

## 応力状態の変化に伴う単一亀裂の透水特性の変化

国土技術政策総合研究所*	正会員	桑原	正明
東京大学**	正会員	井上	純哉
東京大学	正会員	堀井	秀之
東京大学	学生会員	金	亭穆

### 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物を岩盤地層中に処分する際は、安全評価の一環として、放射性核種を運搬する地下水の流出解析を行う必要がある。放射性核種は処分場から流出し、処分場付近の細かな亀裂の領域を通過した後、処分場からある程度離れている比較的流速の大きな不連続面に達し、地表あるいは海洋へ流出する。そのうち、処分場付近では掘削に伴う応力開放の影響を受け、既存の亀裂の変形や、新たな亀裂の発生により、亀裂の水理特性が変化することが考えられる。よって掘削影響領域における水理解析を行うことが重要であると考え、本研究においては、まず単一亀裂性岩盤について(図 1)応力状態の開口幅に対する影響を見た後、水理解析を行い透水特性を求めるとした。

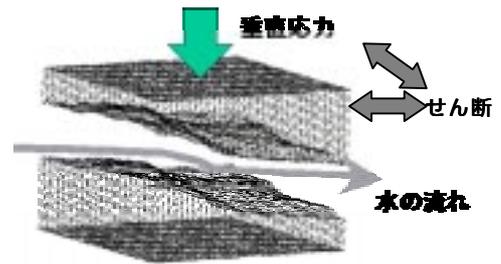


図 1 本解析における供試体概念図

### 2. 亀裂変形解析

本研究においては、まず葛野川地下発電所建設現場から採取されたサンプルを実験室で人工的に割裂させた供試体について、レーザー変位計で測定された亀裂の上下表面凹凸データをもとに亀裂データを作成した。せん断変位を与える際は、既往の研究で行われている実験[1]に倣ってあらかじめ上部亀裂面を移動させたのち、幅 40mm × 奥行き 40mm (データピッチ 1mm) の部分を取り出し直応力を与える方法をとった。なおこのとき、亀裂空間部分は亀裂の閉合時と開口時とでは応力を伝達する性質が大きく異なるため、この挙動を再現するようなインターフェイス要素 (図 2) を用いて、3次元 FEM 解析を行った。

解析結果としては、各地点における開口幅  $h(x,y)$  が得られる。この解析例を図 3 に示す。開口幅はその時のせん断量・直応力に応じて異なった分布を示す。

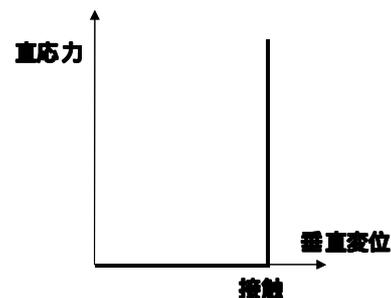


図 2 インターフェイス要素構成則

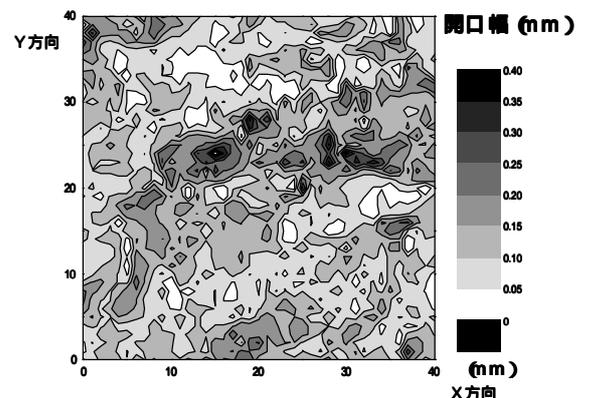


図 3 開口幅分布例(  $\sigma_n=8.5\text{MPa}$  時)

キーワード：亀裂性岩盤，単一亀裂，透水係数，FEM 解析

\* 連絡先：〒113-8656 茨城県つくば市旭 1 番地 TEL：02-5841-6092 FAX：03-5841-7496

\*\* 連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL：03-5841-6092 FAX：03-5841-7496

3. 水理解析

亀裂変形解析で得られた種々の応力状況下における開口幅データをもとに、Reynolds 方程式

$$\nabla \cdot \left( \frac{d^3}{12\mu} \nabla p \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

を用いてそれぞれの開口幅分布において2次元FEM粘性解析を行った。その結果として、例えば図3のような開口幅分布に対しては、図4のような流速分布が得られた。このようにして種々の応力状況下において一連の解析を行った結果の一部が表1,2である。

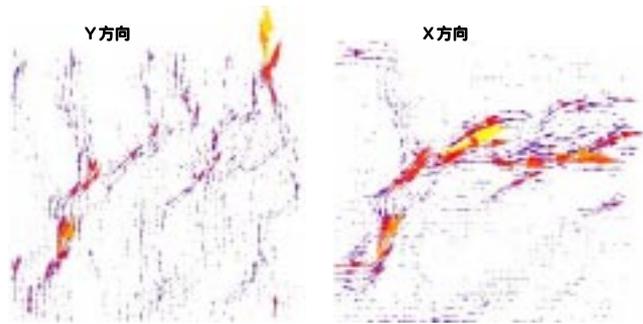


図4 亀裂内の流速分布例(2方向)

直応力が大きくなると亀裂が閉合して流量が減少することがわかる(表1)。また、供試体内で水の流れる方向を変化させると透水量が変化することより異方性が存在することが分かる。これは特にせん断を行っていくと顕著に見られるようになる(表2)。また、水理開口幅が平均開口幅より大きくなっている、すなわち三乗則[2]以上の流量が見られることもあるが、これは平行平板の性質に対して水路性質が卓越するため(図5)であると考えられる。

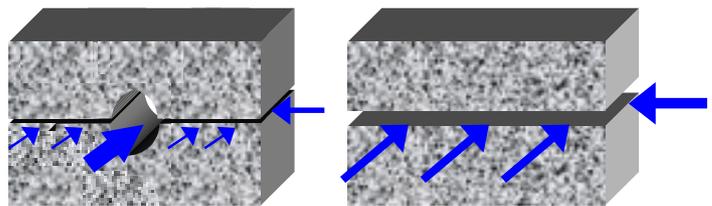


図5 水路性質が卓越し、流量の異方性が見られる断面(左)と、平行平板の性質が卓越する断面(右)

直応力(MPa)	0.0042	0.0042	1.7	1.7	17	17
流れの方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
水理学的開口幅(mm)	0.135	0.16	0.128	0.155	0.107	0.133
平均開口幅(mm)	0.154	0.154	0.148	0.148	0.128	0.128

表1 水理解析結果(X方向0.3mm・Y方向0.2mmせん断後載荷)

4. まとめ

本解析の結果、応力状態の変化が、開口幅分布を変化させ透水量に影響を与えることを確認した。

また、供試体内で水の流れる方向を変化させると透水量が変化する、異方性が存在することが確認された。

なお、異方性はせん断量やせん断の方向に依存し、供試体の寸法・形状にも左右されることが考えられる。異方性の存在により、開口幅分布から三乗則等を用いて一意的に透水量を求めることは困難であることが分かった。

今回の解析においてはさらに亀裂開口量の相関の強い方向の存在、すなわち水路性質が透水性質に大きな影響を及ぼしていることも分かった。よって、単一亀裂の透水性を評価する際には、直応力・せん断量の増減だけではなく、せん断方向・水路性質についても考慮する必要があると考える。

直応力(MPa)	0.0042	0.0042	1.7	1.7	17	17
流れの方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
水理学的開口幅(mm)	0.135	0.16	0.128	0.155	0.107	0.133
平均開口幅(mm)	0.154	0.154	0.148	0.148	0.128	0.128

表2 水理解析結果(Y方向にせん断後、17MPaで載荷)

[1] 核燃料開発機構(旧 動力炉・核燃料開発事業団) 東海事業所, 亀裂状媒体水理試験設備(LABROCK 試験装置)による人工亀裂岩体を用いた透水性の応力依存性試験.

[2] Witherspoon P.A., et al., *Validity of Cubic Law for Fluid Flow in a Deformable Rock Fracture*---Water Resources Research, Vol16, No6, pp1016-1024, 1980