

# 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 —

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, 後藤考裕, 北川義人

## 1. はじめに

地層処分の地下施設の建設・操業においては、坑内湧水の排水にかかるコスト抑制の観点から、坑内湧水の抑制対策が必要である。湧水抑制対策は、処分場の建設時に先行ボーリングなどに基づいて実施する湧水の発生場所や発生量に応じて実施するものであるが、処分場の設計段階から、地質構造に応じて予め湧水量を推定しておくことで、より効果的に湧水抑制対策の検討が可能と考えられる。このため、段階的にサイト調査が進められることや、多数の坑道が地下深部の広範囲にわたり掘削されるといった地層処分の地下施設の特徴を考慮して、地下水流動解析に基づく湧水量推定のために評価方法の整備に取り組んだ。

## 2. 適用する湧水量評価方法の構築において考慮すべき事項

処分場の大きさは最大 10 km<sup>2</sup>であるが、湧水量の評価にはより広い範囲の地下深部の地質構造を知る必要がある。地層処分のサイト選定は、文献調査、概要調査（地表からの調査）、精密調査（地下調査施設からの調査）の順に段階的に進められるが、調査の初期の過程においては、調査手法が文献情報や物理探査や地表からのボーリング調査に限られるため、地下深部の情報の全てを把握することは困難である。このため、地質調査により得られる限られた情報に基づいて、地下深部の水理学的な地質構造を三次元でモデル化し、このモデルに基づいて湧水量を推定するという手法の開発に取り組んでいる<sup>1)</sup>。この報告書では、地層処分に適した地質環境として、わが国に広く分布する地層から深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類に大きく分類し、それらの3次元水理地質構造モデルの構築が可能であることを試行的に示した。これらの地質の特徴や、処分場の地下施設の特徴を踏まえて、以下に適用する湧水量評価方法の構築において考慮する事項を取りまとめる。

上述の3種類の地質のうち深成岩類は、地下水の水みちとなる断層や割れ目を伴っており、これらが、湧水箇所や湧水量に影響を与えていることが想定できる。一方、既存研究で用いられている理論的な湧水量の評価式<sup>2), 3)</sup>は、均質な多孔質体を想定したものであり、深成岩類のように断層や割れ目が湧水の要因となる場合には、割れ目からの局所的な湧水量の推定には適さないことも考えられる。このため、断層や割れ目を伴う不均一性の高い岩盤に適用可能な評価方法が必要である。

評価方法の開発においては、評価対象となる領域の大きさや、湧水に伴う影響が及ぶ範囲も考慮する必要である。湧水に伴い坑道の周辺では、0.01~1 m のオーダーで圧力水頭が変化し、それが時間とともに広域にまで広がるときには、数 km の範囲におよぶと考えられる。坑内湧水量の評価を行う際には、湧水に伴い発生する現象を表すのに適した空間スケールで評価する必要があるが、圧力水頭の変化は、異なる空間スケールをまたがって、連続的であると考えられる。このため、異なる空間スケールで発生する現象を統合的に取り扱うため、水理地質構造モデルのマルチスケール化とスケールに適した解析モデルおよびコードを選定する必要がある。開発においては、処分場の規模および建設、操業手順も考慮する必要がある。地下施設の坑道の総延長は、150~500 km にも及ぶ長大なものであり<sup>1)</sup>、その建設は50年にわたり段階的に進められ、廃棄物の埋設が完了した区画から埋め戻されていく<sup>1)</sup>。このため、処分場が段階的に拡張され、また埋め戻されていく過程を通じて湧水量が増減する過程を表現できるような評価方法が必要である。

本技術開発では、上述の考慮事項を念頭に評価技術の開発に取り組んだ。関連講演<sup>4)</sup>では、断層や割れ目などの不均一性を有する岩盤に適用可能で、かつ異なる空間スケールを統合的に取り扱うことが可能で、さらに処分場の建設・操業の過程を再現して地下水流動解析が可能な数値解析方法を整備した結果を報告する。

キーワード 地層処分, 坑内湧水量, 地下水流動解析, 断層, 割れ目

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

### 3. 評価対象とした処分場のレイアウトと湧水量低減対策

開発した評価方法が湧水量低減対策の評価に適用可能であることを確認するために、処分場のレイアウトを設計し、複数の湧水量抑制対策を設定した。

図1に地下施設レイアウト図を示す。地下施設は、アクセス斜坑（1本）、アクセス立坑（5本）、連絡坑道（4本）、処分坑道（800本）で構成される。処分坑道は、建設、操業の単位となる複数の処分区画で構成する。本技術開発では、1年間に取り扱うガラス固化体数量（1,000本）を埋設する領域として、処分坑道20本を処分区画に設定した。連絡坑道は4本あるうちの内側の2本と外側の2本をそれぞれ一組とする。この施設の操業方法は、関連講演<sup>5)</sup>にも示すが、まず前期工程において、内側の2本の連絡坑道を使って建設・操業を進め、完了後、後期工程において、外側の2本の連絡坑道を掘削して施設を拡張する。前期工程においては、連絡坑道2本を掘削後、どちらか一方の連絡坑道を処分区画の建設用、残りを掘削が終わった処分区画への廃棄体埋設のための操業用とする。また、

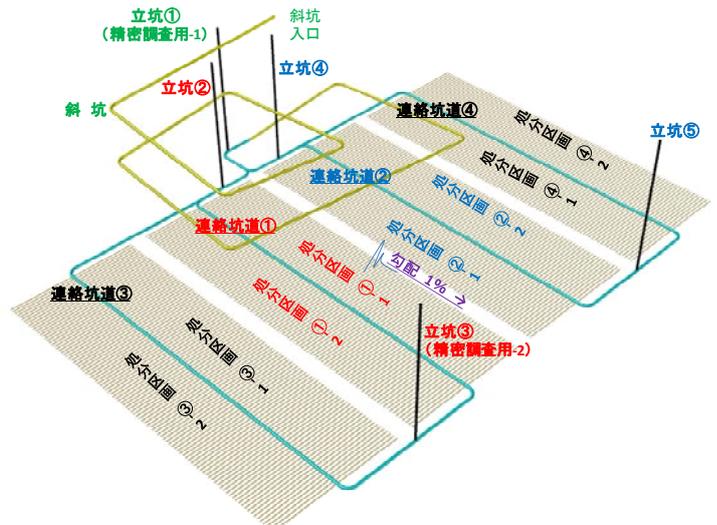


図1 検討対象とした地下施設レイアウト（横置き・PEM方式、デッドエンド型処分坑道を想定）

全ての処分区画を一度に掘削するのではなく、一方の連絡坑道に接続している向かい合う処分区画2つを2年掛けて掘削する。終了後、もう一方の連絡坑道に接続している処分区画2つを掘削する。この間、上述の建設が終わった2つの処分区画にガラス固化体を封入したオーバーパックを埋設し、処分坑道の隙間を埋め戻す。以上のプロセスを建設または操業する処分区画、連絡坑道を交互に交換しながら進めていく方法を適用事例の対象とした。

この施設に対して、湧水量抑制対策として、処分坑道を接続による湧水量の低減、段階的な施設の拡張による湧水量の低減、断層や割れ目に対するグラウトによる湧水量の低減を考案した。これらの対策の効果を開発した評価方法を用いて評価し、その中から湧水量の低減に効果があった対策を組み合わせる処分場を建設・操業する過程を再現して、湧水量の時間変化の評価した。これらの適用事例については関連講演<sup>5,6)</sup>で報告する。

### 4. おわりに

本シリーズ講演<sup>4,5,6)</sup>では、地層処分の地下施設における坑内湧水量の推定精度の向上のため、段階的な地質環境の調査、水理地質構造のマルチスケールモデル化を行い、割れ目を伴う不均一な岩盤の数値モデルを作成し、既存コードを試行的に適用して処分場の地下施設からの湧水量の評価を試みた。今後、既存の国内外の地下研究施設の湧水に関するデータを用いて、湧水量評価方法の改良や検証や確証を含む品質保証方法についても検討する計画である。なお、今回適用したコードはあくまでも一例であり、今後、他のコードの適用性なども確認する必要がある。

### 参考文献

- 1) 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.
- 2) 見掛信一郎ほか，結晶質岩を対象とした坑道掘削における湧水抑制対策の計画策定と施工結果に関する考察，JAEA-Technology 2010-026，2010.
- 3) 山田俊子ほか，有限要素法を用いた浸透流解析における注水・揚水孔の実用的な簡易モデル，土木学会論文集C（地圏工学），第71巻，第4号，pp.407-417，2015.
- 4) 鏡 頭正ほか，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.
- 5) 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.
- 6) 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.