

天然単一亀裂の水力特性に関する一考察

核燃料サイクル開発機構 正会員 吉野 尚人
同上 非会員 内田 雅大

1. はじめに

近年、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究が注目されている。地層処分では、人工バリアおよび天然バリアの長期性能評価が重要となる。天然バリアの長期性能評価には、幾つかの検討項目がある。本研究では、その中の一つである天然単一亀裂の水力特性に関する一考察を行っている。具体的には、天然単一亀裂での透水・トレーサー試験を実施し、水理的開口幅と物質移行に関する開口幅の関係を明らかにしている。また、トレーサーの縦方向分散長に関する新しい知見も得ている。

2. 試験概要

本研究で使用している試験体は岩手県釜石鉱山で採取されたものであり、充填物を狭在した天然単一亀裂を含んだものである。亀裂の寸法は幅 50cm、透水経路長 50cm と室内試験の試験体としては極めて大きいものとなっている。

試験方法としては、注入側および排水側に 5 つのポートを設置し、対象とする亀裂に対して透水・トレーサー試験を実施することで単位時間流量、水頭値、破過曲線を得ることとした。また、試験ケースは単位時間流量が 100cm³/min、70cm³/min、50cm³/min になるようにし、同一の条件下で 4 ケースずつ実施した。

3. 試験結果および考察

3.1 動水勾配と単位時間流量の関係

図 3-1 に、透水試験における動水勾配と単位時間流量の関係を示す。なお、単位時間流量は排出側の 5 つのポートでの合計値を採用しており、動水勾配は式(3.1)で表される。

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (3.1)$$

ただし、 i ：動水勾配、 Δh ：試験ポート 1～5 の水頭差の平均値、 L ：試験岩体の透水方向の長さ(本試験では 50cm)である。

図 3-1 より、動水勾配と単位時間流量はほぼ比例関係にあることがわかる。

3.2 水理的開口幅と物質移行に関する開口幅の関係

ここでは、透水・トレーサー試験結果が修正 3 乗則¹⁾に従うと仮定した場合の水理的開口幅と物質移行に関する開口幅について検討する。

修正 3 乗則より水理的開口幅と亀裂表面の特性因子の間には式(3.2)が成り立つ。一方、トレーサー流速に亀裂断面積を乗じた値が流量になると仮定すると物質移行に関する開口幅と亀裂表面の特性因子の間には式(3.3)が成り立つと考えられる。すなわち、水理的開口幅とは透水試験での単位時間流量から算出される開口幅のことであり、物質移行に関する開口幅とはトレーサー試験でのトレーサー流速から算出される開口幅と考えることができる。

$$bh = \left(\frac{12\mu Q}{\rho g \Delta h / L W} \right)^{\frac{1}{3}} f^{\frac{1}{3}} \quad (3.2)$$

$$bt = \left(\frac{12\mu V}{\rho g \Delta h / L} \right)^{\frac{1}{2}} f^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

ただし、 bh ：水理的開口幅、 μ ：粘性係数、 Q ：単位時間流量、 ρ ：密度、 g ：重力加速度、 Δh ：水頭差、 L ：移行経路長、 W ：亀裂の幅、 f ：亀裂表面の特性因子、 bt ：物質移行に関する開口幅、 V ：トレーサー流速である。

図 3-2 に、水理的開口幅および物質移行に関する開口幅と亀裂表面の特性因子の関係を示す。同図では、粘性係数に 0.01 g/(sec·cm)、密度に 1 g/cm³、重力加速度に 980 cm/sec、移行経路長に 50cm、亀裂の幅に 50cm の各定数を与え、

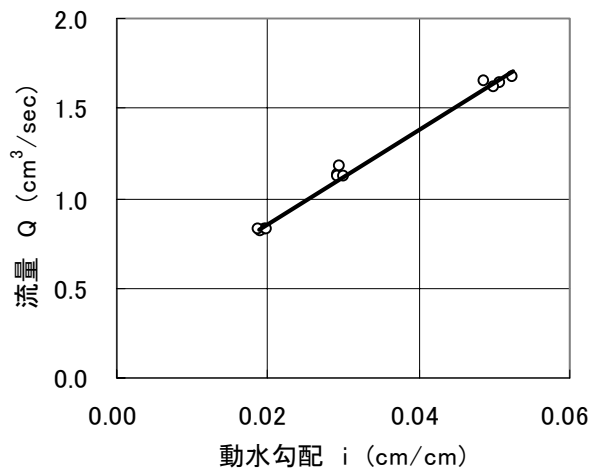


図3-1 動水勾配と流量の関係

キーワード：地層処分、天然バリア、単一亀裂、トレーサー試験、分散長

連絡先 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話 029-282-1111 FAX029-287-3528

水理学的開口幅については透水試験結果の $Q/\Delta h$ の平均値 (0.76 cm/sec), 物質移行に関する開口幅に関してはトレーサー試験の $V/\Delta h$ の平均値 (0.27 /sec) を使用して曲線を描いている。同図より, f をある値に仮定した場合の水理学的開口幅と物質移行に関する開口幅が把握できる。S.E.Silliman(1989)によれば, 水理学的開口幅(b_h)と物質移行に関する開口幅(b_t)の大小関係は亀裂内の構造に起因するとされている。²⁾ $b_t > b_h$ の場合には流れ方向の開口幅変化よりも流れに垂直な方向の開口幅変化の方が大きくなり, $b_h > b_t$ の場合には流れの方向に垂直な開口幅変化よりも流れ方向の開口幅変化の方が大きくなるとされている。今回の試験では, その分岐点が $f=2$ 付近であることが判明した。ここでは, 試験岩体の内部構造を把握することは出来ないため, 断定はできないが, 今後レジン材を使用した開口幅測定を実施し, 今回のデータと比較することで天然亀裂の表面と亀裂表面の特性因子(f)の関係を明らかにすることができると考えられる。

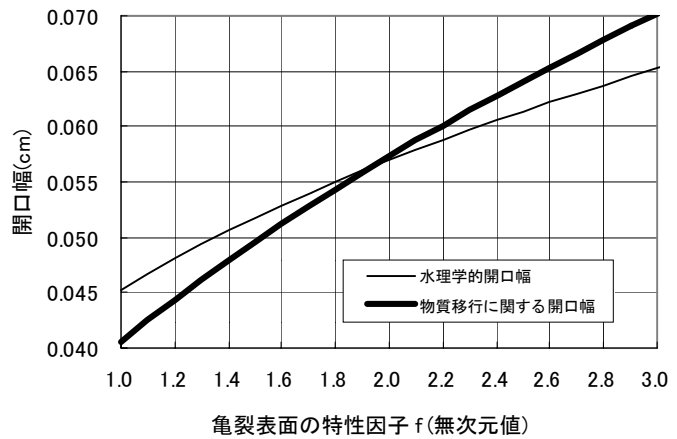


図3-2 亀裂表面の特性因子と開口幅の関係

3.3 縦方向分散長の算出

ここでは, 縦方向の分散長を Ogata-Banks の式³⁾にフィッティングさせることで算出した。Ogata-Banks の式は式(3.4)で表される。

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{x - Vt}{2\sqrt{\alpha Vt}} \right) + \exp \left(\frac{x}{\alpha} \right) \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x + Vt}{2\sqrt{\alpha Vt}} \right) \right\} \quad (3.4)$$

ただし, x : 距離, t : 時間, $C(x,t)$: 距離 x 時間 t での濃度, C_0 : 初期濃度, V : トレーサー流速, α : 分散長である。

図 3-3 にトレーサー流速と分散長の関係を示す。図中には, 1 次近似した直線も示している。同図より, トレーサー流速が約 0.2(cm/sec)~約 0.6(cm/sec)の間ではトレーサー流速と分散長は相関関係にあることがわかる。一般に, 分散長は流速に関係が無いと考えられているが, ここでは何らかの原因で分散長に影響を及ぼしていると考えられる。仮に分散長が流速の関数として考えることができるのであれば, 分散長の評価について再検討する必要があると考えられる。

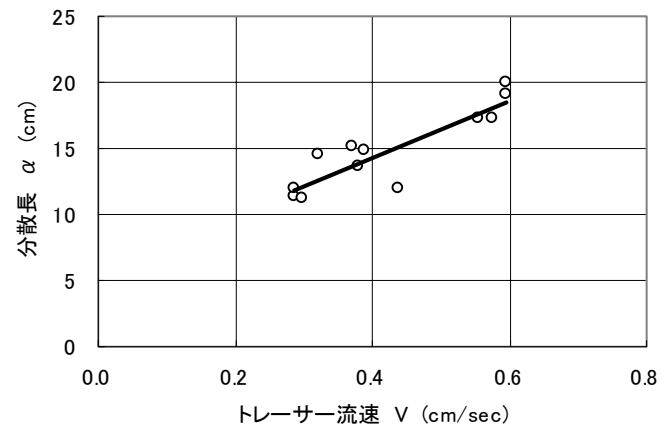


図3-3トレーサー流速と分散長の関係

4. まとめ

本研究では, 天然亀裂を用いた透水・トレーサー試験を実施した。その結果, 以下の知見を得た。

①亀裂表面の特性因子をある値に仮定した場合の水理学的開口幅と物質移行に関する開口幅の関係を把握した。

②縦方向の分散長は流速と相関があると考えられる。

今後は, 今回用いた試験体でのレジン材による亀裂開口幅の測定を実施し, 今回の検討結果との比較を行うことで亀裂開口幅の評価方法の高精度化を図る予定である。

・参考文献

- 1) P.A.witherspoon , J.S.Y.Wang , K.Iwai , J.E.Gale : Validity of Cubic Law for Fluid Flow in a Deformable Rock Fracture , Water resources research,vol.16,No.6,pp1016-1024,Dec 1980
- 2)S.E.Silliman : An Interpretation of the differences between aperture estimates derived from hydraulic and tracer tests in single fracture, Water resources research , vol.25, No.10, pp2275-2283, Oct 1989
- 3) Akio Ogata ,R.B.Banks : A solution of the differential equation of longitudinal dispersion in porous media ,Geological survey professional paper 411-A ,1961