

# 学会活動から

## 「岩の一軸および三軸圧縮試験の方法と結果の適用に関する シンポジウム」開催報告

岩の一軸および三軸試験方法検討委員会

### 1. はじめに

平成10年5月20日、地盤工学会5階会議室において、上記のシンポジウムが開催された。主催の「岩の一軸および三軸試験方法検討委員会」吉中委員長（埼玉大学）から開催挨拶があり、委員会設立の経緯、必要性および活動経過概要が報告された。引続き、「一斉試験結果」、「アンケート調査結果」の委員会活動報告が行われた後、一般公募による論文発表が四つのセッションに分けて行われた。

なお、シンポジウムにおける委員会報告と発表論文は、標題のシンポジウム発表論文集（A4判、184ページ）として地盤工学会から発刊された。

### 2. 委員会報告

#### 2.1 一斉試験報告

「岩の一軸および三軸試験に関する全国一斉試験」の結果が、西田、長田両委員から報告された。一斉試験の「ねらい」、用いた試料、試験内容等が説明された後、田下石と人工軟岩それぞれについて、参加機関から報告された応力-ひずみ関係が紹介されるとともに、それらから読みとれる特徴についての説明がなされた。また、「外部計測」ならびに「側面計測」による変形係数や両者の差異の程度等についての参加各機関全体としての分布範囲などが紹介され、最後に、この一斉試験から得られた知見について西田委員から報告があった。また、長田委員からは、各機関から報告された写真を用いて、供試体の作成、キャップとペDESTAL、ゴムスリーブ、変位等の計測方法と装置等についての紹介がなされた。

#### 2.2 アンケート調査報告

アンケート調査は、岩の一軸および三軸圧縮試験の現状を把握し、基準化の基礎資料とすることを目的に、大学、研究所、建設会社、地質調査会社等の121機関を対象に行ったものであり、79機関からの回答を得た（回収率65%）。

アンケート調査の結果、圧縮試験（一軸および三軸）に使用された供試体本数は、硬岩と軟岩を合わせて年間12000本以上（回答機関数54）であることが分かり、また一方では、硬岩の三軸圧縮試験機を保有しない機関が半数以上あることも分かった。

試験目的としては、すべての試験で強度は重要視されており、 $\overline{CU}$  や  $CD$  試験では変形特性を求める割合が増加してくる。

試験結果の利用方法については、一軸試験の結果は「目安値」や「岩盤分類」のようなオーダーが必要な場合に利用される割合が、三軸試験の結果は「設計定数」や「解析データ」のような絶対値が必要な場合に利用されている割合が多くなっている。

基準化に関しては、基準化を望む回答が過半数を占めたが、一方では、学会レベルの規準化は必要ないとの意見、細かい規準や特殊な試験規準は困るとの意見もみられた。また、使用目的によって試験の位置付けが異なることに留意してほしいとの意見も見られた。

詳細アンケートの調査結果としては、供試体の採取方法、形状・寸法、保存方法、成形方法、端面処理方法、キャッピングに関する調査結果、試験方法の調査結果が報告された。



写真一 吉中委員長開会あいさつ



写真二 質疑応答状況

### 2.3 委員会報告質疑応答

委員会報告のうち一斉試験結果に対して以下のような質疑応答があった。

- ① 外部計測に及ぼすキャッピングの影響については、ベディングエラーの顕著な人工軟岩ではキャッピングによる変形係数の増加が顕著に見られる。
- ② 人工軟岩で側面計測に及ぼすキャッピングの影響について、明りょうな結論が得られていないことに対して以下のような意見があった。
  - 端面の影響を受けない計測方法であるのでキャッピングの有無の影響も受けない。
  - 載荷ロードと加圧板が剛結している場合に端面の平行度が完全でないとキャッピングした場合の方がかえって悪い場合がある。
  - 端面の平行度が悪い場合に対角線上の2箇所を測定するとそれぞれマイナスとプラスになり、その平均値を用いることによりばらつきが大きくなる。
  - キャッピング方法やキャッピングへの習熟度の違いにより結果にばらつきが生じた。
- ③ 人工軟岩では、圧縮強度の違いは標準砂としてセメント規格用標準砂と豊浦標準砂を用いたことによるが、変形係数についてはこれらを考慮してもばらつきが大きい。
- ④ 外部計測において試験機剛性による変位の補正を行い供試体部分だけの変位を求めるのは、硬岩の場合には特に重要である。
- ⑤ 側面計測と外部計測による変形係数の比が人工軟岩の方が大きいのは、人工軟岩の変形係数が大きく試験機の剛性の影響が大きく現れたためと説明した方が理解しやすい。
- ⑥ 田下石の場合、硬岩用の試験機を用いた場合には、軟岩用の試験機に比べ側面計測と外部計測による変形係数の差が小さくなる。

### 3. 論文発表

#### 【セッションⅠ：試験方法】

- I-1 稲田花崗岩の変形・強度特性におけるひずみ制御方法の影響（長田・吉中・武石・原口）
- I-2 硬岩の剛性三軸圧縮試験—カスケード制御による試験法の開発—（山田・木山・中島・今福）
- I-3 硬岩の多段階三軸圧縮試験—試験法の確立と有効性について—（木山・中田・山崎）

(I-1) では、稲田花崗岩を用いた軸ひずみ速度一定の三軸圧縮試験結果と横ひずみ速度一定の三軸圧縮試験結果が対比して報告され、約20%の応力レベルにおいては弾性係数・ポアソン比のひずみ制御法による差は認められなかったこと、ダイレイタンス発生後の軸ひずみと横ひずみの関係、ピーク強度とひずみ速度の関係、破壊強度がピーク応力付近の軸ひずみ速度に大きく支配されていると考えられること等が報告された。質疑応答では、強度に及ぼす軸ひずみ速度履歴の影響等について討議された。

(I-2) では、カスケード制御による三軸圧縮試験のシステムおよび同システムによる稲田花崗岩の試験結果が報告され、同制御方法を用いることにより、ピーク強度までは応力速度制御と同様な制御が、また、ピーク強度以降は周ひずみ制御が可能であり、岩石の完全な応力-ひずみ特性を把握できることが報告された。質疑応答では、シエアバンド発生後の周ひずみの変形挙動等について討議があった。

(I-3) では、多段階三軸圧縮試験において、定横ひずみ速度制御の採用およびピーク強度等の判断と試験操作の自動化により、クラスⅡに属する岩石でも試験が可能なシステムを構築したこと、同システムにより数種類の岩石で多段階三軸圧縮試験を実施しピーク強度に関して妥当な結果を得たこと、また、ピーク強度に対する応力履歴の影響についての検討結果等が報告された。質疑応答では、多段階三軸圧縮試験での破壊ひずみ測定等について討議された。

#### 【セッションⅡ：ひずみの計測法】

- Ⅱ-1 局所ひずみ測定を用いた三軸圧縮試験による軟岩の変形特性（早野・佐藤・古関・龍岡）
- Ⅱ-2 大規模掘削時の新第三紀常滑層地盤の変形挙動（渡辺・水野・仲村・吉田・斎藤・高野）
- Ⅱ-3 軟岩の三軸圧縮試験におけるポアソン比測定方法の検討（斎藤・佐藤・平山）
- Ⅱ-4 互層堆積軟岩を構成する岩石の変形特性のモデル化と岩盤変形試験のシミュレーションについて（村中・河村）

(Ⅱ-1) では、キャッピングの効果が検討されたが、キャッピングをした場合においてもベディングエラーによる外部変位の誤差が無視できず、局所的な変位測定の必要性を確認したとしている。また、田下石においてはヤング率の拘束圧依存性が顕著であるのに対して、人工軟岩においては確認されないことが報告された。

(Ⅱ-2) では、軟岩地盤におけるLNG地下タンク建設に伴う連壁・周辺地盤の変形挙動についてのケーススタディーの結果が報告された。LDTを用いた室内三軸圧縮試験の結果から、弾性係数の拘束圧依存性とひずみ依存性を考慮した等価線形解析に対応する定式化を行い軸対称FEM解析を行ったところ、原位置の挙動を再現する結果が得られた。

(Ⅱ-3) では、泥岩ならびに凝灰岩に対して3種類の方法（体積変化量、ひずみゲージ、横変位計）によるポアソン比測定の結果が比較検討された。質疑応答のなかで、微小ひずみレベルにおけるポアソン比の値が一部の結果で大きくなることと、排水試験としてのせん断速度の妥当性との関連についての指摘がなされた。

(Ⅱ-4) では、新第三紀の泥岩・砂岩互層岩盤において実施された岩盤変形試験の結果と室内三軸圧縮試験結果との対応が検討された。LDT等を用いた室内試験から得られる変形特性を圧密圧力と軸ひずみの関数としてモデル化し、岩盤変形試験をシミュレートすると、計算値と実測値とが良く一致することが報告された。

## 学会活動から

## 【セッションⅢ：強度・変形特性】

- Ⅲ-1 三軸圧縮試験装置を利用した軟岩材料の劣化試験とその評価（前川）
- Ⅲ-2 稲田花崗岩と白浜砂岩の力学物性に及ぼす温度の影響（佐藤・喜多・木山・石島）
- Ⅲ-3 栗橋花崗閃緑岩の非排水試験における間隙水の挙動（喜多・木山・佐藤）
- Ⅲ-4 島尻層群における載荷速度の変化による強度定数（谷山・小野・小池・大河内）
- Ⅲ-5 秩父帯のチャートを対象とした三軸圧縮試験方法と試験結果（木内・鍛冶・池田）

（Ⅲ-1）では、固結度の低い砂岩を対象として未乾燥状態と2種類の方法で乾燥させた供試体を用いて、湿潤後の三軸圧縮試験の強度特性について検討が行われた。乾燥を行った供試体は、いずれの場合も明確な最大強度を示さず未乾燥条件の残留強度に近い結果が報告されている。また、スレーキングを起こしやすい材料の湿潤方法として、拘束圧下での方法が提案された。

（Ⅲ-2）では、花崗岩と砂岩系の堆積岩を用いて、室温から200℃までの温度環境の変化に対する力学特性への影響について報告が行われた。圧縮強度、粘着力については、花崗岩、堆積岩ともに温度の増加に伴い強度特性が低下するが、内部摩擦角は、ほとんど変化しない結果となった。また、ヤング率には、温度の影響はほとんどないが、160℃以上の温度条件下で初期のコンプライアンスが大きくなる傾向が認められている。これらの原因として、構成鉱物間の熱膨張率の違いによるマイクロクラック、あるいは空隙の増加を挙げている。

（Ⅲ-3）では、花崗岩を対象として、飽和した岩石供試体の非排水三軸圧縮試験結果に基づく間隙水圧挙動、強度・変形特性の関係が報告された。間隙水圧挙動は、強度破壊点の半分程度までは、既存クラックが閉塞することにより間隙水圧が増加する。その後、載荷軸平行方向のクラックが増加して間隙水圧が低下し、破壊時には、間隙水圧が0となる結果が得られている。硬岩での供試体の飽和方法やその確認方法について質疑が行われた。

（Ⅲ-4）では、堆積軟岩を対象とした三軸試験時の載荷速度と強度特性の関係が報告された。試験の結果、軸ひずみ速度が速いほど間隙水圧の測定値は大きくなり、最大主応力差も大きくなる傾向が示された。

（Ⅲ-5）では、硬岩を対象とした三軸圧縮試験は、微小ひずみ～大ひずみまでを同一の計測・データ処理方法で実施することが難しいことを試験結果により指摘し、微小ひずみレベルでの変形係数を求める試験と破壊ひずみレベルの強度を求める試験は別々の試験を実施すべきとの報告があった。質疑応答では、室内試験、原位置試験および検層結果から得られる変形係数の大小関係の原因および対象とする変形特性範囲での原位置計測方法について討議が行われた。

## 【セッションⅣ：整形・ベディングエラー】

- Ⅳ-1 堆積軟岩の三軸クリープ試験・低ひずみ速度載荷試験におけるベディングエラー（松本・佐藤・早野・古関・龍岡）
- Ⅳ-2 人工軟岩の変形・強度特性に及ぼす応力解放の影響に関する研究（関村・三田地・反町）
- Ⅳ-3 レーザー変位計を用いた岩石供試体の形状計測（藤村・池添・西村・木山）

（Ⅳ-1）では、堆積軟岩の時間効果を調べるために各種変位計の長期検定を実施し、その結果いわゆる外部計測では時間とともにベディングエラーが大きくなることが報告された。この原因についてはキャッピング材として用いた石膏の力学挙動の影響を挙げている。

（Ⅳ-2）では、人工軟岩を対象として局所軸変位測定装置（LDT）を使用する場合には、キャッピングが必要不可欠であることを指摘するとともに、先行圧密圧力とせん断時の有効拘束圧を変えた排水三軸圧縮試験を実施し、応力解放の影響について検討している。材齢日数（セメンテーション）の効果と圧密の関係についての質疑が行われた。

（Ⅳ-3）では、レーザー変位計を用いた岩石端面および側面の形状計測方法が紹介された。また、手動研磨した人工軟岩供試体端面における接触圧分布を感圧紙を用いて検討し、低応力レベルでは供試体断面の約15%程度しか応力を伝達していないことが報告された。

## 4. おわりに

今回のシンポジウムは、101名もの参加者があり、委員会報告、論文発表では、関連な質疑応答が行われ、盛況なシンポジウムとなった。当初、シンポジウムの開催を計画する時点では「一軸・三軸試験方法」のテーマで研究発表およびシンポジウム参加者が集まるものか不安を持っていたが、論文の一般公募では、軟岩、硬岩の様々な岩種を対象とした研究報告が寄せられ、シンポジウムの当日は、参加者のそれぞれの分野に立脚した質疑応答が行われた。

閉会挨拶では、龍岡委員（東京大学）から、「本シンポジウムの意義は、土質力学と岩盤力学の背景を持った研究者と技術者が一堂に会したことである。そして、両分野で無用な分離をしていないかを再考する良い機会であり、今後も共通した疑問を検討して行くべきである。」との総括があった。

最後に、シンポジウムに参加していただいた方々をはじめ、一斉試験参加機関各位、アンケート調査参加機関各位、論文発表の方々および開催に当たりご尽力をいただいた関係者各位にこの場をお借りしてお礼申し上げます。

（執筆担当：宇野晴彦 東電設計(株)、長田昌彦 埼玉大学、鍛冶義和 中央開発(株)、西田和範 応用地質(株)、渡辺浩平 清水建設；五十音順）

（原稿受理 1998.6.9）