地層処分の地下施設における湧水量評価技術の開発
—（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○森岩寛稀，田中達也，奥木さくら，森田　豊
原子力発電環境整備機構　鈴木　覚，三枝博光

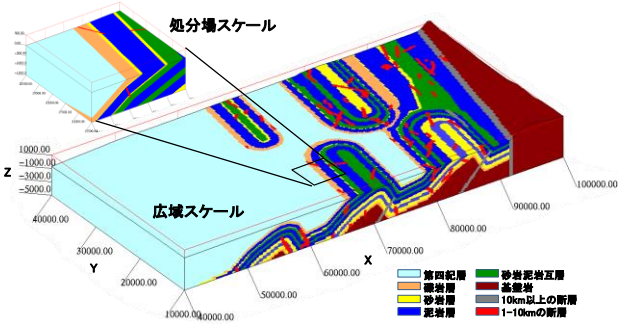
１．はじめに

地下施設の設置位置の選定や，施設の建設に伴う湧水量の適切な評価のためには，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，および地下施設への湧水によって生じる水圧低下範囲を考慮して適切な境界条件を設定するための広域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．これらのモデルを用いた非定常状態における地下水流動解析では，モデル間の水理学的連続性を確保するための数値解析技術として，昨年度のシリーズ報告 [1]に続き，本シリーズにおいてもTMR(Telescopic Mesh Refinement)アプローチ [2]を適用した．また，地下施設全体からの湧水量の経時変化を建設・操業計画を反映して評価するために，湧水量解析技術としてシンプルドレーン法 [3]を適用した．

本報告では，昨年度報告した深成岩類を検討対象母岩とした水理地質構造モデル [1]に加えて構築した，新第三紀堆積岩類における水理地質構造モデルを紹介するとともに，上記の解析手法についても改めて記す．

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のうち，深成岩類のモデルは，昨年度報告した既報 [1]のモデルを用いた．一方で，新第三紀堆積岩類のモデル（図-1）は，広域的な圧縮応力による褶曲構造の発達と衝上断層の形成，および侵食作用を伴う地形および地質構造の変遷を想定して今回新たに構築した．新第三紀堆積岩類のモデル構築にあたっては，水理特性は NUMO が公表した包括的技術報告書 [4]の付属書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．



水理地質区分		透水係数 [m/s]	比貯留係数 [l/m]	有効間隙率 [%]
第四紀		1.0×10^{-5}	7.9×10-5	29
新第三紀堆積岩類	礫岩	6.5×10^{-8}	7.9×10-5	18
	砂岩	5.3×10^{-7}	7.9×10-5	22
	泥岩	2.3×10^{-8}	7.9×10-5	29
	砂岩泥岩互層	水平：5.3×10^{-7} 鉛直：2.3×10^{-8}	7.9×10-5	25
先新第三紀堆積岩	基盤岩	2.0×10^{-9}	1.0×10^{-6}	3.5
断層※		5.4×10^{-7}	1.0×10^{-5}	50

※：トレース長10km以上の断層は，処分場スケールには含まれないと仮定

図-1 新第三紀堆積岩類の地質構造モデルの一例と水理特性の設定値

新第三紀堆積岩類の広域スケールモデルは，水平方向が 60 km×30 km，底面標高 -5 km，水平方向の空間分解能は 200 m，鉛直方向の分解能は 48 層に分割し，地表付近の分割幅を細かく設定した．また，地形・地質構造の変遷を考慮する上で重要なトレース長 10 km 以上の断層をモデル化するとともに，水理学的不均質性のモデル化の観点で重要なトレース長 1～10 km の断層については，全国レベルで収集された地質環境特性データに基づく統計量（断層の方位・密度・長さ分布）を用いて確率論的に発生させることによってモデル化した．さらに，それぞれの断層と離散化要素との位置関係を対比し，断層の位置が該当する各要素に断層の物性値を設定した．

処分場スケールモデルは，水平方向が 5 km×5 km，底面標高 -1.5 km，水平方向の空間分解能は 25 m，鉛直方向の分解能は 76 層に分割し，地表付近の分割幅を細かく設定した．水理地質区分における新第三紀堆積岩類の「泥岩」の一部に水理的不均質性を設定するために，割れ目ネットワークに基づく不均質連続体モデルを適用した．不均質性のマッピングは，図-2 に示すように，1 km×1 km×1 km（25 m グリッド）の 3 つのリアライゼーションの不均質連続体モデルをランダムに組み合わせることで行った．なお，断層は広域スケールモデルと同様に設定した．

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

© Japan Society of Civil Engineers

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水圧が低下する．水圧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，TMR アプローチ [2]を適用した．本手法は，広域スケール内で着目する処分場スケールモデルを別途モデル化し，モデルごとに独立した地下水流動解析を行い，各モデルの計算結果（境界値）を互いのモデルの境界条件として与え，各モデルの境界値の差分が許容値内に収まるまで繰り返し計算を行い，モデル間の水理的連続性を保つというものである．並列計算が可能な計算環境が必要であるが，各数値解析を並列に実行でき，各モデルにかかる計算負荷を分散できる．また，建設・操業・閉鎖の工程で逐次変化していく長大な地下施設の建設や埋め戻し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や数値解析に多大な負荷を発生させるが，この負荷を低減するため，シンプルドレーン法 [3]を適用した．本手法は，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 12 m のため，今回の処分坑道スケールモデル（25 m 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．

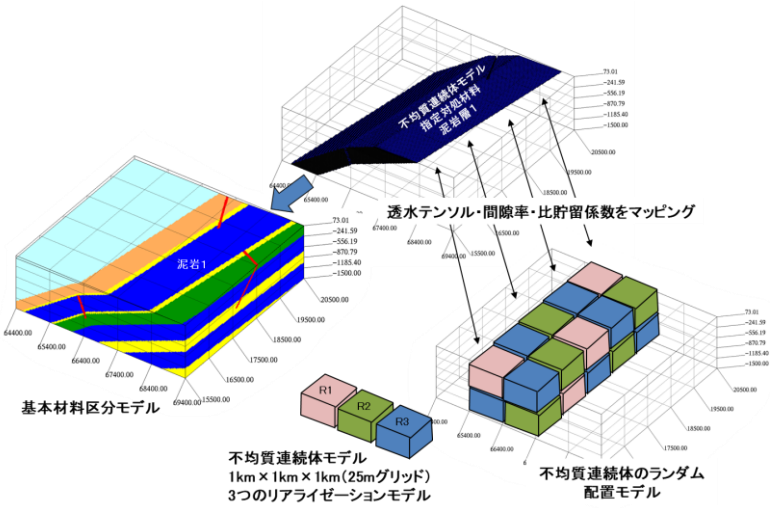


図-2 新第三紀堆積岩類 処分場スケールモデルの材料区分方法の例

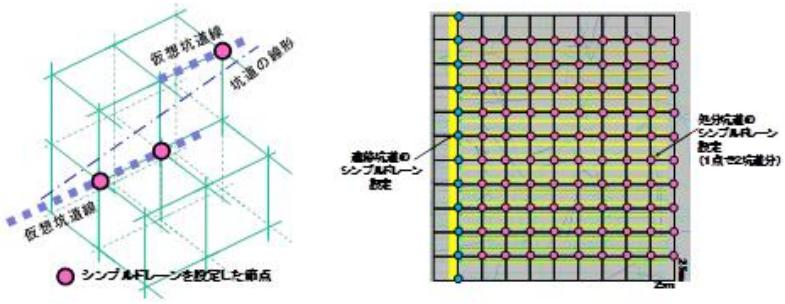


図-3 シンプルドレーンの設定概念（左）と坑道のモデル化概念（右）

4．おわりに

深成岩類のみならず，地質環境特性の大きく異なる新第三紀堆積岩を検討対象母岩とする地質環境においても，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ともに，シンプルドレーンの適用により，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たうえで，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については本シリーズ講演 [5]で報告する．

参考文献

1) 鐙ほか，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-, 土木学会第 74 回年次学術講演会概要, 2019.
2) Aquanty，Telescopic Mesh Refinement and the Coupling of Multi-Scale Hydrologic Models, Technical note, Aquanty Inc., Canada，2017.
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) 勝又ほか，地層処分の地下施設における湧水量評価技術の開発 - (その３) 複数の地質環境モデルを対象とした湧水量評価事例-，土木学会第 75 回年次学術講演会概要，2020.

© Japan Society of Civil Engineers