

III-236 岩盤の不連続面のせん断—透水同時計測

九州大学工学部 正会員 江崎哲郎
 学生会員 北條裕之
 国立公害研究所 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、実際の不連続面は引張に起因するのみならずせん断破壊によるものも多いと考えられる。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なっているといえる。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、検討を行った。

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て10秒間の透水量を重量で計測し、定常となっていることを確認して平均値を採る。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。

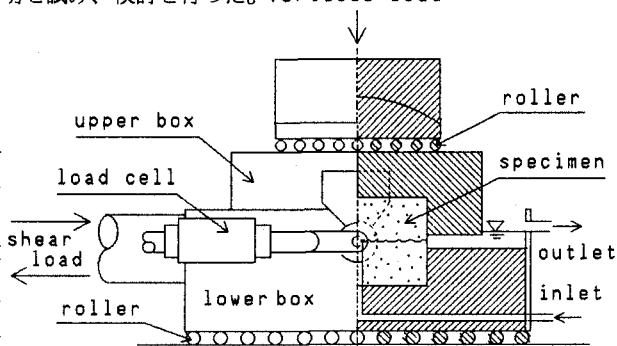


Fig.1 せん断—透水同時計測装置
 (左:側面図, 右:断面図)

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）で、縦120mm、横100mm、高さ80mmの直方体を切り出して入念に仕上げた。不連続面は岩の目（rift plane）に平行になるようにし、圧裂により直方体を2分するように作製した。

(2)実験方法

所定の垂直応力（0.2, 1, 5および20MPaの4種類）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。垂直応力が所定の値になると、その応力を一定に保ちながらせん断を行なう。せん断速度は約0.1mm/sec、最大変位20mmを設定し、途中の各段階で一時的に停止させて透水量を測定する。せん断は往復行って、元の状態まで戻った後、除荷時にも段階的に透水量を測定した。

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。透水面を差分解析して、水頭分布および単位間隙幅当りの流量を求め、この流量から平行平板と仮定したときの間隙幅 e を計算して、透水係数 k を決定した。

せん断変位が0の場合、すなわち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約1オ

オーダー減少する。またせん断履歴後の透水係数はせん断前よりほぼ1オーダー大きい。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。せん断した場合の透水試験の結果は、垂直応力が0.2, 1, 5MPaのケースでは、いずれもせん断変位が0mmから2-4mmの間で透水係数は1.5~2オーダー増加している。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ことがわかる。その後、透水係数は一定となっている。透水係数が非常に大きくなる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透水量の計測精度にはやや問題がある。Fig. 2に垂直応力20MPaのケースを示す。実験は3個行なったが、いずれもせん断変位が5-10mmの間までに2オーダー近く増加しており、凹凸が破壊されたのみならず、周辺に破壊が拡大したと考えられる。20mm変位したとき、実験2の透水係数は急激に低下し、ほとんど不透水となった。実験1および3はほぼ一定である。透水係数の低下はゲージによって隙間が閉塞したためと考えられる。Bartonらのモデルと本実験データを比較すると、実験1および3は比較的よく一致する。Bartonらのモデルでは破壊によるゲージの生成は仮定しておらず、実験2は合わない。

Fig. 3は、Bartonの示した、割れ目の実際の間隙幅 E と平行平板と仮定した場合の間隙幅 e の関係を、ジョイントの粗さJRCを考慮した次式

$$e = JRC^{2.5} / (E/e)^2$$

の図上に実験1の結果をプロットとしたものである。各点の数字はせん断変位量(mm)を示す。この際、間隙幅 E はFig. 4の垂直応力と垂直変位の関係およびせん断試験中のダイレタンシー曲線から求めた。これによればせん断変位が0~3mmの領域でせん断応力がピークに向う際にJRCが急増し、その後のダイレタンシー曲線が平坦となる領域ではJRCはほとんど変わらないことを示し、前記の破壊の拡大が裏付けられる。

参考文献

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

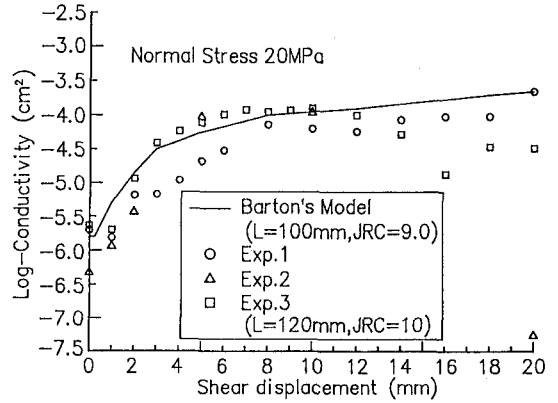


Fig. 2 せん断変位と透水係数の関係

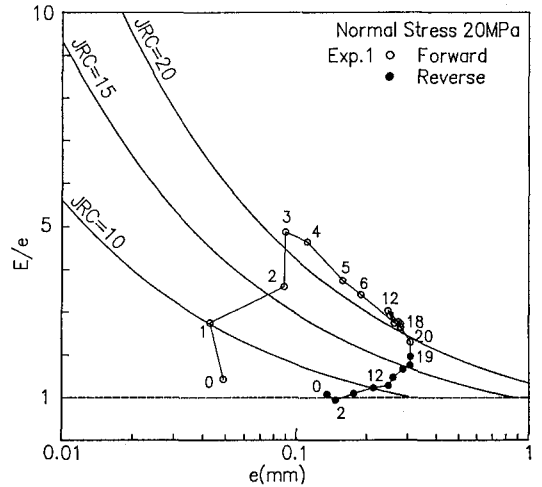


Fig. 3 JRCと間隙幅の関係

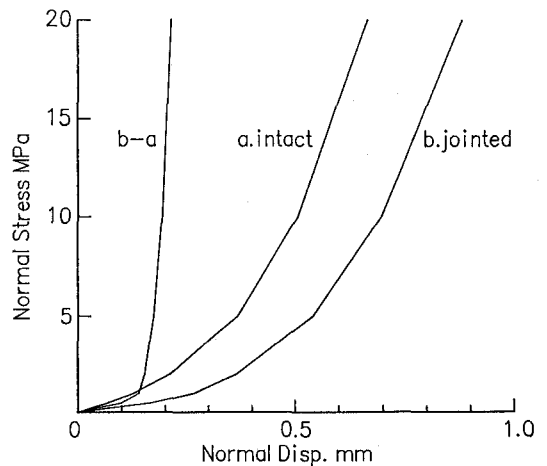


Fig. 4 不連続面の垂直応力-垂直変位曲線