

海水準変動が核種移行評価に及ぼす
影響に関する解析

仕様書

1. 件名

海水準変動が核種移行評価に及ぼす影響に関する解析

2. 目的及び概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）は、経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和8年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分技術に関する技術開発事業（沿岸部地質環境調査・処分システム評価統合化技術開発）」を受託している。本受託事業は、我が国における沿岸海底下の地質環境を対象に概要調査段階に必要な地下環境の調査精度の向上に向けた技術開発、既存技術の有効性の確認を実施するとともに、沿岸海底下特有の地質環境を加味した施設設計と安全評価技術を含めた処分システムの統合化に向けた研究開発を行うことにより、地層処分技術の信頼性及び安全性の更なる向上を図るものである。

そのため、わが国の沿岸海底下に特徴づけられる地質環境の特性やその変遷が処分場の設計や安全評価に与える影響の評価を、多岐にわたる分野間での知識・情報・データの内容や不確実性について相互に理解しながら、処分システムの評価として統合的に実施していくための方法論を整備していく必要がある。

本仕様書は、沿岸部における地下水環境の変遷を考慮した核種移行評価の手法の整備に向けた地下水流動解析と核種移行解析を組み合わせた検討を実施するものである。

3. 作業実施場所

受注者の確保する実施計画書に示された場所

4. 納期

令和9年1月29日（金）

5. 作業内容

5. 1 作業範囲及び項目

- (1) 沿岸部における地下水環境の変遷を考慮した核種移行解析
- (2) 報告書の作成
- (3) 打合せの実施

5. 2 作業内容及び方法等

- (1) 沿岸部における地下水環境の変遷を考慮した地下水流動解析および核種移行解析
沿岸部における地下水環境の変遷を考慮した解析には、産業技術総合研究所ほか（2017, 2018, 2019a, 2019b）が「広域スケールの沿岸部を対象とした地下水環境変化の評価手法の整備」で用いた鉛直二次元の地形モデル（図1）を用いる。このモデルは、山地から海に向かう地下水の主たる流動方向に沿った鉛直断面で、地形勾配に依存した

動水勾配および塩水と淡水の密度差に起因した流れに支配される巨視的な地下水流動を表現することができ、境界条件の変化（海水準変動）や隆起・侵食が地下水環境に与える影響を概略的に評価するための仮想モデルである。水理地質構造モデルは、結晶質岩などの亀裂性媒体の特徴として「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—」（核燃料サイクル開発機構, 1999）におけるレファレンスケース設定で検討した亀裂ネットワークモデルを、それと等価な透水性と有効間隙率を有する多孔質媒体に変換したものとする。そして、岩石マトリクス部における拡散による塩分と核種の移動を考慮した地下水流動解析及び核種移行解析を実施する。

地下水流動解析の境界条件は、陸側は地表面で固定水頭（標高）、海側は海底面で固定水頭（海水面の高さ）、側面と底面は不透水とし、淡水と塩水の密度差を考慮するとともに、海水準は12万年周期（海退：10.8万年、海進：1.2万年）で125 mの範囲で移動するものとする（図2）。さらに、0.3 mm/yの隆起と0.1 mm/yの侵食による地形変化を仮定し、海水準が相対的に0.2 mm/y低下するものとする。地下水流動解析は、24万年前の海水準（現在に比べて+48 m）の標高から下部を塩水で満たした状態から、24万年かけて現在の海水準まで低下させながら地形勾配を駆動力とした淡水の浸透による塩水の洗い出し解析により求めた、現在の海水準を想定した淡水と塩水の分布を初期条件として、現在から約100万年間後までの評価期間を対象とする。

地下水流動解析にはConnectFlow (<https://www.connectflow.com/>) など、塩水と淡水の密度差による流れとマトリクス拡散による塩成分の移行遅延を考慮可能な非定常地下水流動解析コードを用いることとする。

核種移行解析は、産業技術総合研究所ほか（2019a, 2019b）が地下水環境変化の観点で類型化した、下記の4つのパターンから1つ以上を選択し、次項の(a)～(c)に示す複数の手法を対象に合計で6ケース以上を実施する。地下水環境の類型化パターンの選択や、解析ケースの設定については、機構と協議の上、決定する。

- 海水準変動の影響が大きく、解析初期の海退により地下水環境が一様に塩水環境から淡水環境に変化するパターン
- 海水準変動の影響が大きく、海退・海進の影響により、地下水環境が塩水環境と淡水環境とを複数回繰り返し経るパターン
- 海水準変動の影響が小さく、地層の隆起・侵食の影響により、地下水環境が塩水環境から次第に淡水環境に変化するパターン
- 海水準変動の影響や地層の隆起・侵食の影響がともに小さく、一定の塩水環境が保たれるパターン

(a) 一次元の移行経路を固定した場合：現在から約100万年間後までの地下水流動解析の結果に基づき、仮想的に設定した処分場から地表面もしくは海底面に至る地下水

の移行経路を、1,000年ごとの時間を対象に繰り返し抽出する。抽出した移行経路情報を用いて核種移行解析を実施する。

地下水移行経路の抽出に際しては、①時間断面の流速場を定常と仮定する場合、②流速場の時間変遷を考慮する場合、のふたつの違いについて検討すること。また、地下水移行経路を計算する際に、解析モデルの要素を再分割することで移行経路を抽出する精度を高める方法（例えば、Cordes and Kinzelbach, 1992）や、分散項を確率論的に考慮した粒子追跡法による方法など、数の方法による違いについても検討すること。

核種移行解析は、MARFA-SP (<https://www.amphos21.com/producto/marfa/>) など、定常／非定常条件を考慮可能な核種移行解析コードを用いることとし、以下の組み合わせによる核種移行解析を検討する。

- i. **定常状態を仮定した場合**：時間毎に抽出した移行経路を対象に、定常条件を仮定して、それぞれ核種移行解析を行う。ただし、核種の収着分配係数については、塩水条件と淡水条件の2ケースについて、それぞれ定常を仮定した核種移行解析を行う。
 - ii. **非定常状態を仮定した場合**：時間毎に抽出した移行経路の情報に基づき、移行経路を固定した条件で、地下水流速（もしくは流量）や塩分濃度に依存した収着分配係数などの時間変化を考慮した核種移行解析を行う。そのため、時間毎に抽出した移行経路の情報から、移行経路の選定および地下水流速（もしくは流量）や塩分濃度の時間変化に関するデータを設定する方法を検討する。
- (b) **一次元の移行経路の変化（流速の変化も含む）を仮定した場合**：地下水流動解析から得られる地下水流動場の変遷のデータから、一次元の移行経路の変化を考慮した核種移行解析を行う。現在から約100万年間後までの地下水流動解析の結果から、地下水流動場の変遷（例えば、地下水流速場や塩分濃度分布の時間変化）に関する情報を抽出する。核種移行解析は移行経路の変遷を考慮可能な核種移行解析コード（MARFA-NR: <https://www.amphos21.com/producto/marfa/>）を使用し、地下水環境の変化により移り変わる移行経路および地下水流速（もしくは流量）や塩分濃度に依存した収着分配係数などの時間変化を考慮した核種移行解析を実施する。
- (c) **三次元モデルを用いた非定常状態を仮定した場合**：現在から約100万年間後までの地下水流動解析により得られる地下水流動変遷場を用いて、移流・分散とマトリクス拡散を考慮した核種移行解析を実施する。核種移行解析は、ConnectFlow (<https://www.connectflow.com/>) やHydroGeoSphere (<https://www.aquanty.com/hydrogeosphere>) など、塩水と淡水の密度差による流れとマトリクス拡散による塩成分の移行遅

延を考慮した地下水流動解析と合わせて移流・分散・マトリクス拡散を考慮した核種移行解析を可能な解析コードを用いる。また、解析結果の後処理については、核種濃度の空間・時間変化だけではなく、任意の断面における核種移行率の時間変化など(b)または(c)で実施する一次元の移行経路を仮定した場合の解析結果と比較可能な値も算出するなど複数の方法を検討する。

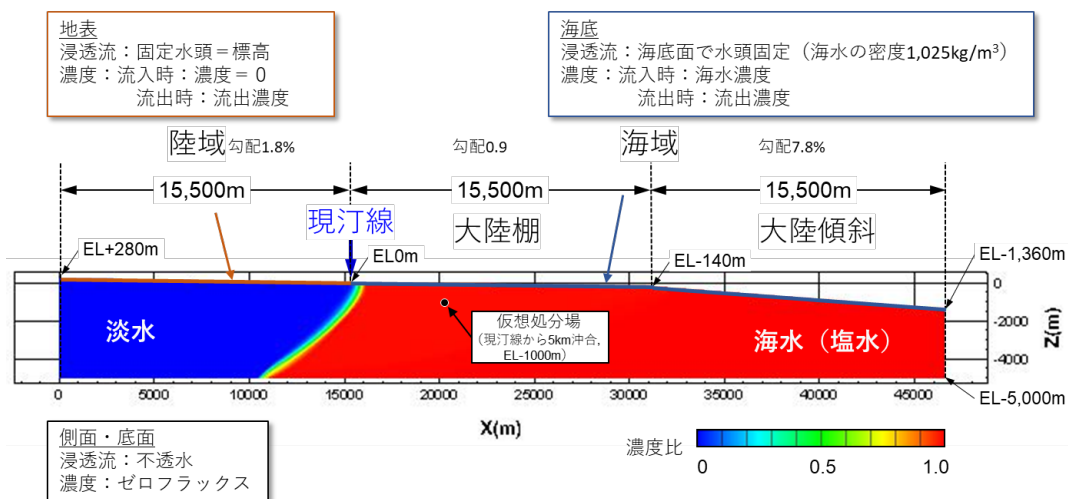


図1 鉛直二次元の地形モデルの概念図

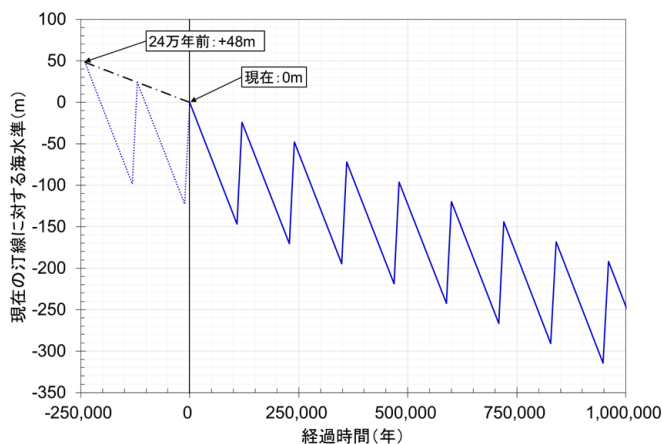


図2 解水準変動パターン概念図

(2) 解析結果の整理

(1)で実施した核種移行解析結果から「より単純化された一次元の核種移行解析コードを保守的な条件において用いた評価と、より複雑な三次元空間を仮定したより現実的な設定だが不確実性が大きい条件における評価の2通りの評価方法について、状況に応じた使い分けや相互に足りない部分の補完ができるような複数の核種移行解析手法

の組み合わせ」などの評価手法について整理する。

(3) 報告書の作成

項目(1)と(2)の作業結果をとりまとめた報告書を作成する。

(4) 打合せの実施

本作業における打合せは、原則オンライン会議で実施することとする。打合せの内容については、その都度議事録を作成すること。

参考文献

- Cordes, C. and Kinzelbach, W., Continuous Groundwater Velocity Fields and Path Lines in Linear, Bilinear, and Trilinear Finite Elements, Water Resources Research, vol.28, no. 11, pp.2903-2911, 1992.
- 核燃料サイクル開発機構, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ— 分冊3 地層処分システムの安全評価, JNC TN1400 99-023, 1999.
- 産業技術総合研究所, 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター, 電力中央研究所, 平成28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(沿岸部処分システム高度化開発), 2017.
- 産業技術総合研究所, 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター, 電力中央研究所, 平成29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(沿岸部処分システム高度化開発), 2018.
- 産業技術総合研究所, 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター, 電力中央研究所, 平成30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(沿岸部処分システム高度化開発), 2019a.
- 産業技術総合研究所, 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター, 電力中央研究所, 平成30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(沿岸部処分システム高度化開発 平成27年度～平成30年度取りまとめ報告書), 2019b.

6. 支給物品および貸与品

6. 1 支給品

必要に応じて、『令和7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(沿岸部地質環境調査・処分システム評価統合化技術開発)」報告書』、および関連する解析データを貸与することができる。

6. 2 貸与品

なし

7. 提出書類

以下に示す通り、提出書類を提出すること。提出書類及び図面は、打合せなどで原子力機構から特段指示が無い限り、原則として A4 判で作成すること。

	項目	提出時期	数量
(1)	実施計画書	初回打合せ後	1 部
(2)	打合せ議事録	打合せ後	2 部（返却用 1 部を含む）
(3)	報告書	納期まで	1 部
(4)	項目(1)-(3)のデジタルデータ*1	納期まで	1 式
(5)	委任又は下請負届*2	作業開始 2 週間前	1 式（様式指定）

*1：報告書本文及び図表のデジタルファイルを全て提出すること。解析で用いたモデルや入力データ、出力データ及びそれらの使用方法を記したメモも含む。提出するデータの内容及びフォーマット、記録媒体については、事前に原子力機構と協議すること。

*2：必要に応じて提出すること。

(提出場所)

〒319-1194

茨城県那珂郡東海村大字村松4番地33

原子力機構 核燃料サイクル工学研究所 地層処分基盤研究施設 研究棟1階

BE資源・処分システム開発部 処分システム開発グループ

8. 検収条件

「7. 提出書類」の確認並びに、原子力機構が仕様書で定める業務が実施されたと認められた時を以て、業務完了とする。

9. 特記事項

- (1) 受注者は原子力機構が原子力の研究・開発を行う機関であるため、高い技術力及び高い信頼性を社会的にもとめられていることを認識し、原子力機構の規程等を遵守し安全性に配慮し業務を遂行しうる能力を有する者を従事させること。
- (2) 受注者は業務を実施することにより取得した当該業務及び作業に関する各データ、技術情報、成果その他のすべての資料及び情報を原子力機構の施設外に持ち出して発表もしくは公開し、または特定の第三者に対価をうけ、もしくは無償で提供することはできない。ただし、あらかじめ書面により原子力機構の承認を受けた場合はこの限りではない。
- (3) 受注者は異常事態等が発生した場合、原子力機構の指示に従い行動するものとする。

また、契約に基づく作業等を起因として異常事態等が発生した場合、受注者がその原因分析や対策検討を行い、主体的に改善するとともに、結果について機構の確認を受けること。

- (4) 提出書類の所有権及び著作権、その他技術情報に関わるものの権利は、原子力機構に帰属するものとする。
- (5) 報告書の作成に際しては、著作権侵害について留意すること。著作権利用許諾等が必要となる場合は、受注者にてこれを行うこと。
- (6) 本件の実施に際し、解析や解析結果の整理に関する手法について新たな発明がなされた場合については、知的財産権特約条項のとおりとする。
- (7) 本仕様書に記載されている事項、及び本仕様書に記載されていない事項について疑義が生じた場合は、原子力機構と協議の上、その決定に従うこと。なお、協議の内容については、適宜議事録を作成すること。

10. 検査員および監督員

(1) 一般検査

原子力機構 財務契約部 管財課長

(2) 技術検査

原子力機構 核燃料サイクル工学研究所

BE 資源・処分システム開発部 処分システム開発グループリーダー

11. グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達法の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様書に定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

12. 保証

提出書類の検収後1年以内に受注者の責に帰する問題点等が発見された場合は、無償にて速やかに必要な措置を講ずること。

以上