

室内模型実験による不連続性岩盤のせん断挙動特性について

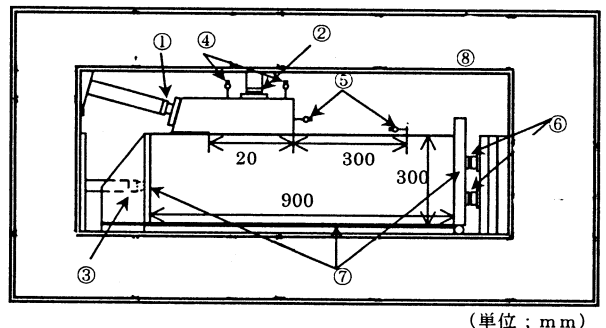
九州電力㈱ 正会員 溝上 建 正会員 生貞 幸治
九州大学 正会員 江崎 哲郎 正会員 三谷 泰浩

1. はじめに

ダムや地下発電所などの大規模岩盤構造物の設計に際しては、岩盤の力学的特性の評価を目的とした原位置せん断試験が行われる。不連続性岩盤の場合、不連続面の幾何学的性状(方向、間隔、かみ合わせ等)、力学特性が岩盤の強度・変形特性に影響することが指摘されている¹⁾。筆者らは、これらの諸要因が不連続性岩盤のせん断挙動に及ぼす影響を定量的に明らかにすることを目的に、原位置岩盤せん断試験に準じたせん断方法による室内模型実験及び個別要素法解析を用いた数値実験による研究を行っている。本稿では、模型実験結果の一例と、これを再現する個別要素法の解析結果について報告する。

2. 室内模型実験

(1) 実験装置 実験装置の概要を図-1に示す。本実験装置は、標準的な原位置せん断試験(せん断面の寸法 600mm×600mm)を 1/3 のスケールで 2 次元化したもの(模擬地盤:幅 900mm×高さ 300mm×奥行き 100mm, せん断面:幅 200mm×奥行き 100mm)である。高剛性の鋼製フレーム内に模擬地盤、せん断荷重及び垂直荷重ジャッキのほか、模擬地盤に側方から拘束荷重を作用させるジャッキを配置する。せん断荷重の水平面となす角度は、原位置せん断試験で通常用いられる 15° とし、模擬地盤の側面と下面の境界の摩擦はテフロンシートにより低減させる。せん断時のせん断ブロックの水平変位(せん断変位)は、せん断ブロックとその背後 30cm 離れた位置の模擬地盤上面水平変位の相対変位とする。



①せん断荷重ジャッキ②垂直荷重ジャッキ③地盤拘束ジャッキ④せん断ブロック垂直変位計⑤水平変位計⑥荷重計⑦テフロンシート⑧鋼製フレーム

図-1 室内模型実験装置の概要

表-1 模型材料の配合比

材料	石膏	消石灰	砂	水	遅延材
対石膏重量比	1	1	5	1.6	0.01

表-2 模型材料の物性値

弾性係数 E(GPa)	ポアソン比 ν	密度 ρ (g/cm ³)	1軸圧縮強さ q_u (MPa)	圧裂引張り強さ σ_t (MPa)
5.81	0.18	1.68	4.41	0.454

(2) 模擬地盤 模型材料の配合比および物性値をそれぞれ表-1, 2に示す。1個の模擬地盤ブロックの寸法は縦 60mm×横 20mm×奥行き 100mm であり、これを図-2に示すように千鳥状に配列し、水平面から 70° の高角度で連続性を有する不連続面群(set1)と、それに直交する断続的な不連続面群(set2)からなる模擬地盤を作製する。なお、図示したようにせん断ブロック左側からの载荷となるため set1 に対しては流れ目方向载荷となる。また、比較のために不連続面を含まない均質模擬地盤の実験も行う。载荷方法は標準的な原位置試験方法²⁾に準じる。

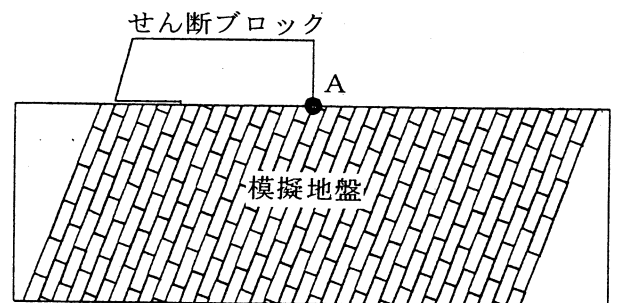


図-2 不連続性模擬地盤(流れ目)

3. 個別要素法による数値実験

数値実験には、不連続面の幾何学的分布特性及び力学特性を比較的忠実にモデル化できる個別要素法(UDECコード)を採用する。基質部は完全弾塑性体としてモデル化し、不連

キーワード: 不連続性岩盤, 模型実験, 個別要素法, 岩盤せん断試験

連絡先: 〒815-8520 福岡市南区塩原 2 丁目 1-47 九州電力㈱総合研究所 TEL092(541)2910 FAX092(551)1583

続面の力学特性値は室内直接せん断試験で求めた値(せん断剛性 977MPa, 粘着力 0, 内部摩擦角 34°)を用いた。なお, 平面ひずみ条件での2次元解析とし, 可能な限り模型実験と整合した境界条件を設定する。

4. 模型実験結果

図-3 に初期垂直応力 $\sigma_{n0}=0.082\text{MPa}$ による模型実験結果を示す。最大せん断応力は, 不連続性模擬地盤は均質模擬地盤の約3割小さくなっている程度だが, 破壊時のせん断変位は不連続性模擬地盤の方が均質模擬地盤の約3倍と大きな変位を示す。一方, 垂直変位は均質模擬地盤及び不連続性模擬地盤ともにせん断初期に沈下傾向を示し, その後膨張側に転じるという同じ傾向が認められる。ただし, 不連続性模擬地盤ではせん断応力～せん断変位関係が降伏しはじめる頃から正の垂直変位となっている。流れ目方向にせん断荷重を載荷する場合, 載荷方向は模擬地盤の卓越不連続面 set1 にほぼ直角となることから, 載荷に伴い set1 は圧縮閉合されることになる。このため, せん断強度に対しては set1 の影響をあまり強く受けず均質模擬地盤に比べ3割程度の強度低下に留まったが, せん断変位に対してはこの set1 の圧縮閉合の影響による母岩部分の変位を含むため大きな変位量が発生したものと考える。なお, 不連続性模擬地盤は, 破壊までに図-2のA点を起点とし set2 に沿った約 20° 下方向への基質部(長方形ブロック)の破壊の進展が見られたが, 最終的には均質模擬地盤と同様にせん断ブロック直下部が破壊した。

5. 個別要素法による再現解析

図-4及び図-5に模型実験と個別要素法による解析結果の比較を示す。なお, 図-5には, 図-1に④で示したせん断ブロック上面2箇所の位置の垂直変位(せん断荷重載荷側を front side, 他方を back side)とそれらの平均変位を示した。せん断応力とせん断変位及びせん断中のダイレーション特性とも, 個別要素法解析は模型実験結果を概ね再現できていることがわかる。このほか, 模型実験により観察した模擬地盤内の破壊状況と数値解析で得られた塑性領域の整合性も確認した。

6. おわりに

原位置の1/3規模の室内模型実験装置を開発するとともに, 基質部を完全弾塑性体とした個別要素法による数値実験の有効性が確認できた。今後はこれらの模型実験と個別要素法による数値実験により, 不連続性岩盤のせん断挙動に影響を及ぼす種々のパラメータの影響度を定量的に明らかにし, 不連続性岩盤の評価技術の確立を目指す予定である。

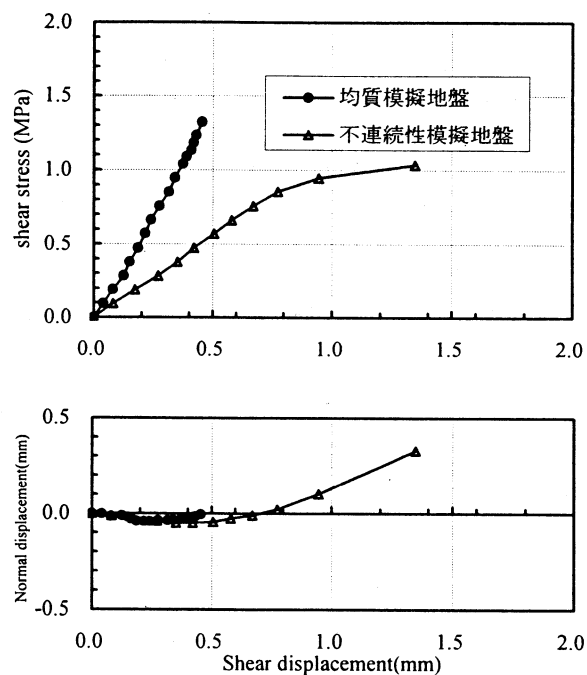


図-3 模型実験結果

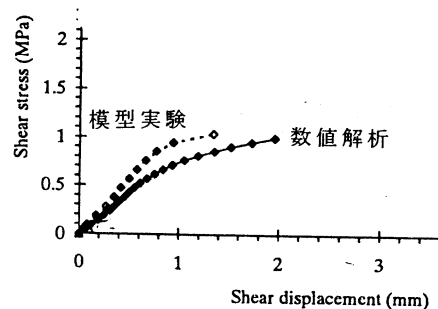


図-4 数値実験結果(せん断応力)

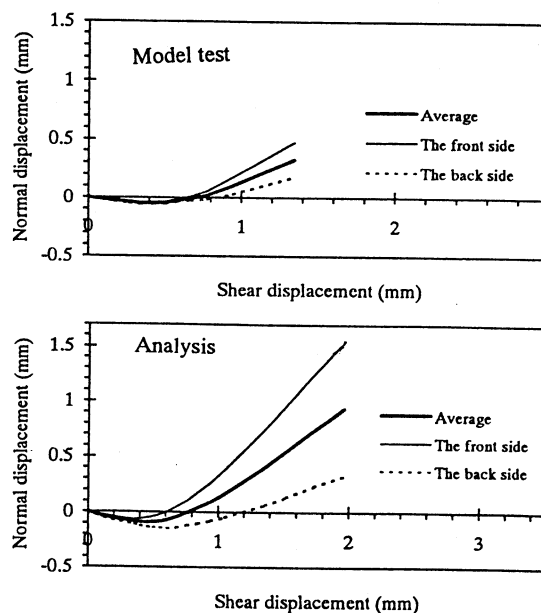


図-5 数値実験結果(垂直変位)