

岩盤不連続面のせん断透水同時特性のモデル化に関する検討

九州大学工学部 学生員 ○琴崎 剛
九州大学大学院 学生員 中島 祐一

九州大学大学院 正会員 三谷 泰浩
九州大学大学院 正会員 江崎 哲郎

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分などこれからの地下深部の開発には岩盤中に存在する不連続面の力学・透水特性を適切に把握する必要がある。これまでに力学と透水の同時特性把握のための、実験的、解析的検討がなされているがその手法は確立されておらず、特にせん断透水同時特性についてはいくつかの実験的評価がなされているにすぎない。著者らはこれまで単一不連続面のせん断透水同時特性の実験的検討を行っており、同時特性評価のための試験機の開発に成功している¹⁾。本研究では不連続面の幾何学的分布情報からその特性を予測することを目的としたせん断透水同時特性の評価モデルを構築し、実験結果を再現した結果を示す。

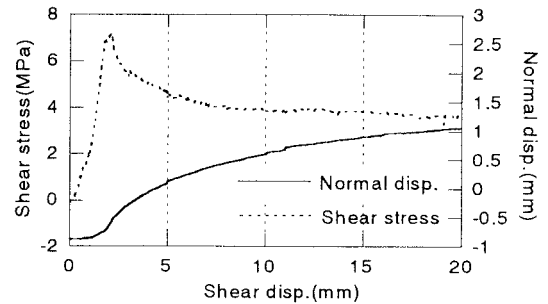
2. せん断透水同時実験

試験体は花崗岩に人工的な不連続面を作成したもの(せん断面 $180 \times 100\text{mm}$)を用い、著者らが開発した試験装置²⁾で、一方向流のせん断透水同時実験を行う。実験は垂直応力を 5MPa で一定に保ち上箱の回転を制御しながら、せん断変位 20mm までせん断透水同時実験を行う。実験結果をFig.1に示す。図に示すように、透水係数はせん断とともに一旦減少するものの急激に2オーダーほど増加し、その後はある程度の増減を示すものの、ほぼ一定の値を示す。

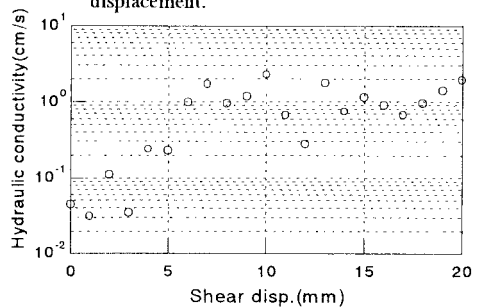
3. せん断透水同時実験のシミュレーション

(a) シミュレーションの概要

シミュレーションに必要なデータとして、不連続面の幾何学的分布情報(凹凸の形状)、実験結果(透水量、間隙幅の変化)がある。実験前の不連続面の凹凸形状は不連続面の上下をレーザー変位計を用いて計測間隔 0.2mm メッシュでその高さを計測する。その時の計測精度はシステム全体として 0.01mm を確保できる。このデータからまず不連続面の初期間隙幅を特定するが、これは垂直応力に敏感であるため実験で計測することは困難である。そのためGIS(地理情報システム)による間隙幅設定のためのプログラムを作成した。これは不連続面の上下面の位置関係と作用する応力との関係をモデル化したもので、与えられた垂直応力下での間隙幅を求めることができる。この結果と実験時のせん断による垂直変位の変化からせん断に伴う間隙幅の変化をGISで解析する。この結果を透水モデルに入力し、試験体の一端から排出される流量を算出し、その結果と実験結果との照査を行



(a) Normal displacement, shear stress vs. shear displacement.



(b) Hydraulic conductivity vs. shear displacement.
Fig.1 Result of shear-flow coupling experiment.

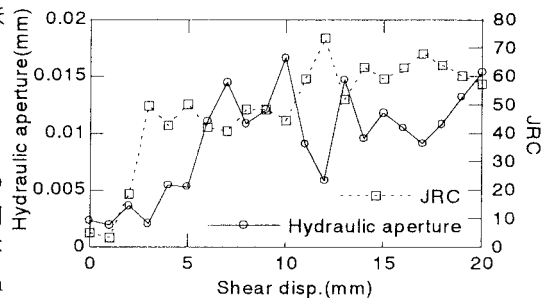


Fig.2 Relationship between hydraulic aperture and JRC.

う。

(b) 透水モデル

不連続面の代表的な透水モデルとしてBartonらのモデルがある³⁾。BartonらのモデルはJRCと間隙幅(E)、および水理学的間隙幅(e)の関係を経験的に定式化したものである。Bartonが提案するJRCはかみ合った自然岩に対して作られた指標でこの値は不連続面に対して一定値をとり、20以上の値は存在しないものとされている。実験結果から水理学的間隙幅を求め、これよりせん断中のJRCの値を式から逆算した結果をFig.2に示す。図に示

すようにせん断中 JRCは変化し、せん断変位 2mm 以降は JRCは 20 以上と大きくなる。これは人工の不連続面が自然のものより凹凸の起伏が著しいこと、さらにはせん断を行うことによりかみ合わせがずれるためと考えられる。このようなことから Bartonらのモデルは大きなせん断変位では、その適用性に疑問が生じる。そこで今回は不連続面を 2 次元のメッシュに分割し、それぞれのメッシュがある間隙幅を持つ平行平板で水の流れが三乗則に則るものと仮定し、実験時の境界条件下で不連続面内の水頭分布を逐次近似法により求め、不連続面内の流れを再現できるような透水モデルの構築を試みる。

(c) 結果および考察

提案したモデルを用いて試験体端部から流出する流量が実験時の流量とほぼ一致するように不連続面上下の位置関係を変えてシミュレーションを行った。Fig.3にせん断に伴う不連続面の接触率の変化を、また Fig.4にせん断変位 1mm と 20mm における間隙幅分布を示す。せん断変位 2mm, までは接触領域は不連続面全体にほぼ均一に分布しており、両者の接触率はほぼ等しい値を示すものの、せん断変位 20mm では接触領域の差が大きくなる。このことは、間隙は開いているものの、水理学的には閉じている間隙が局所的に存在し、流れに影響を与えていることを意味する。また、せん断変位が大きくなるとシミュレーションによる流量と実験値との誤差も大きくなる。このことから不連続面の凹凸がかみ合っているピーク強度以前までは各メッシュ毎に平行平板の仮定が適用できるが、かみ合わせがずれるピーク以降では不連続面内の流れが局所化するため平行平板の仮定が適用できないと考えられる。

4. 結論

本研究では岩盤不連続面のせん断時の内部可視化を不連続面の凹凸の幾何学的分布情報をもとに行った。また、せん断透水同時特性を凹凸 1 つ 1 つを平行平板モデルと仮定して再現した。その結果、かみ合わなくなった不連続面内の流れに対しては平行平板モデルの適用が困難となることが明らかになった。

参考文献

- 1) Esaki, T. et al. : Development of a shear coupled properties for a single rock joint. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Science, vol. 36, No. 5, pp. 641-650, 1999.
- 2) 三谷泰浩 他: 新しいせん断透水同時実験装置の開発と GIS による不連続面内流れのシミュレーションに関する研究: 第 30 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 15-21, 2000.
- 3) Barton, N. R. et al. : Strength, deformation and conductivity coupling of rock joints, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol 22, No. 3, pp 121-140, 1985.

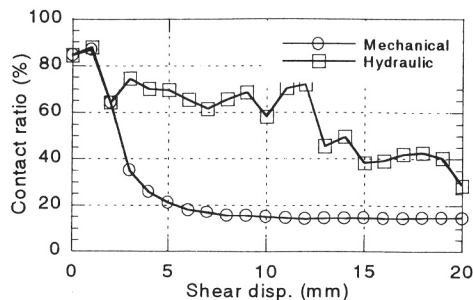
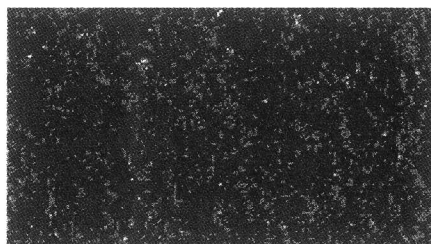
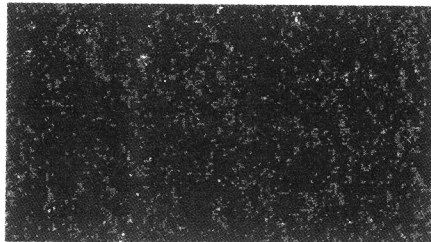


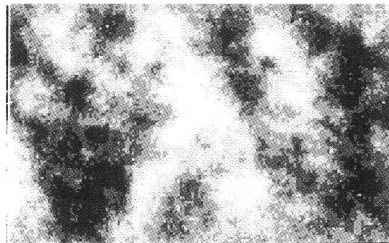
Fig.3 Contact ratio vs. shear displacement.



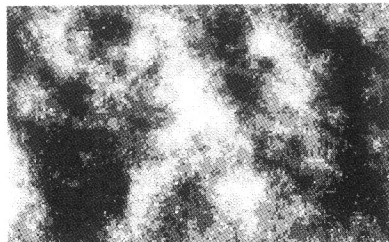
(a) Mechanical aperture distribution (shear disp.=1mm).



(b) Hydraulic aperture distribution (shear disp.=1mm).



(c) Mechanical aperture distribution (shear disp.=20mm).



(d) Hydraulic aperture distribution (shear disp.=20mm).

Apertuer
width
0 - 1
1 - 2
2 - 3
3 - 4
4 - 5
5 - (mm)

Fig.4 Hydraulic and mechanical aperture distribution.