

# リノマ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

東京大学 学生員 富田 廉  
東京大学 正員 井上 純哉

## 1. はじめに

わが国においては、原子力発電によって発生する放射性廃棄物を再処理する段階において生じる高レベル放射性廃棄物の処理を地層処分によって行うことが検討されている。このときの安全性を評価の際、放射性核種が地下水に溶解して岩盤亀裂内を伝達するのに要する時間の予測は不可欠な問題であるが、これについて現行では岩盤を平行平板モデルと仮定し、透水係数から岩盤全体の平均流速を算出することによって核種の到達時間を予測する方法がとられている。しかしこの方法では放射性核種が実際にどれだけで時間とどれだけで流量が流れ出してくるかという、放射性核種流出時間とその流出量の関係を正確に評価することができない。この問題を解決するためには岩盤内の亀裂を亀裂ネットワークと考え、実際に水の流れる経路に基づいて透水係数や時間を評価する新たなツールを構築する必要があるのだが、この方法を用いた場合、情報が膨大となり評価する領域を拡大すると計算が困難となるという新たな問題が生じる。そこで本研究ではリノマイゼーショングループセオリーを取り入れ、これを用いることによって岩盤内亀裂ネットワークを格子モデルと仮定した、格子全体の透水係数及び到達時間の予測を行った。

## 2. 解析方法

リノマイゼーショングループセオリーとは、何本もの亀裂で構成された一つの格子を、その格子全体の情報を持った一本の大きな亀裂に置き換え、それが再び多数組み合わせることによってより大きな格子が構成されると考えるという手法によって領域を順々に拡大させていくことである。これによって拡大領域における現象を多大な計算を行うことなく予測することが可能となる。本研究では簡単のために岩盤亀裂を二次元正方格子と仮定してシミュレーションを行った。手法として、まず図1のような一定の大きさ $x$ の格子を仮定し、左右に一定の水頭差をかけ、格子内に一定の確率 $p$ でランダムに亀裂を発生させる。次にこのモデルにおける格子全体の透水係数および左端から右端まで流れる水の到達時間を計算する。この、亀裂発生から透水係数および時間算出までの操作をモンテカルロシミュレーションにより繰り返すことで、もとの大きさの格子(これを第1ステップとする)における格子全体の透水係数についての頻度分布および水の到達時間-流量の関係グラフを得る。

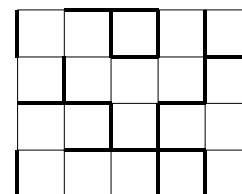


図1 二次元正方格子モデルにおける発生格子の例

次に、第1ステップの格子全体を第2ステップにおける一本の亀裂と考えることによって、第1ステップの操作で得られた透水係数の頻度分布、時間-流量の関係グラフをもとに、リノマイゼーショングループセオリーを用いて領域を拡大させる。具体的には、第1ステップの透水係数の頻度分布から抵抗の頻度分布を求め、その分布に基づいて抵抗値を第2ステップの各亀裂にランダムに代入する。これによって第2ステップの一本一本の亀裂は第1ステップの格子全体に相当する抵抗を持つわけである。後は先ほどと同様に格子全体の透水係数を計算し、モンテカルロシミュレーションにより操作を繰り返す。こうすることで領域の拡大された第2ステップにおける格子全体の透水係数の頻度分布を得ることができる。同様の方法でリノマイゼーショングループセオリーを用いることにより到達時間-流量の分布についても拡大された領域のものを得ることができる。

## 3. 亀裂ネットワークにおける透水係数評価

リノマイゼーショングループセオリーの適用性の是非を確認するために、大きさが16に相当する格子全体の透水係数について、リノマイゼーショングループセオリーを用いた場合と用いなかった場合で比較したものが図2、図3の二つのグラフである。これら二つのグラフはほぼ一致し、リノマイゼーショングループセオリーが十分適用できることがわかる。また、これにより計算時間も大幅に短縮された。

キーワード： リノマイゼーショングループセオリー，亀裂性岩盤，透水係数

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

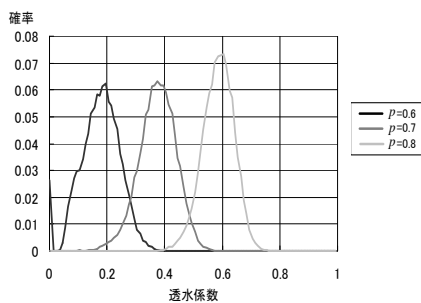


図2  $x=16$ における透水係数の確率分

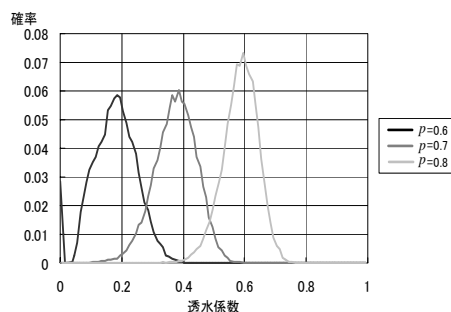


図3  $x=4$ の格子を一回リノライズしたときの透水係数の確率分布

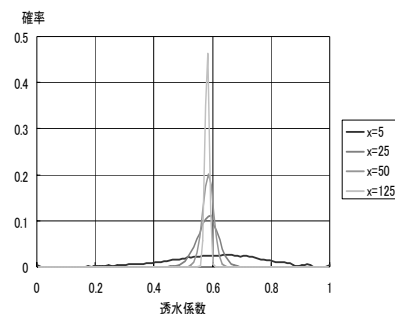


図4  $p=0.8$ において格子を拡大したときの透水係数の確率分布

また、リノライゼーショングループセオリーを利用することにより計算する格子の大きさ $x$ を拡大させていった結果が図4である。この結果からわかるように、格子全体の透水係数はただひとつの値に収束していく。

#### 4. 亀裂ネットワークにおける到達時間評価

透水係数予測の場合と同様にリノライゼーショングループセオリーを用いることによって到達時間の予測を行い、到達時間とその流量の関係を表す時間-流量累積分布を求めた。格子の大きさ一定として亀裂のつながる確率 $p$ を変化させた結果を図5に、亀裂のつながる確率 $p$ を一定として格子の大きさ $x$ を拡大させていった結果を図6に示す。また、これを従来とられている方法である平行平板モデルと比較するため、岩盤を平行平板モデルと仮定して予測した場合の予測値を各グラフに矢印として示した。

図5を見ると、岩盤内の亀裂密度を表す値である確率 $p$ が増加するにつれて、平行平板モデルによって予測される到達時間(矢印に示す部分)はグラフの前側にずれていく傾向にあり、岩盤亀裂モデルによる予測値よりも到達時間を早く見積もる結果が得られた。

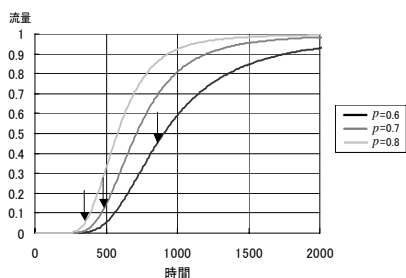


図5  $x=16$ で確率 $p$ を変化させたときの到達時間-流量分布の変化

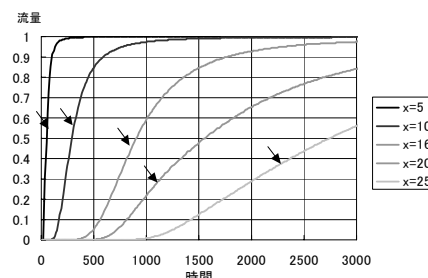


図6  $p=0.6$ で格子の大きさ $x$ を変化させたときの到達時間-流量分布の変化

次に図6を見ると、岩盤亀裂を考慮した到達時間の予測グラフから、領域が拡大するにつれて時間-流量分布には広がりが生じていくことがわかる。これに対して平行平板モデルの場合、平均到達時間というひとつの値しか予測することのできないために、このような分布の広がりというものを予測することはできない。放射性核種の到達評価を考える場合、到達時間の平均値ではなく一定量の放射性核種が到達するまでの時間の評価が重要であるが、解析で得られた結果を見るに平行平板モデルを仮定した場合はこうした時間の評価が十分にできず、岩盤領域における放射性核種の溶解した地下水の伝達時間と流量の関係を正確に把握できる岩盤内の亀裂を考慮した到達時間評価が不可欠であることがわかった。

#### 5. まとめ

広域的な岩盤において岩盤亀裂を考慮した到達時間を解析的に予測する場合、計算負荷が非常に大きくなるためそれを軽減するための処置が必要となる。この処置方法として、リノライゼーションセオリーを用いることにより計算領域を順次拡大させていくことで広範囲における水の到達時間の予測を行うという方法を検討結果、これによって到達時間と流量の関係についての予想が可能であり、計算負荷も大きく軽減されることが分かった。今後、リノライゼーションセオリーを適用した場合に対応する格子をより深く検討してリノライゼーションの精度を高めること、また、放射性核種の固有特質を表す情報や亀裂の情報等を加えて、仮定される岩盤モデルをより現実に近いものにしていくことが今後の課題となる。

#### 参考文献

- 1) P. Gravelenko and Y. Gueguen, Flow in fractured media: A modified Renormalization method, Water Resources Research Vol.34, No.2, p177-191, 1998
- 2) B. Berkowitz and I. Balberg, Percolation Theory and Its Application to Groundwater Hydrology, Water Resources Research Vol.29, No.4, p775-794, 1993