個別要素法を用いた原位置岩盤変形試験の数値シミュレーション

(その1:岩盤不連続面の密度の影響)

長崎大学大学院 学生員 佐保亮輔 学生員 李 博長崎大学工学部 正会員 蒋 宇静 フェロー 棚橋由彦九州電力㈱土木部 正会員 山上裕也 正会員 生貞幸治

<u>1. はじめに</u>

ダムや橋梁,原子力発電所など岩盤を基礎とする構造物の設計を行う場合,岩盤内の不連続面の挙動を含めた 基礎岩盤の強度・変形特性を把握しておく必要があり,この評価方法として原位置での岩盤変形試験や岩盤せん 断試験が実施されている。そのなかで,ある現場の硬岩に分類される中生代の堆積岩(礫岩)を対象に岩盤変形試験 を実施したところ,割線弾性係数は500~1700MPa程度と,硬岩の一般的な値と比較して小さい結果が得られてい る。ここでは,この試験結果の妥当性を確認するために,個別要素法を用いて, N

主に不連続面の密度に着目した岩盤変形試験の数値シミュレーションを実施し, 変形挙動のメカニズムについて詳細に検討する。

2. 対象岩盤の性状と力学的特性

本評価対象の岩盤は,図-1の岩盤変形試験面を対象とした不連続面の調査結 果に示すように,傾斜角60°~90°(平均約75°)の高角度割れ目が卓越して いる。また,この高角度割れ目の間隔は岩盤変形試験 において5cm~20cm(平 均約10cm),岩盤変形試験 において3cm~10cm(平均約5cm)であることが確認 されている。また,図-2には,岩盤変形試験 ,の実施箇所近傍でサンプリ ングしたコアサンプルスケッチ展開図の一例を示している。これより,岩盤中 には,低角度の割れ目も発達していることが分かり,低角度割れ目の間隔は, 高角度割れ目の間隔の2倍程度であること,高角度割れ目にほぼ切られる関 係にあることが分かる。また,図-3にコアスケッチをもとに割れ目の方向性を ステレオ投影で,ポイントダイアグラムに整理した結果を示す。これにより, 低角度割れ目は高角度割れ目とほぼ直交することが分かる。

一方,力学特性に関して,岩盤基質部については,一軸圧縮試験と圧裂試験から,割れ目については,垂直荷重載荷試験と一面せん断試験結果¹⁾から表-1(a)(b)のような特性値が得られている。

3. 解析モデルと解析ケース

前述した対象岩盤の性状に基づき,図-4 に示す高角度割れ目 Set 1 と低角度 割れ目 Set 2 をモデル化した。ここでは,Set 1 の間隔 t と Set 2 の間隔 b の比 を 1:2 と固定し,Set 1 の傾斜角 を 60°,75°,90°,Set 1 の間隔 t を 3cm, 5cm,10cm,20cm と変化させ弾塑性解析を行った。また,参考として,Set2 を配置せず,Set 1 のみモデル化した場合についてもシミュレーションを行っ た。なお,本検討で用いる力学的特性値は,表-1(a)(b)を採用した。

本検討では,地盤工学会基準²⁾に準拠し実施された岩盤変形試験の最大荷重 1.5MPa時の変形挙動を検討対象とし,図-5のフローに示す載荷パターンで数 値シミュレーションを実施した。そして2~4回の繰返し載荷時に得られた応 力-変位関係から式(1)により算定される割線弾性係数の平均値を用いて評価を行った。



集中点:N15E72W(4.4%) 図-1 不連続面の調査結果 (シュミットネット下半球投影図)



(展開図)



^{*} 図-3 コアサンプルによる検討結果 (ステレオ投影図)



 $E_s = \frac{\pi a \left(1 - v^2\right)}{2} \frac{\Delta p}{\Delta \delta}$

ここに, E_s は割線弾性係数(MPa), Δp は載荷応力増分(MPa), $\Delta \delta$ は変位増分(mm), ν はポアソン比,aは載荷板半径(mm)を表す。

4. 解析結果と考察

数値シミュレーション結果として,割線弾性係数と傾斜角の関係を 間隔tで整理したものを図-6に示す。また,岩盤変形試験,の結果 も合わせて併記している。これにより,岩盤変形試験結果はばらつきが あるものの,岩盤変形試験の結果は間隔tが5~20cmの数値シミュレ ーション結果の範囲に,また,岩盤変形試験の結果は,間隔tが3~ 10cmの数値シミュレーション結果の範囲にあり,数値シミュレーショ ンにより得られた結果は,平均的に岩盤変形試験結果に良く対応してい ることが分かった。なお,参考として実施したSet1のみをモデル化し た場合のシミュレーション結果を図-6と同様に整理したものを図-7 に 示す。これによりSet1のみをモデル化したものは,岩盤変形試験結果 に比べ,非常に大きな割線弾性係数が得られた。このことから,連続性 の高いSet1が岩盤の変形挙動に影響を及ぼすことはもちろんであるが, 断続的に分布するSet2による影響も大きいことが判明した。

このことから,現地での詳細な地質調査及び適切な試験方法により得 られた力学特性に基づき,対象岩盤のモデル化を行うことにより,岩盤 変形試験の結果を精度良くシミュレーションすることが可能であるこ とが分かった。

<u>5. おわりに</u>

ここでは,現地での詳細な地質調査及び適切な試験方法により得られ た力学特性に基づき,対象岩盤のモデル化を行い,個別要素法を用いた 表-1 力学特性值 (a) 岩盤基質部

| 項目 | 値 |
|--------------------------------|-------------------|
| 密度 ρ (g/cm ³) | 2.66 |
| 静弾性係数 E (MPa) | 7.1×10^4 |
| 静ポアソン比 | 0.18 |
| 粘着力 c (MPa) | 22.3 |
| 内部摩擦角 (°) | 62.0 |
| 引張強度 σ_{t} (MPa) | 10.2 |

 (b)割れ目

 項目
 値

 垂直剛性 Kn (MPa/mm)
 31.78

 せん断剛性 Ks (MPa/mm)
 3.22

 粘着力 c (MPa)
 0.027

 内部摩擦角 (°)
 35.9



(1)

図-6 割線弾性係数と傾斜角の関係



図-7 割線弾性係数と傾斜角の関係 (Set 1 のみ)

検討を行った結果,岩盤変形試験結果を精度良くシミュレーションすることができた。このことから,本検討で 対象とした一般の硬岩と比べて割線弾性係数が小さいという岩盤変形試験の結果は,対象岩盤の不連続面の幾何 学的分布や,不連続面および岩盤基質部の力学的特性を適切に反映したものであると判断できる。

【参考文献】1) 三谷 泰浩 ほか:自然岩盤不連続面の室内一面せん断 - 透水同時実験方法の提案,第 37 回岩盤力学に関する シンポジウム講演論文集,土木学会岩盤力学委員会,CD-ROM,2008.

2) 社団法人地盤工学会: 剛体載荷板による岩盤の平板載荷試験方法 JTS 3521, 2003.