、

ΔV_c : 圧密による体積変化量 (cm^3)

- (2) 圧密後の供試体高さ $H_c(\text{cm})$ を次式で算定する。

$$H_c = H_0 - \Delta H_c$$

ここに、

ΔH_c : 圧密による軸変位量 (cm)

- (3) 圧密後の供試体断面積 $A_c(\text{cm}^2)$ を次式で算定する。

$$A_c = V_c / H_c$$

6.2 軸圧縮過程

- (1) 供試体の軸ひずみ $\varepsilon_a(\%)$ を次式で算定する。

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta H}{H_c} \times 100$$

ここに、

ΔH : 軸圧縮過程における供試体の軸変位量 (cm)

- (2) 軸ひずみ $\varepsilon_a(\%)$ のときの体積ひずみ $\varepsilon_v(\%)$ (圧縮を正とする) を次式で算定する。

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V_c} \times 100$$

ここに、

ΔV : 軸圧縮過程における供試体の体積変化量 (cm^3)

- (3) 軸ひずみ $\varepsilon_a(\%)$ のときの $(\sigma_a - \sigma_r)$ (MN/m^2) を次式で算定する。

$$\sigma_a - \sigma_r = \frac{P}{A_c} \times \frac{1 - \frac{\varepsilon_a}{100}}{\frac{\varepsilon_v}{100}} \times 10$$

ここに、

P : 軸ひずみ $\varepsilon_a(\%)$ のときに供試体に加えられた軸圧縮力 (kN), ただし, 等方圧密中は $P=0$

σ_a : 供試体に作用する軸方向応力 (MN/m^2)

σ_r : 供試体に作用する側方向応力 (MN/m^2)

- (4) 主応力差-軸ひずみ曲線, および体積ひずみ-軸ひずみ曲線を図示する。

- (5) 計測した軸ひずみの範囲において, 主応力差の最大値 $(\sigma_a - \sigma_r)_{\max}$ を図上から求め, 圧縮強さとする。

【付帯条項】

6.2

- (1) 周方向変位を測定した場合は, 供試体の側方向ひずみ $\varepsilon_r(\%)$ およびポアソン比 ν を次式で算定する。

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l}{\pi D_0} \times 100, \quad \nu = -\frac{\Delta \varepsilon_r}{\Delta \varepsilon_a}$$

ここで, Δl : 供試体の周方向変位 (cm)

- (2) ピストンとキャップが剛結されていない場合, 圧密による軸変位量 ΔH_c の測定が不確実と判断されるときは, 供試体に等方的なひずみが生じたものと仮定して, 圧密後の供試体高さ $H_c(\text{cm})$ を次式によって算定する。この式から求めた H_c を使用したときは報告事項に明記する。

$$H_c = \left(1 - \frac{\Delta V_c}{3V_0}\right) \times H_0$$

- (5) 主応力差-軸ひずみ曲線にピークが見られない場合, 主応力差の最大値には最大変形時の値を用いる。

7. 報告事項

試験結果について次の事項を報告する。

7.1 試料に関する事項

- (1) 採取地点: 地点名, 深さ
- (2) 岩石の種類
- (3) 採取方法

7.2 供試体に関する事項

- (1) 供試体作製方法
- (2) 供試体の初期高さ, 初期直径, 湿潤密度
- (3) 測定した場合は, 初期含水比
- (4) 供試体の観察結果

7.3 試験結果に関する事項

- (1) セル圧と背圧の大きさ
- (2) 圧密過程の体積変化量と時間の関係
- (3) 軸圧縮過程のひずみ速度または応力速度
- (4) 圧縮強さ, 最大主応力差時のひずみおよび最大変形時のひずみ
- (5) 主応力差-軸ひずみ曲線, および体積ひずみ-軸ひずみ曲線
- (6) 供試体の破壊状況
- (7) 圧縮強さ-圧密応力関係
- (8) 本基準と部分的に異なる方法を用いた場合は, その内容

7.4 その他特記すべき事項

【付帯条項】

7.1

- (2) 例えば, 砂岩, 花崗岩, 凝灰岩等を記す。

7.2

- (2) 必要に応じて, 供試体の炉乾燥質量, 初期状態の供試体の乾燥密度, 間隙比, 有効間隙率, 飽和度を報告する。
- (4) 供試体の軸に対する層理, 葉理などの傾斜角, 岩質などの地質性状について報告する。

7.3

- (5) 周方向変位を測定した場合は, 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, ポアソン比を報告する。
- (7) 必要に応じて, モールの応力円に対する包絡線, および包絡線から求めたせん断抵抗角 ϕ_d と縦軸切片 c_d を報告する。ただし, 包絡線が非線形の場合には, ϕ_d, c_d を求めた応力範囲を表示する。

- 7.4a. 必要に応じて, 残留強度, および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 と縦軸切片 c_r を報告する。

- b. 必要に応じて, 圧縮強さの50%における主応力差-軸ひずみ曲線の割線勾配と接線勾配をそれぞれ変形係数 $E_{s,50}$ と $E_{t,50}$ として各圧密応力について求め, 変形係数-圧密応力関係として報告する。