

高レベル放射性廃棄物の地層処分における 地下施設からの湧水量評価のためのマルチスケールモデル化・解析技術の開発 －（その3）処分坑道の掘削過程における湧水量評価への適用－

原子力発電環境整備機構 正会員 ○三枝 博光 鈴木 寛 野尻 慶介
株式会社 大林組 正会員 田中 達也 橋本 秀爾 鏝 顕正

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、廃棄体を定置するために数百 km におよぶ処分坑道の建設を予定している¹⁾。この処分坑道は連絡坑道に接続し、十数本の坑道が十数 m の離間距離で設置されるといった特徴を有している。割れ目を主な水みちとしている深成岩類中にこのような処分坑道を建設する場合、割れ目から多量の湧水が発生し、廃棄体定置後の埋め戻し材の流出などの悪影響を引き起こす恐れがあることから、各割れ目からの湧水量を推定する必要がある。さらに、この湧水量の推定結果を踏まえたグラウチングや処分坑道の掘削手順の工夫といった湧水抑制対策効果を事前評価することも併せて重要となる。

以上を踏まえ、本検討では、処分坑道に遭遇する割れ目からの局所的湧水量を推定するとともに、グラウチングによる湧水量低減効果、および処分坑道の掘削順序を変更することによる処分坑道からの湧水量に与える影響を検討するためのモデル化・解析技術を構築することを目的として、割れ目ネットワーク（以下、DFN という）モデルを用いた地下水流動解析を実施した。

2. 水理地質構造モデルの構築

本検討では、処分地選定調査における概要調査および精密調査の地上からの調査段階を想定し、確率的な手法により DFN モデルを構築した。DFN モデルに基づく地質構造モデルおよび水理地質構造モデルの構築に用いる入力パラメータは、包括的技術報告書¹⁾において整理した深成岩類のパネルスケールにおけるモデル構築に用いたパラメータと同様とした（表 1）。

3. 地下水流動解析

(1) 解析条件

処分坑道は、包括的技術報告書¹⁾に示された 2 種類のレイアウトのうちデッドエンド型を考慮した²⁾。また、掘削・廃棄体の定置・埋め戻しを段階的に実施するために分割した複数の区画（以下、処分区画という）から構成されたものを想定し、本検討では、一つの処分区画および連絡坑道を解析上考慮することとした。連絡坑道や処分坑道の形状や長さに関する設定値を表 2 に示す。

(2) 解析領域および境界条件

処分坑道および連絡坑道を含み、坑道掘削による地下水位低下の影響範囲を考慮した処分坑道延長方向 1,020 m、連絡坑道延長方向 828 m、鉛直方向 1,000 m の領域を解析領域として設定した（図 1）。

表 1 DFN モデルに基づく地質構造モデルおよび水理地質構造モデルの構築に用いる入力パラメータ¹⁾

セット	方位分布		長さ分布 ¹⁾	密度分布	透水量係数分布 ²⁾
	方位角/傾斜(度)	フィッシャー係数	最小割れ目長さ 最大割れ目長さ(m) べき指数(-)	三次元割れ目密度 (m ² /m ³)	対数平均値 (m ² /s) 対数標準偏差
1	171/85	7.77	1.0,1000,4.0	1.9	1 × 10 ⁻⁹ 2.0
2	80/87	7.50		1.4	
3	203/1	8.44		0.5	

*1 モデル最小割れ目長さ: 2.5 m

*2 割れ目の透水量係数の最大値 1 × 10⁻³ m²/s, 最小値 1 × 10⁻¹⁰ m²/s

表 2 連絡坑道や処分坑道の形状や長さに関する設定値

項目	設定値	備考
連絡坑道長さ	268 m	処分坑道の中心間距離 (12 m) × 坑道数 (20 本) + 両側延長部 (14 m × 2)
連絡坑道直径	8 m	
処分坑道間距離	12 m	中心間の距離
処分坑道長さ	220 m	廃棄体ピッチ (4 m) × 廃棄体数 (50 体) + 取付部 (20 m)
処分坑道直径	2.5 m	廃棄体定置部と取付部の形状は同じと仮定

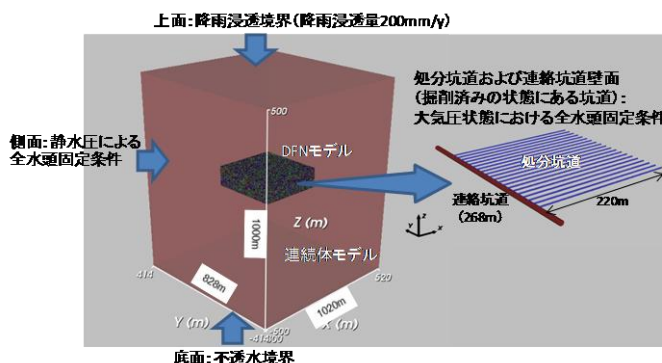


図 1 解析領域および境界条件

キーワード 割れ目ネットワークモデル, 処分坑道, 局所的湧水量, 掘削手順, グ라우チング

連絡先 〒108-0014 東京都港区芝 4 丁目 1 番 23 号三田 NN ビル 2 階 原子力発電環境整備機構 TEL 03-6371-4004

このうち、処分坑道および連絡坑道周辺は DFN モデルを用いてモデル化し、その周辺は連続体モデルを用いてモデル化することによる計算負荷の低減を図った。また、境界条件としては図 1 のように設定した。

(3) 地下水流動解析ケース

統計的に有意な数を確認しつつ 100 リアライゼーションの試行により DFN モデルを構築し、各割れ目からの湧水量を算定した。また、このうち坑道と高透水割れ目との空間的位置関係の違いを考慮した 3 つのモデルを選定し、処分坑道の掘削手順を変えることによる処分坑道および連絡坑道の湧水量の違いについて比較・検討した。図 2 に構築した DFN モデルの一例(坑道に遭遇する割れ目のみ表示)を、図 3 に示す掘削手順の違い(パターン A, B, C)による処分坑道および連絡坑道への総湧水量の解析結果の一例を示す。さらに、高透水割れ目の透水性をグラウチングにより低下させた状態を模擬した解析を実施し、湧水量の低減効果を評価した。

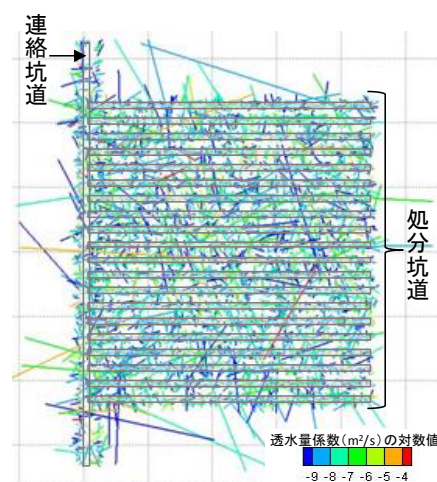


図 2 DFN モデル構築結果の一例

4. 地下水流動解析結果と考察

湧水量の低減効果は、坑道と高透水割れ目との空間的位置関係によって異なるものの、パターン B, C, A の順で湧水量の低減効果を期待できるといった傾向が認められた(図 4)。これは、隣接した複数の坑道をまとめて掘削することにより、坑道周辺の水頭低下が生じ、この効果により湧水が抑制されるためである。

また、グラウチングを模擬した検討の結果、パターン B および C では顕著な効果が認められなかった。一方、掘削手順 A においては高透水割れ目からの湧水がグラウチングによって大きく低下している結果となった。

以上のように、掘削手順やグラウチングといった湧水抑制対策の効果は、坑道周辺の水頭低下によるものと、高透水割れ目の透水性の低下によるものがあり、これらの効果の大小は坑道と高透水割れ目との空間的位置関係によって異なる傾向が認められた。

5. まとめ

本検討では、湧水量の推定および湧水抑制対策効果の事前予測を行うためのモデル化・解析技術の構築を目的として、DFN モデルを適用した地下水流動解析を実施した。その結果、高透水割れ目との遭遇による局所的な湧水の発生箇所の事前予測や、サイトの特性に応じた湧水抑制対策を選択するための事前検討において、適用した解析手法が有効であると考えられる。また、局所的な湧水箇所の特定およびその結果に基づく、湧水抑制対策の最適化の観点から、処分坑道掘削時のパイロットボーリングの実施と、その結果に基づく確率的な手法による DFN モデルの更新を繰り返し実施することが有効であると考えられる。

参考文献

- NUMO (2018)：包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－レビュー版，NUMO-TR-18-03.
- 鈴木 覚ほか (2019)：高レベル放射性廃棄物の地層処分における地下施設からの湧水量評価のためのマルチスケールモデル化・解析技術の開発－(その 1) 全体概要－，土木学会第 74 回年次学術講演会概要。

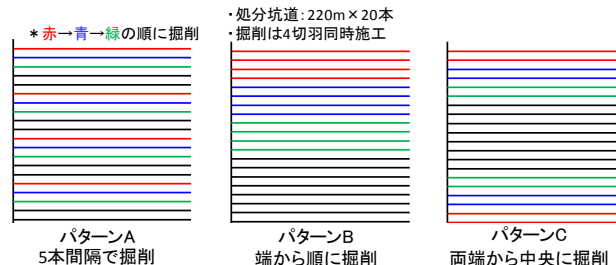


図 3 処分坑道の掘削手順

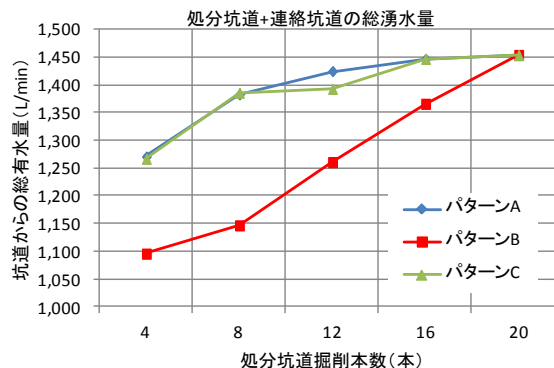


図 4 掘削手順の違いによる処分坑道および連絡坑道からの総湧水量の解析結果の一例