

不連続面一面せん断時の透水特性に関する研究

|         |     |       |
|---------|-----|-------|
| 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  |
| 三菱重工業   | 正会員 | ○高木克実 |

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設や、エネルギー貯蔵施設の建設においては、岩盤の天然バリアとしての長期的な安全性がより重要な課題となる。ここで、岩盤の力学的・水理学的挙動を支配する不連続面は、複雑な形状を有しており、従来のような平行平板モデルといった単純な面で不連続面を表現することには限界があると考えられる。

そこで本研究では、不連続面の幾何学的形状を考慮に入れたせん断時の透水特性を把握するため、岩石一面せん断透水試験装置を開発し、せん断方向及び垂直方向の変位・応力、不連続面の上下間の差圧、透水流量を計測し、不連続面内を流れる流体の挙動について検討を行うものである。

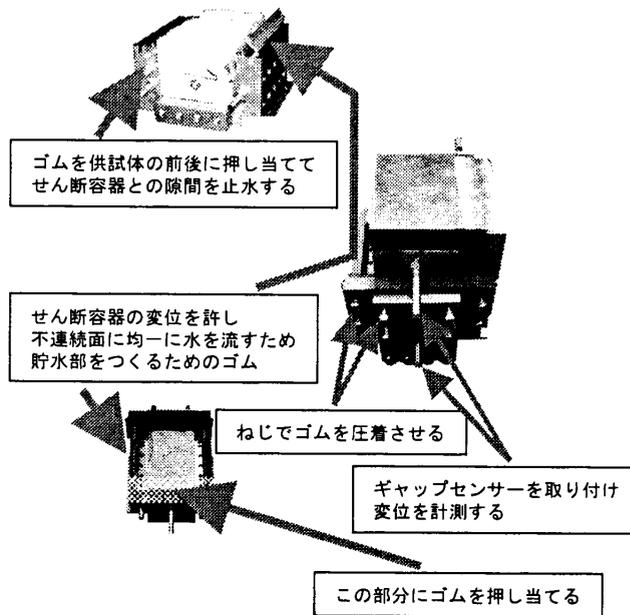


図-1 一面せん断透水試験機の止水機構

2. 実験概要

1) 実験装置

本研究では、従来の一面せん断試験機<sup>1)</sup>に図-1に示すような止水機構を組み込むことにより、直方体供試体（長さ80mm、幅120mm、高さ120mm）を用いて最大変位量4mmまでのせん断透水試験を行うことを可能とした。

2) 実験条件

本実験では、上下の水頭差を約100cmとした定水位試験方法を適用した。計測項目はせん断変位、せん断応力、垂直変位、垂直応力、透水量、供試体上下間の差圧の6項目である。セメントモルタルによって作成した同一の不連続面形状を持つ供試体(JRC=12.7)を用い、垂直応力を0.5, 1.0, 2.0 MPaとして試験を行った。各試験において、せん断変形を停止させて透水試験を行い、せん断変形時の透水性の変化を評価した。また、実験を行う前に上下両方の供試体の不連続面の凹凸高さをレーザー変位計によって0.25mm間隔の格子状に計測し、不連続面状況の算出に用いた。

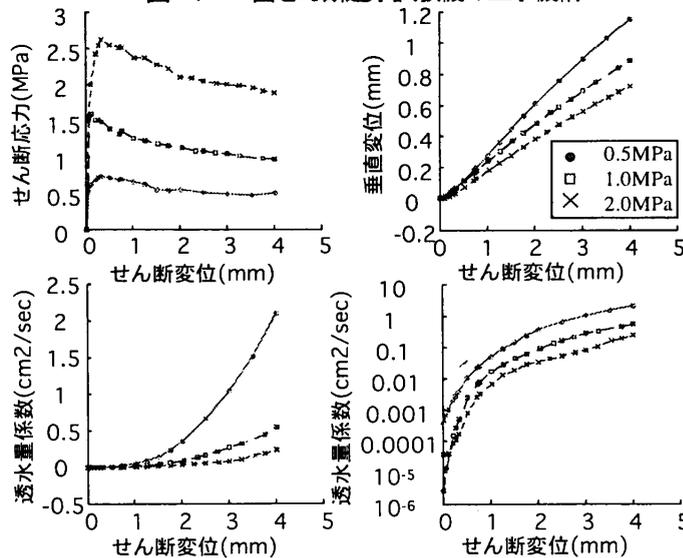


図-2 一面せん断透水試験結果

3. 実験結果

実験結果において、透水性を透水量係数（単位幅、単位動水勾配、単位時間当たりの流量）によって評価する。図

2は、せん断変位-せん断応力、せん断変位-垂直変位およびせん断変位-透水量係数関係を示したものである。この図より、せん断変形の発現に伴い透水量係数が急激に増加しており、ピークせん断変位付近から増加率がやや低下するものの透水量係数はその後も増加し続けている事が分

岩盤不連続面、ラフネス、せん断変形、透水性

かる。このとき、不連続面の幾何学的形状やせん断変形量によって、不連続面の間隙の状況は大きく変化し、透水特性に大きな影響を及ぼしている。したがって、ラフネスデータをを用いて不連続面の間隙状況を算出し、それによって評価してやる必要があると考えられる。

4. 間隙状況の算出

せん断前の上下ラフネスデータの相対的な位置関係を垂直応力-垂直変位量関係および一軸圧縮試験より得られる母岩の弾性係数によって不連続面の閉塞量<sup>2)</sup>を用いて決定した。この状態より試験で得られたせん断変位量と垂直変位量の分だけ相対的に上下のラフネスデータを移動させることで、各せん断変位における不連続面の開口幅分布を算出し、接触率（接触している点数/全点数）や変動係数（開口幅の標準偏差/平均値）を求めた。せん断変形に伴う透水量係数、接触率、変動係数の変化の様子を図-3に示す。この図より、接触率や変動係数の減少とともに透水量係数が急激に増大していることが分かる。また、接触率がほぼ一定値になっているせん断変位 2.0mm 以降の領域においても、変動係数の減少に伴い透水量係数が増加しており、透水量係数の変化を間隙の接触率、変動係数によって表現することができる。と考える。

5. 定常浸透流解析

垂直応力が 1.0MPa、せん断変位が 0.0, 0.25, 3.0 mm のときにおいて算出された開口幅分布のデータを用い、定常浸透流解析を行った。このとき、不連続面の幾何学的形状をどの程度評価するかによって、解析結果がどのように影響を受けるかを考察するために以下の 3 パターンの評価方法を行いそれぞれに対して透水流量を求めた。このとき、各要素に与える透水量係数は、3 乗則より算出した。

- a. 不連続面全体を 1 枚の平行平板であるとして、その開口幅を開口幅分布の平均値としたもの
- b. 1 枚の平行平板内において接触領域における開口幅を 0 としたもの
- c. 算出された開口幅分布をそのまま対応する要素の開口幅としたもの

これらの結果を表-1に示す。この表より、全ての評価方法においてせん断に伴う透水流量の増加は表せているが、パターン c による結果が最も試験結果に近く、これより透水流量を算出するためには不連続面の幾何学的形状をできるだけ評価する必要があると考える。パターン c においても、間隙の大きい部分が存在せず、間隙幅に対する要素内での不連続面の凹凸の影響が大きいと考えられるせん断変位 0.0mm の場合においては、十分に推定できているとは言

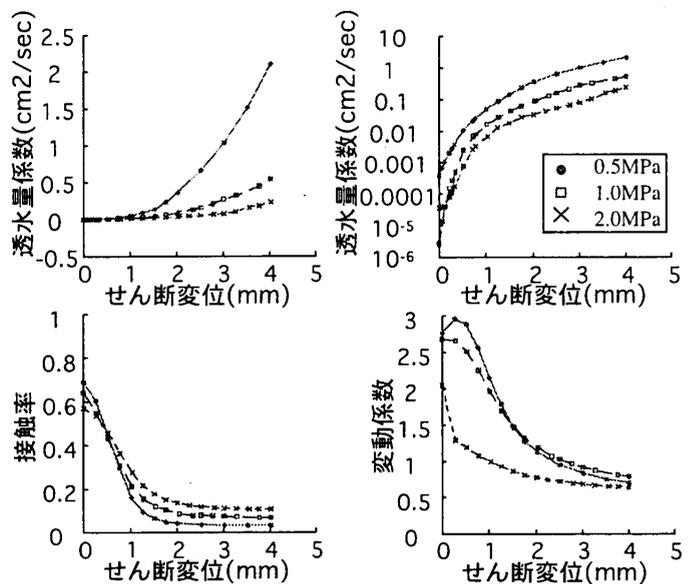


図-3 せん断に伴う間隙状況の変化

い難く、間隙幅より 3 乗則によって透水量係数を決定することに限界があることを証明していると考えられる。

6. まとめ

せん断透水試験装置を開発し、せん断変形時の透水特性の変化を捉えることができた。また、間隙の状況を算出することにより、接触率・開口幅の変動係数によって不連続面の透水特性を表現できる可能性があることを示した。

また、実験および解析の両方より、透水特性の評価においてはラフネスの幾何学的形状を考慮する必要があり、3 乗則を用いることに限界があることが分かった。

表-1 定常浸透流解析結果

[m³/sec]

| せん断変位 (mm) | a                    | b                    | c                    | 試験結果                    |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| 0.00       | $1.6903 \times 10^7$ | $1.5369 \times 10^4$ | $3.1224 \times 10^8$ | $3.7789 \times 10^{10}$ |
| 0.25       | $1.7511 \times 10^7$ | $2.8787 \times 10^4$ | $3.3430 \times 10^7$ | $3.7905 \times 10^8$    |
| 3.00       | $8.1345 \times 10^6$ | $6.9187 \times 10^4$ | $2.8334 \times 10^5$ | $1.1653 \times 10^5$    |

参考文献

- 1) 大西有三, 矢野隆夫, 岩本 宏, 西川直人: 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.645/3-50, pp. 307~320, 2000.
- 2) Bandis S.C., Lumsden A.C., and Barton N.R. Fundamentals of Rock joint Deformation. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 20, pp. 249~268, 1983.