

深度 300m と 500m における割れ目の分布特性の違いが地下水流動特性 に与える影響に関する研究 (その 3) —地下水流動解析および粒子追跡線解析結果の比較—

鹿島建設 正会員 ○渥美 博行, 岩野 圭太, 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 三枝 博光, 尾上 博則

1. はじめに

割れ目の分布特性の違いが地下水流動特性に与える影響を検討することを目的として、日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所における深度 300m と 500m の坑道 (300m 坑道, 500m 坑道; 場所は前編 (その 1) ¹⁾ を参照) において観察された異なる 2 つの岩盤領域 (土岐花崗岩の上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯) に分布する割れ目の分布特性を前編 (その 2) ²⁾ で整理した。本稿では前編で整理した割れ目の分布特性と水理試験結果に基づき、300m 坑道と 500m 坑道周辺岩盤における水理地質構造モデル (300m 坑道モデル, 500m 坑道モデル) を構築した。さらに、それを用いた地下水流動解析および粒子追跡線解析を行い、300m 坑道モデルと 500m 坑道モデルにおける地下水流動特性の比較を行った。

2. 水理地質構造モデルの構築

前編で整理した割れ目の分布特性に基づき、割れ目密度 (前編 (その 2) 表 1 参照) に滴水・滲出が認められた割れ目の比率 (18%) を乗じて湧水割れ目を抽出した。図 1 にそれぞれの湧水割れ目密度を示す。500m 坑道モデルでは、300m 坑道モデルと比べて割れ目密度 ($P_{32}(m^2/m^3)$) が 40%程度 ($0.185 / 0.477 m^2/m^3$)、割れ目枚数が 25%程度 ($7639 / 32631$ 枚) となっている。次に、湧水割れ目やその透水量係数の空間分布を割れ目ネットワークモデルに基づく水理地質構造モデルを用いてモデル化した。この際、確率論的アプローチを用いて 20 個のモデルを構築した (20 リアライゼーション)。割れ目の透水量係数分布の対数平均値と標準偏差は、各坑道周辺岩盤を対象に実施された水理試験結果を再現できる値を求めた。坑道周辺岩盤の透水量係数の平均値は、300m 坑道の場合は $6.2E-8m/s$ 、500m 坑道の場合は $1.1E-8m/s$ であった。また、500m 坑道モデルの場合は、割れ目密度が小さく、仮想水理試験区間に割れ目がない等の理由により解析が成立しないケースが存在した。図 2 に示すように、透水量係数は 300m 坑道モデルが、500m 坑道モデルに比べて 1 桁程度大きい結果となった。

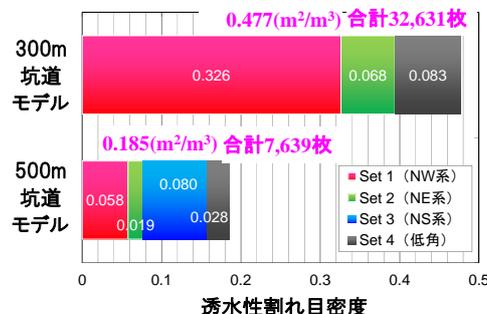


図 1 湧水割れ目密度 P₃₂

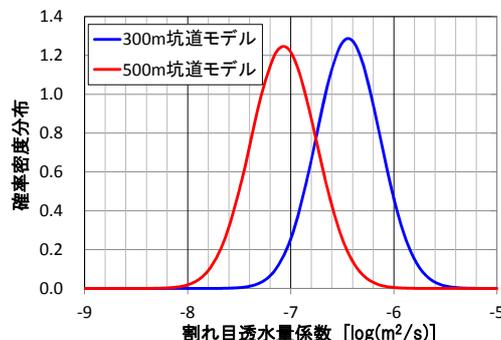


図 2 割れ目の透水量係数分布

3. 地下水流動解析

各深度で作成した水理地質構造モデルに対し、図 3 に示す三方向の地下水流動解析を実施した。解析で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。図 4 に 300m 坑道モデルと 500m 坑道モデルにおける三方向の等価透水量係数を示す。図中、500m 坑道モデルについて棒グラフの上を示した数字は、全 20 リアライゼーションのうち地下水流動解析が成立したケース数を示す。いずれの方向も解析成立数は半分以下であった。解析が成立したケースにおける等価透水量係数を比較すると、

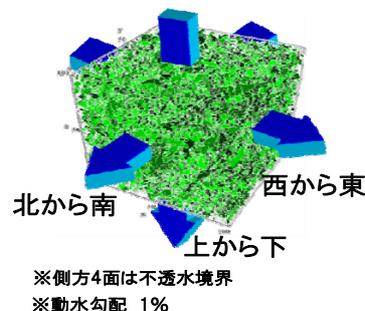


図 3 地下水流動解析の条件

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 TEL 042-489-6593

500m 坑道モデルは、300m 坑道モデルと比べ2桁程度小さくなっている。これは 300m 坑道モデルの場合は、割れ目が複雑に連結し、水圧の伝播経路が複数形成されている一方で、500m 坑道モデルの場合は、割れ目の連結性が乏しくその経路が限定的であることと、その経路となる割れ目の透水量係数が小さいことが原因であると考えられる。

4. 粒子追跡線解析

粒子追跡線解析は、図5に示すように上流面中心から1000個の粒子を流量比配分(濃度条件)で投入し、下流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6に300m坑道モデルと500m坑道モデルにおけるブレイクスルーカーブを示す。500m坑道モデルの場合は、解析が成立したのは半数以下であり、粒子の移行経路の連結性が乏しいことが分かる。また300m坑道モデルでは、破過曲線の形状が滑らかでばらつきが小さいのに対し、500m坑道モデルでは通過する割れ目の透水性に依存し、破過曲線が階段状になったり、粒子到達時間に1桁以上の差が生じたりする等のばらつきが認められた。

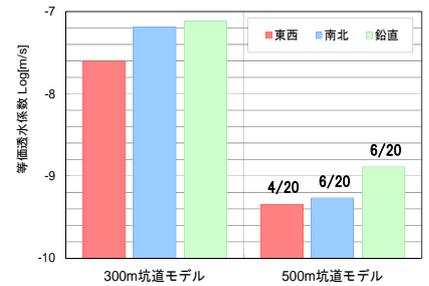


図4 等価透水系数の結果

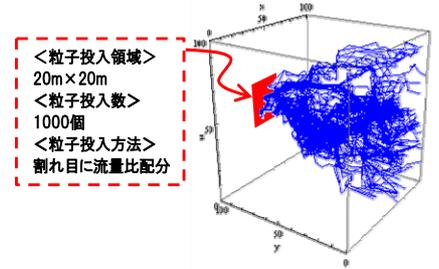


図5 粒子追跡線解析

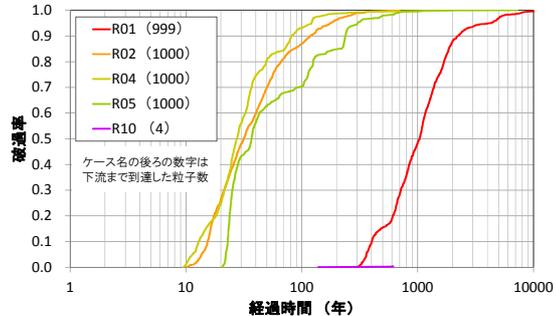
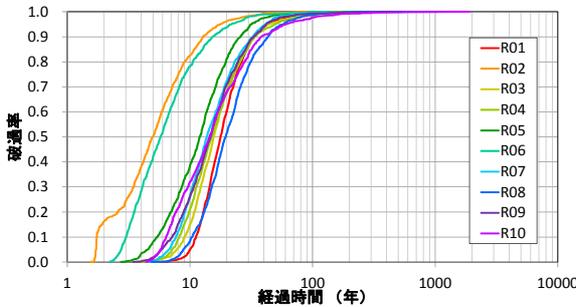


図6 300m坑道モデル(左)と500m坑道モデル(右)のブレイクスルーカーブ

5. 300m坑道モデルと500m坑道モデルの粒子の移行経路および通過割れ目の比較

図7に300m坑道モデルと500m坑道モデルの粒子移行経路と粒子通過割れ目について代表的なケース結果を示す。300m坑道モデルの場合、粒子通過割れ目数は割れ目全体の9.4%であるのに対し、500m坑道モデルではわずか0.4%であり、さらに1つの粒子が通過した平均割れ目数が500m坑道モデルでは15.3枚のみ(300m坑道では103.5枚)であり、両モデルで粒子の移行経路の連結性が異なっていることが分かる。

6. まとめ

割れ目の分布特性が地下水流動特性に与える影響を検討するために、異なる特性を有する岩盤領域で取得したデータを用いて水理地質構造モデルを構築し、それに基づく地下水流動解析および粒子追跡線解析を実施した。その結果、割れ目の分布特性の違いが地下水流動特性(例えば、地下水の移行時間や移行経路)に与える影響を示すことができた。今後は、割れ目の水理学的な連結性に係るデータを直接取得するための調査手法を開発する必要があると考える。

参考文献

- 1) 尾上ほか: 深度300mと500mにおける割れ目の分布特性の違いが地下水流動特性に与える影響に関する研究(その1), 土木学会第70回年次学術講演会, 2015. (投稿中)
- 2) 細谷ほか: 深度300mと500mにおける割れ目の分布特性の違いが地下水流動特性に与える影響に関する研究(その2), 土木学会第70回年次学術講演会, 2015. (投稿中)

	300m坑道モデル	500m坑道モデル
粒子の移行経路(Y方向)		
粒子通過が5回以上の割れ目		
粒子が1つでも通過した割れ目総数	平均3079.7枚 (割れ目全体の9.4%)	平均30.4枚 (割れ目全体の0.4%)
1つの粒子が通過した平均割れ目数	平均103.5枚	平均15.3枚

図7 粒子移行経路と粒子通過割れ目の比較