

Re 数の影響を考慮した岩盤不連続面のせん断-透水特性の評価

長崎大学工学部 学生会員 本郷 伸 正会員 李 博
 長崎大学工学部 フェロー会員 蔣 宇静 フェロー会員 棚橋由彦

1. はじめに

近年、地下エネルギー貯蔵施設や高レベル放射線廃棄物の地層処分などのプロジェクトが注目を集めており、これらは地下の隔離性や地下水に対する水封性、流動機能を利用するものである。その設計、施工及び維持管理については、適切な対策を施す必要があり、基本的な情報として、力学特性、透水特性などの岩盤諸特性を把握する必要がある。本研究では、既往研究の実績を踏まえた上で、新しい表面形状を有する岩盤不連続面を用いて変水頭せん断-透水試験を行い、岩盤不連続面のせん断-透水特性を評価する際に Re 数の影響を明らかにすることを目的とする。

2. 試験装置の概要

本研究で用いたせん断-透水特性試験装置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。試験装置の詳細は文献¹⁾に譲る。

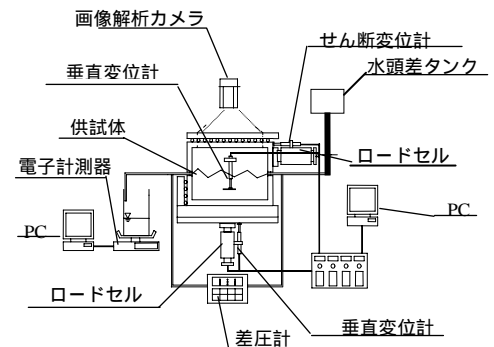


図-1 せん断-透水試験装置の概要

3. せん断-透水試験の概要

3.1 供試体の作成

せん断-透水試験は圧裂させた砂岩から型取った不連続面 J7 と圧裂させた花崗岩から型取った不連続面 J10 を基に作成した供試体を用いた。不連続面を模擬す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 の混合材を使用した。図-2 に示すように、J10 の表面は全体的に凹凸が多く、非常に粗い表面形状 (JRC=18-20) を有していることに対して、J7 は非常に平らな表面を有している。供試体の寸法は幅 100mm、長さ 200mm である。

3.2 試験ケース

J10 におけるせん断-透水試験は上部と下部に石膏供試体を組み合わせて行ったが、J7 におけるせん断-透水試験を行う際に、流れの画像を撮影するため、上部に透明なアクリル供試体、下部に石膏供試体を設置して行った。J7 においては垂直応力一定制御条件下で初期垂直応力を 1.5MPa に、J10 においては垂直剛性一定 (1GPa/m) 制御条件下で初期垂直応力を 1.0MPa に、せん断速度を共に 0.5mm/min に設定し、せん断-透水試験を行った。試験開始から、1mm 間隔でせん断を一時停止し、透水試験を行った。その際、Re 数と水頭差との関係を考察するために、水頭差を 6mm から 100mm の間で幾つのパターンに変化させた変水頭試験を実施した。

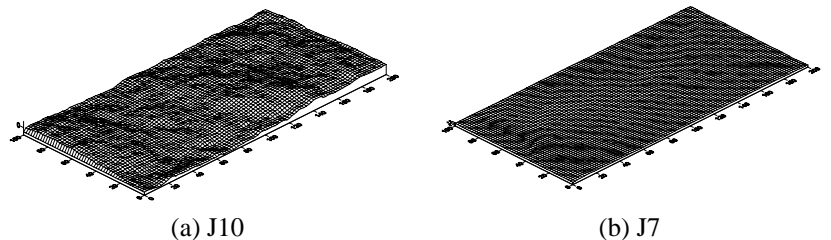


図-2 供試体の表面形状

3.3 開口幅の評価

垂直方向において $\pm 20 \mu\text{m}$ の精度と $10 \mu\text{m}$ の分解機能を持つ非接触型三次元レーザー変位システムにより岩盤不連続面の表面形状を計測した(図-2)。それにより、供試体の表面は $0.2\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ という細かいメッシュ (1000×500 個) で表現する幾何モデルを作成し、力学的な開口幅を評価した。力学的開口幅の評価手法における詳細は文献¹⁾に譲る。水理学的な開口幅および透水係数は 3 乗則を用いて、計測した透水量と水頭差から算出した。

4. 実験結果と考察

図-3 に J7 と J10 におけるせん断応力とせん断変位の関係を示す。二つの不連続面においてもピークせん断応力はせん断変位 2~3mm 付近で発生し、その後 J7 におけるせん断応力が徐々に下がるが、J10 では図-4 に示すダイレー

ション挙動により垂直応力が増加したため残留段階におけるせん断応力も増加する傾向を示した。せん断初期において0または負のダイレーションが発生し、その後、残留領域になると正のダイレーションを示している(図-4)。これは、せん断初期においてせん断応力と垂直応力を加えることにより凹凸がよりかみ合った状態になり、その後凹凸の乗り上げが開始し、正のダイレーションへ遷移したものと考えられる。しかし、前述のようにJ7の試験に用いた供試体はJ10と異なるので、ここではピーク応力や垂直応力などを直接比較することができなかった。

図-5にはJ7とJ10におけるせん断につれ水理学的開口幅、力学的開口幅と透水係数の変化を示す。二つの不連続面においても力学的開口幅と水理学的開口幅がダイレーション挙動につれて同様に増加しているが力学的開口幅のほうが大きいことがわかる。また、ピーク以前においては不連続面供試体同士の噛み合わせ状態がよく、ほぼ透水しないことによりせん断初期において透水係数は0になる。ピークせん断応力が発生した後、ダイレーションの増加に伴い、不連続面内の隙間の幅が増加し流れの通路が徐々に形成・連結されるので、透水係数も急激に増加している。

図-6にJ7とJ10における透水係数とRe数の関係を示す。せん断初期(J10:5-6mm、J7:3-7mm)では透水係数とRe数が非常に小さいので、透水係数がRe数の増加に従って僅かに下がりながらほぼ一定な値を示す。その後、供試体のダイレーションが顕著に発生し、開口幅の増加に伴い流量が急増し、透水係数もRe数の増加に伴い小さくなっていることがわかる。また、透水係数が大きいほど、Re数の増加に伴う透水係数の減少量も大きくなる。以上の結果より透水係数の変化特性がダイレーション挙動、Re数の大きさ及び流路の複雑さ(屈曲状態)に影響されるものであると考えられる。

5. おわりに

本研究では、自然岩盤不連続面の表面特徴を有する供試体を用いてせん断 - 透水試験を行い、せん断過程における透水量の変化特性及びそれとRe数の関係を考察した。岩盤不連続面のような狭い空隙中における透水特性は不連続面のダイレーション挙動に起因して大きく変化する。Re数および不連続面の表面形状を現すパラメータを用いて透水係数を定量的に評価することが今後の課題となる。

[参考文献] 1) 蔣宇静, 小山倫史, 李博, 田作裕輔, 佐保亮輔, 棚橋由彦: 岩盤不連続面内の接触変化を考慮した流動機構数値解析手法の提案と検証, Journal of MMJ, Vol.124, pp.129-136, 2008

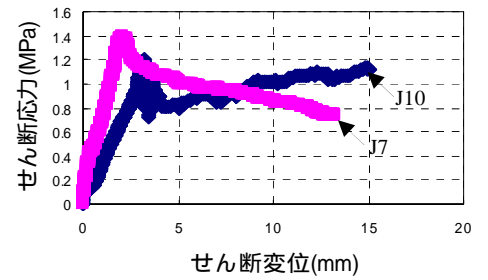


図-3 せん断応力とせん断変位の関係

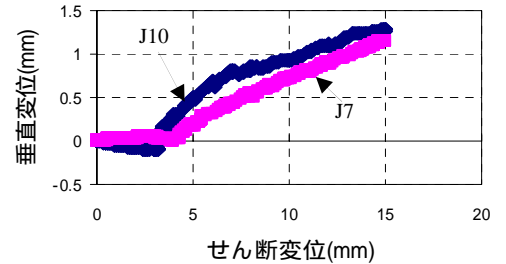


図-4 垂直変位とせん断変位の関係

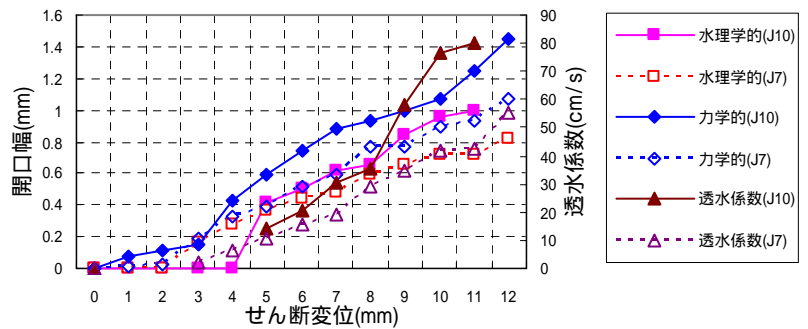


図-5 開口幅、透水係数とせん断変位の関係

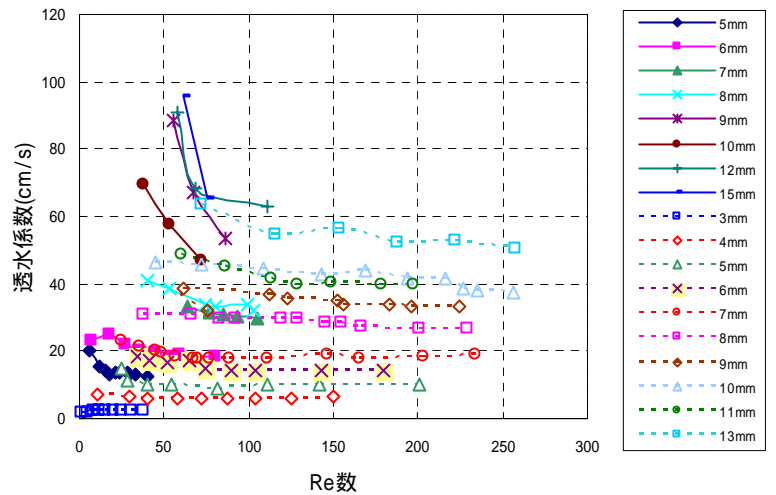


図-6 透水係数とRe数の関係