

亀裂ネットワークを考慮した岩盤内における放射性核種移行速度の予測手法

東京大学 学生員 齊藤 康哲
東京大学 正員 井上 純哉

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の最終処分方策として考えられている地層処分法の安全評価を行うためには、地下水に溶解した放射性核種の生物圏への到達時間を予測する必要がある。岩盤内では亀裂が主要な地下水および核種の移行経路となると考えられているが、実際の岩盤内の亀裂は複雑なネットワーク構造を有しており、そのため透水経路は非常に多様化することになるが、そのような亀裂ネットワーク構造を明らかにすることは非常に困難である。そこで現在は、亀裂ネットワークを異なる透水量係数を持つ複数の平行平板と仮定し、複数の1次元平行平板モデルの重ねあわせにより安全評価を実施している。この手法で評価される到達時間は透水量係数から算出されたいわば「見かけの」流速により決定されるものであり、実際に核種が移行する速度とは異なるものである。

そこで本研究では、亀裂の幾何学的特性が到達時間にどのような影響を及ぼすかを検討するため、局所的な亀裂ネットワークモデルを構築し、有限要素法により水理解析を行い透水量ならびに核種移行速度の予測を行った。

2. 単純な亀裂ネットワークモデル

リノマイゼーショングループセオリーによる亀裂ネットワークモデルを用いて、単純な亀裂モデルにおける見かけの流速と実際の流速を比較した。解析に用いた格子と、その結果を図に示す。

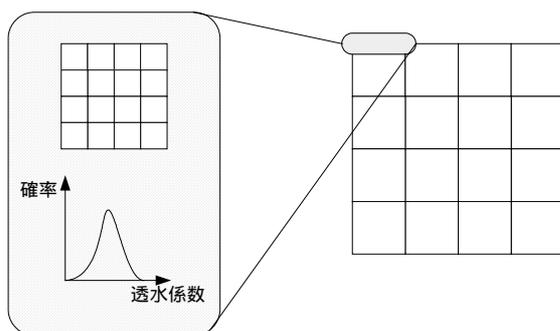


図 1 リノマイゼーションの概念図

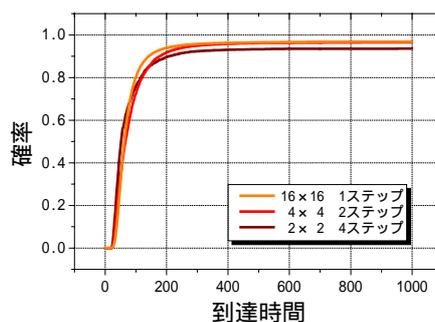


図 2 リノマイゼーションを用いた解析結果

図1のように、ある領域の格子における計算結果を、次のより大きな格子の一部として繰り返し込んで計算を行うことで、大きな領域における計算へと適用をすることができる。これがリノマイゼーションである。結果を比較したのが図2であり、 2×2 の小さな格子を4回リノマイゼーションした結果と、 16×16 の格子を直接計算した結果がよく一致していることがわかる。すなわち、ある部分的な領域における亀裂性岩盤の透水特性がわかれば、広範囲の透水特性はこの手法を用いて予測することが可能であると考えられる。また、いくつかの格子において実際の流速と見かけの流速を比較したところ、両者は一致しないということも確認された。

3. より複雑な亀裂ネットワークモデル

次に、亀裂の幾何学的特性が透水性に及ぼす影響を、より複雑な亀裂ネットワークモデルを用いて検討した。亀裂の代表的な幾何学的特性としては、平均長さ、角度、密度が挙げられる。これらのパラメータを決定し、ランダムに右図のような亀裂モデルを作成し、核種の到達時間を算出する。1次元の核種移行運動は式(1)のような拡散方程式の濃度についての解で表される。この拡散方程式は流速 V と分散長 d_L という2つのパラメータを持つが、現行の評価手法において、流速 V は透水量から算出された見かけの流速を用いている。また分散長は、モデルサイズの関数で表される経験則から決定されているが、その誤差は1/10倍から10倍と非常に大きなもので、岩盤の特性

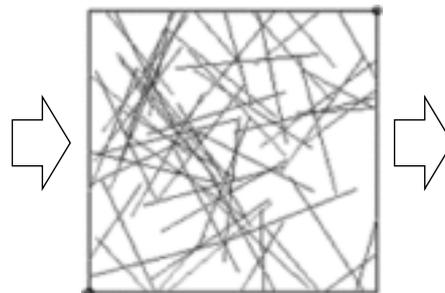


図 3 亀裂ネットワークモデル図

キーワード：高レベル放射性廃棄物，地層処分法，亀裂性岩盤，透水性

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL:03-5841-7455 FAX:03-5841-7496

を的確に表現しているとは言いがたい。

$$c(x,t) = C_0(4\pi d_L Vt)^{-1/2} \exp\left[-\frac{(x-Vt)^2}{4d_L Vt}\right] \quad C \text{ は核種濃度、} C_0 \text{ は初期濃度、} t \text{ は時間} \quad \dots\dots\dots (1)$$

2 組の異なる亀裂セットにおいてパラメトリックスタディを行い流速，分散長を比較したところ，亀裂の平均サイズ，密度，相対角度がより支配的であることがわかった。

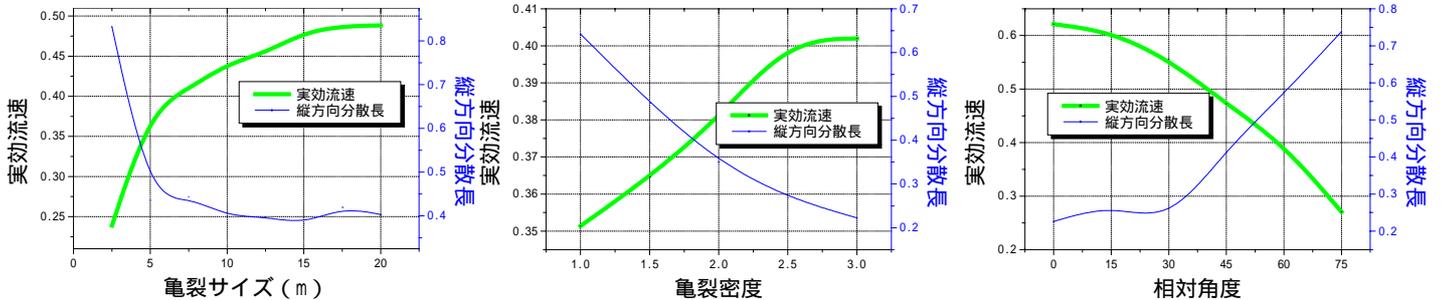


図 4 亀裂パラメータを変化させたときの流速と分散長の変化

図 4 より，岩盤の透水特性は亀裂ネットワーク構造に大きく依存することがわかる．すなわち，核種移行モデルを構築し安全評価を行う場合には，現在は考慮に入られていない亀裂構造を把握することが必要であるといえる．また，この解析において透水量も算出できるが，平均サイズが大きくなるほど，また密度が大きくなるほど透水量は大きくなることがわかった．この 2 つが透水量に対しては支配的なパラメータであった．

4．亀裂構造の推定手法の提案

次に，この解析により得られた結果と，ボーリング試験から得られる情報から，亀裂構造の推定手法を提案する．ボーリング試験により，亀裂間隔，亀裂角度，透水量がわかる．一方，幾何学的関係から，亀裂密度 P_{32} が $P_{32} = C_p \cdot n_b / L_b$ と表される．ここで C_p は比例定数， n_b はボーリング孔に交差する亀裂数， L_b はボーリング孔の長さである．比例定数 C_p は亀裂の角度と平均サイズに依存するので，ここでは亀裂の密度と平均サイズの関係が得られることになる（図 5）また前節において，透水量は亀裂の密度と平均サイズに依存することがわかっていて，つまり，ボーリング試験により得られる透水量を再現する亀裂密度と平均サイズの関係も知ることができると考えられる（図 6）．以上のことから，亀裂の密度と平均サイズの間の関係が 2 つ求まるので，双方を同時に満たす密度 - 平均サイズの組が 1 つ決まると予想される（図 7）．こうして決定された亀裂パラメータを入力データとし，3 節のような解析を行うことで，核種の移行速度の予測を行うことができると考えられる．

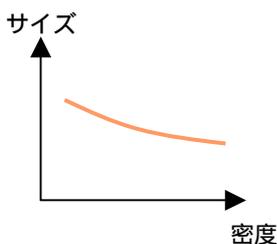


図 5 幾何学的構造から決まる関係のイメージ図

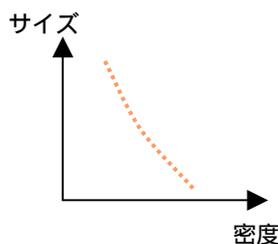


図 6 透水量から決まる関係のイメージ図

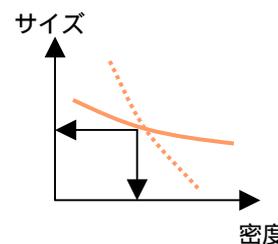


図 7 2つの関係から密度とサイズが決定

3．まとめ

本研究では，リノマライゼーションの適用性を確認し，局所的な亀裂ネットワークモデルを用いて解析を行うことで，核種の到達時間の予測を行った．その結果，ボーリング試験から得られる情報から亀裂の幾何学的パラメータを推定する可能性を示せた．今後の課題としては，より定量的な解析を行い，亀裂パラメータの関係を厳密に検討することと，可能であれば岩盤の透水試験を行い結果を検証することが挙げられる．

参考文献

- 1) 富田廉：リノマライゼーショングループセオリーに基づく亀裂性岩盤の水理的特性の評価，土木学会年次学術講演会，2001
- 2) 核燃料サイクル開発機構 地層処分研究開発第二次取りまとめ - 分冊 3