

室内模型実験と数値解析による原位置せん断試験時の不連続性岩盤の挙動に関する考察

九州大学大学院工学研究院 学生員○御厨 剛 正会員 江崎 哲郎
正会員 三谷 泰浩 学生員 椎野 修
九州電力(株) 正会員 溝上 建

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。不連続性岩盤を対象とした原位置せん断試験の結果は岩盤不連続面の影響を受けるが、不連続面の分布状況がせん断挙動特性に与える影響は定量的に解明されていない。

本研究では、原位置せん断試験を模擬した室内模型実験とその数値解析を行い、不連続面の密度の違いが岩盤のせん断挙動特性に及ぼす影響を明らかにする。

2. 室内模型実験及び数値解析

2.1 室内模型実験

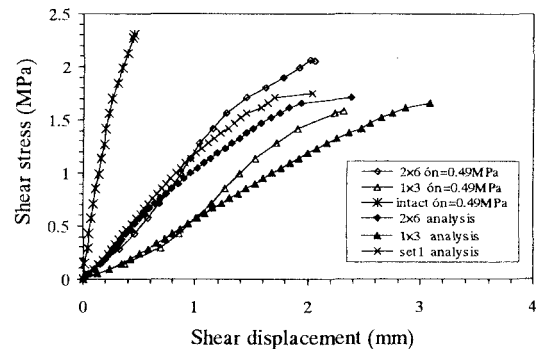
実験では、標準的な原位置せん断試験(せん断面の寸法600mm×600mm)を1/3のスケールで2次元化した模型実験装置¹⁾を用いた。模擬地盤は、不連続面を多く含む堆積性の中硬岩を想定したもので、岩石の模擬材料として一般に用いられることの多い石膏系材料を採用した¹⁾。1つの模擬地盤ブロックの寸法は縦60mm×横20mm×奥行き100mmであり、これをかみ合い比1/2の千鳥状に配列して、高角度(水平面から反時計回りに傾き70°)で連続性を有する不連続面群(以降set1と称す)と、それに直交する断続的な不連続面群(以降set2と称す)からなる模擬地盤(以降2×6ブロックと称す)を作成する。また、同様にして1つの模擬地盤ブロックの寸法が縦30mm×横10mm×奥行き100mmの模擬地盤(以降1×3ブロックと称す)も作成する。せん断荷重を载荷するせん断ブロックは2×6ブロックと1×3ブロックとも同様のものを用いることでせん断面の亀裂密度が2×6ブロックに対して2倍となる模擬地盤を表現した。また、せん断時の初期垂直応力は0.49MPaとして実験を行い、比較のために同条件で不連続面を含まない均質模擬地盤(以降インタクトと称す)の実験も行った。

2.2 数値解析

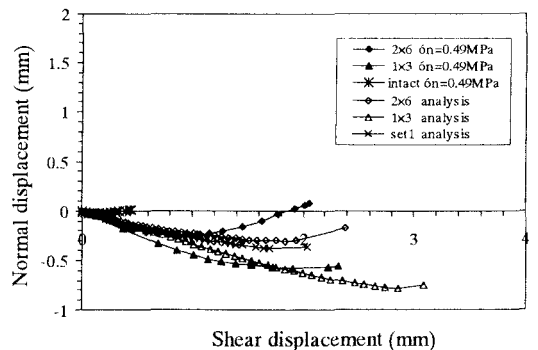
各岩石ブロックを変形体として考慮でき、不連続面の幾何学的分布特性および力学的特性を比較的忠実にモデル化できる個別要素法を用い、不連続面の分布形状、载荷条件は模型実験と同様にモデル化して解析を行った²⁾。解析ケースは、2×6ブロック、1×3ブロック及びset1のみの3ケースでいずれも初期垂直応力を0.49MPaとする

2.3 実験及び数値解析結果

Fig.1にせん断応力とせん断変位の関係及び垂直変位とせん断変位の関係を示す。模型実験では、破壊時の最大せん断応力は、インタクト、2×6ブロック、1×3ブロックの順に低下し、2×6ブロックの破壊時の最大せん断応力に対し1×3ブロックは約0.8倍の値を示す。一方、数値解析では、破壊時のせん断応力は、2×6ブロック、1×3ブロック、set1ともほぼ等しい値を示す。また、最大せん断応力を示すせん断変位に関しては模型実験では、2×6ブロックの破壊時のせん断変位に対して1×3ブロックは約1.2倍の値を示す。数値解析では、最大せん断応力を示すせん断変位は2×6ブロックに対し1×3ブロックは約1.3倍の値を示し、set1のみは約0.9倍の値を示す。垂直変位特性について室内模型実験では、2×6ブロックのコントラクタンシーに対し1×3ブロックは約2.4倍の値を示す。しかし、数値解析では、Set1のみと



(a) Shear stress vs. shear displacement curve.



(b) Normal displacement vs. shear displacement curve.

Fig.1 Shear stress vs. shear displacement and normal displacement vs. shear displacement curve.

2×6ブロックのダイレクションは同じ傾向を示し、コントラクタンスはほぼ一致する。1×3ブロックは他の2ケースに対し約2.3倍のコントラクタンスを示す。実験後に観察した2×6ブロックと1×3ブロックの破壊形態をFig.2に示す。2×6ブロックは、せん断ブロックの背面の隅角部付近で破壊が発生し、そこからset2に沿って約20°下方に破壊が進行し、最終的にせん断ブロックの直下で破壊した。1×3ブロックも同様の破壊の進行状態となった。室内模型実験及び数値解析結果より不連続面密度の違いは破壊時のせん断変位に大きな影響を及ぼし、せん断強度にはあまり影響を与えない結果が得られた。

3. 考察

Fig.3に数値解析より得られた最大せん断応力時における2×6ブロック、1×3ブロック模擬地盤のせん断ブロックとその10mm下方の模擬地盤の相対水平変位の分布図を示す。これは最終的に形成される破壊面のせん断変位に相当するものと考えられる。この相対水平変位の平均値を各荷重段階について求めFig.4に2×6ブロックと1×3ブロックのせん断応力と相対水平変位の平均値の関係を示し、比較のためにインタクトの室内模型実験結果も示す。せん断応力と相対水平変位の平均値との関係は、2×6ブロックと1×3ブロックは共にインタクトに近い傾向となり、2×6ブロックと1×3ブロックは同じ傾向となる。このことからインタクトに比べ、2×6ブロック、1×3ブロックと不連続面の密度が増すほど延性的な挙動を示すのはせん断ブロック周辺の模擬地盤の変形量によるものと考えられる。

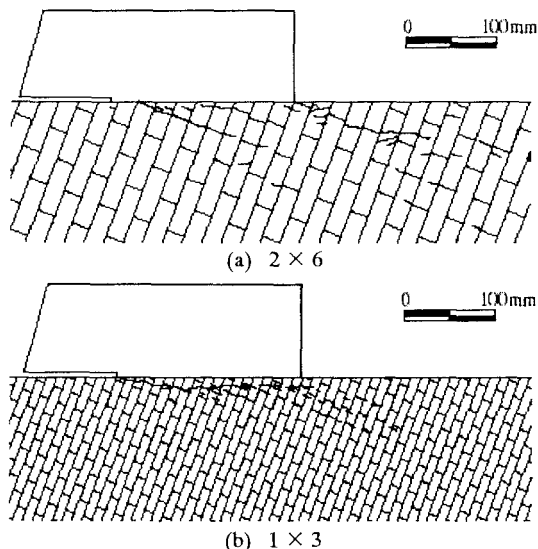


Fig.2 Failure pattern.

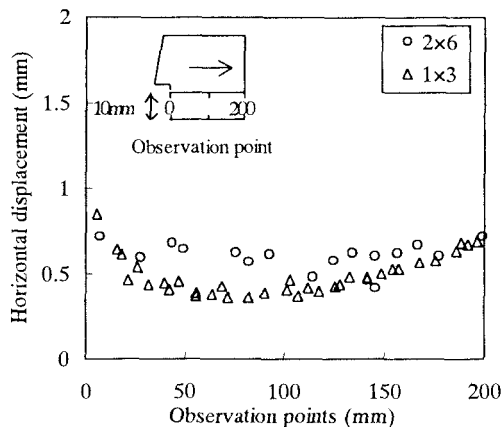


Fig.3 Horizontal displacement on observation points.

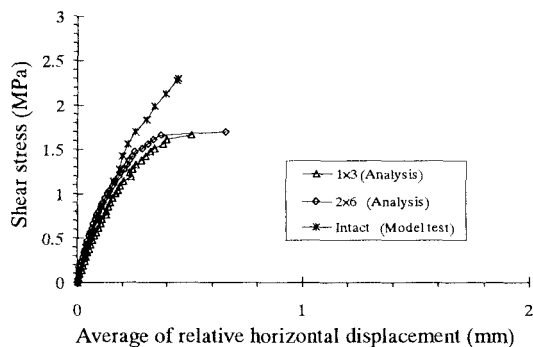


Fig.4 Shear stress vs. shear displacement curve.

4. 結論

本研究では、原位置せん断試験を模擬した室内模型実験を行い、高角度で連続性を有するset1と、それに直交する断続的なset2の2系列の不連続面群からなる岩盤のせん断挙動特性を明らかにした。その結果、不連続面密度は最大せん断応力にはほぼ影響しない、しかし、最大せん断応力時のせん断変位に大きく影響する。また、不連続面密度が2倍になるとせん断変位は約1.3倍となるがせん断ブロック周辺の模擬地盤の変形量を考慮するとその変位量に大差はなく、原位置せん断試験で計測されるせん断変位には岩盤全体の変位量も含まれるため、変位の取り扱いには十分な注意を要する。

参考文献

- 1) 椎野 修 他：原位置試験を模擬した室内模型実験による不連続性岩盤のせん断挙動特性に関する研究，土木学会西部支部講演概要集，第一分冊，pp.442-443，2000。
- 2) 溝上 建 他：2系列不連続面群を有する模擬地盤のせん断挙動特性に関する基礎実験，第31回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，投稿中。