

**幌延深地層研究計画
令和 5 年度調査研究成果報告
（概要版）**

令和 6 年 7 月

**日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター**

目次

1. はじめに	1
2. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画に示した研究課題	2
3. 令和5年度の主な調査研究の成果	5
4. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認	8
4.1 人工バリア性能確認試験	8
4.2 物質移行試験	9
5. 処分概念オプションの実証	10
5.1 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験	10
5.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証	10
5.2 高温（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験	11
6. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証	12
6.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化	12
6.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握	12
6.1.2 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化	13
7. 令和2年度以降の必須の課題への対応に必要なデータ取得	14
8. 地下施設の建設・維持管理	15
9. 環境調査	16
10. 安全確保の取り組み	17
11. 開かれた研究	18

1. はじめに

幌延深地層研究計画は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センターが、北海道幌延町において実施している、堆積岩を対象とした深地層の研究施設計画です。地層処分に関わる地下研究施設には、最終処分場として使用しない施設で技術を磨く地下研究施設（ジェネリックな地下研究施設）と最終処分候補地の適性を見定める地下研究施設（サイトスペシフィックな地下研究施設）の2つの種類があります。このうち、幌延深地層研究センターの地下施設は、ジェネリックな地下研究施設に該当します。

幌延深地層研究センターでは、北海道および幌延町により受け入れられた、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」で示した研究課題について、令和2年度以降、第3期および第4期中長期目標期間^{*1}を目途に取り組むこととしました。令和5年度は、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に示した研究課題に対して、第4期中長期計画（令和4年4月1日～令和11年3月31日）に掲げた課題を達成していくための調査研究を実施しました。

なお、令和2年度以降の幌延深地層研究計画では、これまでと同様に、放射性廃棄物を持ち込むことや使用することなく、また最終処分場とはしないことを約束した「幌延町における深地層の研究に関する協定書」の遵守を大前提に、安全を最優先として研究を進めます。研究開発を進めるにあたっては、当初の計画の研究対象の範囲内において、国内外の関係機関の資金や人材を活用していきます。

^{*1}：第4期中長期目標の期間は、令和4年4月1日～令和11年3月31日の7年間です。

2. 令和 2 年度以降の幌延深地層研究計画に示した研究課題

「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」では、必須の課題のうち、引き続き研究開発が必要と考えられる以下の課題（令和2年度以降の必須の課題^{*2}）に取り組んでいます。

(1) 実際の地質環境における人工バリア^{*3}の適用性確認

・ 人工バリア性能確認試験

令和 2 年度以降は、注入する地下水の圧力や量を増加させ、緩衝材^{*4}に地下水を浸潤させた場合のデータを取得し、分析・評価します。その後、減熱時のデータを取得します。加えて、人工バリアの解体作業を行い、緩衝材の飽和度^{*5}などの確認を行います。

・ 物質移行試験

令和 2 年度以降は、これまでに確立した試験手法を用いて掘削損傷領域^{*6}での物質移行に関するデータ取得を実施するとともに、有機物や微生物の影響を確認するためのトレーサー^{*7}試験を実施します。

(2) 処分概念オプション^{*8}の実証

令和 2 年度以降は、人工バリア性能確認試験において、施工方法の違い（締固め、ブロック方式など）による緩衝材の品質の違いを把握するとともに、埋

*2：「令和 2 年度以降の幌延深地層研究計画」では、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、処分概念オプションの実証、地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証の 3 つを研究課題として取り組むこととしており、これらを「令和 2 年度以降の必須の課題」と呼んでいます。

*3：ガラス固化体、オーバーパックおよび緩衝材からなる地層処分システムの構成要素のことで、高レベル放射性廃棄物が人間の生活環境に影響を及ぼさないようにする障壁として、人工的に形成するものです。

*4：人工バリアの構成要素のひとつです。オーバーパックを包み込むように設置され、地下水の浸入と放射性物質の溶出・移動を抑制する機能が期待されています。さらに岩盤の変形を物理的に緩衝するクッションのはたらきや、地下水の水質の変化を化学的に緩衝して抑制するはたらきを持ちます。候補材料はベントナイトなどの粘土材料です。

*5：土や岩盤などの間隙に含まれる水の体積と間隙の体積との比を表す値です。

*6：岩盤が掘削により損傷し、初期の性質から変化する領域のことです。具体的には、地下空洞掘削時の周辺岩盤に生じる応力集中の影響で坑道周辺岩盤に割れ目が発達することにより、岩盤の変形特性の変化や透水性の増大が予想されます。また、空気の侵入により地下水の酸化還元電位などの化学的な変化が生じることが想定されます。

*7：本報告書では、地下水中に溶存する物質が地層中を移行する際の経路や収着・拡散といった挙動を調査するために、地下水に添加する物質をトレーサーと呼びます。なお、幌延深地層研究計画では放射性のトレーサーを用いた試験を行うことはありません。

*8：幌延深地層研究計画における処分概念オプションとは、地下深くの岩盤中に高レベル放射性廃棄物を埋設するという、地層処分の概念を実現するための色々な方法のことです。

め戻し方法（プラグ^{*9}の有無など）・回収方法^{*10}による埋め戻し材^{*11}の品質の違いを実証試験で明らかにします。さらに、坑道スケール^{*12}～ピットスケール^{*13}での調査・設計・評価技術の体系化を行います。また、人工バリアシステムの安全裕度の検証に向けて、緩衝材が100℃超になった状態を想定した解析手法の開発を行うとともに、人工バリアとその周辺岩盤の領域における上限温度の設定の考え方を提示します。

（3）地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力^{*14}の検証

令和2年度以降は、より大型の断層において、断層のずれが断層内の地下水の流れに与える影響に関して、堆積岩の緩衝能力（自己治癒能力）の作用に係る実証試験を実施します。さらに、地下水の流れが非常に遅い領域を調査してモデル化する技術を実証するとともに、人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力^{*15}を解析する手法を開発します。

幌延深地層研究センターの地下施設で研究対象としている地層は、^{こえといそう}声問層と稚内層であり、声問層は稚内市声問付近、稚内層は稚内市の市街によく認められたことから、それぞれの地名が地層名として古くから与えられています。声問層（珪藻質泥岩）は、主に海底に降り積もった珪藻と呼ばれる植物プランクトンの遺骸から構成され、地下施設周辺の堆積年代は、約400万年前～200万年前と推定されます。一方、稚内層は、声問層中の珪藻の遺骸が堆積の進行に伴ってより深くに埋没することで地温の影響などを受けて溶解し、新たな鉱物

*9：ベントナイトやコンクリートなどが材料となって構成される、緩衝材や埋め戻し材が移動・膨出するのを防ぐため、あるいは掘削損傷領域の地下水の移動を抑制するために、処分坑道の両端やその周辺に設けられる構造物です。なお、本報告書で記載のある「止水プラグ」は、掘削損傷領域の地下水の移動を抑制するためにベントナイトを混ぜた材料で構築するものを指します。

*10：地層処分において、処分坑道に放射性廃棄物を埋設した後においても、何らかの理由でその搬出が望まれた場合にそれを搬出することを回収と言います。その回収方法として、機械的方法や高水圧などを利用して埋め戻し材を除去する方法が想定されています。

*11：処分場において、廃棄体を定置した後の処分坑道、アクセス坑道や連絡坑道を埋め戻す際に使用する材料です。埋め戻した後の坑道内に卓越した水みちとならないように、埋め戻し材に要求される性能のひとつとして、透水性が低いことが挙げられます。

*12：実際の処分場では、地下深くに多数の坑道が掘削されます。これらの坑道の配置を検討するために必要な評価範囲（数百m程度）のことを指します。

*13：廃棄体および人工バリアを垂直に設置する竖置き方式の場合には、処分坑道に多数のピット（処分孔）が掘削されます。これらのピットの配置を検討するために必要な評価範囲（数十m程度）のことを指します。

*14：本報告書では、地殻変動（地震など）の影響により擾乱を受けた断層や割れ目の透水特性が、その岩盤の力学特性に応じて一定の範囲に留まろうとする能力、あるいは時間経過とともに元の状態に戻ろうとする能力のことを指します。

*15：人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力とは、坑道を掘削した際に圧力が解放されて岩盤にひび割れが発生した場合でも、坑道を埋め戻した後に人工バリアが膨潤することでひび割れに起こる作用を指します。

として再沈殿してできた、声問層より硬い岩石（珪質泥岩）からなる地層です。地下施設周辺の稚内層の堆積年代は、約 700 万年前～400 万年前と推定されます。

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 人工バリア性能確認試験
- 物質移行試験

[概要] 実際の地質環境において、人工バリアや周辺岩盤中での特に減熱時における熱－水－応力－化学連成挙動や、物質移行現象などを計測・評価する技術の高度化を行う。

人工バリア性能確認試験の概要

人工バリア性能確認試験の解体試験のイメージ

②処分概念オプションの実証

- 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
 - ・ 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
 - ・ 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 高温（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

[概要] 定置・回収技術や閉鎖技術も含めた、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する。廃棄物設置の判断や間隔の設定に必要となる情報を整理する。

閉鎖技術オプションの整理

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
 - ・ 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握
 - ・ 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

[概要] 地震・断層活動等の地殻変動に対する堆積岩の力学的・水理学的な緩衝能力を定量的に検証するとともに、化石海水^{*16}の三次元分布に係る調査・評価手法を高度化し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する。

廃棄体定置決定や間隔設定の考え方の整理

令和 2 年度以降に取り組むべき研究課題（令和 2 年度以降の必須の課題）

*16：地層の堆積時に地層中に取り込まれた海水が地質学的な長い時間をかけて変質した古海水のことです。化石海水が存在する場所は、地下水の流れが非常に遅いと考えられ、物質の移動が非常に遅く地層処分に適した場所と考えられます。

3. 令和 5 年度の主な調査研究の成果

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- ・ 人工バリア性能確認試験では、既設の計測機器でのデータ取得を継続するとともに、解体試験に向けた準備として試験坑道 7 を掘削しました。
- ・ 国際共同研究 DECOVALEX^{*17}にて、熱－水理－力学連成解析を実施し、室内試験および原位置試験^{*18}を対象とした各機関の解析結果を比較しました。その結果、等温環境下での緩衝材の地下水浸潤挙動は計測結果と解析結果が良く一致する結果が得られました。一方、温度勾配環境下での地下水の浸潤挙動については計測結果と解析結果が異なる場合があることを確認しました。
- ・ 掘削損傷領域^{*19}を対象とした物質移行試験については、一次元の解析モデルを適用することにより、掘削損傷領域の割れ目の移流^{*20}分散^{*21}効果について、解析により試験結果を良く再現することができました。
- ・ 有機物・微生物・コロイド^{*22}の影響を把握するため、原位置での物質移行試験を実施し、地下水に添加した希土類元素^{*23}の濃度変化を観察しました。その結果、元素－有機物・微生物・コロイドの相互作用を明らかにするための室内試験および原位置試験の手法を確立するとともに、岩盤内の試験区間を循環させた地下水の方が、岩盤内の試験区間を循環しない地下水と比べて未ろ過試料中の希土類元素の濃度減少が速いことが分かりました。
- ・ ブロックスケール（数 m～100 m 規模）を対象とした物質移行試験については、稚内層深部の断層を対象としたトレーサー試験の解析評価を行った結

*17：地層処分システムの性能評価において重要な課題のひとつである熱－水理－力学－化学連成挙動モデルの開発・検証を目的とした国際共同研究です。

*18：地下で採取された試料を用いて行う室内試験に対して、実際の地下環境下で行う試験のことです。

*19：本報告書における掘削損傷領域とは、岩盤が掘削により損傷した領域のことで、坑道の周りに形成されます。具体的には、地下空洞掘削時の周辺岩盤に生じる応力集中の影響で坑道周辺岩盤に割れ目が発達することにより、岩盤の変形特性が変化したり透水性が増大したりします。また、空気の侵入により地下水の酸化などの化学的な変化が生じます。

*20：本報告書では、物質が地下水の流れによって移動する現象を指します。

*21：水の流れに乗って物質が媒体を移動する場合、その媒体の構成物質の不均質性と構成物質と水の間に生じる摩擦などによって、物質の移動速度に違いが生じます。その結果、物質が空間的に広がり、濃度が低下します。このようなプロセスは一般的に「機械的分散」と呼ばれますが、本報告書では単に「分散」と表現しています。

*22：大きさが 1 nm～1 μm の粒子が水などの液体中に浮遊し、容易に沈まない状態を指します。コロイドが地層中の放射性核種の移行に影響を及ぼす可能性が指摘されています。

*23：希土類元素は、原子番号 21 のスカンジウム (Sc) と 39 のイットリウム (Y) に、原子番号 57 のランタン (La) から 71 のルテチウム (Lu) までの 15 元素を合わせた 17 元素の総称で、レアアースとも呼ばれます。希土類元素は、高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種と同様の化学的性質を示すことから、希土類元素を用いた試験を行うことにより、高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種の移行挙動などを推測することができます。

果、水理学的連結性^{*24}が限定的な場に対して、曲がりくねった非常に長いチューブ状の経路を仮定することによって、物質の移行経路を表現できることが分かりました。

(2) 処分概念オプションの実証

- ・ 搬送定置・回収技術の実証として、坑道壁面から低アルカリ性の吹付けコンクリートを採取して分析を行った結果、坑道表面から厚さ数cm、岩盤との接触部から厚さ数mmにおいて中性化^{*25}が進行していることなどが分かりました。
- ・ 閉鎖技術の実証として、弾性波^{*26}トモグラフィ^{*27}を用いた掘削損傷領域の調査のための最適な観測点配置を検討し、令和5年度に掘削した試験坑道6においてその観測点配置を適用した弾性波トモグラフィを実施した結果、坑道周辺に広がる低速度領域の範囲を特定することができました。
- ・ 高温（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験に関しては、試験坑道5の既存孔にヒーター、緩衝材ブロックおよび温度や水分分布などを測定するセンサーからなる2つの試験体を設置し、原位置試験を開始しました。

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- ・ ダクティリティインデックス (DI) ^{*28}を用いた透水性評価手法の信頼性向上を目的に、これまでの試験・水圧観測データを用いて DI と断層/割れ目の水理学的連結性の関係を検討した結果、地下施設周辺の稚内層中の断層内の水みちのつながり方の次元^{*29}と DI が相関していることが分かりました。

*24：地下水の流れを評価する上で、断層や割れ目の中の隙間のつながり具合を水理学的連結性と言います。

*25：大気中の二酸化炭素とコンクリート中の水酸化カルシウムなどの成分が反応し、コンクリート中の細孔溶液の pH が低下する現象です。中性化が進むとコンクリート中の鉄筋が腐食しやすくなり、鉄筋が腐食することでコンクリートのひび割れなどが発生し、コンクリート構造物の劣化が進みます。

*26：岩盤の中を伝わる振動のことを指します。地震など自然に発生する振動や岩盤を叩くなどして人工的に与えた振動が伝わる速度を弾性波速度と呼び、これは岩盤の状態によって変化します。様々な場所での弾性波速度の分布を調べることで坑道周辺の岩盤の状態を知ることができます。

*27：トモグラフィ調査は、調査対象範囲内の物性値（速度、比抵抗など）の分布を断面として可視化する物理探査手法です。

*28：岩石の強度・応力状態を示すために新たに定義した指標であり、この値が高いほど、岩石は見かけ上、やわらかくなります。

*29：地下水の通り道となる隙間同士のつながり具合を表す指標です。隙間同士が互いに良くつながり、三次元的なネットワークを形成する場合は三次元、隙間同士のつながりが限定的で、一次元的なチャンネルを形成する場合は一次元となります。

- ・地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域）を調査・評価する技術の高度化においては、これまでの成果を踏まえた調査手順の整理を行い、データの一部を研究開発報告書として公表するとともに、地下水の水質や年代を利用した地下水流動の評価手法を構築し、論文として取りまとめました。

(4) 地下施設の建設・維持管理、環境調査

- ・地下施設整備を再開し、350m 調査坑道の拡張および立坑の掘削を実施しました。換気立坑での湧水抑制対策の改良範囲を拡充することとし、全体工程の更新を行いました（令和 5 年 8 月公表）。
- ・地下施設からの排水および掘削土（ズリ）置場の浸出水は、これまでと同様に、排水処理設備において適切に処理した上で天塩川に放流しています。
- ・地下施設からの排水の水質、掘削土（ズリ）の土壌溶出量などの調査および研究所用地周辺の環境影響調査を行い、水質汚濁防止法の排水基準や北るもい漁業協同組合との協定値を超える排水がないことを確認しています。

(5) 開かれた研究・成果の発信

- ・幌延国際共同プロジェクト^{*30}では、管理委員会やタスク会合を通じて参加機関との議論を行い、原位置試験や解析などの実施計画を検討するとともに、研究の進捗状況について確認、議論しました。
- ・北海道科学大学、東京大学、京都大学、幌延地圏環境研究所、産業技術総合研究所などと研究協力を行いました。
- ・国際共同研究である DECOVALEX、モンテリ・プロジェクト^{*31}などに参加し、情報共有を図りました。
- ・研究計画から成果までの情報を国内外の学会や学術誌などを通じて広く公開するとともに、ホームページや SNS^{*32}などを活用した情報発信を継続しました。

*30：幌延国際共同プロジェクトホームページ；https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/status/hip/project_hip.html

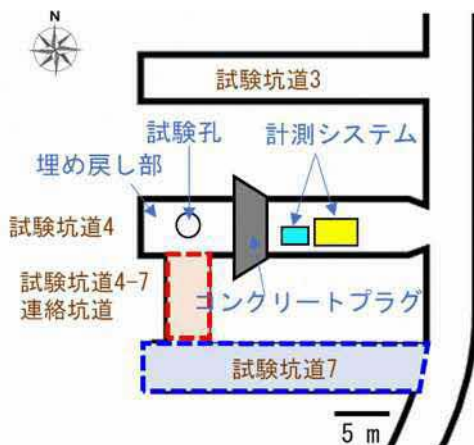
*31：堆積岩を対象とした地層処分に関する国際的な原位置試験プロジェクトです。スイスのモンテリ・トンネル内において地層処分に関連する各種の原位置試験が実施されています。

*32：幌延深地層研究センターホームページ；<https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/>、原子力機構 X（旧ツイッター）；https://x.com/jaea_japan

4. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

4.1 人工バリア性能確認試験 (p. 15～p. 19)

- ・ 廃棄体の発熱が収まった状態を模擬した条件でのデータ取得を継続し、解体試験に向けた準備として試験坑道 4 の隣に試験坑道 7 を掘削しました。緩衝材中の計測データは、試験坑道 7 の掘削による影響はなく、温度分布は地下環境下の温度で一定であることなどが確認できました。
- ・ 国際共同研究 DECOVALEX では、室内試験および原位置試験を対象とした連成解析を実施し、各機関で異なる解析結果が得られた模擬オーバーパック（ヒーター）近傍の緩衝材の飽和度変化について、温度勾配水分拡散係数に着目した検討を行いました。その結果、温度が高い模擬オーバーパック近傍では温度勾配による水分移動の影響が大きく、温度勾配水分拡散係数などのパラメータの設定などが重要であることが確認できました。



(a) 坑道掘削のイメージ



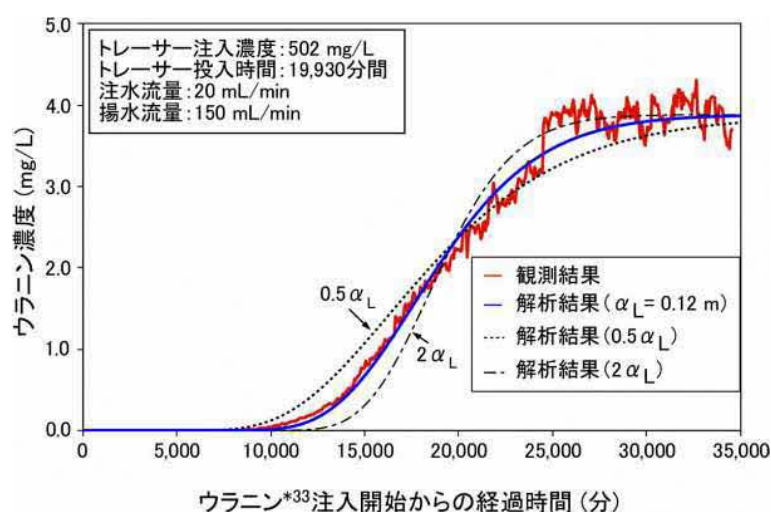
(b) 掘削の様子

試験坑道7の掘削

試験坑道7は人工バリア性能確認試験の試験孔部や埋め戻し部に設置した材料を解体試験で取り出すために使用します。なお、試験坑道4-7連絡坑道は解体試験直前に掘削する予定です。

4.2 物質移行試験 (p. 20～p. 31)

- 掘削損傷領域を対象とした物質移行試験については、一次元の解析モデルを適用することにより、掘削損傷領域の割れ目の移流分散効果について、解析により試験結果を良く再現できました。
- 有機物・微生物・コロイドの影響を把握するため、原位置での物質移行試験を実施し、地下水に添加した希土類元素の濃度変化を観察しました。その結果、元素－有機物・微生物・コロイドの相互作用を明らかにするための室内試験および原位置試験の手法を確立するとともに、岩盤内の試験区間を循環させた地下水の方が、岩盤内の試験区間を循環しない地下水と比べて未ろ過試料中の希土類元素の濃度減少が速いことが分かりました。
- ブロックスケール（数 m～100 m 規模）を対象とした物質移行試験については、稚内層深部の断層を対象としたトレーサー試験の解析評価を行った結果、水理学的連結性が限定的な場に対して、曲がりくねった非常に長いチューブ状の経路を仮定することによって、物質の移行経路を表現できることが分かりました。



掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験の再現解析結果

図では解析結果に対する縦方向分散長^{*34}の感度を示すために観測結果の再現性が最も良い縦方向分散長 (α_L) の値を 0.5 倍、2 倍とした場合の解析結果も示しています。

*33：黄緑色の蛍光染料で、フルオレセインナトリウムともいいます。化学式は $C_{20}H_{10}Na_2O_5$ で表されます。トレーサー試薬としての利用の他、入浴剤の着色料などとしても利用されています。

*34：分散は流れの速さに依存する形で表現することができ、簡単に一次元方向の流れのみを考慮する場合、以下の式で表現することが可能です。

$$D = \alpha \cdot u$$

ここで、 D ：分散係数 (m^2/s)、 α ：分散長 (m)、 u ：流速 (m/s) を表します。分散係数は流れの方向に対して、同じ方向、直行方向、垂直方向にそれぞれ定義することができ、流れの方向と同じ方向の分散係数は以下の式で表現することが可能です。

$$D_L = \alpha_L \cdot u$$

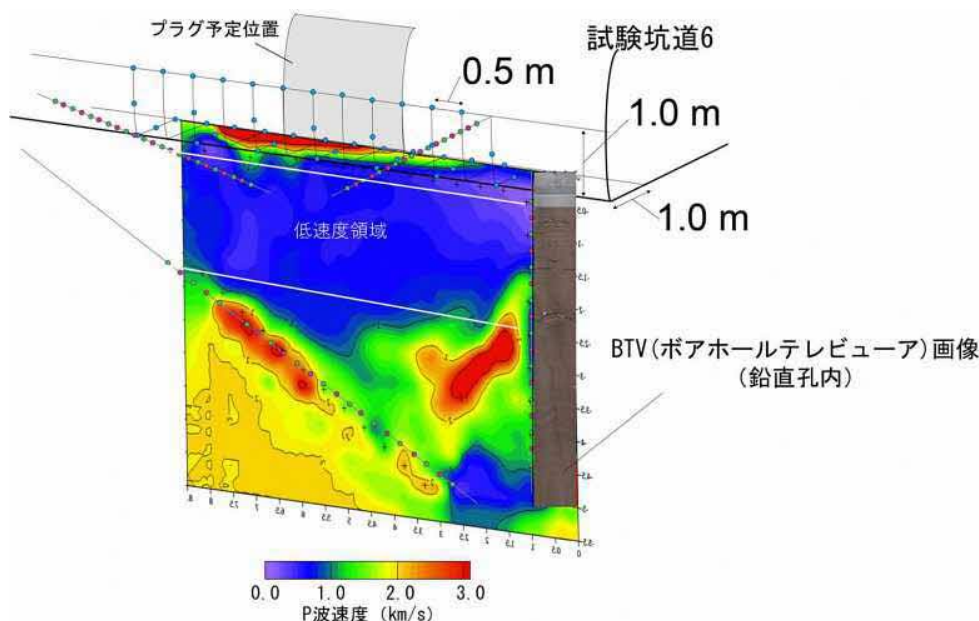
この時の分散長 (α_L) を縦方向分散長といいます。

5. 処分概念オプションの実証

5.1 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

5.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証 (p. 32～p. 55)

- ・ コンクリート支保工^{*35}の経年劣化を把握するため、坑道壁面から吹付けコンクリート試料を採取し、分析を行った結果、施工後約 10 年で坑道壁面から約 24 mmの部分まで中性化が進行していることが分かりました。
- ・ 止水プラグの地下水移行抑制機能を評価するため、坑道の床面に粘土止水壁を構築した原位置試験を継続した結果、掘削損傷領域を含む領域の透水係数が健岩部と同程度まで低くなること、粘土止水壁を構築して約 4 年が経過した時点においても、試験領域の透水係数は構築直後と同等に低く保たれていることを確認しました。
- ・ 弾性波トモグラフィを用いた掘削損傷領域の調査のための最適な観測点配置を検討し、試験坑道 6 においてその観測点配置を適用した弾性波トモグラフィを実施しました。その結果、坑道周辺に広がる低速度領域の範囲を特定することができ、その範囲は亀裂の多い領域と整合的でした。

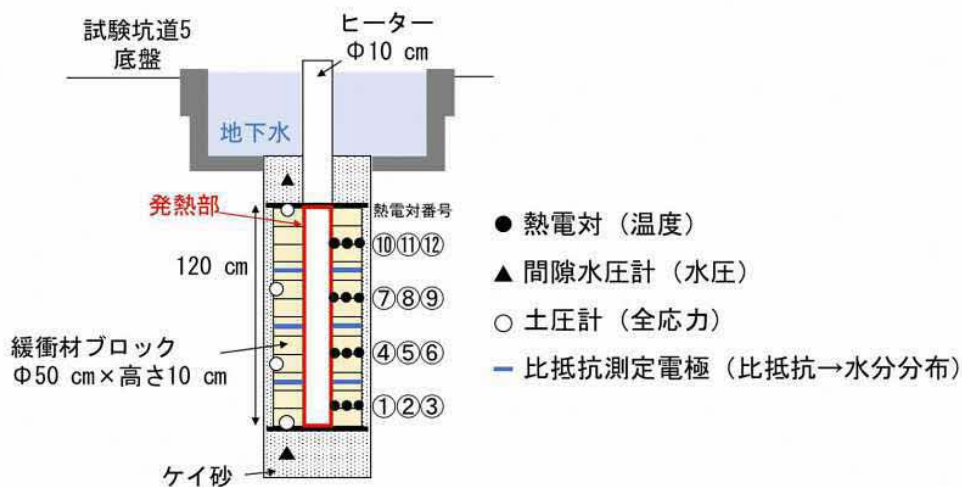
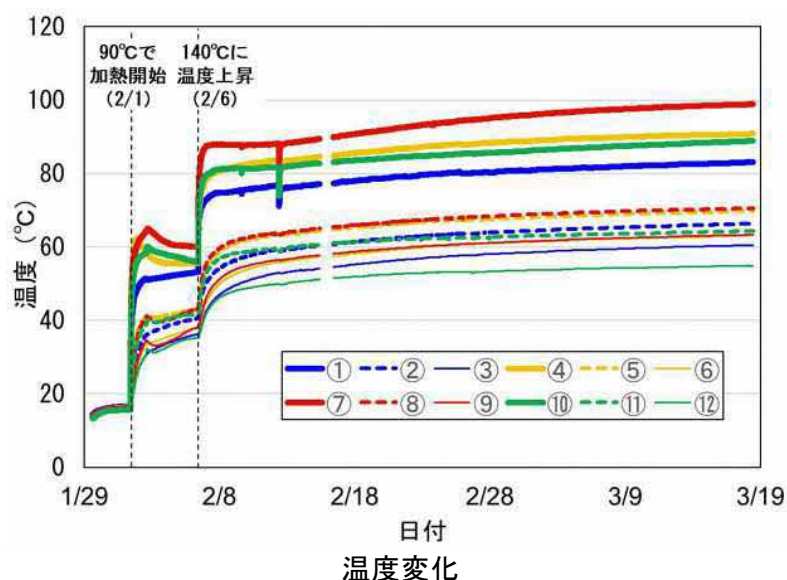


試験坑道6の床面で実施した弾性波トモグラフィ調査の結果

*35：地下空間の安定を保つために設ける、ロックボルト、鉄骨、コンクリートの壁などの構造物です。

5.2 高温（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験（p. 55～p. 58）

- ・ 既存孔を利用し、緩衝材ブロック、ヒーターおよび温度、水圧、全応力などを計測するセンサーからなる 2 つの試験体を設置し、ヒーターの設定温度を 140℃とした原位置試験を開始しました。
- ・ 高温条件下での緩衝材へのひび割れの発生ならびに閉塞挙動を確認するため、緩衝材の供試体を 140℃で加熱した後、ひび割れた供試体に蒸留水を浸潤させる室内試験を実施しました。その結果、ひび割れが優先的な水みちとなるような浸潤挙動は確認されないこと、生じたひび割れは最長でも 95 日前後で閉塞されることが分かりました。



センサー設置位置

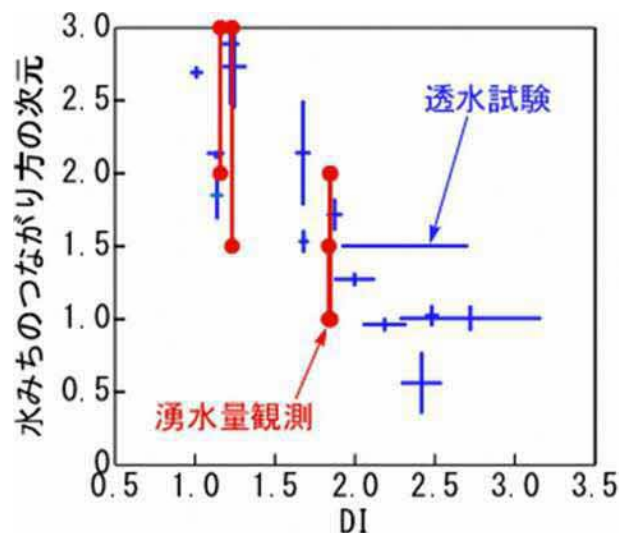
原位置試験における熱電対の計測結果（温度）

6. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

6.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

6.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握 (p. 59~p. 63)

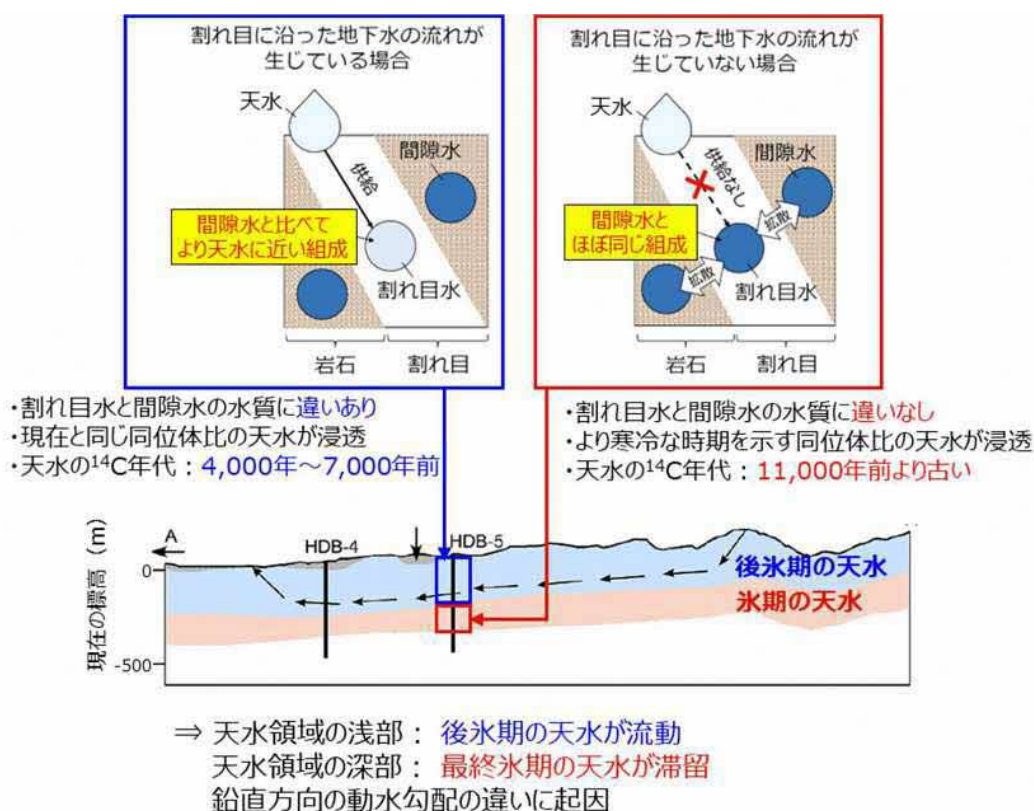
- ・ ダクティリティインデックス (DI) を用いた透水性評価手法の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の整備を目的として、断層の水理学的連結性と DI の関係に関する解析を実施しました。その結果、地下施設周辺の稚内層中の断層内の水みちのつながり方の次元と DI が相関していることが分かり、DI が 2 以上になると、水みちのつながり方の次元が 1.5 以下まで小さくなることが分かりました。



地下施設周辺の稚内層中の断層内の水みちのつながり方の次元とDIの関係

6.1.2 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化 (p. 63～p. 67)

- ・ 地層処分事業のサイト調査を踏まえて、地下水の低流動域の分布を推定する際の地上からの調査の進め方を検討し、数十km四方の調査範囲の設定から、数km四方に調査範囲を絞り込み、その範囲における地下水の低流動域の三次元分布を推定するまでの手順を整理しました。
- ・ 割れ目と岩石間隙中の地下水の水質の違いから地下水の流れの有無を評価する既往研究に地下水の放射性炭素 (^{14}C) 年代から得られた情報を組み合わせることで、地下水の流動状態の長期的な変遷を推定する手法を構築しました。その結果、天水が浸透した領域のうち浅部では最終氷期以降（後氷期：約 1 万年前以降）に浸透した天水が流動していること、深部では最終氷期（約 7 万年前～1 万年前）に浸透した天水が現在は滞留していることが分かりました。

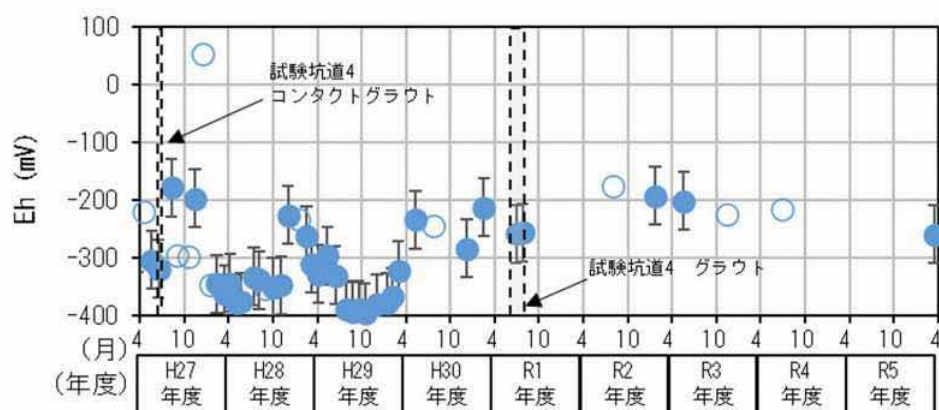


割れ目水と間隙水の水質の違いと地下水の ^{14}C 年代に基づき解釈した
地下水流動概念

7. 令和 2 年度以降の必須の課題への対応に必要なデータ取得

(2) 地下水と岩石の地球化学 (p. 69～p. 74)

- ・ 地下施設の 3 本の立坑に設置された声問層および稚内層に位置する集水リング^{*36}や 140m、250m および 350m 調査坑道から掘削されたボーリング孔などから採取した地下水の溶存成分を分析しました。
- ・ 試験坑道掘削後の経時変化の把握や観測装置の長期的な性能確認の一環として、5 つのボーリング孔を用い、水圧・水質モニタリングを継続しました。人工バリア性能確認試験を実施している試験坑道 4 から掘削した C08 孔の区間 2 では、酸化還元電位^{*37} (Eh) が -300 mV～-200 mV 程度でした。この結果は、これまでの測定値と同様であり、試験坑道 4 周辺に分布する地下水の酸化還元電位に顕著な変化は認められませんでした。



C08の区間2における水質モニタリング結果（酸化還元電位）

白抜きのデータ (○) は信頼性が劣る可能性のあるデータを示しています。

*36：立坑内に湧水する地下水を回収・採取するために、立坑壁面に深度 30 m～40 m ごとに設置されている設備です。

*37：地下水の酸化還元状態を表します。酸化還元電位が低い地下水ほど含まれる酸素が少なく還元状態であることを表します。

8. 地下施設の建設・維持管理

- ・ 地下施設整備を再開し、350m 調査坑道の拡張および立坑の掘削を実施しました。350m 調査坑道の拡張は予定した総延長 66 m の坑道整備を令和 6 年 1 月に完了しました。また、令和 6 年 3 月 31 日現在、立坑の掘削は東立坑で深度 424 m、換気立坑で深度 393 m まで進んでいます。
- ・ 換気立坑での湧水抑制対策の改良範囲を拡充することとし、全体工程の更新を行いました（令和 5 年 8 月公表）。ただし、施設整備の完了時期に影響は生じない予定です。
- ・ 維持管理として、櫓設備や電気設備などの運転・点検保守および排水処理設備（濁水処理設備など）の更新を行いました。
- ・ 掘削再開に伴う掘削土（ズリ）の増加に備え、掘削土（ズリ）置場の搬入用道路の造成工事を実施しました。
- ・ 地下施設からの排出水と掘削土（ズリ）置場に設置している浸出水調整池の浸出水については、濁水処理設備、脱ホウ素設備、脱窒素設備などから構成される排水処理設備で処理を行い、排水基準値を超過していないことを確認した後、排水管路を通じて天塩川へ放流しています。

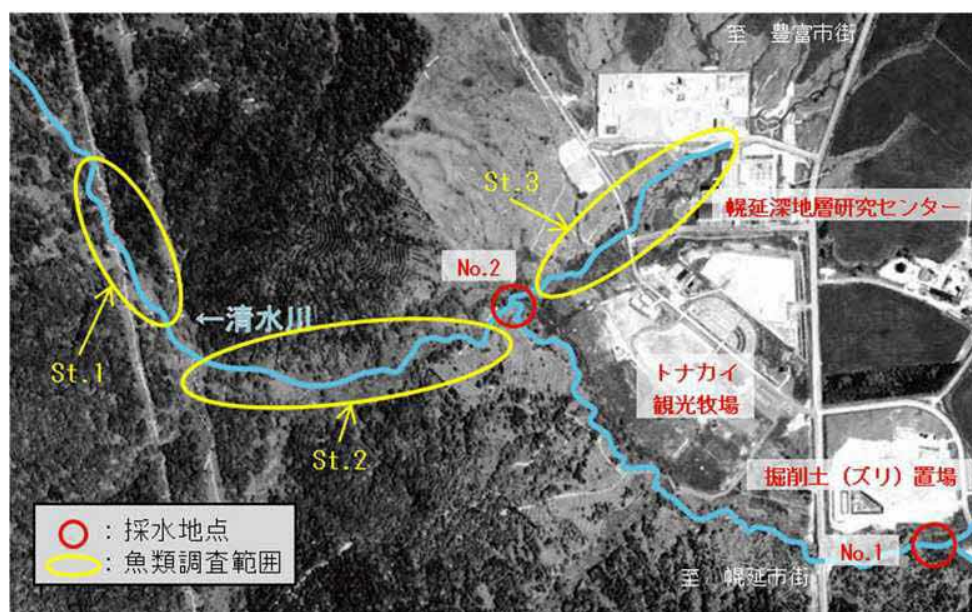
地下施設整備の実績工程表（令和5年度）

	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
350m調査坑道	準備 掘削			仕上
換気立坑	湧水抑制対策			準備 掘削
東立坑	湧水抑制対策	準備	掘削	
西立坑				湧水抑制対策

■ 当初の工程（令和5年4月）、■ 見直し後の工程（令和5年8月公表）、■ 実績

9. 環境調査

- ・ 排水処理設備から天塩川へ放流している排水量について監視を行うとともに、処理前後の排水の水質、天塩川の水質、浄化槽排水の水質について、調査を行っています。また、掘削土（ズリ）置場周辺の地下水についても水質調査を行っています。これらの分析結果の詳細は、幌延深地層研究センターのホームページ^{*38}で公開しています。水質調査の結果、環境への影響は観測されませんでした。
- ・ 幌延深地層研究センター周辺の環境影響について、清水川の水質および魚類を対象に調査を実施しています。各調査結果は、これまでと比較して大きな変化はありませんでした。
- ・ 地下施設整備の再開に伴い、掘削土（ズリ）の土壌溶出量試験を行っています。



環境調査実施場所

*38 : <https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/disclosure/suishitsu.html>

10. 安全確保の取り組み

- ・ 安全確保の取り組みとして、直営作業、請負作業、共同研究作業においては、作業の計画段階からリスクアセスメント評価を実施し、安全対策の妥当性の確認や改善に努めました。
- ・ 所長や保安・建設課などによる定期的な安全パトロールを実施し、現場の安全確認や改善などに努めました。
- ・ 新規配属者や請負作業・共同研究作業の責任者などに対して安全教育を実施したほか、全国安全週間などの機会を捉えて、従業員のみならず請負企業も含めた安全行事に積極的に取り組むなど、安全意識の高揚に努めました。



安全行事の実施（安全大会：令和5年7月3日）

11. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、国内外の大学・研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、広く関連する専門家の参加を得て進めています。

○国内機関との研究協力

➤ 北海道科学大学

AI技術を活用した画像認識による坑道壁面の地質判読に関する研究

➤ 東京大学

天然有機物が核種移行に与える影響に関する研究

微生物を指標とした堆積岩中の水みち調査手法の開発

➤ 名古屋大学

炭酸カルシウムのコンクリーション化による地下空洞掘削影響領域および水みち割れ目の自己シーリングに関する研究

➤ 幌延地圏環境研究所

堆積岩を対象とした岩盤力学や微生物などに関する研究

➤ 産業技術総合研究所

海陸連続三次元地質環境モデルの妥当性の検証に向けたデータ取得手法の高度化

➤ 原子力規制庁（原子力機構 安全研究センターが実施する共同研究への協力）

放射性廃棄物処分坑道の閉鎖措置確認に向けた掘削損傷領域およびベントナイトの透水性に関する研究

など

○国外機関との研究協力

➤ 幌延国際共同プロジェクト（Horonobe International Project : HIP）

管理委員会やタスク会合において参加機関との議論を行い、原位置試験、室内試験や解析の実施計画を検討するとともに、研究の進捗状況について確認、議論しました。また、参加機関が原位置試験の状況を把握するために、幌延深地層研究センターでの現地会合を実施しました。

など