長崎大学大学院 学生会員 〇小原 草平 正会員 李 博 長崎大学大学院 正会員 杉本 知史 フェロー会員 蒋 宇静

1. 研究の背景と目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分などの処分施設の安全性評価に 当たって、岩盤不連続面中における透水・物質移行特性の把握が重要 な研究テーマの一つとして挙げられており、それらの特性は亀裂表面 のラフネス特性に強く関係している。これまでは JRC (Joint Roughness Coefficient) に基づいた手法を中心に亀裂のラフネスと透水特性に関 する実験的評価が行われてきたが、数値解析による研究例が少なく、 実験の誤差を排除した詳細な考察はされていないのが現状である。こ こで、本研究では亀裂の JRC 値と流体の挙動を左右する代表的な値 であるレイノルズ数 (以下 Re 数) に着目し、数値解析により亀裂内 の流体の挙動特性を詳細に評価することを目的とする。

2. 研究方法

2.1 解析モデル

JRC 値 1-2、3-4...19-20 の 10 段階に対応する亀裂の二 次元解析モデルを作成する。図-1に開口幅 0.5mm にお ける解析モデルの拡大図を示す。水平方向に x 軸、鉛直 方向に v 軸、奥行方向に z 軸をとっており、鉛直下向き に重力加速度 9.807m/s² を設定している。亀裂長さは L=0.1m、メッシュの分割数は開口幅を 20 分割、亀裂長 さを 645 分割としている。流体の物性値は密度: $\rho=9.982\times10^{2}$ kg/m³、粘性係数: $\mu=1.002\times10^{3}$ kg/m·s である。 解析モデルの左側(入口)に水頭差を与え、右側(出口)を 開放状態と設定し、亀裂内に透水させる。有限要素法解 析プログラムを用いて、境界条件として入力水頭差と力学 的開口幅を変化させて解析を行う。解析により得られた亀 裂中に流れる単位時間流量から以下に示す式(1)を用い て水理学的開口幅 e、流速 v を算出し、それらの値より Re 数、力学的開口幅Eと水理学的開口幅eの比E/eを求めた。 ここで、水理学的開口幅とは単位時間流量から算出される 開口幅であり、力学的開口幅とは亀裂の上下面が離れた物 理的な開口幅である。

$$Q = Av = \frac{gWe^3}{12v}I \dots (1)$$

ここに Q:単位時間流量、A:断面積、W:奥行幅、I:動水勾配



図-1 メッシュの拡大図(開口幅 0.5mm)



2.2 解析ケース

水頭差を 1.02×10⁻⁶m、1.02×10⁻⁵m、1.02×10⁻⁴m、1.02×10⁻³m、 1.02×10^{-2} m、 1.02×10^{-1} m、1.02mの7ケース、開口幅を0.05m、0.1m、0.3m、 0.5m、1.0mの5ケースと設定し、計35ケースの解析を行う。

3. 解析結果と考察

図-2 に開口幅 0.05mm、水頭差 1.02×10⁻⁶m の 2 ケースにおける流速 と JRC の関係の比較を示す。JRC が大きくなるに従い、流速は減少傾 向を示している。特にJRC=17-18、18-19では流速が大きく減少してい ることがわかる。同じ開口幅と水頭差においても、JRCの違いにより 流速が大きく変化することが分かった。図-3に開口幅 0.05mm、水頭 差 1.02×10⁻⁶ m と 1.02×10⁻⁵m のケースにおける E/e と JRC の関係を示 す。E/eは1に近い値からJRCの上昇とともに緩やかに上昇している。 JRC=17-18、19-20 では E/e の値が大きく増大し、1.2 程度となってい る。水頭差を変化させても2つの曲線はほぼ一致していることから、 この図に示す E/e の変化は JRC 値によるもので、水頭差による影響は ないと言える。これらの現象は亀裂の表面のラフネスの増大により局 所的な水頭損失が発生したことに起因していると考えられる。

図-4 に開口幅 0.5mm、水頭差 1.02m の (a)JRC=1-2 の速度べ クトルと(b)JRC=17-18 の速度ベクトルを示す。滑らかな亀裂 (a)に比べ(b)では亀裂の屈曲による流れの乱れが発生している。 これによって、JRC=17-18、18-19 で流速が大きく減少し、E/e が大きく上昇している。図-5 に JRC=1-2、9-10、19-20 の亀 裂で水頭差 1.02×10⁻⁶ mから 1.02 mまでにおける E/e と開口幅 の関係を示している。いずれの亀裂においても開口幅 0.05mm ~0.3mm の範囲では E/e はほぼ一定な値を示し、開口幅 0.5mm で大幅に上昇する。JRC が大きいほど E/e の上昇幅も大きくな っている。図-6 に開口幅 0.5mm における E/e と Re 数の関係 を示す。Re 数の上昇に従い、すべての JRC 値における E/e が 上昇している。JRC 値が高いほど、E/e の上昇率も大きくなっ ている。Re 数はある値(例えば 10)を超えると、E/e と Re 数が非線形関係を有していることが明らかになった。

4. 結論

本研究は数値解析により異なるラフネスを有する亀裂内の流 体の流動特性を評価した。JRC 値が大きくなると表面ラフネ スによる水頭損失が起こり流速が減少し、E/eが増加する。ま た、Re 数が大きくなると E/e は Re 数の増加に従い非線形的に 増加し、その増加率が JRC に関係することを明らかにした。





【参考文献】

(1) Barton N. (1971): A relationship between joint roughness and joint shear strength, Proc Int Symp Rock Mechanics, Nancy, ISRM, pp.1-8.

(2) Xiong X., Li B., Jiang Y., Koyama T. & Zhang C. (2011): Experimental and numerical study of the geometrical and hydraulic characteristics of a single rock fracture during shear. Int. J. Rock Mechanics and Mining Science, Vol.48, pp.1292-1302.

ш