

拘束応力が単一不連続面のせん断 - 透水特性に及ぼす影響に関する基礎的研究

京都大学 学生会員 千葉周平
 京都大学 正会員 大西有三
 京都大学 正会員 大津宏康
 京都大学 正会員 西山 哲
 京都大学 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では深度地質における長期安定性が問題となり、施設周辺岩盤の力学特性の把握に加えて地下水が関与した現象を考察する必要から水理学特性の把握が重要となる。岩盤は大小様々な不連続面を含んでおり、その不連続面の特性が岩盤の力学及び水理学特性を支配する。そのため、不連続面の特性を把握するための実験的研究がこれまでに数多くなされてきた¹⁾。

不連続面の水理学特性には面内の幾何学条件(空隙状況)が大きな影響を与える。特に表面凹凸形状はせん断変位に伴いダイレイションを発現し、それに伴って空隙状況が大きく変化する(図1)。近年この特性を把握するためにせん断 - 透水試験が実施されており、著者らも一面せん断 - 透水試験装置を開発している²⁾³⁾。

せん断試験における拘束条件としては、1)拘束圧(垂直応力)一定、2)剛性一定、3)体積一定が挙げられるが、本研究においては1)の試験を実施した。不連続面の水理学特性に大きな影響を与える空隙状況はa)拘束圧、b)せん断変位、c)不連続面凹凸形状という3つの要因によって支配されていると考えられるが、本研究においてはa)に着目し、拘束圧がせん断時の不連続面水理学特性に与える影響を把握することを目的とした。

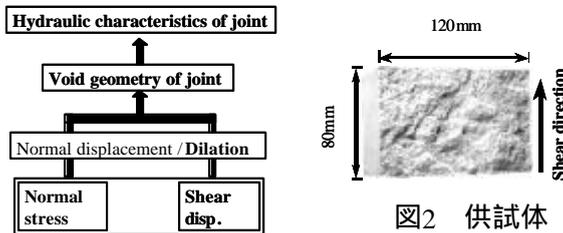


図1 せん断変形と空隙状況

	拘束圧 (Mpa)	せん断変位 (mm)	供試体上下流間の差圧 (cm)
TEST1	2.0MPa	0.0, 0.01, 0.025, 0.05, 0.075, 0.1,	100
TEST2	1.0MPa	0.2, 0.25, 0.3, 0.5, 0.7, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5,	
TEST3	0.5MPa	1.75, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0	

表1 実験条件

2. せん断 - 透水試験の概要

本研究では従来的一面せん断試験と透水試験とを組み合わせたせん断 - 透水同時試験装置⁴⁾において、同じ表面凹凸形状をもつ供試体を用い、拘束圧を0.5MPa, 1.0MPa, 2.0MPaと3種類に変化させて一面せん断 - 透水試験を行った。すなわち、拘束圧を制御しながら所定のせん断変位で、供試体に直接設置した変位計での垂直変位・せん断変位、供試体上下流端間の透水圧差(動水勾配の算出に使用)、せん断応力、および透水流量を計測した。使用した供試体は、実在の岩盤不連続面をかたどったセメントモルタル製(配合比、セメント：ケイ砂6号：蒸留水=1：2：0.659)で、長さ80mm×幅120mm×高さ120mmの直方体型であり、底面から65mmの位置に単一不連続面を有する。本実験で使用した供試体の表面凹凸形状を図2に、実験条件を表1に示す。

3. 実験結果および考察

本研究においては、不連続面の水理学特性を次式の透水量係数*T*を用いて表す。また岩石基質部分の透水性および変形は無視し、さらに初期開口幅を0mmと仮定する。

$$T = \frac{Q}{W \times l} \tag{式1}$$

Q, *W*, *l*はそれぞれ透水流量、透水幅、導水勾配である。せん断変位と透水量係数との関係を図3に示す。せん断変位とともに透水量係数は急激に上昇するが、拘束圧が小

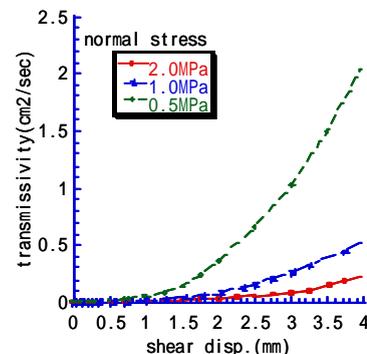


図3 せん断変位と透水量係数との関係

キーワード 岩盤不連続面 せん断 - 透水試験 拘束圧 透水量係数

連絡先 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻ジオフロント環境工学講座 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL:075-753-5129

さいほど透水量係数が上昇し始めるせん断変位は小さく、また上昇幅も大きいことが観察された。また図4に示すように、同じせん断変位でも拘束圧が大きいほど透水量係数は小さくなり、その相違は1~2オーダーにも達することが確認された。図5はせん断変位と垂直変位との関係を示したものであるが、拘束圧が大きくなるほどダイレイションの発現が抑制されていることが観察されるように、拘束圧が大きくなると不連続面内の空隙が押しつぶされるように小さくなり、さらに削れ粉などが発生することで水みちが狭くなっている結果であると推察される。不連続面の水理学モデルとして多く用いられる3乗則は不連続面を並行平板と仮定しているが、表面凹凸形状を有する不連続面では、不連続面が互いに接触する割合が大きくなるほど3乗則は成立しにくく⁵⁾、3乗則を用いて逆算した開口幅である水理的開口幅よりも幾何学的な平均的開口幅(力学的開口幅)の方が大きくなる。本実験結果においても同じような傾向が観察され(図6)、拘束圧が大きくなるほど3乗則は成立しにくくなるとともに、拘束圧の増加に伴って水みちが小さくなっていることが推察される。

4. まとめ

本研究では拘束圧一定の境界条件の下で一面せん断 - 透水試験を行い、拘束圧がせん断時の不連続面水理学特性に及ぼす影響についての考察を行った。本研究で得た知見を次のとおりである。1)せん断変位とともに透水量係数は急激に上昇するが、拘束圧が小さいほど透水量係数が上昇し始めるせん断変位は小さく、また上昇幅も大きいことが観察された。2)同じせん断変位でも拘束圧が大きいほど透水量係数のオーダーは小さくなるということが確認された。3)これは拘束圧が大きくなると不連続面内の空隙が押しつぶされるように小さくなり、ダイレイションの発現が抑制され、さらに削れ粉などが発生することで水みちが狭くなっている結果であると推察された。これを示すものとして、束圧圧が大きくなるほど3乗則は成立しにくくなることが確認されるとともに、拘束圧の増加に伴って水みちが小さくなっていることが推察された。

参考文献

- 1) Gale, S.: Hydraulic Behavior of Rock Joints, Proc. Int. Symp. on Rock Joints, Loen, Norway, p.p. 35-362, 1990
- 2) Esaki, T., Du, S., Mitani, Y., Ikusada, K., & Jing, L.: Development of a shear-flow test apparatus and determination of coupled properties for a single rock joint,

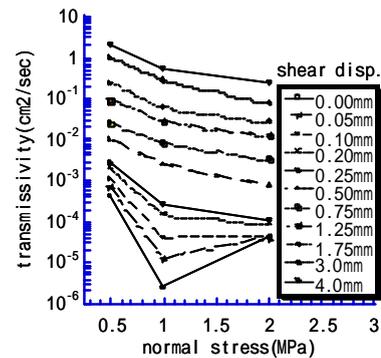


図4 拘束圧と透水量係数との関係

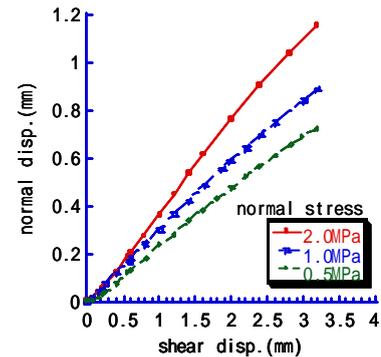


図5 せん断変位と垂直変位との関係

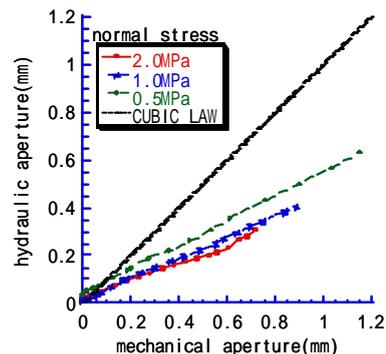


図6 力学的開口幅と水理的開口幅との関係

Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 36: 641-650, 1999

- 3) Lee, H. S., Park, Y. J., Cho, T. F., & You, K. H. 2001. Influence of asperity degradation on the mechanical behavior of tough rock joints under cyclic shear loading. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 38: 967-980.
- 4) 大西有三, 大津宏康, 西山哲, 矢野隆夫, 高木克美: 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回年次学術講演集 pp.917-918, 2002
- 5) S. Murata, G. Nakayama and T. Sato: Effect on the contact condition of fracture on its permeability, Proc. of The 1st Kyoto Int. Sym. on Underground Environment, pp.159-166