第Ⅲ部門　　垂直応力一定下における岩盤不連続面形状と透水特性に関する実験的研究

京都大学工学部　学生員　○青木　研一郎
京都大学大学院　正会員　大西　有三
京都大学大学院　正会員　大津　宏康
京都大学大学院　正会員　西山　哲
京都大学大学院　正会員　矢野　隆夫

1.はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設，エネルギー地下貯蔵施設の建設といった地下空間を利用するプロジェクトにおいては，岩盤が有する天然バリアとしての性能，すなわち密閉性，隔離性および耐久性を活用するため，周辺岩盤の力学特性，水理学特性の把握が重要となる．岩盤の力学特性，水理学特性は岩盤内に存在する不連続面に支配されている．本研究では水理学特性に着目すると，岩盤の透水特性は不連続面の空隙状況，表面凹凸形状に大きく影響されると考えられ，それらの原因を考慮できる水理学モデルが必要である．そこで本研究では，種々の垂直応力下での不連続面内空隙構造の変化に伴う透水特性について論じる．

2.実験概要

1）供試体

本研究では，実際の岩盤不連続面を型取りし、それにセメントモルタルを流し込むことによって表面形状の異なる5種類の方形供試体（長さ80mm，幅120mm，高さ120mm）を作製した．ここで，表面凹凸形状の定量化には*JRC*を用いた．表面凹凸形状をレーザー変位計によって0.25mm間隔の格子状に計測することにより*JRC*を算出した結果，5種類の供試体における各*JRC*の値は，5.5，7.4，10.7，12.2，20.0であった．本研究で用いた実験装置の概要は，文献[1]に譲る．

2）実験条件

本研究では不連続面に作用する垂直応力が，不連続面の透水特性に与える影響を考察するために，垂直応力を0.5，1.0，2.0，4.0MPaと変化させて，垂直応力一定透水試験を行った．なお，動水勾配は12.5で一定である．

3.実験結果

実験開始時において不連続面はいくらか開口していると考えられる．この開口幅を初期開口幅と定義し，図1に示すような不連続面の垂直変位－垂直応力曲線を双曲線近似して求めると[2]，表1のようになった．この初期開口幅に，実験で計測された垂直変位を加えたものを不連続面の平均的な開口幅と考え，これを力学的開口幅と定義する．

次に，不連続面の透水性の把握には，不連続面内の空隙状況が重要になると考えられる．したがって，空隙状況の推定のために，上下面の離散化ラフネスデータを用いて，透水方向と垂直な断面の空隙断面積を考えた．この空隙断面積には，初期開口幅が考慮されている．さらに，次式に示すように単位時間流量（q）を透水方向全断面の空隙断面積平均値（A_{mean}），動水勾配（i），で除すことにより，表面形状を考慮した透水係数（K_a）を新たに提案した．

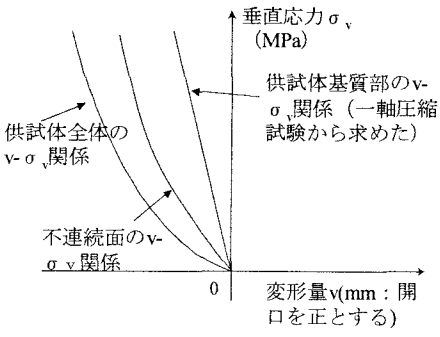

図1 不連続面の垂直変位－垂直応力曲線

Kenichiro AOKI, Yuzo OHNISHI, Hiroyasu OHTSU, Satoshi NISHIYAMA and Takao YANO

$$K_a = \frac{q}{i \times (A_{mean})}$$

図 2 に，空隙断面積平均値の模式図を示す．以下ではここで定義した透水係数を用いて考察する．

まず，全供試体の力学的開口幅と透水係数の関係を図3に示した．図3によると，個々の供試体では，両者の関係は両対数グラフ上で直線関係が認められるが，同じ垂直応力状態に対しては力学的開口幅が大きいほど透水係数が小さくなるという傾向が見られる．すなわち，力学的開口幅によって，不連続面表面形状の異なる供試体の透水性を把握することは困難であることが分かる．これは，力学的開口幅が不連続面の平均的な開口幅を表しているものであるためと考えられる．実際の不連続面内では，あるところは開口しているが，あるところでは接触しているといった，均一でない複雑な状態で空隙というものが形成されていると考えられる．したがって，不連続面内の透水性を評価するには，局所的な不連続面の接触状況を考慮することが重要と思われる．

そこで，不連続面の透水性に影響をおよぼす因子として，図2に示した最小空隙断面積を考え，最小空隙断面積と透水係数との関係を図4に示した．この図4は，0.5，1.0，2.0，4.0MPaの各垂直応力状態で，最小空隙断面積が大きくなるほど，透水係数が大きくなっているという関係を示している．これより，最小空隙断面積というパラメーターが，不連続面内の透水性に大きな影響を与えるということが分かった．

4.まとめ

本研究においては，空隙状況の推定のために離散化ラフネスデータによって空隙断面積を定義し，これを用いて表面形状を考慮した透水係数を新たに提案した．また，初期開口幅を考慮した力学的開口幅では，不連続面表面形状の異なる供試体の透水性の把握は困難であることが分かった．すなわち，不連続面の平均的な開口幅では透水特性を表すことができないという結果を得た．そこで，新たに局所的な接触状況を表す指標として離散化ラフネスデータを用いた最小空隙断面積を考えることによって，不連続面内の透水性を表せることを示した．

参考文献

1) 大西有三，大津宏康，西山哲，矢野隆夫，高木克実：不連続面一面せん断時の透水特性に関する研究，土木学会第 57 回年次学術講演概要集 pp.917-918, 2002.

2) S. C. Bandis, A. C. Lumsden, N. R. Barton: Fundamentals of rock joint deformation, Int. J Rock Mesh. Soil & Geomech. Abstr., Vol. 20, No. 6, pp. 249-268, 1983.

表 1 初期開口幅

供試体（JRC）	初期開口幅（mm）
5.5	0.012407
7.4	0.015686
10.7	0.032482
12.2	0.01378
20.0	0.067812

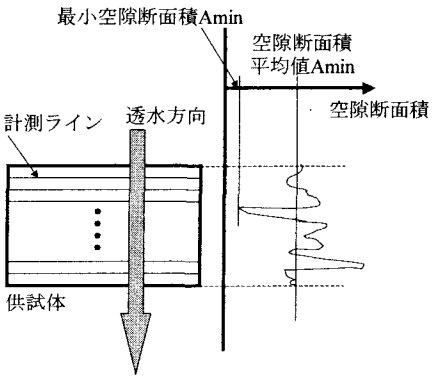

図 2 空隙断面積

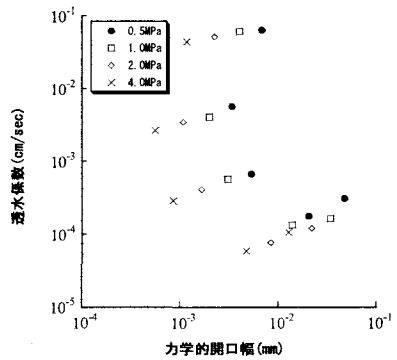

図 3 力学的開口幅と透水係数の関係

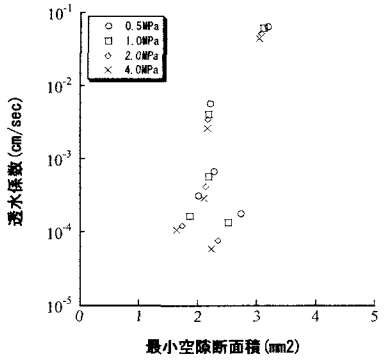

図 4 最小空隙断面積と透水係数の関係