

岩盤の不連続面のせん断—透水同時計測

九州大学工学部 学生会員○横田 容一

正会員 江崎 哲郎

正会員 木村 強

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分、エネルギーの地下貯蔵などの地下深部利用において岩盤内の地下水の挙動を解明し、制御することは極めて重要であると考えられ、従来から多くの研究が行われてきた。その一つとして不連続面自身の透水特性の実験的研究が進められてきたが、その多くは不連続面がかみ合った状態で行われている。しかし、実際の不連続面は掘削等によって初期応力が変化し不連続面に変形を生じていることが多く、従って透水特性はせん断された状態で調べるのがより実際にかなっていると考えられる。そこで本研究では、不連続面のせん断試験と透水試験を同時に行うことの出来る実験装置を試作し、垂直応力のみならずせん断変位やダイレタンシーと透水特性との関連性の解明を試みた。

2. 実験概要

(1) 実験装置および試験体

Fig.1 に実験装置の概略を示す。この装置の特徴は以下の通りである。①せん断荷重は変位制御で行う。せん断容器は下箱移動型で上箱は上下移動および回転が許される。②せん断荷重計測のためのロードセルは上箱と装置本体の間に一対設置されている。③垂直方向荷重は荷重制御で行う。④透水試験は定水位で行う。透水は試験体下部に設けられた 直径5.5mmの穴を通り、不連続面の中央部から放射流で移動し、排水は試験体の周囲、せん断面よりやや上に設けた堰から越流させる。⑤透水量は、電子天秤をパソコンに連結し、10秒間の透水量を重量で計測し透水量が一定となっていることを確認して平均値を採る。また変位の計測は変位計による計測の他に、不連続面近傍の上下から取り出した 2本のプローブをビデオカメラで撮影し画像解析を行って相対変位を求める。

試験体は、韓国南原産花崗岩（比重2.61、吸水率0.37%、飽和状態での一軸圧縮強度162MPa）の縦120mm、横100mm、高さ80mmの直方体で、不連続面は岩の目（rift plane）に平行になるようにし、圧裂により人工的に作製する。

(2) 実験方法

所定の垂直応力（0.2, 1, 5および20MPa）まで段階的に上げ、一定の水圧下（10kPa）で各段階の透水量を測定する。その後、垂直応力を一定に保ちながら速度約0.1mm/secでせん断を行い、せん断変位が20mmに達したら逆方向にせん断し、せん断変位が0mmになるまで戻す。途中の各段階で一時的にその状態を保ちながら透水量を測定する。さらに、せん断終了後、加圧時と同様に段階的に透水量を測定する。

3. 実験結果および考察

本実験では放射流で透水させており、せん断変位により透水面の断面積が変化するので次のように透水係数を求めた。不連続面内の流れを平行平板流れと仮定すると透水係数 k は次式で表される。

$$k = g / (12 \nu) \cdot e^2 \quad (1)$$

ここで g は重力加速度、 ν は動粘性係数、 e は間隙幅である。また流量 Q は間隙幅と次の関係がある。

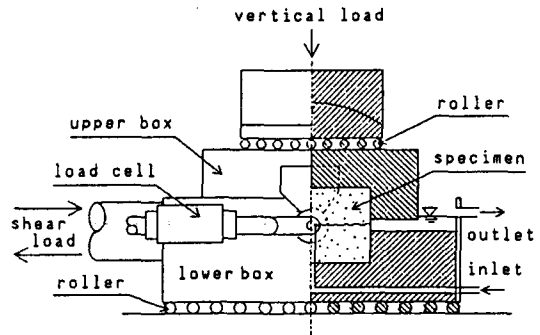


Fig.1 Shear-flow coupling test apparatus.
(left:side view, right:vertical section)

$$Q = Ae^3 \quad (2)$$

ここでAは定数である。差分法により各メッシュの水頭値と単位間隙幅当りの流量を求め、この流量から(2)式の定数Aを決定する。そのうえで実験より得られた流量と(2)式から間隙幅eを計算し、その値と(1)式より透水係数を決定した。

Fig.2はせん断変位が0の場合の透水試験の結果である。割れ目がかみ合った状態では垂直応力の増加とともに透水係数は減少している。これは垂直応力の増加により割れ目が閉塞したためである。またせん断履歴後の透水係数はせん断前よりほぼ一桁大きい。これはせん断により割れ目がかみ合わなくなったためと考えられる。Fig.3にせん断した場合の透水試験の結果を示す。垂直応力が0.2MPaのケースではせん断変位が0mmから2-4mmの間で透水係数は増加している。垂直応力が1および5MPaのケースも同様であった。これはダイレタンシーの挙動とほぼ一致しており、せん断により割れ目の凹凸が乗り上げて間隙幅が増加したためである。その後、透水係数は一定となっており、透水量が多いと試験体の透水抵抗に比べて水を供給する管の摩擦損失が大きくなるため正しい透水量が得られていない。垂直応力20MPaのケースは、せん断変位が0mmから5-10mmの間までに2オーダー近く増加しており、せん断破壊によって凹凸が破壊されたことによると考えられる。その後、実験1,3は透水係数はほぼ一定となり、実験2は急激に低下している。透水係数の低下は生じたグーじによって隙間が閉塞したためと考えられる。

Fig.4は垂直応力20MPaのケースについての、Bartonらのモデルと本実験データとの比較を示したものである。Bartonらのモデルでは破壊によるグーじの生成は仮定しておらず、本実験の実験例1や3と一致している。

4.まとめ

- ・かみ合った状態では垂直応力が増加すると透水係数は減少する。
- ・せん断変位が増加するとダイレタンシーが増加して透水係数が増加し、垂直応力が大きくなるとせん断破壊によって大きく透水係数は増し、その後生じたグーじが隙間を塞ぎ透水係数を減少させる。

参考文献

Barton, N. et al.: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 22, No. 3, pp. 121-140, 1985

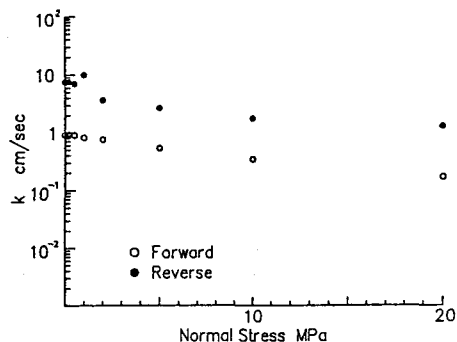


Fig.2 Conductivity vs. normal stress with no shear displacement.

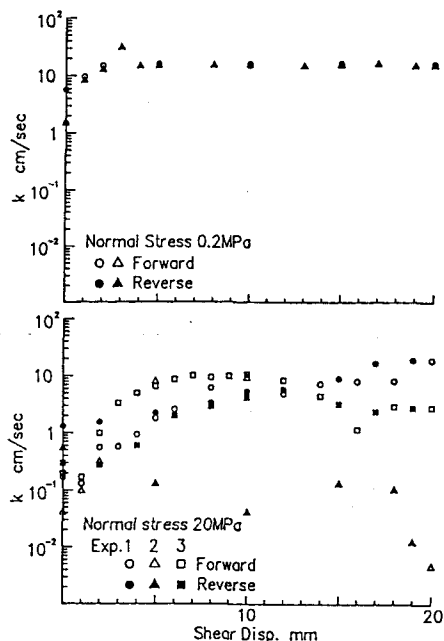


Fig.3 Conductivity vs. shear displacement in the normal stresses of 0.2 and 20MPa.

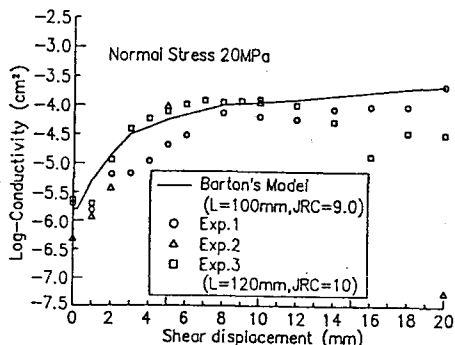


Fig.4 Comparison of conductivity-shear displacement obtained from the shear-flow coupling test and the Barton's model.