

京都大学 学生員 ○小倉 一仁
 京都大学大学院 正会員 岸田 潔, 中島 伸一郎
 京都大学大学院 フェロー 田村 武

1. はじめに 岩盤構造物の安定性と性能を評価するためには、岩盤の力学的・水理学的挙動を把握する必要がある。岩盤の力学的・水理学的挙動は不連続面によって支配されており、不連続面の力学的・水理学的挙動を解明することが重要な課題である。そこで本研究では、岩盤不連続面のせん断時の水理学的挙動に着目し、岩盤不連続面の幾何学形状と材料強度を考慮に入れた透水特性を把握することを目的に、岩石一面せん断透水試験を行った。

2. 実験概要 実験装置は、岩石用一面せん断試験機¹⁾のせん断箱に透水装置を組み込んだもの²⁾を用いた。図1に示すように、直方体供試体(長さ80 mm, 幅120 mm, 高さ120 mm)を用い、最終せん断変位量は3.0 mmとした。供試体に作用させる水頭差を1.0 m, 垂直拘束圧を1.0 MPaに固定した。計測項目は、垂直・せん断変位, 垂直・せん断応力, 透水量, 供試体上下流間の差圧である。供試体は、自然の不連続面をモルタルによって複製した。ラフネス形状3種類($JRC = 5.51, 10.68, 12.21$; Z_2 を用いた換算により算出), 材料強度3種類($\sigma_c = 33.73, 21.78, 13.48$ MPa)の計9パターンの試験を行った。透水試験は、所定のせん断変位でせん断を停止させて実施した。これにより、せん断に伴う透水性の変化を評価した。また、実験を行う前にラフネス形状をラフネスプロファイラー¹⁾によって0.25 mm間隔の格子状に計測し、実験結果の評価に用いた。

3. 実験結果および考察 一面せん断透水試験結果の例($\sigma_c = 33.73$ MPa, $JRC = 5.51$)を図2に示す。透水量係数は、単位幅および単位動水勾配あたりの透水量である。せん断に伴ってダイレーションが増加し、それとともに透水性が良くなることが確認できる。

せん断変位一透水量係数関係を図3に

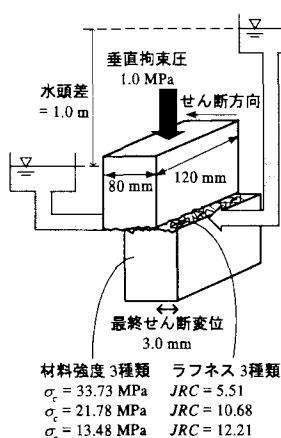


図1 一面せん断透水試験概念図

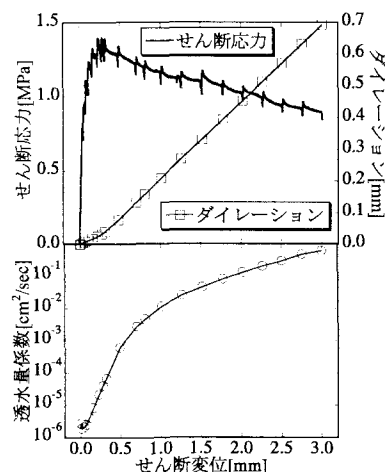


図2 一面せん断透水試験結果 ($\sigma_c = 33.73$ MPa, $JRC = 5.51$)

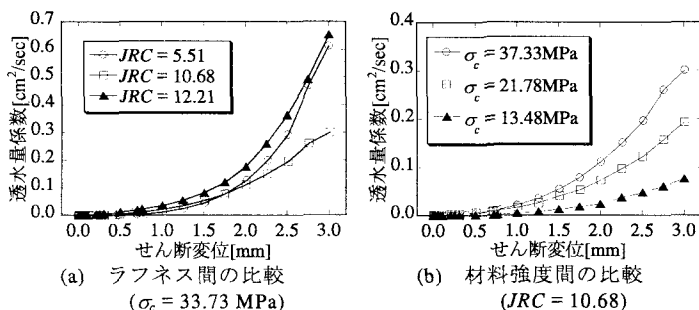


図3 せん断変位一透水量係数関係

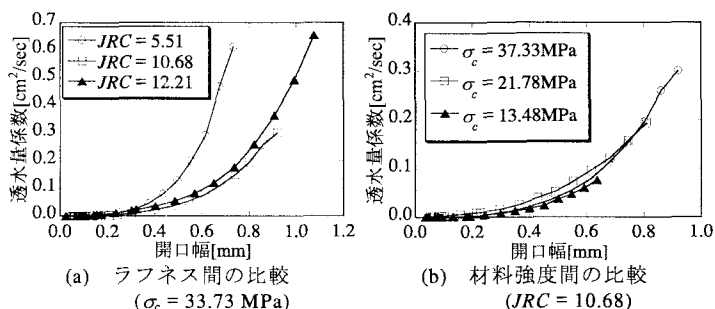


図4 開口幅一透水量係数関係

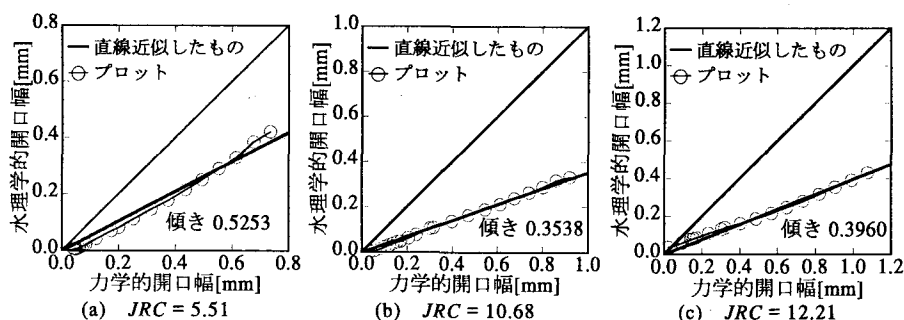


図5 力学的開口幅－水理学的開口幅関係($\sigma_c = 33.73$ MPa)

$JRC \backslash \sigma_c$	33.73 [MPa]	21.78 [MPa]	13.48 [MPa]
5.51	0.5253	0.6416	0.5134
10.68	0.3538	0.3824	0.3321
12.21	0.3960	0.3862	0.3636

表1 図5における直線近似した直線の傾き

示す。図3(a)より、同じせん断変位で比較すると、 $JRC = 12.21$ の供試体の透水量係数が常に最大となっており、 $JRC = 5.51$ と10.68の間では明確ではないが、 JRC が大きくなるほど透水量係数が大きくなる傾向が見られる。また、図3(b)より、材料強度が大きくなるほど透水量係数が大きくなる傾向が見られる。一般に、ラフネスが粗いほど急な傾斜角をもつアスペリティが多いためにダイレーションの発現が大きくなる。また、材料強度が大きいほどアスペリティが破壊されにくいためにダイレーションの発現が大きいと考えられる。すなわち、ダイレーションの発現による開口幅の変化が透水性に影響を及ぼすことがわかる。そこで、開口幅－透水量係数関係を図4に示す。ここでいう開口幅は、初期開口幅にダイレーションを加えた値とし、初期開口幅はBandisら³⁾が提案した方法により算定した。図4(a)より、同じ開口幅で比較すると、 $JRC = 10.68$ と12.21の間では明確ではないが、 JRC が大きいほど透水量係数が小さい。 JRC が大きくなると、不連続面表面の凹凸形状が粗く、チャンネリング現象が起こりやすくなる。それゆえ、透水経路が長くなり、実際の動水勾配が小さくなる。よって、 JRC が大きくなるほど透水性が悪くなると考える。一方、図4(b)より材料強度が開口幅－透水量係数に与える影響は確認されなかった。

最後に、力学的開口幅（上述の開口幅と同じ意味）と、不連続面を平行平板と仮定して透水量から3乗則（開口幅の3乗にある比例定数 C を乗じると透水量が求められる）⁴⁾を用いて逆算した開口幅（水理学的開口幅）とを比較する。図5に力学的開口幅－水理学的開口幅関係を示す。図に示すように、結果として得られるプロットが原点を通るように直線近似した。これらの図において、原点から45°で引いた直線上にプロットが存在すれば、力学的開口幅と水理学的開口幅が一致し、3乗則が成立することになる。図5より、いずれの場合においても水理学的開口幅は力学的開口幅よりも小さく、3乗則は成立しないことになる。しかしながら、プロットがある直線上に乗っている。すなわち、透水量は力学的開口幅の3乗に比例していることに変わりはなく、その比例定数が異なっているだけである。本来の3乗則における比例定数 C をある定数 f で除して求められる新しい比例定数 C' を導入することで変則的な3乗則が成立することになる。表1に、図5における直線近似した直線の傾きを全9パターンについて示す。表1より、直線の傾きは JRC によって変化し、材料強度によってはほぼ変化しない。したがって、定数 f はラフネスに依存し、材料強度には依存しないと考えられ、ラフネスが大きいほど f の値は大きくなる。

4. まとめ 一面せん断時の透水性には、ラフネス形状および材料強度がともに影響を及ぼすことが確認された。開口幅が透水性を考えるときの重要なパラメータであることや、開口幅が同じでもラフネス形状が異なれば、違った透水性をもつことも確認された。また、3乗則は平行平板間の流れであることが前提であるが、平行平板間の流れにはなっていないラフネスをもつ不連続面内の流れも、3乗則における比例定数がラフネスによって異なることを除けば、基本的には3乗則に従っているという結果が得られた。

参考文献 1) 大西有三ら：岩石一面せん断試験装置およびラフネス計測装置の開発・研究とその変遷，土木学会論文集，No.644/III-50，pp.307-320，2000。 2) 大西有三ら：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回年次学術講演会，pp.917-918，2002。 3) Bandis, S.C. et al.: Fundamental of Rock Joint Deformation, *Int. J. Rock Mech. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol.20, No.6, pp.249-268, 1983。 4) Snow, D.T.: A Parallel Plate Model of Fractured Permeable Media, *Ph.D. Thesis*, Univ. of California, Berkeley, 1965。