

割れ目ネットワークモデルを用いた物質移動に関する研究 (その3)

—粒子追跡線解析とパラメータの影響評価—

鹿島建設 正会員 ○岩野 圭太, 渥美 博行, 中畠 誠門, 升元 一彦, 瀬尾 昭治, 川端 淳一
 日本原子力研究開発機構 正会員 尾上 博則, 三枝 博光, 澤田 淳
 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, 超深地層研究計画 (MIU 計画) の一環として, 割れ目を考慮した物質移動特性の評価を行っている¹⁾. 本研究では解析的なアプローチとして, 割れ目ネットワークモデル (以下, DFN モデル) に基づく, ①地質構造モデル (以下, Geo-DNF モデル) の構築, ②水理地質構造モデル (以下, Hydro-DNF モデル) の構築, ③地下水流動解析, ④粒子追跡線解析を行った (図1). 本編 (その3) では, このうち③および④の検討結果について述べる.

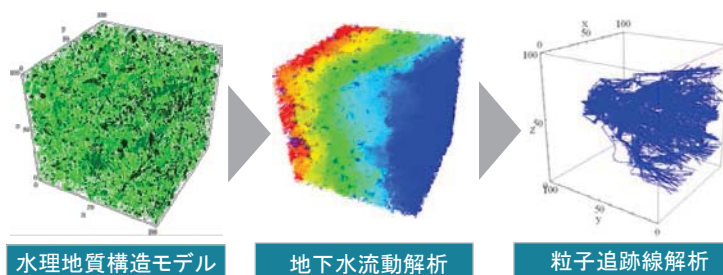


図1 地下水流動解析と粒子追跡線解析の概念

2. 地下水流動解析

前篇 (その2)²⁾ で作成した2つのモデル (Case1, Case2) について, 異なる割れ目の透水量係数の設定方法 (設定 A, B, C) による Hydro-DNF モデルを用い, 西→東, 北→南, 鉛直上→下の三方向の地下水流動について地下水流動解析を実施した. 解析の境界条件としては, 上下流側面に固定水頭を設定し, 他の境界面を不透水境界とし, 動水勾配 0.01 を与えた. 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2に各10リアライゼーションの等価透水係数の対数平均および対数標準偏差を示す. Case1では南北走向の高角割れ目が卓越しているため, 南北と鉛直方向の等価透水係数が高く, Case2では南北走向の高角割れ目と低角割れ目が卓越しているため, 水平方向 (東西と南北) の等価透水係数が相対的に高い. 一方で各ケースとも, 別途実施した水理試験再現解析にて, 原位置水理試験の結果に合致するよう割れ目の透水量係数を設定していることから, 地下水流動解析結果から得られた等価透水係数は, 全てのケースで -8 乗 (m/s) オーダーとなっている.

3. 粒子追跡線解析

粒子追跡線解析は, 地下水流動方向を北→南方向に限定して実施した. 図3に示す領域 ($100m \times 100m \times 100m$) において, 上流面 (北面) 中心の $20m \times 20m$ 領域から 1000 個の粒子を流量比配分 (濃度条件) で投入し, 下流面 (南面) に到達するまでの時間からブレイクスルーカーブ (破過曲線) を求めた.

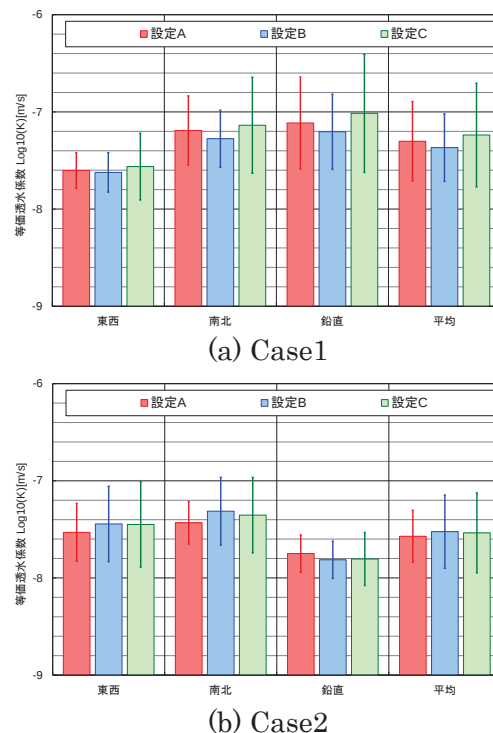


図2 等価透水係数の算出結果

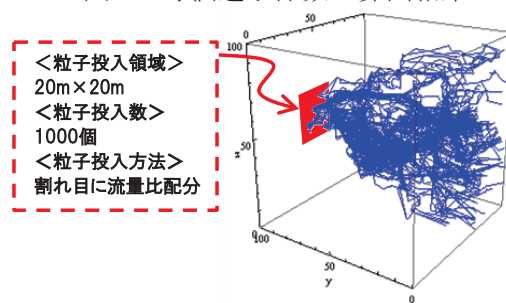


図3 粒子追跡線解析の解析条件

キーワード 割れ目ネットワークモデル, 地下水流動解析, 物質移動解析, ブレイクスルーカーブ

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 TEL042-489-6593

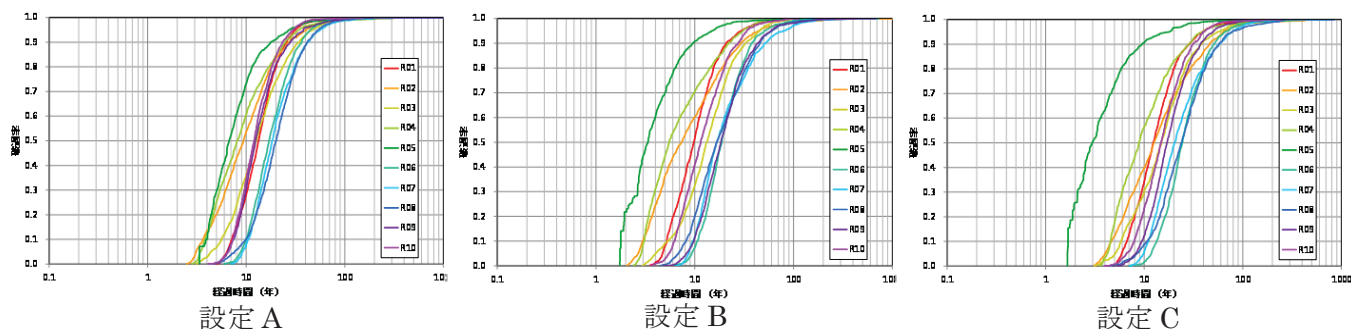


図4 ブレイクスルーカーブ (Case2)

図4にCase2の設定A～Cのブレイクスルーカーブを示す。

この結果から、設定A→設定B→設定Cの順でブレイクスルーカーブのばらつきが大きくなっている。また、設定A, B, Cの同じ番号のリアライゼーションは、割れ目の幾何学条件は全く同じであるが、割れ目の透水量係数の与え方(設定A, B, C)によりブレイクスルーカーブの形状が大きく異なることがわかる(例えば図4中のR05)。

4. 粒子追跡線解析における粒子の移動特性

粒子追跡線解析の各ケースにおける移動特性として、移動時間(分位数0.5(全粒子の中の移動時間の中央値))のほか、粒子が通過した割れ目数、1つの粒子の平均経路割れ目数を整理した(表1, 図5)。また、図6にはCase1, Case2の移動経路-移動時間プロット, 移動経路, 粒子通過5回以上の割れ目の分布を示した。Case1は、半径20m以上の大きな割れ目が少ないため、粒子通過割れ目や平均経路割れ目数がCase2に比べて多くなっている。一方でCase1は、低角割れ目が少なく、鉛直方向に実施した水理試験再現解析で試験区間遭遇確率が小さかったため割れ目1枚当たりの透水量係数が大きくなっており、結果として分位数0.5の平均移動時間は、Case2とほぼ同等となっている。逆に、Case2は低角割れ目が多く、割れ目1枚当たりの透水量係数は小さいが、大きな割れ目が多いため、少ない割れ目枚数を経由して粒子が下流まで到達していることがわかる。

5. おわりに

地下水流動解析と粒子追跡線解析から、割れ目の幾何学条件や透水量係数が解析結果に及ぼす影響を明らかにすることができた。

表1 粒子の移動特性

		移行時間(分位数0.5)		粒子通過割れ目数		平均経路割れ目数	
		平均(年)	標準偏差(年)	平均(枚)	標準偏差(枚)	平均(枚)	標準偏差(枚)
Case1	設定A	13.37	4.71	3080	858	30.4	8.9
	設定B	13.44	4.49	2893	852	30.1	8.2
	設定C	13.02	7.88	1748	704	17.3	7.8
Case2	設定A	12.99	4.38	2149	571	18.0	5.8
	設定B	12.14	5.55	1931	672	15.9	6.8
	設定C	15.21	6.64	1404	526	12.4	4.8

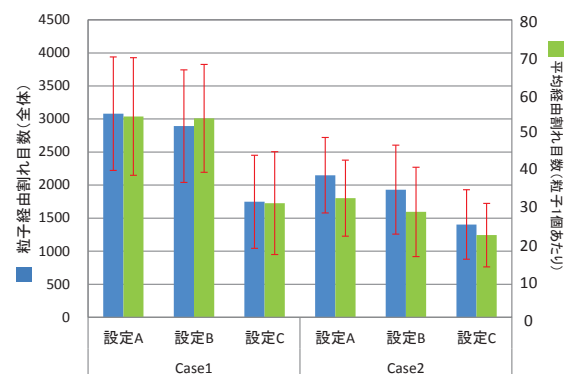


図5 粒子通過割れ目および平均経路割れ目数

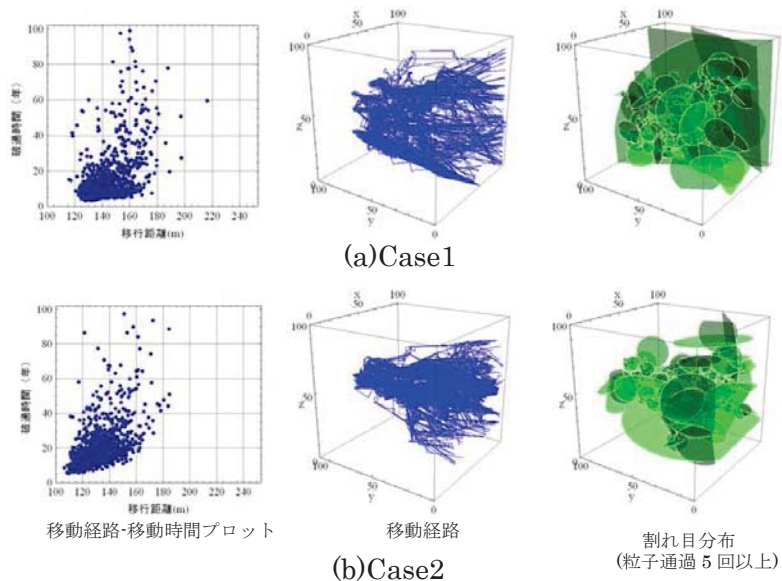


図6 各モデルの移動経路特性

参考文献

- 山下ほか:割れ目ネットワークモデルを用いた物質移動に関する研究(その1), 土木学会第69回年次学術講演会, 2014(投稿中)
- 升元ほか:割れ目ネットワークモデルを用いた物質移動に関する研究(その2), 土木学会第69回年次学術講演会, 2014(投稿中)