JRC とレイノルズ数の影響を考慮した亀裂内における流動機構の解明

長崎大学大学院 正会員 ○李 博 学生会員 小原 草平 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施設の安全性評価に当た り、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 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は少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.

2. 研究方法

2.1 解析モデル¹⁾

図-1 に JRC: $0\sim 20$ までの亀裂の断面図より作成された解 析モデルの拡大図を示す. 亀裂の長さは 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. 境 界条件として上下の亀裂面を不透水壁, 亀裂左端を流入口, 亀裂右端を流出口とした. 流体の物性値は水温 20° , 密度 $\rho=9.982\times103$ kg/m³, 粘性係数 $\mu=1.002\times10-3$ kg/m·s, 重力加速 度は鉛直下向きに 9.807m/s², 非圧縮性流体と仮定する. 有限 要素法解析プログラムを用いて,以上の条件で式(1) に示す ナビエーストークス方程式を解く.

ここで、 $u=(u_x, u_y, u_z)$ は流速ベクトル、 ρ は流体の密度、vは動粘性係数である.解析により得られた亀裂中の単位時間流量から式(2)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.

$$Q = Av = \frac{gWe^3}{12v}I \dots (2)$$

ここに Q:単位時間流量, A:断面積, W:奥行幅, I:動水勾配

キーワード: JRC, レイノルズ数, 岩盤不連続面

連絡先:長崎大学大学院生産科学研究科(長崎県長崎市文教街1-14, TEL:095-819-2491, FAX:095-819-2488)



2.2 解析ケース

解析ケースを,層流条件で開口幅0.05mm,0.1mm,0.3mm, 0.5mm, 乱流条件で開口幅0.5mm, 水頭差を1.02×10⁻⁶m, 1.02×10⁻⁵m, 1.02×10⁻⁴m, 1.02×10⁻³m, 1.02×10⁻²m, 1.02×10⁻¹m, 1.02×10m, 1.02×10mとした.

3. 解析結果と考察

図-2 に開口幅 0.05mm, 水頭差 1.02×10⁻⁶m と 1.02×10⁻⁵m 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 の上昇とともに上昇している. JRC=16 以上では E/e の 値が大きく増大している.水頭差の異なる2つの曲線がほ ぼ一致しており、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、これらの現象は亀 裂表面のラフネスの増大により局所的な水頭損失の発生に 起因すると考えられる. 図-3 に JRC=0-2, 18-20 の水頭差 1.02×10⁻⁶~1.02×10mにおける E/e と開口幅の関係を示して いる. どちらの亀裂においても小さい開口幅において E/e の変化は小さく、開口幅 0.3mm から E/e が急激に増加し始 める.JRC が大きいほど E/e の値および E/e の上昇幅は大 きくなっている. 図-4 に開口幅 0.5mm における E/e と Re 数の関係を示す. Re 数が小さい段階では, E/e が Re 数に 影響されず、一定な値を保つ. Re 数がある値(例えば 10) を超えると E/e が上昇し, 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. 図-5 に開口幅 0.5mm, 水頭 差 1.02×10m と 1.02×10-6m の乱流および層流条件で測定し た E/e と JRC の関係を示す.水頭差 1.02×10m の曲線を見 ると, 層流条件と比べ乱流条件で得られた E/e が大きくな っている.これは乱流の発生により流体の水頭損失が起こ り, e が小さくなったためであると考えられる. また, 高 い JRC 値 (JRC:16 - 20) よりも低い JRC 値 (JRC:0 - 16) で E/e の差が大きくなっている.水頭差 1.02×10⁻⁶m の曲線 を見ると、乱流と層流の曲線はほぼ一致しており、低い水 頭差では乱流が発生していないことがわかる.

<u>4. 結論</u>

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 値は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. Re 数がある値(例えば 10)を超えると 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 と関係している. Re 数がさらに増加して,ある 値(例えば 1,000)を超えると,乱流が発生し, E/e がさらに増加していく.

【参考文献】

1) 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.