

## 第Ⅲ部門

## 岩盤不連続面の開口状態の算定と浸透挙動による検証

京都大学 学生員 ○ 橋本健次 長谷川大貴  
 京都大学 正会員 岸田 潔, 細田 尚  
 山口大学 正会員 中島伸一郎  
 愛媛大学 正会員 安原英明

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物を地層処分する際、対象となる岩盤の地質学・力学・水理学特性を詳細に把握することは必要不可欠である。岩石供試体に熱・拘束圧が長時間作用すれば、圧力溶解現象によって不連続面の開口幅が減少し、透水性が低下することが確認されている<sup>1)</sup>。これらの現象を評価するには、不連続面の接触状態や開口状況を把握する必要がある。

本研究では、供試体のラフネス計測データから開口幅分布を算定し、浸透流解析モデル<sup>2)</sup>を用いて数値シミュレーションを行うことにより、既往の実験結果と比較することで、算定方法の妥当性について検証した。

## 2. 開口幅分布の算定方法

本研究では、飛騨地方の深度 180m~200mから採取した花崗岩円柱供試体を用いて検討を行った。供試体のサイズは、直径 50 mm×高さ 100mmで、圧裂により縦亀裂を円柱軸方向に沿って作製した。

不連続面の形状は、レーザー光による非接触のライフネスプロファイラーを用いた。問題は、供試体が円柱状であり、かつ不連続面の平均平面が水平でないため、ラフネス計測そのものに傾きが生じてしまっている。本研究では、Iwano<sup>3)</sup>と同様に、最小二乗法を用いて計測データの傾きを補正することを試みた。このラフネスデータを用いて、開口幅分布形状の算定を以下の2種類の方法で行う。

## 1) 算定方法 A

拘束圧を作用させると不連続面にアスペリティに変形が生じる。不連続面の変形は、ラフネス剛性試験の結果から求め、Bandis, et al.<sup>4)</sup>が提案している双曲線関数を用いて、所定の拘束圧の不連続面の変形を求める。Bandis, et al.の式から算定した

最大閉塞可能量から、不連続面の変形量を差し引くことで、その拘束状態での開口幅とする。

開口幅分布は、計測されたラフネス形状の上下面を近づけ、上下面の差（平均開口幅）が設定した開口幅より一致する状態で算定する。

## 2) 算定方法 B

ここでは、アスペリティの接触部での応力状態が、母岩の一軸圧縮強さを満足するか否かを基準として算定する。上下面のラフネスを近づけることで、接触点数が増加する。したがって、拘束圧から接触点での応力状態が算定可能となる。各接触点での応力状態が、母岩の一軸圧縮強さ/接触点数以下になるまで、上下面のラフネスを移動し、満足する状態をその拘束圧でのラフネスの接触状態とし、開口幅分布を算定する。

## 3. 開口幅の算出方法の決定

算定方法 A, B および X 線 CT 画像分析<sup>5)</sup>から得られた平均開口幅<b>, 分散, 標準偏差/平均開口幅を表 1 に示す。

Brush&Thomson<sup>6)</sup>は LCL が成立する条件式として次式を示している。

$$\sigma_b / \langle b \rangle < 1, \sigma_b / \lambda_b < 0.2, \langle b \rangle / \lambda_b < 0.5 \quad (1)$$

ここで、<b>:平均開口幅,  $\sigma_b$ :開口幅の標準偏差,  $\lambda_b$ :開口幅の相関長である。

接触が実際的である X 線 CT 結果の接触率と LCL の成立条件である式(1)による結果を考慮して、本研究では算定方法 B を用いて浸透流解析を行った。

表 1 開口幅の算定方法 A, B, X 線 CT の結果の比較

	<b> [mm]	$\sigma_b^2$	$\sigma_b / \langle b \rangle$	接触率 [%]
方法 A	0.340	0.121	1.02	30.77
方法 B	1.588	0.256	0.32	0.58
X 線 CT	0.130	0.070	2.10	2.00

#### 4. 実験データと解析結果の比較

実験結果より、供試体に熱・拘束圧が作用した場合、開口幅が変化することが確認されている<sup>1)</sup>。

そこで本研究では、開口幅の変化を再現するために、実験値から算定した水理学的開口幅の減少量と同様の割合で、算定方法により求められた開口幅分布を減少させたものを新たな力学的開口幅として検討を行う。常温 20°C 状態における拘束圧保持状態での開口幅の時間的変化を図 1 に、加温 90°C 状態における拘束圧保持状態での開口幅の時間的変化を図 2 に示す。実験では、常温時には最大 35.15%、加温時には最大 68.31% 開口幅が減少している。

#### 5. 浸透流解析の結果と考察

浸透流解析の結果として、加温(90°C)状態で拘束圧 10MPa 保持期間 18 日間時点での不連続面内の水の流れを図 3 に示す。ここではコンターは開校幅分布を、ベクトルは流速を示す。また、20°C 時および 90°C 時における、水頭差約 1m での実験結果及び解析結果の透水係数の経時変化を図 4、図 5 に示す。図 3 より、今回の解析では不連続面内の水の流れを再現できた。しかし、図 4、図 5 より、解析値と実験結果での透水係数の比較をみると、大きな差異がみられる。算定した開口幅分布では、開口幅の傾きの補正が不十分なことから、実際の不連続面の開口状態と異なるため、透水係数に違いが生じたと考えられる。

#### 6. まとめ

浸透流解析により、不連続面の水の流れを再現することができた。

しかし、透水係数の比較の結果は大きく異なっており、開口幅分布算定方法 B により求めた開口幅は実際より過大に評価していたと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 長谷川大貴, 他: 応力・温度が与える花崗岩不連続面の透水性への影響, 第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 土木学会, pp.267 - 270, 2009.
- 2) Mgaya, P. T., et. al.: Nonlinear analysis of spatial variation of velocity profile in a pressurized laminar flow between wavy boundaries, *Annual J. of Hydraulic Engineering, JSCE*, 50, pp.115-120, 2005.
- 3) Iwano M : Hydromechanical Characteristics of a Single Rock Joint., *Ph.D. thesis*, MIT, 1995.
- 4) 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.

- 5) 中島伸一郎, 他: マイクロフォーカス X 線 CT による花崗岩の亀裂形状および開口幅の評価, 第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 土木学会, pp.276 - 281, 2009.
- 6) Brush, D. J. and Thomson, E. R.: Fluid flow in synthetic rough walled fracture: Navier-Stokes, Stokes and local cubic law simulations, *Water Resources Research*, 39(4), 1085, 2003.

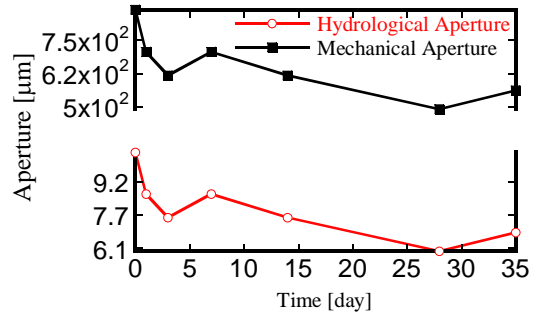


図 1 常温(20°C)状態での開口幅の変化

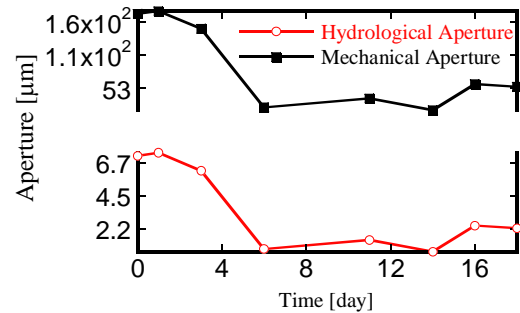


図 2 加温(90°C)状態での開口幅の変化

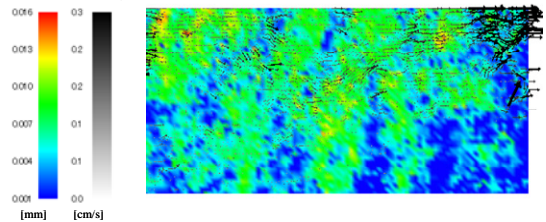


図 3 不連続面を流れる水の流れ

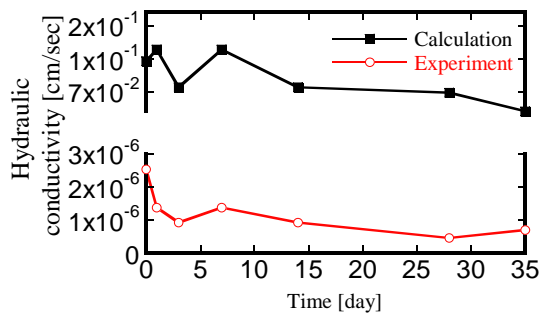


図 4 常温(20°C)時での透水係数の経時変化

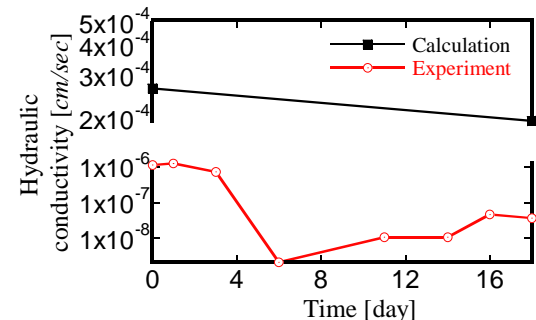


図 5 加温(90°C)時での透水係数の経時変化