

高粘性流体を用いた亀裂性岩盤の割れ目幅の計測手法に関する研究

岡山大学大学院 正会員 西垣 誠
同 正会員 小松 満
同 学生会員 ○野原 慎太郎

1. 背景及び目的

原子力発電の使用済み燃料からウラン・プルトニウムを回収した後に残る高レベル放射性廃棄物は、平成12年に成立した「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」により地下300m以深に地層処分されることが決定されている¹⁾。岩盤内の地下水及び汚染物質の移動は透水性亀裂のネットワーク内で生じるため、亀裂に関する詳細な情報を広域の三次元的な領域で把握することが重要とされている。そこで本研究では原位置での岩盤の亀裂特性を測定する試験方法の開発を目的に、亀裂モデルを用いて基礎的な室内試験を実施し、本手法について検討を行なった。

2. 亀裂の開口幅及び有効間隙率の測定方法

本研究では透水次元というパラメータを用いる。透水次元はBarker(1988)が流動する方向に対して直行する面積を表現する際に用いたパラメータである²⁾。流動面積 A_n 及びThe General Radial Flow Model(GRFモデル)を次式及び図-1に示す。

$$A_n = b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1} \quad \text{ここで,} \quad \alpha_n = \frac{2\pi^{n/2}}{\Gamma(n/2)} \quad (1)$$

b : 間隙幅(cm), n : 透水次元, r_w : 浸潤半径(cm),

$\Gamma(x)$: ガンマ関数 である。

GRFモデルは、流れの次元を整数値ではなくて実数値で評価する($n=1.0 \sim 3.0$)。岩盤亀裂のネットワークは3次元的に複雑な広がりが予想されるため、実数次元の方がより詳細な情報を得ることができるとされる。

図-2に定圧注入による試験の概念図を示す。流動が1次元の時、流体の到達距離は線形的に減少するが、2次元流動の時、到達距離の減少率は、1次元流動の時より緩やかである。このような概念をもとに図-3に定圧注入時の標準曲線を示す³⁾。標準曲線は、ダルシー則及び質量保存則から得られた式を無次元化することで得られたグラフである。標準曲線に流量の経時変化をサイクルの大きさを揃えて重ね合わせることで流れの次元を決定する。そして標準曲線と経時変化を両対数曲線で整理し、両軸のズレから間隙幅及び有効間隙率を推定する。

3. 高粘性流体の特性

今回亀裂内に注入するのは、メチルセルロース系増粘剤の水溶液である。メチルセルロース系の増粘剤はニュートン性流体であり、水との密度差も小さい⁴⁾。さらに、セメントやジェル整髪剤などにも用いられている。粘性の測定の結果、質量濃度1.0%の水溶液で水の約10倍程度の粘性が得られた。よって安全面・経済面からもメチルセルロース系の増粘剤は、注入に適した流体であると考えられる。

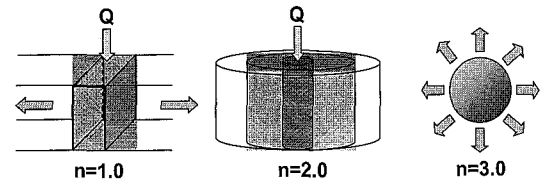
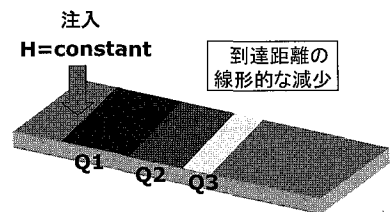
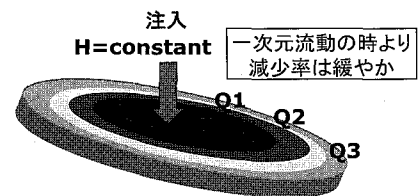


図-1 GRFモデル概念図



(i) 1次元流動の場合



(ii) 2次元流動の場合

図-2 定圧注入による試験概念図

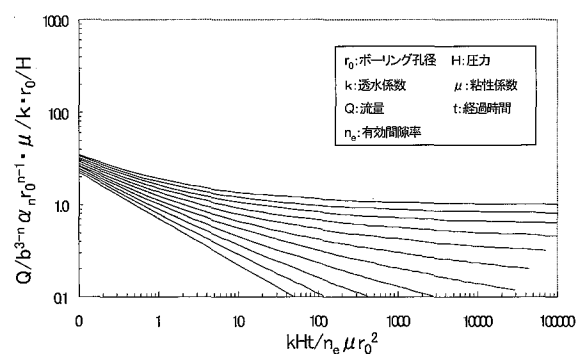


図-3 定圧注入における標準曲線

従来高粘性流体は、亀裂内流況を層流状態にすることを主な目的として用いられてきた。

$$Re = v \cdot d / \nu \quad (2)$$

v : 流速(cm/sec), d : 代表寸法(cm), ν : 動粘性係数($\text{mPa} \cdot \text{s}$)を表す。式(2)の分母を大きくすることで流速が大きくなっても限界レイノルズ数以下の値で試験を行なうことができる。さらに、水よりも粘性の非常に高い流体を注入することで、水の損失水頭の影響を無視できるということもメリットの一つである。

4. 高粘性流体定圧注入試験

図-4 に今回用いた亀裂モデルを示す。亀裂内の流れは平行平板内の流れに置き換えられ研究が行なわれてきた。そこで今回の試験では、基礎的な試験として 2 次元軸対称の流れを想定し、2 枚の平板内に設定間隙幅と同じ厚さのスペーサーを挟み岩盤亀裂モデルとした。また、一般的なボーリング孔径 $\phi=66\text{mm}$ より高粘性流体を注入することを想定している。

質量濃度 2.5%(約 $155\text{mPa} \cdot \text{s}$)の高粘性流体を間隙幅 0.15mm 及び 0.3mm のモデルにそれぞれ注入した。図-5、図-6 に重ね合わせの様子(Case2 及び Case3)を示す。また標準曲線と実測値の重ね合わせを行い、計算により間隙幅と有効間隙率を計算した結果を表-1 に示す。今回流れの次元は $n=2.0$ と推定することができたが、定圧注入の試験結果はバラつきが大きく、その結果算定間隙幅及び有効間隙率にも違いがみられた。

5. 結論

今回行なった室内試験で、高粘性流体の定圧注入により流れの次元と間隙幅を推定することができた。しかし、定圧注入では流量の経時変化にバラつきが大きく、誤った値を算定してしまう恐れもあるため、注意が必要である。また、今回は流れの次元と割れ目幅のみの検討であったが、有効間隙率についても検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 社団法人土木学会原子力土木委員会地下環境部会：高レベル放射性廃棄物地層処分技術の現状とさらなる信頼性向上にむけて・土木工学に係わる技術を中心として、pp.1-14, 2004.
- 2) Barker, J.A.: A Generalized Radial Flow Model for Hydraulic Tests in Fractured Rock, Water Resources Research, Vol.24, No.10, pp.1796-1804, 1988.
- 3) 長谷川琢磨, 田中靖治, 西垣誠：高粘性流体の注入による有効間隙率と流れの次元の評価, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.1, 2007.
- 4) 山口嘉一：ダム基礎の浸透機構の解明に関する研究, 大阪大学学位論文, pp.18-39, 1993.

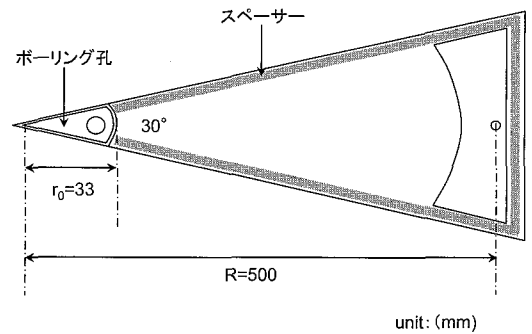


図-4 平行平板亀裂モデル

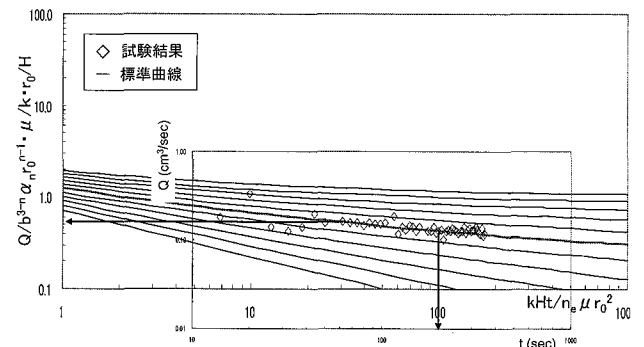


図-5 定圧注入 (Case2) における重ね合わせ

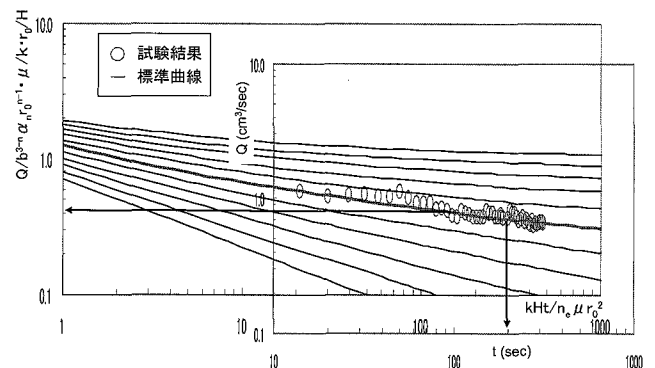


図-6 定圧注入 (Case3) における重ね合わせ

表-1 定圧注入試験結果

	注入圧力 h_0 (cm)	透水次元 n	算定間隙 幅 b (mm)	有効間 隙率 n_e	設定間隙 幅 (mm)
Case1	734.2	2.0	0.12	0.53	0.15
Case2	912.7	2.0	0.15	0.59	0.15
Case3	651.4	2.0	0.49	0.39	0.3
Case4	749.1	2.0	0.43	0.45	0.3