

亀裂の接触面積率と JRC が透水特性に与える影響検討

日本原子力研究開発機構 正会員 武部 篤治 検査開発 非会員 坂本 和彦
日本原子力研究開発機構 正会員 澤田 淳

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分に関する「第2次取りまとめ」¹⁾以降の研究課題として、亀裂中の核種移行を評価した平行平板モデルなどの信頼性の向上が挙げられている。著者らは、平行平板モデルの信頼性向上に資することを目的として、亀裂内に不均質に分布する開口幅などの不均質性が亀裂中の地下水流動や物質移行に与える影響を検討した。具体的には、亀裂破面高さの標準偏差と亀裂開口幅の標準偏差を不均質パラメータとして流体物質移行解析によるパラメータの影響²⁾や亀裂開口幅分布が亀裂の巨視的な水理・物質移行特性に与える影響³⁾などを研究した。

本報では、亀裂表面の微細なラフネスや開口幅形状が地下水透水特性に与える影響を明らかにするため、ダルシー則に基づく二次元有限要素浸透流解析手法を用いて、その透水特性に与える影響を検討した。亀裂内透水特性に影響を及ぼす因子として、亀裂内流れに寄与する亀裂内の空隙体積に直接的に影響する「接触面積率（亀裂全表面のうち亀裂の上下面が接触している面積の比率）」、また岩盤力学分野で岩盤表面形状の粗度を表すパラメータとして用いられている「JRC」⁴⁾の2つを選定した。不均質な亀裂開口幅分布を持つ亀裂の数値モデルは、Gloverら⁵⁾が示したフラクタル理論に基づく手法を用いて作成した。

2. 解析ケースおよび解析条件

亀裂内の透水特性に影響を及ぼす因子として選定した JRC と接触面積率の組み合わせにより、解析ケースを決定した。JRC 値については、一般的に粗度が大きい亀裂とされている⁶⁾JRC=20 の値を上限と設定し、5, 12, 20 の3ケースを設定した。また接触面積率については、亀裂が半分程度閉塞している接触面積率の前後の値として40%と60%を、JRCの影響を検討する観点から25%、5%と接触面積率が小さいケースを設定した。これら全12ケースに対応する亀裂の数値モデルを作成した。作成した亀裂モデルは、解析領域が128mm×128mmの正方形領域、メッシュが0.5mmピッチで256×256、亀裂の平均開口幅は0.2mmで一定とした。二次元浸透流解析は、正方形領域の亀裂モデルに対して任意の方向に一定方向の流れを生じさせる（図1, 2の左から右への方向）ものとして、透水入口境界と出口境界の水頭差を64mmとし、動水勾配を0.5m/m一定、側面境界は不透水境界とした。

表1に解析に用いた亀裂モデルのJRCと接触面積率の一覧を示す。図1には、作成した亀裂モデルの例として、JRC20_Rc25, JRC12_Rc25, JRC5_Rc25の3モデルの開口幅の分布を示す。接触面積率が同じでもJRCが変化することで開口幅の分布形態が変化していることがわかる。また、図2には図1の各モデルにおける亀裂内流速ベクトル図の一例である。これらの図から、JRCが大きい場合には隣接する2点間で亀裂開口幅の差が大きく、JRCが小さい場合には隣接する2点間で亀裂開口幅の差が小さくなり、亀裂モデル領域全体の平均的な特徴としては、JRCが小さくなるにつれて、チャンネル流れが生じる傾向になると考えられる。

3. 解析結果

図3は透水量係数と接触面積率の関係を、また図4は水理学的開口幅と接触面積率の関係を、JRC毎にまとめた図である。透水量係数は式(1)により、水理学的開口幅は式(2)により求めている。

$$Tr = \frac{Q}{W \cdot I} \quad (1)$$

$$bh = \left(\frac{12\mu}{\rho g} \frac{Q}{I \cdot W} \right)^{1/3} \quad (2)$$

ここで、Tr:透水量係数(m²/s)、Q:流量(m³/s)、W:亀裂幅(mm)、I:動水勾配、μ:粘性係数(g/(m s))、L:亀裂長さ(mm)、ρ:密度(m³/g)、g:重力加速度(m/s²)、h:水頭差(mm)、bh:水理学的開口幅(mm)である。図3、図4により、接触面積率の増加に伴って透水量係数と水理学的開口幅が減少する傾向にあることから、流れに寄与する体積がマクロな透水特性に大きな影響を与えることがわかる。JRCの増加に伴いそれぞれの算出結果は減少傾向にあるが、接触面積率の小さい

キーワード：JRC，接触面積率，亀裂開口幅分布，透水量係数，水理学的開口幅

連絡先 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話 029-287-3695 fax029-282-9328

5%のケース，および接触面積率が60%のケースでは，算出結果に差はほとんどみられない。しかし，JRCが20のケースでは，接触面積率の増加に伴い，透水量係数と水理的開口幅がほぼ一定に減少し，透水特性に大きな変化を与えている。また，JRCが5のケースでは，接触面積率が小さい5%から25%に増加するときに透水量係数にはほとんど変化は見られないが，接触面積率が40%から60%に増加するときに，減少傾向が顕著に現れる。亀裂開口幅の平均値を一定とした本検討においては，亀裂の平均的な透水量係数は亀裂の接触面積率に大きく影響を受けるものの，JRCが小さくなるとその影響が小さくなる場合があることがわかった。

4. おわりに

本報では，亀裂内に不均質に分布する開口幅を表す指標として接触面積率とJRCに着目して亀裂の数値モデルを作成し，ダルシー則に基づく二次元有限要素浸透流解析による検討を行った。その結果，接触面積率が亀裂の平均的な透水特性に大きな影響を与えるとともに，JRCも接触面積率の値によっては亀裂内の透水特性に影響を与える因子であることを確認した。今後は，亀裂開口幅の平均値を変えたケースなど他のパラメータについても検討するとともに，水理特性だけではなく亀裂中の移流分散やマトリクスへの拡散などの物質移行特性に与える影響についても検討する予定である。

【参考文献】

1) 核燃料サイクル開発機構(1999)：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分技術的信頼性，-地層処分研究開発第2次取りまとめ-分冊3 地層処分システムの安全評価，JNC TN1400 99-023. 2) 武部ら(2004)：亀裂の不均質性パラメータを用いた流体・物質移動解析評価，第59回土木学会年次学術講演会，CS1-021, pp.41～42. 3) 武部ら(2005)：LGA法を用いた流体解析による亀裂開口幅分布の影響検討，第60回土木学会年次学術講演会，-329, pp.657～658. 4) Y.Xianbin et al.(1991)：Joint Profiles and their Roughness Parameter, International Journal of Rock Mechanics Mining Science & Geomechanics Abstract, Vol.28, No.4, pp.333-336. 5) P.W.J.Glover et al.(1997)：Fluid flow in fractally rough synthetic fractures, Geophys.Res.Lett., Vol.24, pp.1803～1806. 6) N.Barton et al.(1977)：The Strength of Rock Joints in Theory and Practice, Rock Mechanics, Vol.10, pp.1～54.

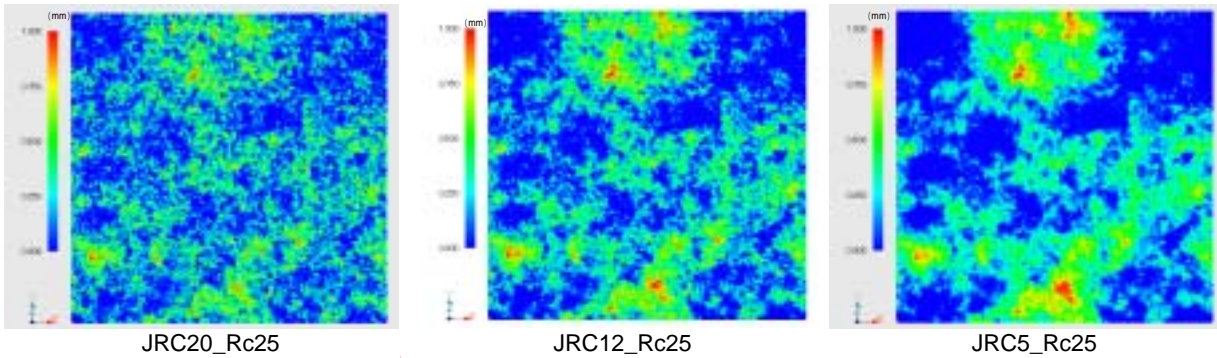


図1 本検討で用いた亀裂モデルの一例（開口幅の分布）

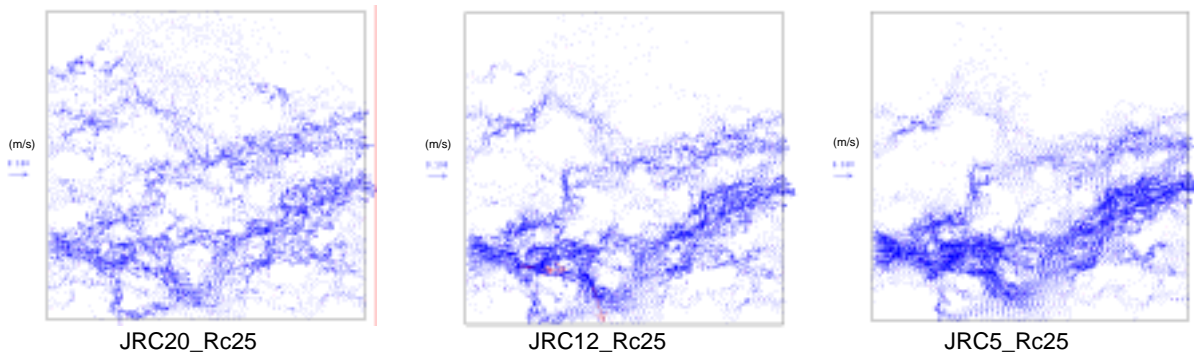


図2 浸透流解析結果の一例（流速ベクトルの分布）

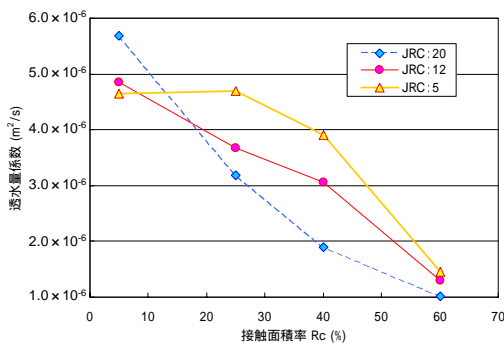


図3 透水量係数と接触面積率の関係

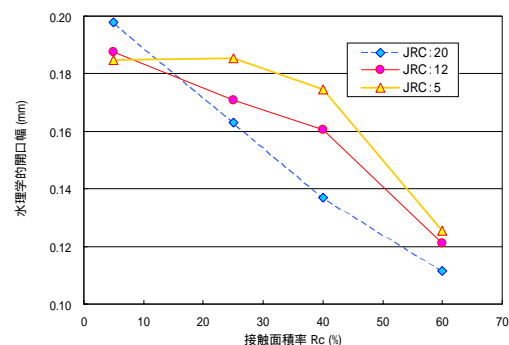


図4 水理的開口幅と接触面積率の関係