

# 原位置岩盤三軸試験の数値シミュレーションにおける不連続体解析技術の適用性

長崎大学工学部 学生会員 ○丸田祐二 長崎大学大学院 学生会員 李博  
 長崎大学工学部 正会員 蔣宇静 フェロー会員 棚橋由彦  
 九州電力(株) 正会員 生貞幸治 村上敏幸

## 1. はじめに

ダム・原子力発電所等の重要構造物の設計においては、基礎岩盤の力学的特性、特に強度や変形の特性を原位置岩盤試験により明確に把握しておく必要がある。最近では、新しい岩盤試験方法として、「原位置岩盤三軸試験法」<sup>1)</sup>が開発され、均質な岩盤のみならず亀裂の多い不連続性岩盤を対象とした試験にも成功している。しかしながら、不連続性岩盤については岩盤内の不連続面が試験結果に及ぼす影響、およびそのメカニズムが十分に解明されていないのが現状である。

そこで、本研究では複雑な不連続面幾何学分布のモデル化が容易で、不連続面の分離を表現できる拡張個別要素法<sup>2)</sup>を用いて、不連続性岩盤を対象とした原位置岩盤三軸試験の数値シミュレーションを行う。既存の亀裂および圧縮過程で新たに生じる新規亀裂の影響を考慮した数値シミュレーションを行い、原位置岩盤三軸試験の結果と比較することにより、対象岩盤の変形挙動のメカニズムの解明および原位置では実施困難な条件での岩盤の力学的特性について、数値シミュレーションによる検討が有効であるかの評価を目的とする。

## 2. 解析概要

写真-1 に本研究の対象とする原位置岩盤三軸試験の試験後の供試体を示す。対象岩盤は、亀裂が比較的多い白亜系の砂岩であり、部分的に風化が見られる（試験結果は図-3 を参照）。写真-1 をもとに供試体をモデル化し拡張個別要素法を用いた三軸圧縮試験の解析を行い、軸差応力と軸ひずみの関係および破壊の状況を原位置岩盤三軸試験の結果と比較する。解析に用いる力学特性値は、室内試験結果に基づき表-1 のように設定した。



(a) 供試体全体写真



(b) 供試体展開写真

写真-1 原位置岩盤三軸試験後の供試体の亀裂の状況

表-1 力学特性値  
(a) インタクト部

| 項目                             | 値                 |
|--------------------------------|-------------------|
| 密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.25              |
| 静弾性係数 $E$ (MPa)                | $6.1 \times 10^3$ |
| 静ポアソン比 $\nu$                   | 0.19              |
| 粘着力 $c$ (MPa)                  | 3.35              |
| 内部摩擦角 $\phi$ (°)               | 56.9              |
| 引張強度 $\sigma_t$ (MPa)          | 1.99              |

(b) ジョイント部

| 項目                   | 値     |
|----------------------|-------|
| 垂直剛性 $K_n$ (MPa/mm)  | 25.06 |
| せん断剛性 $K_s$ (MPa/mm) | 0.93  |
| 粘着力 $c$ (MPa)        | 0.006 |
| 内部摩擦角 $\phi$ (°)     | 13.2  |

## 3. 解析ケースの設定

供試体の亀裂スケッチを図-1 に示す。供試体掘削時の孔壁（試験前の状態に相当）に確認される亀裂を青で、破壊後の供試体に確認される亀裂を赤で示している。これらを比較検討し、試験によって発生する新規亀裂を点線で囲った部分と決定した。これを踏まえて以下のように解析ケースを設定する。解析のモデル図を図-2 に示す。

- (1) 破壊に寄与していると考えられる主要な亀裂のみをジョイント部（既存亀裂）その他をインタクト部としてモデル化する（ケース1）。

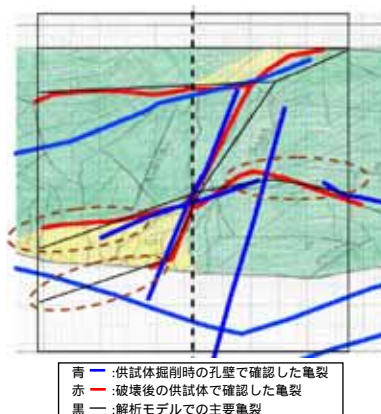


図-1 試験前後の亀裂の比較

(2) 供試体には多くのクラックが含まれていることから、その状態を再現するため、インタクト部を正六角形の既存亀裂に囲まれたブロックとしてモデル化する(ケース2)。

(3) 孔壁観察結果および試験後供試体状況から、試験により発生した新規亀裂(図-2(c)の破線部)を選定しモデル化する(ケース3)。新規亀裂はせん断又は引張の破壊基準を超えた場合に発生する。

(4) 他の条件で行った試験でも再現性があるかを検証するために、拘束圧をケース1~3で設定していた0.2MPaから0.55MPaに変更する。なお、モデルはケース3と同じである(ケース4)。

#### 4. 解析結果

解析結果を図-3に示す。ケース1においては、初期剛性が原位置岩盤三軸試験のものよりも高く評価されており、またピーク強度は大きく下回る結果となった。

次に、ケース2ではケース1と比較すると、早い段階で原位置岩盤三軸試験結果と整合するようになっており、初期剛性はある程度改善されたが、ピーク強度はさらに低いものとなった。これはケース1に比べ既存亀裂が多く分布しているためと考えられる。

ケース3では、ピーク強度が原位置岩盤三軸試験よりも若干低く評価されているものの、初期剛性・ピーク強度ともに原位置岩盤三軸試験の結果を精度良く再現できている。このケースでは、一部の既存亀裂を新規亀裂へと変更することで、実際の供試体と亀裂状況が近くなったことが、解析結果にも反映されたと考えられる。

ケース4では、原位置岩盤三軸試験を行った供試体が写真-1とは異なるためピーク強度等は異なるが、拘束圧が変化してもある程度の再現性があることが確認できた。

ケース3における破壊状況と変位ベクトルを図-4に示す。図-4(a)と写真-1(a)を比較すると、シミュレーション結果と原位置岩盤三軸試験による破壊状況が類似していることがわかる。

#### 5. おわりに

対象とする岩盤供試体のモデル化においては、既存亀裂や新規亀裂の分布及び力学特性値等を根拠を持ってモデル化することで、対象岩盤の変形挙動と破壊形態を拡張個別要素法によって精度良く評価できることを確認した。今後は原位置では実施困難な条件のシミュレーションを実施する等により、岩盤の力学的特性の詳細な評価に適用していく。

#### 参考文献

- 1) 岡田哲実 ほか：原位置岩盤三軸試験法の不連続性岩盤への適用性検証，電力中央研究所報告，N07513，2008。
- 2) 中川光雄，蔣宇静：亀裂発生・進展を考慮した拡張個別要素法の岩盤挙動解析への適用性について，土木学会論文集，No.673/ -54，pp.101-110，2001。

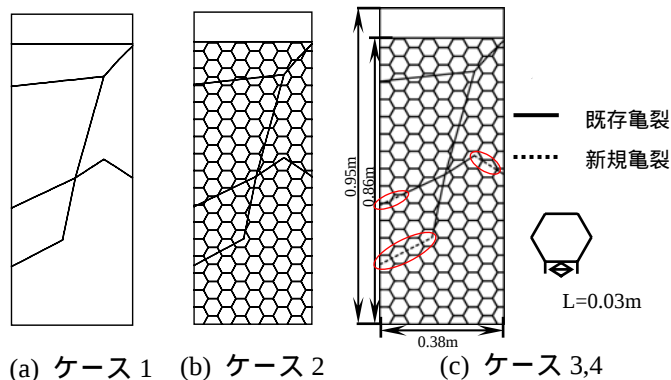


図-2 モデル図

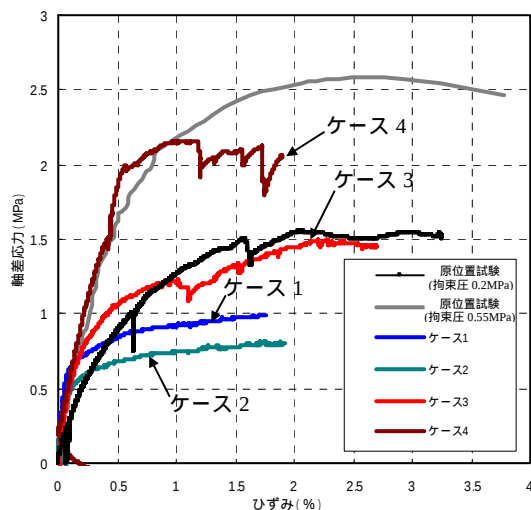


図-3 シミュレーション結果と原位置岩盤三軸試験結果との比較

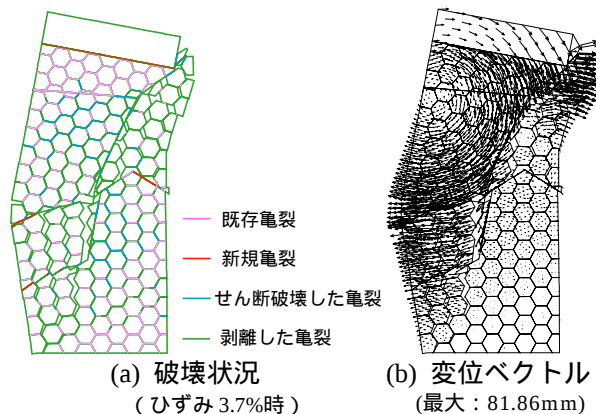


図-4 シミュレーション結果(ケース3)