

岩盤不連続面のせん断 - 透水同時特性の評価手法の提案

九州大学工学部 学生会員
九州大学大学院 正会員
九州大学大学院 学生会員

田島 新也 九州大学大学院 正会員 江崎 哲郎
三谷 泰浩 九州大学大学院 学生会員 浦川 文寛
Sharifzadeh Mostafa

1. 目的

放射性廃棄物の地層処分など深部地下の開発では安全性、経済性、環境上の配慮など格段に厳しい設計条件が要求される。そのため岩盤の特性を支配する不連続面の力学・透水特性およびそれらの同時特性を適切かつ詳細に把握する必要がある。本研究では、岩盤不連続面のせん断特性および透水特性、またそれらの同時特性を求める評価手法を提案し、実験で検証する。

2. せん断 - 透水同時特性評価手法

Fig.1 に提案する評価方法のフロー図を示すとともに、以下にその詳細を示す。

2.1 試験体

試験体は縦 200mm × 横 100mm × 高さ 80mm の直方体に整形した中国産花崗岩で、底面から 40mm の高さに人工不連続面を有する。また、せん断面積は縦 180mm × 横 100mm とする。

2.2 岩盤不連続面表面の凹凸の計測

(1) 不連続面の表面形状の計測

不連続面の間隙幅を評価するために、X-Y テーブルおよびレーザー変位計からなる非接触式の計測システムにより、計測間隔 0.2mm で不連続面表面の高さの計測を実験前後で行う。

(2) 表面計測結果の補正

岩石の反射率の影響から計測不能の点、レーザー変位計の特性上正しく計測されていない点のエラーの補正、また凹凸を上下面で別個に計測することで生じる設置に関するエラーの補正を行う。

2.3 せん断 - 透水同時実験

(1) せん断 - 透水同時実験装置¹⁾

せん断 - 透水同時実験装置は、せん断時に試験体下部を移動させる構造で、その際に生じる不連続面相互の傾きを 2 本の垂直ジャッキにより制御することが可能である。また、せん断と同時に透水実験が可能であり、幅広い透水係数の変化を正確に計測するよう、Fig.3 に示すように定水位法、定圧注水法、フローポンプ法の 3 通りの透水実験が可能である。また高い水

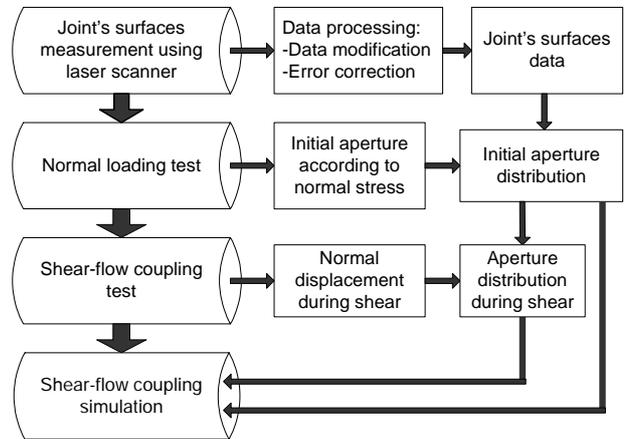


Fig.1 Shear-flow coupling procedure.

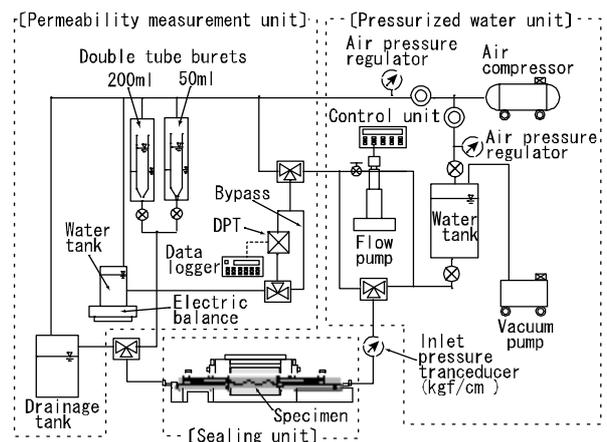


Fig.2 System of new shear-flow coupling apparatus.

圧、任意の動水勾配の条件下で実験を行うために、注入側、排水側の圧力を制御できる。透水量は、電子天秤により計測する方法と、2重管ビュレットと差圧計を用い、下流側の圧力水頭の変化から流量を計測する方法の 2 通りが行える。

(2) 垂直載荷 - 透水同時実験

せん断を行わない、垂直載荷だけを行った状態で透水実験を行う。また、得られた垂直応力と垂直変位との関係から不連続面の初期間隙幅を設定する。

(3) せん断 - 透水同時実験

実験は、垂直荷重を載荷した後、その荷重を一定に保ちながら、上箱と下箱が平行になるように制御した状態でせん断させる。透水実験は、一時的にせん断移動を停止し、不連続面側面を遮水して一方向流で行う。

2.4 不連続面間隙幅の評価

不連続面の初期間隙幅は実験での直接的な計測が困難であるため、補正した表面形状計測データと垂直載荷実験の結果を用いて初期間隙幅を特定する。さらに、せん断時の垂直変位のデータに合わせて上面を上下移動させることで、せん断中の間隙幅の空間分布も特定できる。

2.5 せん断 - 透水シミュレーション

得られた間隙幅の空間分布をベースとしたせん断 - 透水同時実験のシミュレーションを行う。シミュレーションでは、独自に開発したプログラムや汎用解析プログラムを GIS(地理情報システム)を用いて連携させることで、せん断 - 透水同時特性のメカニズムを解析する。

3. 実験およびシミュレーション結果

実験結果として Fig.3 にせん断変位と垂直変位、せん断応力の関係を示す。せん断応力は、せん断初期で著しく増加し、せん断変位約 2mm で鋭いピークを示す。その後、急激に減少し、一定の残留せん断応力を示す。垂直変位は、せん断初期にはほとんど変化せず、せん断応力がピーク値を示す直前よりダイレーションが発生する。ダイレーションの増加率はピークせん断変位で最大となり、その後は緩やかに増加する。せん断前の透水係数は、垂直応力 3MPa の時の値は、垂直応力 1MPa の時の値に対して 84.9%も減少しており、垂直応力の増加に伴い間隙幅が減少した結果、透水係数が減少したと考えられる。せん断時の透水係数は、ピークせん断変位に至るまで増減しながら全体的にやや増加し、せん断変位 1.6mm から急激に増加し始め、せん断変位 6mm まで増加する。その後は、ほぼ一定値を取り、最終的に透水係数は 4 オーダー上昇する (Fig.4)。

また、シミュレーション結果として、せん断変位 0mm と 14mm の時の間隙幅の空間分布 (Fig.5) と、その内部の流れのベクトル図を示す (Fig.6)。両者を比較すると、せん断変位 0mm では、接触率が高く、接触領域は不連続面全体にほぼ均一に分布しているために、流速ベクトルは非常に小さく透水係数も小さい。しかし、せん断変位 14mm では接触率は低く、不連続面上下は局所的にしか接触しておらず、間隙が大きくなり、流れの大きい流路が、接触領域を避けるように選択的に発生する。

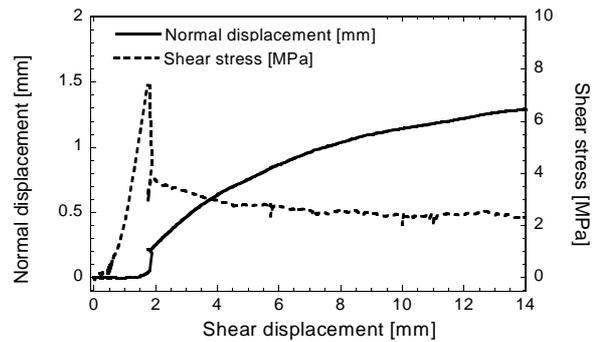


Fig.3 Shear disp. vs. normal disp. and shear stress.

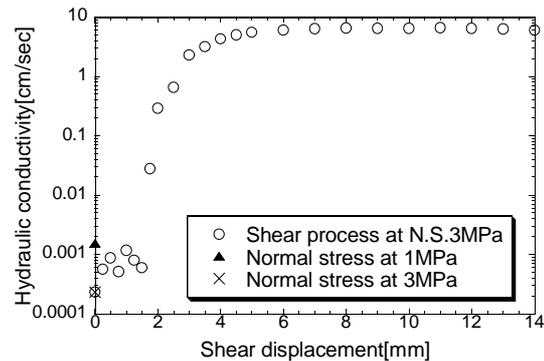


Fig.4 Hydraulic conductivity vs. shear disp..

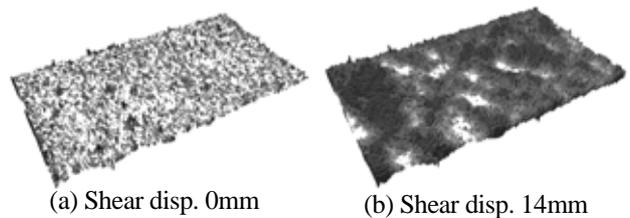


Fig.5 Aperture distribution.

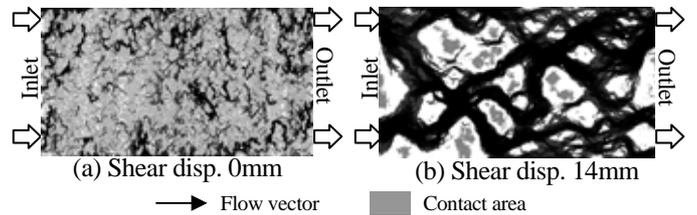


Fig.6 Results of flow simulation.

4. 結論

本研究では、せん断 - 透水同時実験と不連続面の間隙およびその内部の状況の空間的なシミュレーションを行うことにより、実験と解析の両面からせん断 - 透水同時特性を総合的に評価する手法を提案した。また、その手法を実際に適用し、せん断に伴う透水係数の変化を実験的にとらえ、さらに、GISによるシミュレーションを行うことで、せん断による不連続面の凹凸・間隙幅・接触領域の変化が、不連続面の透水性に影響し、流れを選択的なものにするを明らかにした。

<参考文献>

1) MITANI, Y. *et al.* : Development of a new advanced shear-flow coupling apparatus, Proc. of 9th Int. Congr. on Rock Mech., ISRM, pp.769-772, 1999.