

表面形状を考慮した単一岩盤不連続面の浸透機構に関する実験的研究

長崎大学工学部 学生会員○古賀 大志 学生会員 黄 娜 学生会員 王 長盛
長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静 正会員 大嶺 聖 正会員 杉本 知史

1. はじめに

近年、大量生産、大量消費型の経済活動に伴う廃棄物処分、資源枯渇、地球温暖化などの地球環境問題が社会的関心と呼ぶ中で、岩盤工学においても様々なプロジェクトが注目を集めている。特に、高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、処分施設の安全性評価を行うことが重要であると考えられており、特に地下空洞掘削に伴う掘削影響領域における透水・物質移行特性の把握が重要な研究テーマの一つとして挙げられている。岩盤の水理学的挙動は不連続面に大きく支配されるため、単一岩盤不連続面の力学特性、透水特性およびこれらの関連特性を見出すことは極めて重要である。

そこで本研究では、岩盤不連続面の表面形状に注目し、せん断透水実験を行うことでせん断時の透水特性を把握することを目的とする。

2. 研究方法

2.1 試験装置の概要

本研究で開発したせん断-透水同時特性試験装置の概要を図1に示す。この装置はフィードバック機構を有する完全閉ループ方式の電気・油圧サーボシステムであり、载荷などがコンピュータにより自動制御できる。バネを用いた垂直剛性一定方式に比べて、本装置はコンピュータに垂直剛性値を入力するだけでよく垂直剛性の設定、変更、さらにせん断途中の制御方式の切替えが容易である特徴がある。また、透水機構部はカセット式せん断箱に止水機構を組み込むことで改良を加え、供試体の端部に接合したパイプから圧力水を流入させ、供試体の逆端部から流出する水の重量をリアルタイムに計測することができる。流体を流入させる際に供試体の左右方向の不連続面より漏水させることなく確実に集水するために側面にゲルシートと呼ばれる非常に柔らかく変形性に富んだポリマー材を用いた止水構造をとっている¹⁾。

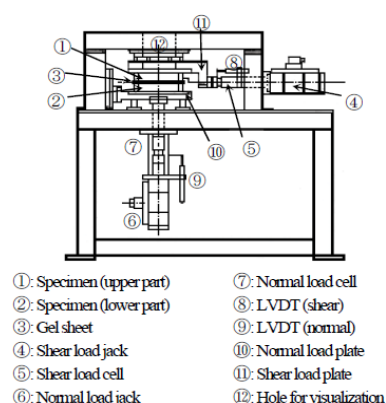


図1 せん断透水試験装置

2.2 供試体作成の概要

せん断-透水試験は圧裂させた砂岩から模った不連続面の供試体を用い、上部と下部の石膏供試体を組み合わせて行う。この供試体の表面は凹凸がたくさん存在し粗い表面形状を有しており、寸法は、幅100mm、長さ200mm、高さ100mmである。石膏供試体の材料は重量比で石膏：水：遅延材=1：0.2：0.005の混合材である。(図2)。表面凹凸形状の定量化にはJRC(joint roughness coefficients)を用いた。²⁾ 各表面形状をレーザー変位計によって1mm間隔の格子状に計測したプロファイラーデータを用いてJRCを算出した。今回の実験では垂直応力0.5MPaの一定応力下で、JRC=3.5 (Case1)とJRC=12.3 (Case2)の二つの供試体を用いて比較した。

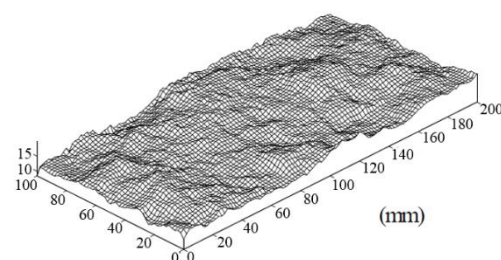


図2 供試体の表面形状

3. 実験の結果と考察

図3に垂直-せん断変位の関係を図4~6にCase1,2におけるせん断変位と流量、透水係数、レイノルズ数との関係をそれぞれ示している。ここでグラフ中のJは動水勾配を示している。まず、図4~6に共通して見られる特徴は、せん断変位 $s=0\sim4\text{mm}$ まではそれぞれの値が急激に上昇し、 $s=4\text{mm}$ でピークとなり、その後はほぼ一定値となっていることである。これは、せん断変位が4mmまでは変位に伴い岩盤中の流れに変化が起きていることを示しており、4mm以上はせん断

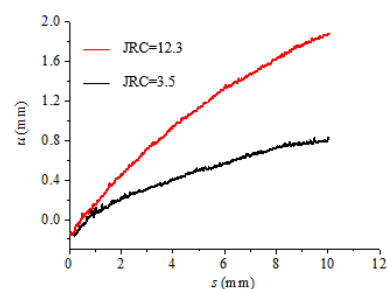


図3 垂直-せん断変位の関係

変位量が流れに影響を及ぼさないということを示している。次に、せん断変位に対するそれぞれの値を比較すると、JRC が大きいほどそれらの値は大きくなり、動水勾配増加による値の増加量も大きくなっていることが分かる。これは岩盤内の凹凸が粗いほど流れに影響を与えていると言える。

共通していない点は、図 5 のせん断変位と透水係数の関係で、図 4, 6 の動水勾配が増加するほどそれぞれの値が増加するのに対し、図 5 では動水勾配が増加するほど透水係数の値が減少している。これは、透水係数は動水勾配に反比例していることを示し、非線形の関係であると言える。また、図 5 では動水勾配 $J=2$ のときの透水係数が飛びぬけて大きくなっている。これは、 $J=2$ と $J=4$ の間では、岩盤中の凹凸による透水係数への影響が大きく作用していると考えられる。

図 7 では、せん断変位 $s=2\text{mm}, 10\text{mm}$ のときの流量と動水勾配の関係を比較している。ここで、 $\text{JRC}=3.5$ のグラフにおいて、流量が小さいときでは実験値のプロットが Forchheimer 方程式の線上から逸脱し、右にシフトしている。これは、JRC が小さい値になると、開口幅も減少し、水の粘性が動水勾配の値に大きく影響していると考えられる。また、Forchheimer の方程式

$$J = aQ^2 + bQ$$

を用いて a, b の値を算出・評価し、JRC とせん断変位に対する a, b の値に注目すると表 1 のようになった³⁾。この結果からせん断変位が大きいほど a, b の値は小さくなる。また、JRC の値が大きいほど a の値は大きくなり、 b の値は小さくなるということが分かった。

4. おわりに

今回の試験結果としては、異なる 2 つの JRC の供試体を用いて、せん断変位と流量、透水係数、レイノルズ数の関係、また、流量と動水勾配の関係性を見出すことができた。しかし、今回は平行平板モデルであるため、用いた粗度状態モデルがどれだけ実際のクラックに近いのかが詳しく議論されていないなどの課題がある。そこで今後の展望としては、実際の不連続面をより忠実にモデル化した三次元ネットワークモデルを用いて不連続性岩盤内の流れの特性を解明していく必要がある。

参考文献

- 1) 蔣宇静ほか：可視化技術を活用した岩盤不連続面のせん断一透水特性およびダルシー則の有効性に関する研究，第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム論文集，pp.72-76, 2010.
- 2) Barton N, Choubey V. The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics and Rock Engineering, 10(1): 1-54, 1977.
- 3) Zhang Z, Nemcik J. Fluid flow regimes and nonlinear flow characteristics in deformable rock fractures. Journal of hydrology, 477: 139-151, 2013.

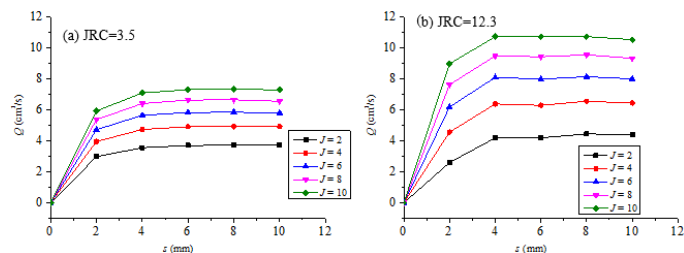


図 4 異なる動水勾配下でのせん断変位と流量の関係

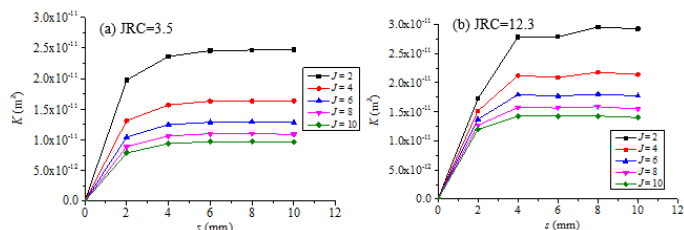


図 5 異なる動水勾配下でのせん断変位と透水係数の関係

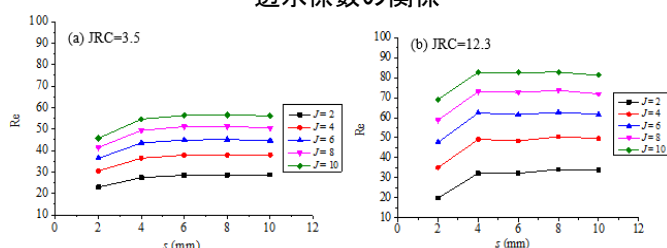


図 6 異なる動水勾配下でのせん断変位と Re の関係

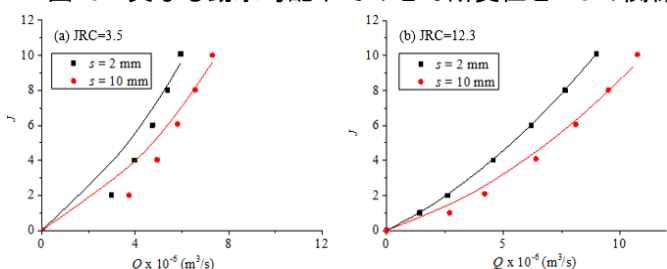


図 7 せん断変位 $s=2\text{mm}, 10\text{mm}$ のときの流量と動水勾配の関係

表 1 JRC とせん断変位に対する Forchheimer の式

せん断変位	JRC=3.5	JRC=12.3
2mm	$y = 1.151x^2 + 9.235x$	$y = 5.500x^2 + 6.280x$
10mm	$y = 1.071x^2 + 5.350x$	$y = 4.570x^2 + 4.034x$