

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2）水理地質構造のマルチスケールモデル化と数値解析技術の整備—

株式会社大林組 正会員○鑑 顕正，田中達也，森田 豊，橋本秀爾
原子力発電環境整備機構 正会員 鈴木 覚，三枝博光，野尻慶介

1. はじめに

地下施設の設置位置を選定するとともに、施設の建設に伴う湧水量を適切に評価するためには、地下施設設置深度を通過する地下水の涵養域から流出域を包含する広域スケールモデル、および地下施設の建設・操業の段階的な展開を詳細な解像度でモデル化するための処分場スケールモデルといった解像度の異なる複数の水理地質構造モデルを構築する必要がある。加えて、これらの水理地質構造モデルを用いた非定常状態における地下水流動解析においては、モデル間の水理学的連続性を確保する必要がある。このようなことを考慮した数値解析技術としてTMR(Telescopic Mesh Refinement)アプローチ¹⁾の適用を試みた。また、関連講演²⁾で報告した湧水量抑制対策の効果の評価に適用するために、約50年に及ぶ地下施設の建設・操業段階における地下施設全体からの湧水量の継時変化を建設・操業計画を反映して評価するための現実的かつ合理的な湧水量解析技術としてシンプルドレーン³⁾の適用も試みた。本稿では、これらのモデル構築の方法論や解析手法について記す。

2. 水理地質構造のマルチスケールモデルの構築

建設・操業期間中の湧水量評価を実施する水理地質構造モデルは、深成岩類（花崗岩）を対象母岩として構築した。その際、水理特性はNUMOが公表した包括的技術報告書⁴⁾で設定した物性値を参照し、地形および表層地質の概念も考慮した仮想的な地質環境の数値モデルとした（図-1）。

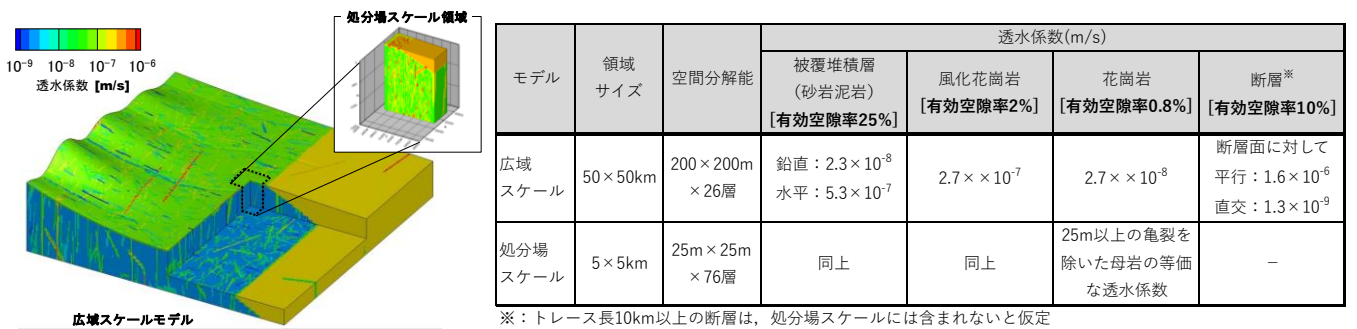


図-1 構築した水理地質構造モデルの一例と水理特性の設定値

広域スケールのモデルは、陸域部では地形に影響される地下水流動系も想定可能なものとした。地形モデル構築の際は、国土地理院「日本の主な山岳標高一覧」⁵⁾から求めた山地の平均標高を、モデル内の山地の最大標高として設定した。また地表部の傾斜は、若松ほか⁶⁾に基づき、山地部の5.7度、台地・丘陵部の1～4度、沿岸部～大陸棚の0.5度を設定した。なお、これらの傾斜角は最大標高の山地から海域に向かう鉛直断面上に設定した傾斜である。その他の山地部はこの断面と整合するように傾斜角を調整することで再現した。

広域スケールにおける断層分布や流速分布に基づき、広域スケールモデルのほぼ中央、現汀線から陸域側の位置を、地下施設を設置する候補領域となる処分場スケールモデルとして選定した。なお、これらのスケールの水理地質構造モデルは、割れ目ネットワークモデルを基礎とする等価不均質媒体を用いて構築した。

また、連絡坑道（直径8m、長さ268m）と20本の処分坑道（直径2.5m、長さ220m）から構成される領域を処分区画スケールとして定義し、割れ目ネットワークモデルを用いて水理地質構造モデルを構築した（図-2）。これに係るパラメータや本モデルを用いた解析の条件、適用事例については、関連講演⁷⁾で詳述する。

キーワード 湧水量，数値解析，地質環境モデル，地層処分，地下施設，建設・操業段階

連絡先：〒108-8502 東京都港区港南2丁目15番2号 株式会社大林組 原子力本部 TEL03-5769-1309

3. 建設・操業段階における地下施設全体からの湧水量の評価技術の整備

地下施設の建設により、大気圧開放された坑道内への湧水に伴い周辺の地下水位が低下する。水位低下は処分場スケールよりも広範囲に及ぶと推定されるため、広域スケールを考慮した非定常地下水流動解析を実施する必要があることから、今回は、TMRアプローチを適用した。本手法は、粗い空間解像度のモデル内に、より細かい空間解像度のモデルを入れ子状に配置し、各モデルの数値解析結果(境界値)を互いのモデルの境界条件として与えることで水理学的な連続性を確保するものである¹⁾。また、それぞれの数値解析を並行して実行することで、各モデルにかかる計算負荷を平均化する狙いがある。

総延長が数100 kmに及ぶ地下施設のレイアウトをモデル化する場合、建設・操業の工程で

逐次変化していく施設の状況を内部境界条件として考慮することは、モデル構築および数値解析に対する負荷が大きい。ゆえに今回は、そのような負荷を低減するため、シンプルドレーンを採用した。シンプルドレーンは、まず、坑道の線形に近い解析メッシュモデルの節点を坑道に該当する節点として選択し、その節点での坑道とその周辺の水頭差から湧水量を求め、その湧水量を、対象とする各節点からの排出分として設定する境界条件である。各状態の地下施設のモデル化は、坑道の線形に近い要素のエッジを仮想坑道線とすることで実現させた(図-3)。なお、処分坑道の離間距離は12mのため、今回の処分坑道スケールモデル(25mメッシュ)では、処分坑道2本分を一つの節点で代表させた。本条件を用いた地下施設内の湧水抑制対策の評価事例については、関連講演⁸⁾で詳述する。

4. おわりに

TMRアプローチの適用により、建設・操業期間中の非定常な水圧変化を考慮した湧水量評価を可能とすると共に、シンプルドレーンの適用で、地下施設レイアウト設計や建設・操業工程の多様な検討結果をモデルに実用的に反映して、湧水量を評価することが可能となった。また、これらの方法論を活用して、経済性や人工バリアの性能への影響を鑑みうえて、建設・操業段階に実施すべき湧水管理や湧水抑制対策の検討が実施可能となった。本報告で示した水理地質構造モデルと数値解析手法の適用を試みた事例を関連講演^{7), 8)}で報告する。

参考文献

- 1) Aquanty, Telescopic Mesh Refinement and the Coupling of Multi-Scale Hydrologic Models, Technical note, Aquanty Inc., Canada, 2017.
- 2) 鈴木 寛ほか, 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, 2019.
- 3) Aquanty, A Tunnel Boundary Condition in HGS to Improve Numerical Precision in Simulating Groundwater Flow into Underground Openings, TECHNICAL NOTE Aquanty Inc., Canada, 2018.
- 4) 原子力発電環境整備機構, 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-18-02, 2018.
- 5) 国土地理院ホームページ, <http://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MOUNTAIN/mountain.html>, (2019年3月29日アクセス)
- 6) 若松加寿江ほか『日本の地形・地盤デジタルマップ』, 東京大学出版会, 2005.
- 7) 三枝博光ほか, 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—, 土木学会第74回年次学術講演会概要, 2019.
- 8) 野尻慶介ほか, 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4) 地下施設の建設・操業のライフサイクルにおける湧水量評価への適用—, 土木学会第74回年次学術講演会概要, 2019.

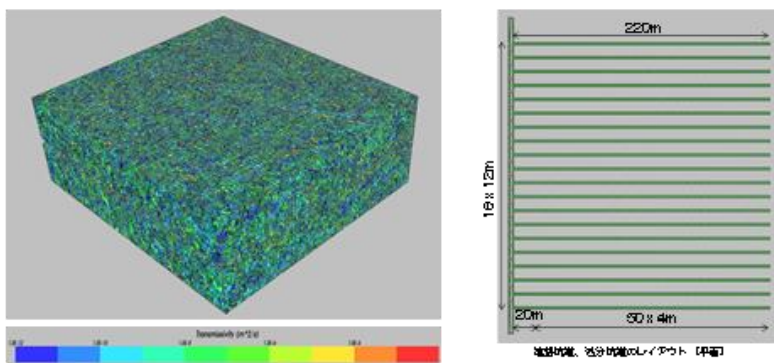


図-2 処分区画スケールの割れ目ネットワークモデル(左)と数値モデル化した処分区画(右)

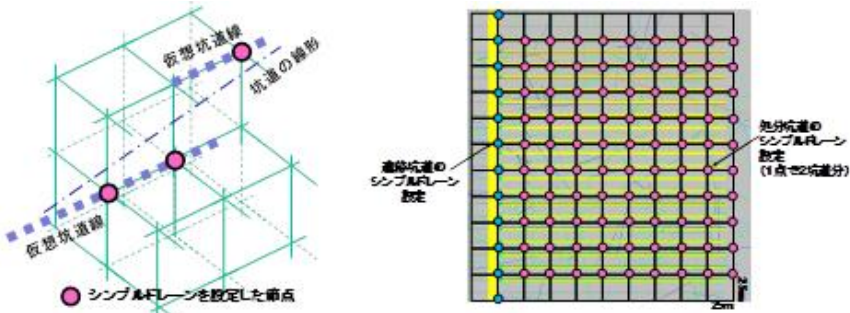


図-3 シンプルドレーンの設定概念(左)と坑道のモデル化概念(右)