

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2)

— 地下水流動解析および物質移動解析 —

鹿島建設 正会員 ○渥美 博行, 中畠 誠門, 瀬尾 昭治, 升元 一彦, 川端 淳一
 日本原子力研究開発機構 正会員 尾上 博則, 澤田 淳, 三枝 博光 非会員 國丸 貴紀
 埼玉大学 正会員 渡辺 邦夫

1. はじめに

日本原子力研究開発機構では, 地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究の一環として, 超深地層研究所計画 (以下, MIU 計画) を推進している. MIU 計画では「物質移動特性の評価に関する研究」として, 割れ目を考慮した物質移動特性の評価が実施される. そこで, 地質・地質構造と岩盤の水理特性が, 物質移動現象に与える影響を検討するために, 原位置調査結果に基づき, ①三次元割れ目ネットワークモデルの構築, ②水理地質構造モデルの構築, ③地下水流動解析, ④パーティクルトラッキング法を用いた物質移動解析を実施した. 本編 (その2) では, このうち③地下水流動解析および④パーティクルトラッキング法を用いた物質移動解析の検討結果について述べる. なお, 上記①および②については, 前編 (その1) ¹⁾ を参照されたい.

2. 地下水流動解析

前編 (その1) で作成した2ケースのパラメータセットに基づき, 透水性割れ目の比率を18%または12%に設定して構築した計4ケースの水理地質構造モデル ^{1), 2)} を使用して, 西から東, 北から南, 鉛直上から鉛直下の三方向の流れについて地下水流動解析を実施した. 解析条件は, 動水勾配を0.01として上流・下流側境界面の水頭を固定し, 残る4つの境界面は不透水境界とした. 解析後, 上流面からの流入量を動水勾配と流入面積で除し, モデル全体を均質な連続体とみなした場合の等価透水係数を算出した (図1).

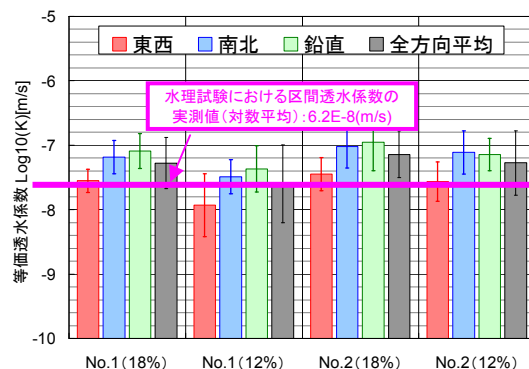


図1 等価透水係数の算出結果

図1中の棒グラフは10リアライゼーションの対数平均値を, エラーバーは対数標準偏差を示す. これより, いずれのケースでも東西方向よりも南北方向および鉛直方向の等価透水係数が高い傾向が認められた. これは, 水理地質構造モデルに最も多く含まれるNW系の割れ目の傾斜が高角度, かつ走向が南北軸に近いことが主要因と考えられる.

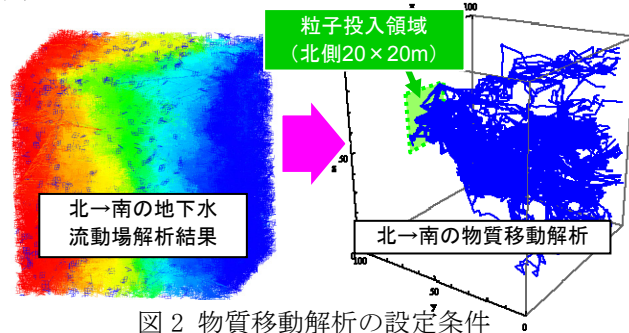


図2 物質移動解析の設定条件

3. パーティクルトラッキング法による物質移動解析

全リアライゼーションの北から南向きの地下水流動解析結果を用いて物質移動解析を行った. 図2に示す (100m×100m×100m) において上流側境界面の中心における20×20m領域から1000個の粒子を流量比配分 (濃度一定条件) で投入し, 下流側境界面に到達するまでの時間 (破過時間) からブレイクスルーカーブを求めた. 図3に全4ケースの10リアライゼーションのブレイクスルーカーブを示す. この結果から,

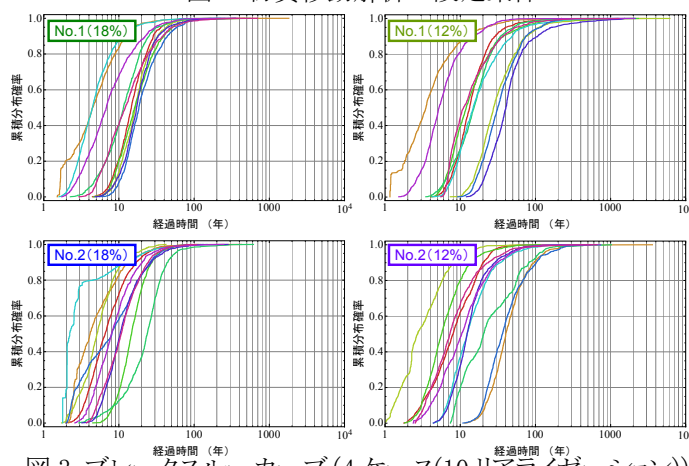


図3 ブレイクスルーカーブ (4 ケース (10 リアライゼーション))

キーワード 割れ目ネットワークモデル, パイプネットワークモデル, 地下水流動解析, 物質移動解析
 連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-6662

No. 1・No. 2 のいずれのケースでも全割れ目数に対する透水性割れ目の比率が小さくなると、リアライゼーション間のばらつきが大きくなることが示された。これは、透水性割れ目比率が小さくなるほど、水理地質構造モデルに考慮した割れ目の透水量係数分布の不均質性が増大するためと考えられる。

次に、ケース間の比較を行うため、10 リアライゼーション分のブレイクスルーカーブを濃度一定条件で平均化処理した(図 4)。これより、割れ目の半径分布のべき乗数が小さくなると移行時間が短くなる傾向が確認された。これは、べき乗数が小さい No. 2 ケースでは、No. 1 ケースに比べて大きい割れ目が多く含まれるため、割れ目間の連結性が高くなり、破過するまでの粒子の移行距離が短くなったことが要因と考えられる。このことは、No. 1, No. 2 ケースにおける全粒子の移行距離と破過時間の関係および移行軌跡の解析結果例をみると、No. 1 ケースに比べて No. 2 ケースにおける粒子の移行経路のばらつきが小さく、かつ移行距離および破過時間が短くなっていることから確認できる(図 5)。また、透水性割れ目比率の小さいケースで破過時間が短くなっていることについては、透水性割れ目が少ないほど個々の割れ目の透水量係数が大きくなる傾向にあることに起因していると考えられる。

4. 岩盤中における物質移動時間の影響因子の分析

岩盤中の物質移動時間は、上流側境界面から下流側境界面に到達するまでの移動距離や、通過割れ目の透水量係数の影響を受ける。割れ目ネットワークモデルを使った物質移動解析では、図 6 に示すように複数の割れ目を経由する粒子の軌跡を追跡でき、ケース間の移動速度の差異の主要因が移動経路なのか通過割れ目の透水量係数なのかといった分析が可能である。また、パーティクルトラッキングで所定回数以上粒子が通過した割れ目の情報を整理すると、モデル全体の割れ目透水量係数分布に対し、透水量係数の高い割れ目を粒子が選択的に通過している傾向にあることが確認できる(図 7)。

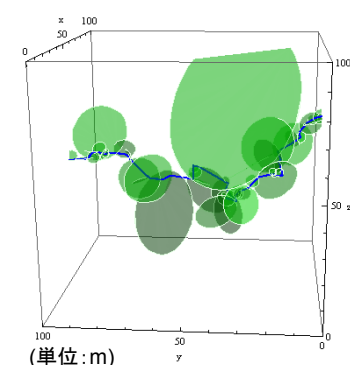


図 6 粒子の移動経路の一例

5. あとがき

今後は、さらに物質移動に及ぼす影響因子の分析を進め、割れ目ネットワークモデルによる地下水の物質移動特性評価を行うための効率的な割れ目調査方法の提案や、今後 MIU 計画で実施されるトレーサー試験方法の提案等、実際の調査試験計画立案に資するための検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 中嶋ほか: 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) 埼玉大学地圏科学研究センター: 割れ目系岩盤を対象とした地質構造のモデル化に関する研究, 核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書, JNC TJ7400 2002-004, 2002。

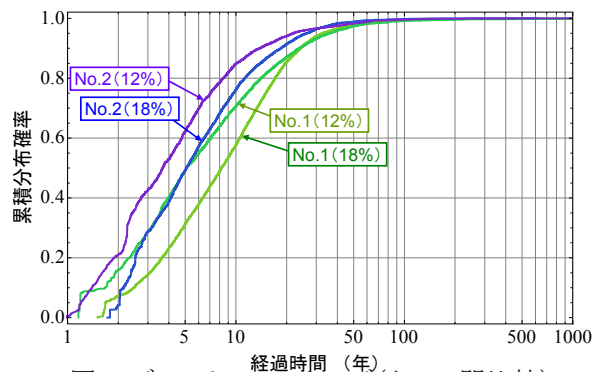


図 4 ブレイクスルーカーブ(ケース間比較)

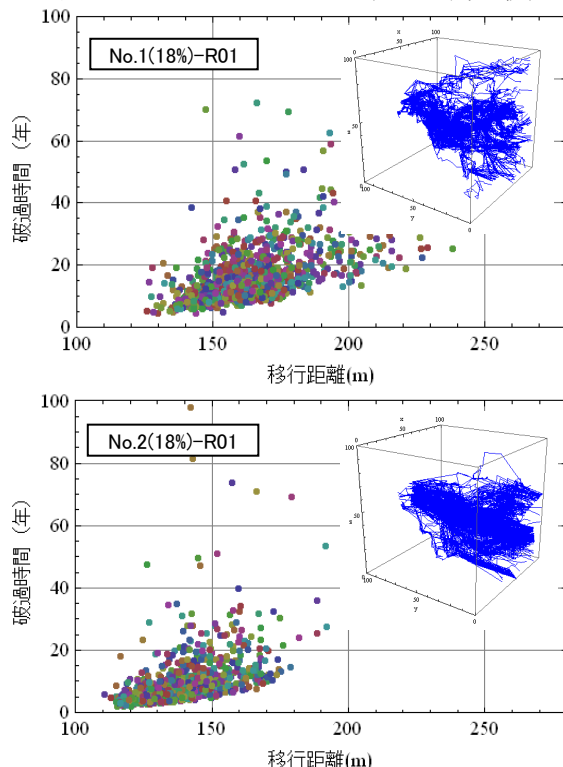


図 5 No. 1 と No. 2 の解析結果の比較
(移行距離と破過時間の関係)

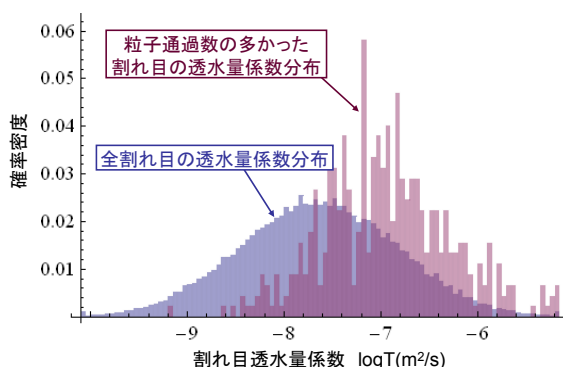


図 7 割れ目の透水量係数分布の比較