

割れ目ネットワークモデルによる地下水流動および物質移動解析（その3）

— 割れ目ネットワークモデルの適用に向けた調査の留意点 —

ダイヤコンサルタント 正会員 ○細谷 真一

日本原子力研究開発機構 非会員 森川 佳太, 石橋 正祐紀, 國丸 貴紀 正会員 尾上 博則

鹿島建設 正会員 瀬尾 昭治, 渥美 博行, 中畠 誠門

1. はじめに

岩盤を対象として、割れ目を考慮した地下水流動解析や物質移動解析を行う場合には、割れ目を確率論的にモデル化する割れ目ネットワーク(DFN)モデルが有効な場合がある。DFNモデルは多孔質連続体モデルと比較すると設定すべきパラメータが多いため、調査データとそのモデル化方法の不確実要因が解析結果に及ぼす影響を適切に見積ることが難しい。本研究では、日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所で得られた調査データに基づいて、上述の不確実要因が地下水流動解析・物質移動解析結果に及ぼす影響を考察する。

2. 割れ目ネットワークモデルの構築方法

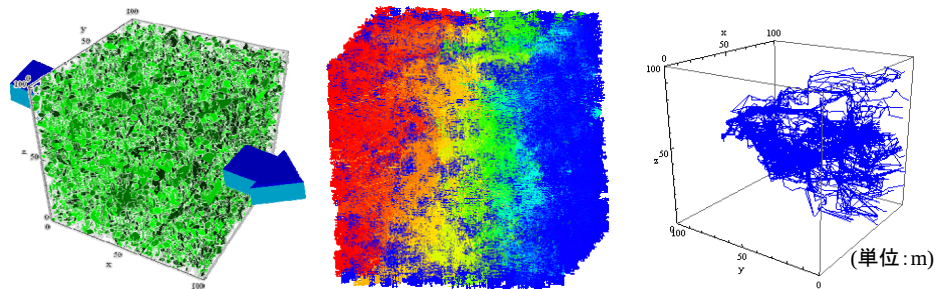
本研究で採用した DFN モデル¹⁾の構築方法の概要は以下の通りである。

- ・割れ目の方向分布は、割れ目の卓越方位毎に分離し、Fisher 分布を仮定してそのパラメータを推定した。
- ・割れ目の密度は、スキャンラインと交差する割れ目の数に基づき、観察方向の偏りを考慮して三次元割れ目密度として推定した。
- ・割れ目の半径分布は、べき分布を仮定して坑道壁面のトレース長分布の再現解析を行い、実測されたトレース長分布を比較的良く再現するパラメータを推定した。
- ・割れ目の透水量係数分布は、DFN モデルを用いて水理試験の再現解析を行い、実際の水理試験結果を再現する方法で推定した。
- ・割れ目の水理的開口幅 b は、透水量係数 T から $b = 2.0\sqrt{T}$ で求めた²⁾。

3. 地下水流動解析・物質移動解析の方法と結果を表現する指標

DFN モデルを用いた地下水流動解析・物質移動解析³⁾の概要は以下の通りである（図1）。

- ・地下水流動解析：1 辺が 100m の立方体を対象に DFN モデルを構築し、一次元的な動水勾配を与えて、通過する流量を計算した。さらに、設定した動水勾配と流出入面積で流量を除して等価透水係数を求めた。



- ・物質移動解析：地下水流動解析で得られた水頭分布に基づいて、上流面の 20×20m 領域から 1000 個の粒子を流して下流面に到達する時間分布を計算した。また、評価指標として、全粒子を移動時間が短い順に並べ替えて、半分程度の順位の粒子に対して移動距離（100m）を移動時間で除した移動速度を求めた。本研究では、上述の等価透水係数と粒子の移動速度に基づいて、不確実要因が解析結果に及ぼす影響を考察した。

4. DFN モデルの構築における調査データとそのモデル化方法の不確実性

2 で述べた方法に基づいて DFN モデルを構築する上で、調査の制約、モデル化における調査データの解釈、モデル化方法の選択などに伴う、解析結果に及ぼす不確実要因を以下のように見出した。

- ①割れ目の密度の推定にあたっては、坑道壁面で観察された全割れ目から、地下水流動や物質移動に寄与

キーワード 割れ目, 割れ目ネットワークモデル, 地質調査, 地下水流動解析, 物質移動解析

連絡先 〒331-0811 埼玉県さいたま市北区吉野町 2-272-3 (株)ダイヤコンサルタント TEL 048-654-3132

- る割れ目（透水性割れ目）を抽出する方法及びその結果である透水性割れ目の割合が不確実要因である。
- ②割れ目の半径分布の推定にあたっては、モデル化領域のスケールに対応する比較的長い割れ目、すなわち地下水流動などへの影響が大きいと考えられる割れ目を適切な確率で考慮することが重要であるが、実際に利用できるトレース長分布は坑道壁面などの調査領域の大きさに制約されることが不確実要因である。
- ③割れ目の方向分布や密度の推定にあたっては、観察方向の偏りを補正したとしても、その影響を除去しきれないことが不確実要因である。
- ④割れ目の透水量係数の推定にあたっては、実際の水理試験と条件は一致しないことが不確実要因である。

5. 地下水流動解析・物質移動解析結果に及ぼす影響に基づく調査の留意点

上述の①と②に着目して、割れ目の半径分布及び透水性割れ目の密度が異なる 4 ケース（表 1 参照）を対象に地下水流動解析及び物質移動解析を行った。表中の No.1 と No.2 は、同じ坑道で得られた 2 種類の調査データに基づいて設定されたもので¹⁾、割れ目の半径分布のべき乗数が異なる。また、No.1 と No.2 のそれぞれにおいて、全割れ目の密度に実測値に基づいて推定した透水性割れ目の割合¹⁾を乗じることで、透水性割れ目の密度が異なる複数のケースを設定した。

割れ目の半径分布及び透水性割れ目の密度に対する割れ目の透水量係数の平均値、等価透水量係数及び平均的な粒子の移動速度を図 2 に示す。同図より、割れ目の半径分布（べき乗数）の違いが解析結果に与える影響よりも、透水性割れ目の密度が与える影響のほうがやや大きく、透水性割れ目の密度の把握が重要であると考えられる。このことは、岩盤中の割れ目を対象とした調査を実施する際には、割れ目のトレース長分布よりも透水性割れ目の密度を把握するための調査の優先度が高いことを示唆している。

また、重要因子である透水性割れ目の密度の違いに着目すると、割れ目密度が高くなると、割れ目の透水量係数（図 2 中青色シンボル）及び粒子の移動速度（同緑色シンボル）は小さくなるが、等価透水量係数（同赤色シンボル）は大きくなる。これは、透水性割れ目の密度が高くなると、割れ目の透水量係数の平均値が小さくなることから粒子の移動時間が長くなり、粒子の移動速度が小さくなることを示している。一方で、割れ目の連結性がよくなるために、100m 四方における等価透水量係数は大きくなることを示していると考察される。

本考察は、限られた設定ケースによる解析結果の一例であるが、このような検討を実施することで、解析結果に及ぼす影響を把握し、調査時の調査対象や留意点を抽出することが可能となると考えられる。

6. あとがき

DFN モデルは、設定すべきパラメータが多く解析結果との対応が複雑であるため、調査から解析までを俯瞰することが難しい。DFN モデルにも多くのバリエーションが考えられるので、本研究の考察が普遍的なものではないが、DFN モデルの理解を深め調査と解析を結び付ける一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 中島ほか：割れ目ネットワークモデルによる地下水の物質移動解析（その 1），土木学会第 68 回年次学術講演会，2013（投稿中）。
- 2) 牧野ほか：地質環境の調査から物質移行解析にいたる一連の調査・解析技術—2 つの深地層の研究施設計画の地上からの調査研究段階（第 1 段階）における地質環境情報に基づく検討—，核燃料サイクル開発機構，JNC TN1400 2005-021，2005。
- 3) 渥美ほか：割れ目ネットワークモデルによる地下水の物質移動解析（その 2），土木学会第 68 回年次学術講演会，2013（投稿中）。

表 1 ケース設定

ケース	割れ目の半径分布 (べき乗数)	全割れ目密度 (m^2/m^3)	透水性割れ目の割合	透水性割れ目の密度(m^2/m^3)
No.1-A	4.0	2.65	18%	0.48
No.1-B			12%	0.32
No.2-A	3.5	2.84	18%	0.51
No.2-B			12%	0.34

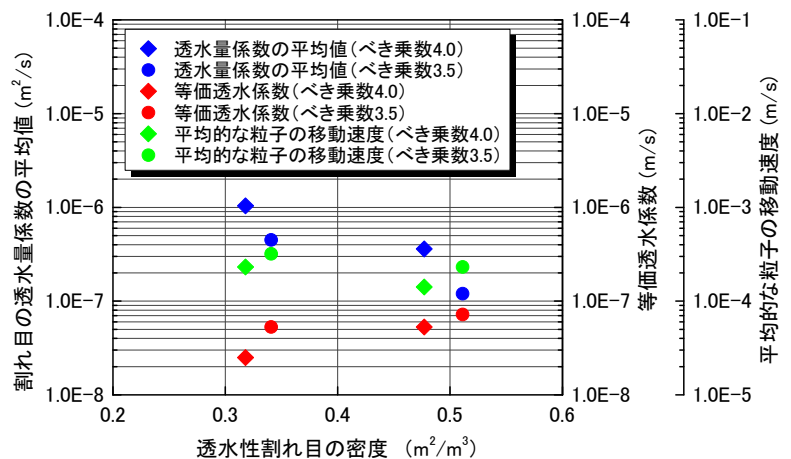


図 2 透水性割れ目の密度を変化させたときの割れ目の透水量係数、等価透水量係数、平均的な粒子の移動速度との関係