

III-444 花崗岩開口割れ目内の核種移行に係わる実験的研究

(株) 熊谷組 正員 ○西山 勝栄
日本原子力研究所 坂本 義昭

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の深地層処分において、処分施設から岩盤地山へ漏洩した核種は岩盤中の大きな割れ目を流れる地下水により移動すると考えられている。その安全評価を行う上で、この岩盤割れ目内の放射性核種の移動特性を究明することが重要な課題の一つとなっている。本研究では、人工的に開口割れ目を設けた花崗岩カラムを作製し、割れ目内の流速を変えてヨウ素イオンとストロンチウムイオンをトレーサとした核種移行実験を8ケース行い、割れ目を含む岩石内の核種の保持能力および遅延効果について検討した。いくつかの興味ある知見が得られたのでここに報告する。

2. 基礎式

割れ目の流下方向をz方向、割れ目から岩石マトリックス部への方向をx方向とする準2次元場において、割れ目部およびその周辺の岩石マトリックス部での放射性崩壊を無視できる核種の移流・拡散の支配方程式は、溶液中の物質の収支を考慮することによりそれぞれ次のように表される¹⁾。

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - V \frac{\partial C}{\partial z} - q/b, \quad q = -\theta D' \frac{\partial C'}{\partial x} \Big|_{x=b} \quad \text{割れ目部} \quad (1)$$

$$R' \frac{\partial C'}{\partial t} = D' \frac{\partial^2 C'}{\partial x^2} \quad \text{岩石マトリックス部} \quad (2)$$

ここに、C:核種の濃度、t:時間、D:分散係数、R:遅延係数、V:流速、2b:割れ目幅、 θ :岩石の間隙率、x, z:座標、添字'は岩石マトリックス部における物性値である。また、座標zにおける核種の濃度Cは、境界条件(3)から式(1)を解いて、式(4)のように求まる。

$$C(0, t) = C_0, \quad C(\infty, t) = 0, \quad C(z, 0) = 0, \quad C'(b, z, t) = C(z, t), \quad C'(\infty, z, t) = 0, \quad C'(x, z, t) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{C}{C_0} = 2 \exp(\mu z) / \pi^{1/2} \int_0^\infty \exp[-\xi^2 - \mu^2 z^2 / 4\xi^2] \operatorname{erfc}(Y/2T) d\xi \quad (4)$$

ここに、 $\mu = V/2D$, $Y = (\mu \beta z)^2 / 4A\xi^2$, $T = (t - Rz^2/4D\xi^2)^{1/2}$, $\ell = z/2(R/Dt)^{1/2}$, $A = bR/\theta(R'D')^{1/2}$, $\beta^2 = 4RD/V^2$ である。式(4)は、割れ目部を移行する核種の移流・分散、岩石への吸・脱着及び岩石マトリックスへの拡散を考慮したもとなっている。

3. 実験装置と方法

実験装置の概要を図-1に示す。装置は、①溶質タンク、②純水タンク、③オーバーフロータンクA、④オーバーフロータンクB、⑤花崗岩カラムからなっている。⑤カラムは20×40×200mmに整形した花崗岩2組の間にスペーサを挟んで人工的に割れ目を設けたもので、周辺に止水のためエポキシ樹脂でコーティングしてある。開口割れ目の幅は0.09~0.22mmである。実験手順として、まず、純水の入った④オーバーフロータンクBより⑤カラムの下方から水を通水させ、割れ目中の流速を安定させる。その後、トレーサ液の入った②オーバーフロータンクAより通水して核種移行実験を開始する。トレーサ液は岩石に非収着性のヨウ素イオン I^- と収着性のストロンチウムイオン Sr^{2+} の混合液を用い、その濃度測定はカラム上方から自然に試験管に排水されたものをそれぞれイオンクロマトグラフィとI.C.P.発光分光光度計により行った。実験ケースは開口割れ目中の流速を $3.0 \times 10^{-6} \sim 6.3 \times 10^{-5} \text{m/s}$ に変化させて計8ケース行った。

4. 結果と考察

図-2は開口割れ目中を通過してきたトレーサ濃度の経時変化を示したもので、○が I^- 、△が Sr^{2+} である。 I^- は実験開始3日後から濃度が上昇し始め、25日経過後には C/C_0 は1に達している。一方、 Sr^{2+} は若干遅れて7日目から上昇し始めるが、 I^- に比べて上昇度は小さく、40日経過時点で C/C_0 は0.5である。これは、 Sr^{2+} は I^- に比べて岩石への収着性が大きいことによるものと考えられる。また、同図には実験結果

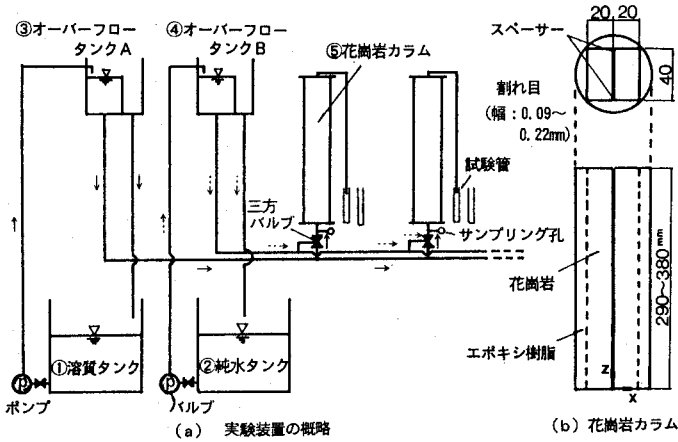


図-1 核種移行実験装置の概要

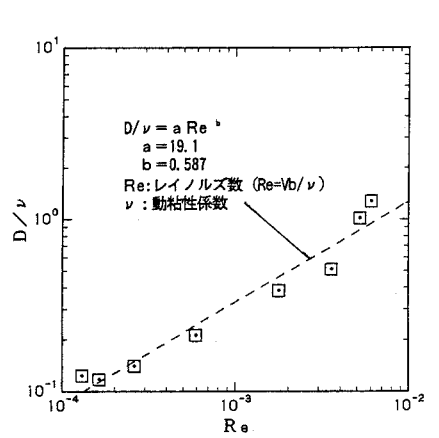


図-3 $Re \sim D/\nu$ の関係

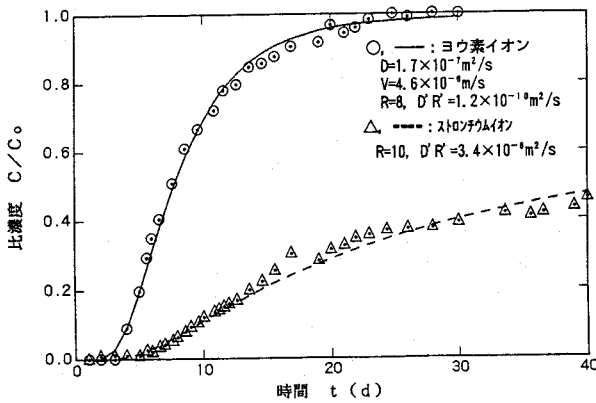


図-2 トレーサ濃度の経時変化

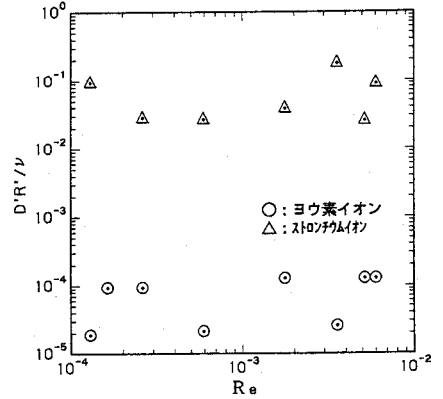


図-4 $Re \sim D'R'/\nu$ の関係

を理論的に吟味するため、式(4)を用いてbest fittingさせたものを実線と破線で示してある。これより得られたパラメータは I^- で $D = 1.7 \times 10^{-7} m^2/s$, $R = 8$, $D'R' = 1.2 \times 10^{-10} m^2/s$, Sr^{2+} で $D = 10$, $D'R' = 3.5 \times 10^{-8} m^2/s$ である。

つぎに、図-3, 4は割れ目中の流速の無次元数であるレイノルズ数 Re と式(4)より同定された D/ν , $D'R'/\nu$ の関係について示したものである。得られた D は $1.5 \times 10^{-7} \sim 1.4 \times 10^{-6} m^2/s$ であり、粒状多孔質媒体のそれ $10^{-8} \sim 10^{-6} m^2/s^{21}$ と同程度の値となっている。図-3をみると $Re(V)$ が大きくなると D が増大することがわかる。一方、 $D'R'$ は、多少のパラッキはあるものの I^- で $10^{-10} m^2/s$, Sr^{2+} で $10^{-7} m^2/s$ 程度となっており、流速によらずほぼ一定値となっていることが認められる。

以上、単一亀裂モデルを用いて数値解析を行う場合、割れ目中の分散係数 D は流速の効果を考慮しなければならないが、マトリクス拡散については考慮しなくてもよいことが示唆された。今後、岩石マトリクス部への拡散についてさらに実験研究を進める予定である。

参考文献

- 1) Tang et. al. : Contaminant transport in fractured porous media : Analytical solution for a single fracture, Water Res. Res., Vol.17, No.3, pp.555-564, 1981.
- 2) Harleman et. al. : Longitudinal and lateral dispersion in isotropic porous media, J.Fluid. Mech., Vol.16, pp.231-276, 1963.