

学会活動から

「岩の一軸および三軸試験に関する全国一斉試験」 の実施および試験結果

岩の一軸および三軸試験方法検討委員会

1. まえがき

岩の一軸および三軸圧縮試験は、硬岩と軟岩のいずれにおいても最も一般的に用いられる重要な室内試験であり、試験方法についての基準・指針の類もいくつかの機関からすでに提案されている。しかしそれらは、例えば供試体端面の処理方法やひずみの計測方法などの強度特性や変形特性の評価を大きく左右すると思われる事項について明確に規定しているわけではない。また、強度特性か変形特性かのいずれに主眼をおくかによって試験の仕様が異なってしかるべきという考え方もあり得るが、そのことに言及したものはない。適切な試験基準作成の必要性が感じられる。

平成7年度からスタートした当検討委員会は、国内の現状認識のため、(1)全国一斉試験、(2)アンケート調査を実施した。本報告は、平成8年7月から12月にかけて実施した「岩の一軸および三軸試験に関する全国一斉試験」の結果の概要をまとめたものである。その詳細は平成10年5月に開催される「岩の一軸および三軸圧縮試験方法とその結果の適用に関するシンポジウム」に報告する予定である。

2. 一斉試験の概要

2.1 一斉試験のねらい

供試体の成形精度が強度・変形特性に及ぼす影響は大きいと言われている。しかし、例えば風化した花崗岩や固結度の低い砂岩など、供試体の両端面を研磨することが困難な岩では、試験装置の載荷面と供試体両端面との密着性を向上させる措置を講じるのか否か、あるいは、どのようなひずみの計測方法を選択するのか（供試体の側面で測るのか、ベディングエラーも含めて測るのか）によって評価される変形特性が大きく異なる。今回の一斉試験はこのような情報を得ることにポイントを置いた。

2.2 一斉試験に用いた試料

試料は、それ自体の力学的ばらつき、入手のしやすさ、経済性等を考慮して選択した。ダイヤモンドソー等による通常の岩石の端面成形を用いた場合、平坦な端面に成形しやすい一軸圧縮強さ100 kgf/cm²程度の凝灰岩（田下石）と、砂粒子とマトリックスの強度が著しく異なるために平坦な端面に成形しにくい一軸圧縮強さ20~30 kgf/cm²程度（28日強度）の人工軟岩（標準砂、ペントナイト、セメント、水で作成）の2種類である。いずれも飽和供試体を用いることとした。

2.3 試験内容

2種類の試料それぞれについて、(1)一軸圧縮試験、(2)三軸圧縮試験（UU条件）、(3)三軸圧縮試験（CU条件）の試験を実施した。このうち三軸圧縮試験については拘束圧を5 kgf/cm²のみとした。

上述の3種類の試験とも、供試体の両端面にキャッピングを施すケースと施さないケースの両ケースについて、それぞれ少なくとも2供試体ずつ同一仕様の試験を実施することとし、供試体と載荷板との間には指定のテフロンシートを挿入した。供試体の大きさは直径5 cm、高さ10 cmを標準とし、載荷速度を一律に0.02%/minとした。また、軸ひずみの計測手法については可能な限り、(1)両端面のベディングエラーを含む方法（ここでは「外部計測」と呼ぶ）、(2)供試体側面で測る方法（「内部計測」と呼ぶ）、の同時計測が望ましいとした。

3. 試験の実施状況

「土と基礎」誌上で参加を募ったところ、次の23機関のご協力をえることができた。

鳥取大学工学部、京都大学工学部、大成建設(株)、資源環境技術総合研究所、鹿島建設(株)、(株)大林組、(株)電力中央研究所、中部地質(株)、埼玉大学工学部、中央開発(株)、東京大学生産技術研究所、清水建設(株)、応用地質(株)、奥村組土木興業(株)、(株)青木建設、梶谷エンジニア(株)、西松建設(株)、基礎地盤コンサルタンツ(株)、北海道大学工学部、(株)ダイヤコンサルタント、武蔵野土質調査(株)、(株)日さく、東急建設(株)（順不同、また機関番号とも無関係）。

これら23機関のうち17の機関で、「外部計測」と「内部計測」を併用して軸ひずみが計測された。また後者の方法として数種類の方法が試みられた。上端近傍、下端近傍の2点間の相対変位量をLDT、LVDTあるいは非接触変位計等を用いて測る方法、さらに防水処理を施したひずみゲージを供試体に直接貼付する方法等である。

4. 一斉試験結果

4.1 一軸圧縮試験における軸応力-軸ひずみ関係

図1(a)、(b)に田下石および人工軟岩の一軸圧縮試験における典型的な軸応力-軸ひずみ関係を示した。図には外部および内部計測結果が示してある。田下石の軸応力-軸ひずみ曲線は初期載荷段階で非線形な挙動を示し、最大荷重に達した後、脆性的に破壊することがわかる。初期の非線形挙動は内部計測した場合にも現れるため、この性質は試験に用いた田下石の基本的な性質であ

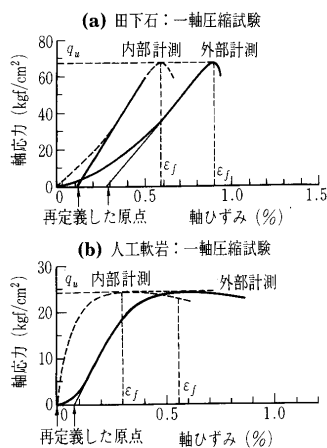


図-1 軸応力-軸ひずみ関係の代表例

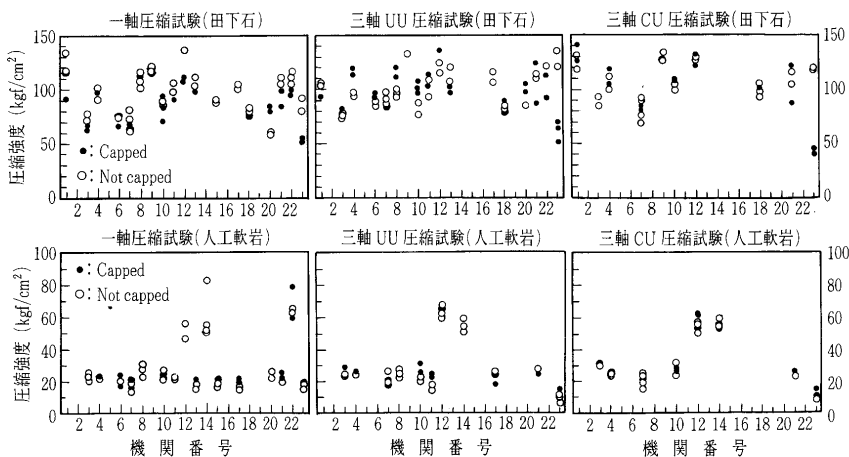


図-2 強度の比較

ると考えられる。ただし外部計測した場合の方がベディンクエラー等の影響も含まれ非線形性が大きい。

一方、人工軟岩の軸応力-軸ひずみ曲線は直線的に増加し、最大荷重後徐々にひずみ軟化する。三軸試験ではひずみ軟化せずに塑性的に挙動する場合が多く、UU および CU 試験では明瞭なピークが現れない。

用いた試料が上記のような特徴的な応力-ひずみ曲線を描くため、各機関により破壊ひずみや変形係数の評価がまちまちであった。そこで破壊強度の50%前後のほぼ直線的な部分のデータを用いて最小二乗法により直線近似し、これと水平軸の交点を新たに原点として軸ひずみを補正した。またこのときの傾きを変形係数 E_{50} とした。したがって、以下で用いる破壊ひずみと変形係数は参加機関の方々から報告していただいた値とは必ずしも一致しない。統一した観点からの評価が必要であったためであり、参加機関の方々にはお許しを願いたい。

4.2 強度

各試験機関による強度を図-2に示した。田下石試料は、各機関ごとに一つのブロックを配布し、各自で円筒供試体を作製していただいたが、予想以上にブロックごと

の強度のばらつきが大きく、3種類の圧縮試験においていずれも50~140 kgf/cm²の範囲にばらつく結果となったが、全体としてはキャッピングを施したことによる強度への影響はほとんど見られない。

人工軟岩では、標準砂として豊浦標準砂を用いた機関12, 14, 22で強度が60 kgf/cm²程度と大きく、セメント標準砂を用いたその他の機関では20 kgf/cm²程度であり、3倍近い開きが生じた。キャッピングによる強度への影響は田下石の試験結果同様、ほとんど見られない。以後のまとめでは、標準砂を用いた機関12, 14, 22のデータは対象としないこととした。

4.3 破壊ひずみ

ここでは4.1節において定義した原点から最大荷重までのひずみを破壊ひずみとして、図-3, 4に示した。

田下石の一軸圧縮試験では、外部計測した場合の破壊ひずみの平均値は0.70%程度であるのに対して、内部計測した場合には0.55%程度と小さい。また3種類の試験方法において内部計測した場合破壊ひずみはほぼ一定であるが、外部計測した場合には一軸、UU, CUの順に見かけ上若干増加する傾向にある。キャッピングによる

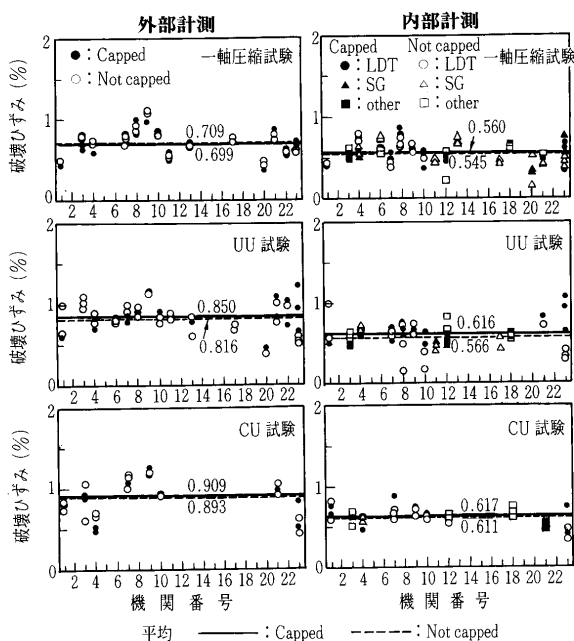


図-3 田下石の破壊ひずみの比較

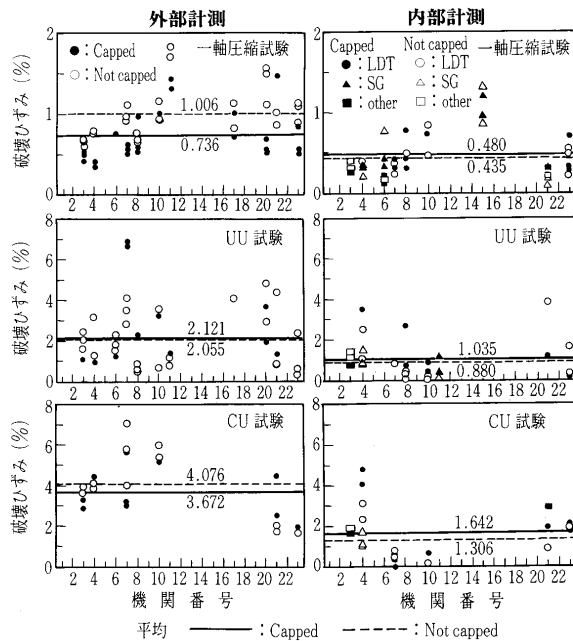
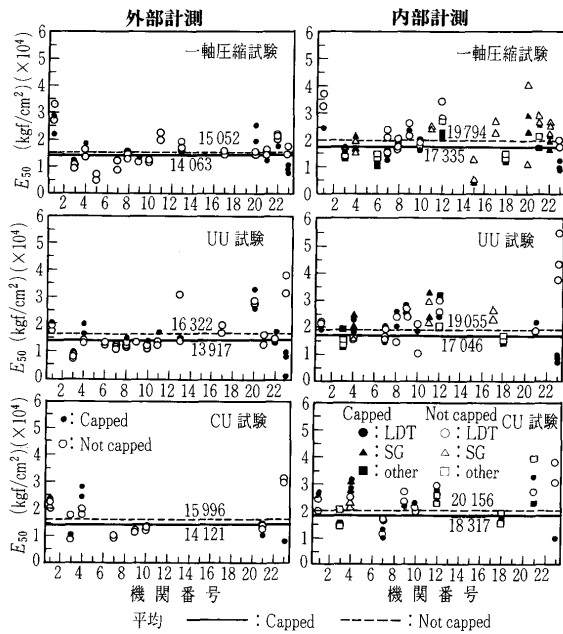
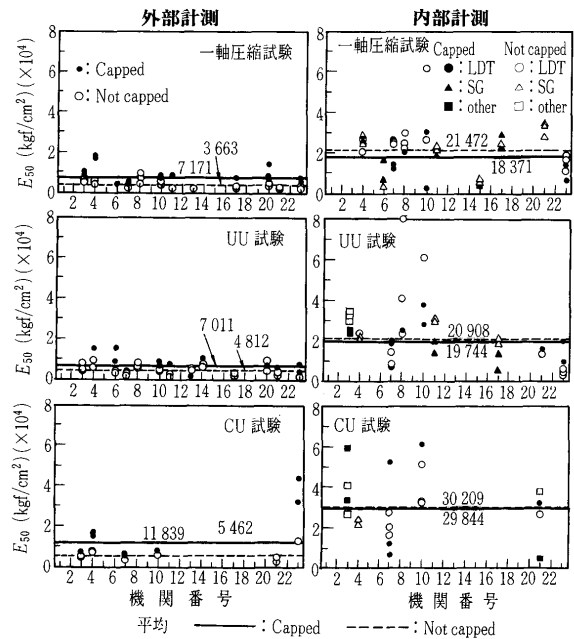


図-4 人工軟岩の破壊ひずみの比較

学会活動から

図一五 田下石の変形係数 E_{50} の比較図一六 人工軟岩の変形係数 E_{50} の比較

破壊ひずみへの影響はほとんど見られない。

一方人工軟岩の一軸圧縮試験では、外部計測した場合の破壊ひずみの平均値は、キャッピングを施したとき0.74%であるのに対して、キャッピングをしない場合には1.00%と大きい。内部計測した場合にはこのような差異は現れておらず、キャッピングの影響は見られない。また三軸試験結果についても内部計測した場合の破壊ひずみの方が半分程度小さな値となっているが、応力-ひずみ関係から明らかなように、最大荷重が明瞭でないために破壊ひずみが大きな値となる場合が多く、ばらつきも大きい。

田下石と人工軟岩の一軸試験結果を比較すると、端面に成形しやすい田下石では、キャッピングの影響がほとんど現れないのに対して、端面成形しにくい人工軟岩ではキャッピングにより破壊ひずみが内部計測による値に近づく傾向にある。試験方法の基準化にあたっては、上記のような試料の持つ性質を十分に考慮する必要がある。

4.4 変形係数 E_{50}

4.1節で定義した方法により求めた変形係数 E_{50} を図一五、六に示した。田下石の一軸圧縮試験における変形係数の平均値は外部計測した場合15 000 kgf/cm²、内部計測した場合18 000 kgf/cm²であり、その比は1.2倍程度である。ただし内部計測した方が変形係数のばらつきが大きい。図一五では、いずれの試験においてもキャッピングを施さなかった場合の方が変形係数の平均値が大きくなっているが、データのばらつきを考慮すると有意な差とは考えにくく、キャッピングによる変形係数への影響はほとんど見られない。田下石の三軸試験における変形係数も1.2~1.3倍程度内部計測した場合の方が大きい。また一軸試験と三軸試験における外部計測結果を比較すると、拘束圧を負荷した場合にも変形係数の増大は見られず、田下石のような材料では拘束圧を負荷したとしても端面の影響が改良されない場合があることを示し

ている。

人工軟岩では、外部計測した場合いずれの試験においてもキャッピングにより変形係数が2倍程度大きく評価されている。一方、内部計測した場合には、ばらつきは大きいものの、概してキャッピングによる変形係数への影響は小さいと考えられる。また内部計測した場合の変形係数は、いずれの試験においても外部計測した場合と比較して3倍程度大きい値を示した。

なお両試料において内部計測による変形係数はばらつきも大きく、その最小値は外部計測値と同じものもある。内部計測の試験仕様等今後検討していくべきであろう。

5. 一斉試験のまとめ

今回の試験条件において下記のことが明らかとなった。
[強度特性] キャッピングの有無、拘束条件にかかわらず、各岩種ごとにほぼ同様な値を示す。

[変形特性] 田下石の場合、キャッピングによる影響はほとんど見られないが、平均値で比較した場合、外部計測の方が内部計測より1.2~1.3倍大きな変形量が計測されている。一方、人工軟岩は、外部計測した場合キャッピングの影響が大きく現れるが、内部計測ではほとんどその影響は見られない。また外部計測では内部計測に比べて、破壊ひずみで2倍、変形係数で3倍程度大きな変形量が計測された。

6. あとがき

今回の一斉試験結果から、試験方法の基準化に関して多くの貴重な情報が得られた。最後に、参加していただいた23機関の関係各位には深甚なる謝意を表します。

(文責：西田和範 応用地質(株)コアラボ、
長田昌彦 埼玉大学工学部建設工学科)

(原稿受理 1997.8.1)