

Oral presentation | V. Nuclear Fuel Cycle and Nuclear Materials : 505-2 Waste Disposal and Its Environmental Aspects

📅 Thu. Sep 12, 2024 2:45 PM - 3:35 PM JST | Thu. Sep 12, 2024 5:45 AM - 6:35 AM UTC 🏠 Room M(Reecture RoomsB 2F B202)

[2M09-11] Numerical Simulation 1

Chair: Taishi Kobayashi (Kyoto Univ.)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[2M09]

A study on the model validation of groundwater flow and mass transport for fractured rock masses

(1) Effects of the modeling uncertainty on the groundwater flow characteristics

*Masayuki Ishibashi¹, Hironori O², Taichi Esaki¹, Yoichi Tagawa¹, Tadashi Namikawa¹, Koji Hane¹, Hiromitsu Saegusa², Kesuke Ishida², Atsushi Sawada³ (1. KAJIMA, 2. NUMO, 3. JAEA)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[2M10]

A study on the model validation of groundwater flow and mass transport for fractured rock masses

(2) A methodology of model validation based on the results of the case study

*Hironori Onoe¹, Hiromitsu Saegusa¹, Keisuke Ishida¹, Atsushi Sawada² (1. NUMO, 2. JAEA)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[2M11]

Sophistication of Technology for Assessment of the Influence of Topographical Changes due to River Denudations on Underground and Surface Environments

*Makoto KAWAMURA¹, Nariaki NISHIYAMA¹, Tetsuya KOMATSU¹, Hua JIA², Yukiko KOIZUMI², Satsuki KABASAWA¹, Koji UMEDA³ (1. JAEA, 2. MMTEC, 3. Hirosaki Univ.)

3:30 PM - 3:35 PM JST | 6:30 AM - 6:35 AM UTC

Time reserved for Chair

亀裂性岩盤を対象とした地下水流動・物質移行モデルの妥当性確認に係る検討

(1) モデル化手法の不確実性が地下水の移行特性値の評価結果に及ぼす影響

A study on the model validation of groundwater flow and mass transport for fractured rock masses

(1) Effects of the modeling uncertainty on the groundwater flow characteristics

*石橋 正祐¹, 尾上 博則², 江崎 太一¹, 田川 陽一¹, 並川 正¹, 羽根 幸司¹,

三枝 博光², 石田 圭輔², 澤田 淳³

¹鹿島建設, ²NUMO, ³JAEA

坑道部からの地下水移行時間を推定することを目的とした地下水流動モデルの構築にあたっては、坑道に遭遇する割れ目位置のデータの有無や活用方法が重要な不確実性因子となることを示した。

キーワード：亀裂性岩盤，不均質性，モデル化手法の不確実性，地下水の移行特性，粒子追跡線解析

1. 緒言

地層処分事業における地質環境のモデル化に係る技術開発課題として、亀裂性岩盤を対象とした地下水流動・物質移行モデルの妥当性を確認するための方法論の整備が挙げられる[1][2]。構築したモデルの妥当性確認を行う上では、そのモデル化手法の不確実性の評価が重要になる。本検討では、その不確実性のうち、原位置で取得されたデータに基づくモデルの調整（以下、コンディショニング）の有無及び割れ目のモデル化手法の違いに着目し、それらが粒子追跡線解析結果に与える影響を検討した。具体的には、瑞浪超深地層研究所で取得されたデータに基づき構築した複数の水理地質構造モデルを用いて粒子追跡線解析を実施し、地下水の移行時間などの地下水の移行特性値について比較した。

2. 実施内容及び実施結果

本検討は、中央に冠水坑道と斜坑を設けた 100m×150m×100m の領域で実施した（図-1）。構築したモデルは、①確率論的に割れ目を発生させた DFN モデル、②DFN モデルを坑道で遭遇した割れ目位置にコンディショニングした修正 DFN モデル、③DFN モデルを 1m 立方のメッシュ毎に等価な多孔質媒体に変換した ECPM モデル、④修正 DFN モデルを③と同様に変換した修正 ECPM モデルである[2][3]。各モデルは、50 リアライゼーションを構築した。粒子追跡線解析では、廃棄体定置間隔に相当する区間長からの地下水の移行特性値を算出するために、冠水坑道部を 5m 程度で 9 区間に区分し、各区間から流量配分法で 10,000 個の粒子を投入した。解析結果の一例として、DFN モデルと修正 DFN モデルにおける区間 1 からの地下水移行時間として、各リアライゼーションの粒子移行時間の 50 パーセンタイルを箱ひげ図で整理したものを示す（図-2）。解析の結果、DFN モデル、修正 DFN モデルともに、リアライゼーション間のばらつきが大きいが、割れ目位置のコンディショニングの有無で地下水移行時間に一桁以上の違いが示された（図-2）。この違いは、坑道に交差する割れ目位置のモデル化手法の不確実性が地下水移行時間に大きな影響を及ぼすことを表している。より確からしい水理地質構造モデルの構築には坑道壁面で観察される割れ目位置のデータの活用が有効であると考えられる。さらに、それらの割れ目の透水性や連続性に係る情報も重要と考えられる。

3. 結論

これらの検討から、モデル化手法の不確実性のうち、坑道で遭遇した割れ目位置のデータによるコンディショニングの有無が地下水移行時間に及ぼす影響が大きく、坑道部からの地下水移行時間を推定するにあたっては、坑道に遭遇する割れ目位置のデータの有無や活用方法が、モデルを構築する際に考慮すべき重要な不確実性因子であると考えられる。

参考文献

[1] 尾上ほか：日本原子力学会 2022 年秋の大会, C000228, 2022., [2] 尾上ほか：日本原子力学会 2023 年秋の大会, 1D09, 2023., [3]田川ほか：日本原子力学会 2023 年秋の大会, 1D12, 2023.

* Masayuki Ishibashi¹, Hironori Onoe², Taichi Esaki¹, Youichi Tagawa¹, Tadashi Namikawa¹, Koji Hane¹, Hiromitsu Saegusa², Keisuke Ishida² and Atsushi Sawada³

¹Kajima Corp., ²NUMO, ³JAEA

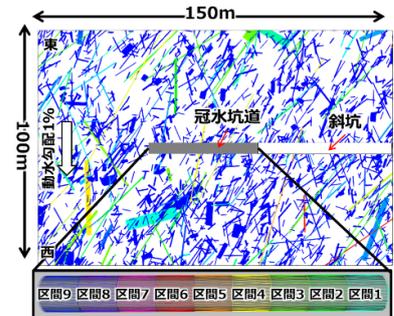


図-1 構築した DFN モデルの一例
(水平断面図：標高-300m 付近、1つのリアライゼーションの割れ目分布（割れ目の色は透水量係数を表示（暖色系：高透水性，寒色系：低透水性））

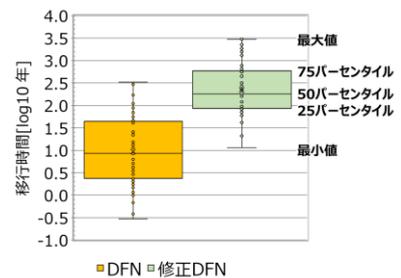


図-2 各モデルの粒子移行時間（区間 1）
(50 リアライゼーションの 50 パーセンタイルの移行時間を箱ひげ図で表示)

亀裂性岩盤を対象とした地下水流動・物質移行モデルの妥当性確認に係る検討

(2) 事例検討結果に基づくモデルの妥当性確認の考え方

A study on the model validation of groundwater flow and mass transport for fractured rock masses

(2) A methodology of model validation based on the results of the case study

*尾上 博則¹, 三枝 博光¹, 石田 圭輔¹, 澤田 淳²

¹NUMO, ²JAEA

地下水の移行時間や移行距離を推定することを目的とした地下水流動モデルの妥当性確認においては、坑道への湧水量が有効な指標のひとつとなり得ることを示した。

キーワード：亀裂性岩盤，モデルの妥当性確認，不確実性，地下水移行時間，湧水量

1. 緒言

原子力発電環境整備機構では、地層処分事業における地質環境のモデル化に係る技術開発として、亀裂性岩盤を対象とした地下水流動・物質移行モデルの妥当性を確認するための方法論の整備に向けた検討を進めている[1], [2]。処分場閉鎖後の、放射性核種の移行が生じてから現在の地質環境の特性が大きく変化しないと考えられるまでの期間を対象とした地下水の移行時間や移行距離などの特性値は、長期安全性を評価する重要なデータとなる。しかし、それらのデータの取得は不可能なため、地下水流動・物質移行モデルを用いた解析により算出するが、それらの値の妥当性を直接的に確認することができない。そのため、原位置で取得できる実測データを活用して、構築したモデルで推定した地下水の移行特性値の妥当性をどのように示すかが課題となっている。

2. 実施内容及び実施結果

本稿では、原位置で測定が可能な湧水量に着目して検討を進めた。既報[2]で報告した、瑞浪超深地層研究所の深度 500 m 坑道周辺岩盤を対象として構築した複数種類の地下水流動モデルのなかから、冠水坑道を複数の区間に分割した区間毎の湧水量の再現性が最も高いモデルを選定し (図-1(a))、湧水量の解析結果と地下水移行時間の解析結果 (前報(1)[3]参照) との関係を整理した。

その結果、ばらつきはあるが、坑道への湧水量が多い区間ほど、その区間からモデル境界面までの地下水移行時間が短い傾向を有するという一定の相関関係が認められた (図-1(b))。湧水量と地下水移行時間で解析に適用する境界条件は異なるが、両者の値は坑道と交差する割れ目ネットワーク構造の透水性の影響を受ける。したがって、区間湧水量を指標とした実測値と解析結果の比較により、坑道と交差する割れ目ネットワーク構造の透水性の確からしさを示すことができる。そのモデルを用いて求められる湧水量と地下水移行時間の相関を示すことで、そのモデルで推定した地下水移行時間の妥当性を示すことにつながると考えられる。エスポ岩盤研究所で取得されたデータを用いた既往検討においても、ボーリング孔内への湧水量の実測値との比較がボーリング孔からの地下水移行時間を推定するためのモデルの妥当性確認に有効である可能性が示唆されている[1]。

その結果、ばらつきはあるが、坑道への湧水量が多い区間ほど、その区間からモデル境界面までの地下水移行時間が短い傾向を有するという一定の相関関係が認められた (図-1(b))。湧水量と地下水移行時間で解析に適用する境界条件は異なるが、両者の値は坑道と交差する割れ目ネットワーク構造の透水性の影響を受ける。したがって、区間湧水量を指標とした実測値と解析結果の比較により、坑道と交差する割れ目ネットワーク構造の透水性の確からしさを示すことができる。そのモデルを用いて求められる湧水量と地下水移行時間の相関を示すことで、そのモデルで推定した地下水移行時間の妥当性を示すことにつながると考えられる。エスポ岩盤研究所で取得されたデータを用いた既往検討においても、ボーリング孔内への湧水量の実測値との比較がボーリング孔からの地下水移行時間を推定するためのモデルの妥当性確認に有効である可能性が示唆されている[1]。

3. 結論

これらの検討から、坑道への湧水量は、処分坑道周辺を対象とした地下水流動モデルの確からしさの確認に有効な実測データで、その地下水流動モデルを用いた解析により得られた、坑道からの地下水移行時間の妥当性の提示には、坑道への湧水量との相関性の確認が有効と考えられる。

今後は、実測値に対するモデルの信頼度の定量的評価と、その信頼度から湧水量と地下水移行時間との相関性と関連付けた地下水移行時間の算出結果の信頼性などを定量的に示すための方法について検討を進める。

参考文献 [1] 尾上ほか：日本原子力学会 2022 年秋の大会, C000228, 2022., [2] 尾上ほか：日本原子力学会 2023 年秋の大会, 1D09, 2023., [3] 石橋ほか：日本原子力学会 2024 年秋の大会, 2024. (投稿中)

*Hironori Onoe¹, Hiromitsu Saegusa¹, Keisuke Ishida¹ and Atsushi Sawada²

¹NUMO, ²JAEA

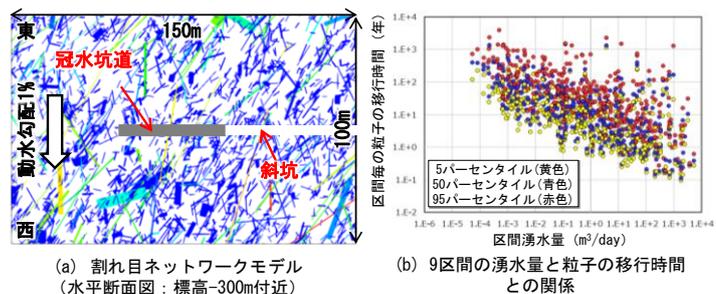


図-1 粒子追跡線解析結果の一例

- (a) 1 リアライゼーションの割れ目分布 (割れ目の色は透水性係数を表示 (暖色系：高透水性, 寒色系：低透水性)。冠水坑道部を約 5m で 9 区間に分割して、それぞれの区間から流量配分法で 10,000 個の粒子を投入。
(b) 50 リアライゼーションの解析結果として、9 区間の湧水量と粒子投入後下流側 (西側) のモデル境界面までの移行時間の 5 パーセントイル (黄色), 50 パーセントイル (青色), 95 パーセントイル (赤色) をプロット。

河川下刻による地形変化が地下環境及び地表環境に与える影響評価技術の高度化

Sophistication of Technology for Assessment of the Influence of Topographical Changes due to River Denudations on Underground and Surface Environments

*川村 淳¹, 西山 成哲¹, 小松 哲也¹, 賈 華², 小泉 由起子², 樺沢 さつき¹, 梅田 浩司³

¹JAEA, ²三菱マテリアルテクノ, ³弘前大学

河川下刻による地表起伏の変化が地下環境及び地表環境に与える影響評価技術の高度化の一環として、実際の河川を対象とした実際の地形と地形変化シミュレーションによる仮想地形を用いた地形解析の比較・検討結果について報告する。

キーワード: 地層処分, 隆起・侵食, 河川下刻, 生活圏評価, 地形変化シミュレーション, 地形解析, 河川横断面, 流出指標

1. 背景・目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全評価では、評価期間が数十万年を超えることから、隆起・侵食等による長期的な地形を含む地表環境の変遷の影響が重要となる。隆起・侵食による核種移行評価への影響のひとつとして、河川下刻などの地形起伏の変化による地下水の流出域・涵養域の位置の変化があり、これらは生活圏評価プロセスに影響を与える可能性がある。地形起伏の変化を検討するために種々の地形変化シミュレーションツールが開発されているが、それらのツールで求められる仮想地形に基づき生活圏評価などを実施する場合には、実地形と仮想地形の起伏など形状を比較し、差異を把握しておく必要がある。そこで、実地形と仮想地形について地形解析を実施し、地形形状などを比較・検討した。

2. 実施内容

地形形状の比較・検討については、地盤の隆起と河川下刻による地形起伏の形状を定量的に評価可能な、①河川下刻の結果である河川横断面形状、②地盤の隆起を示唆する河床及び尾根の縦断面形状、及び③10項目ある地形計測項目（地形特徴量）を統計解析し地表起伏の複雑さや流出域・涵養域を可視化した流出指標[1, 2]に着目した。①及び②については、我が国の11河川について河口から上流に3km毎に片側2km（両岸4km）の横断面と河床と両岸のピーク標高のデータを取得し、③については3河川を選定し[1]の手法に基づき河川本流と支流を定義したうえで計測流域を区分し地形特徴量を計測しデータ化した[3]。一方、仮想地形の作成については「地形・処分場深度変遷解析ツール」[4]を使用し、その地形を用いて①～③のデータを取得した。その結果、実地形と仮想地形の①～③の結果を比較・検討したところ、概ね整合的な結果となった。

3. 今後の展開

今後は比較・検討事例を増やすとともに、ツールの改良や入力パラメータ設定にフィードバックする。また、ツールを用いてタイムステップ毎の地形解析を実施し、地形の時間的変化について検討する。

謝辞: 本報告には経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和5年度及び令和6年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（JPJ007597）（地質環境長期安定性総合評価技術開発）」の成果の一部を使用している。

参考文献: [1] 景山ほか; 水文・水資源学会誌, vol. 23, 2010, pp. 301-311. [2] 竹内ほか; JAEA Research 2011-008, 2011, 77p. [3] 原子力機構・電中研; 令和5年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（地質環境長期安定性総合評価技術開発）報告書, 2024. [4] 山口ほか; 原子力バックエンド研究, vol.27, 2020, pp.72-82.

*Makoto Kawamura¹, Nariaki Nishiyama¹, Tetsuya Komatsu¹, Hua Jia², Yukiko Koizumi², Satsuki Kabasawa¹ and Koji Umeda³

¹JAEA, ²Mitsubishi Materials Techno Corp., ³Hirosaki Univ.