令和6年度における個別課題の現状および今後の予定

①深地層の研究施設計画
a）幌延深地層研究計画

令和7年3月28日

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

本日の内容

- 第4期中長期計画及び年度計画
- 令和2年度以降の幌延深地層研究計画
- 地下施設の整備と原位置試験の実施の状況について
- 令和6年度に終了する課題の成果取りまとめ
- 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
- 幌延国際共同プロジェクト（HIP）について
- 広報活動の取り組み

第4期中長期計画及び年度計画

第4期中長期計画及び年度計画

(3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発
1) 深地層の研究施設計画（幌延深地層研究計画）

中長期計画（令和4年4月1日～令和11年3月31日）

- 調査・研究を委託や共同研究等により重点化しつつ着実に進める。
- 「令和２年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、**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**及び**地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証**を進める。
- **稚内層深部（深度500m）に坑道を展開して研究に取り組む**とともに、更なる**国内外の連携を進め、研究開発成果の最大化を図る**。
- これらの研究課題については、目標期間を目途に取り組み、その上で、国内外の技術動向を踏まえて、地層処分の技術基盤の整備の完了が確認できれば、埋め戻しを行うことを具体的工程として示す。

第4期中長期計画及び年度計画

(3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発
1) 深地層の研究施設計画（幌延深地層研究計画）

年度計画（令和6年4月1日～令和7年3月31日）

- 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認については、人工バリア性能確認試験データの取得を継続するとともに、掘削損傷領域や断層を対象とした物質移行試験について、これまでの成果の取りまとめを行い、モデル化及び解析手法の整備を実施する。
- 処分概念オプションの実証については、人工バリアに要求される品質を踏まえて、令和５年度までに構築してきた要素技術を適用した原位置試験を通じて得られた調査・設計・評価技術の成果をとりまとめる。また、坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化のための手法の整理等を実施する。また、高温度等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験として、令和５年度に開始した原位置試験で使用した試験体を解体して100℃を超える熱履歴を経た緩衝材の特性を確認する。
- 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証については、水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法等について取りまとめる。
- 「令和２年度以降の幌延深地層研究計画」を実施するに当たって、令和６年度はPFI事業により深度350～500mの立坑の掘削を継続するとともに、500m調査坑道の掘削に着手し、令和７年度までに整備する。また、国内外の関係機関との連携を進め、研究開発成果の最大化を図るために立ち上げた幌延国際共同プロジェクトによる研究開発を継続する。本プロジェクトにおいて物質移行モデル構築のための原位置試験や数値解析、500m調査坑道を対象とした割れ目からの湧水量や掘削損傷領域に関する予測解析、人工バリア性能確認試験の解体調査に向けた検討を参加機関と連携して行い、これらの成果の取りまとめを進める。

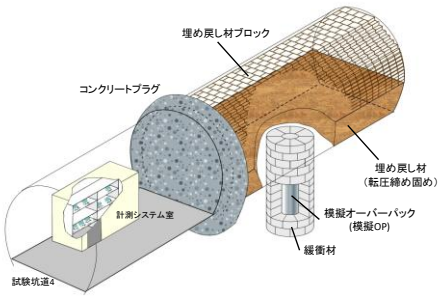
令和2年度以降の幌延深地層研究計画

令和2年度以降の計画の概要

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1.1 人工バリア性能確認試験 HIP Task C

1.2 物質移行試験 HIP Task A



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調査のイメージ

2. 処分概念オプションの実証

2.1 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

2.1.1 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 HIP Task B

2.1.2 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 HIP Task A, B

閉鎖技術オプションの整理

2.2 高温度（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

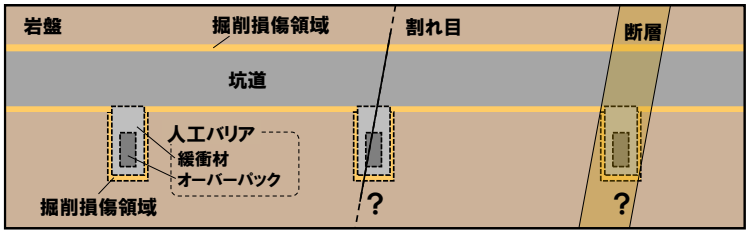
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

3.1.2 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

3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験



廃棄体定置決定や間隔設定の考え方の整理

研究計画の工程

	第3期		第4期中長期目標期間						
	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認									
1.1 人工バリア性能確認試験 HIP Task C	浸潤時・減熱時のデータ取得、連成モデルの適用性確認 国際プロジェクトにおける解析コード間の比較検証、改良・高度化								
1.2 物質移行試験 HIP Task A	掘削影響領域での物質移行に関するデータ取得 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験、等								
2. 処分概念オプションの実証									
2.1 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									
2.1.1 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 HIP Task B	搬送定置・回収技術、閉鎖技術の実証								
2.1.2 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 HIP Task A, B			4つの課題 ①～④		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 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報の整理、等				
2.2 高温度（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験	100℃超の際にニアフィールドにおいて発生する現象の整理 国際プロジェクト情報の収集・整理、等								
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証									
3.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化									
3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握	数十cmの幅の断層を対象とした水圧擾乱試験 断層の活動性評価手法の整備、等								
3.1.2 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	地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域）の調査・評価技術の検証、等								
3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が掘削影響領域の力学的・水理学的な 緩衝能力に与える影響を把握する解析手法の開発								

本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していきます。

- 個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（2.1.2）に統合して実施する。
- 2.1.2を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

令和6年度における研究実施の留意点：

①令和6年度の個別研究課題の成果取りまとめ

赤文字はR6年度取りまとめの対象課題

②令和6年度以降の体系化研究の計画の具体化と着実な実施

③幌延国際共同プロジェクト（HIP）の着実な実施とフェーズ１の成果まとめ

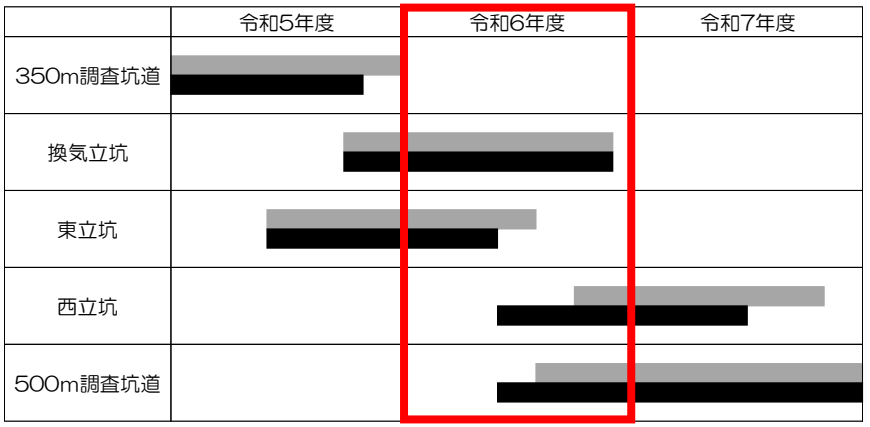
地下施設の整備と原位置試験の実施の状況について

地下施設の整備

施設整備の状況（令和7年3月19日現在）

東立坑（R5.9.29掘削開始）：深度500mまでの掘削を完了
換気立坑（R6.2.12掘削開始）：深度500mまでの掘削を完了
西立坑：（R6.9.11掘削開始）：深度466m
500m調査坑道（R6.9.17掘削開始）：総延長108.4m

施設整備工程

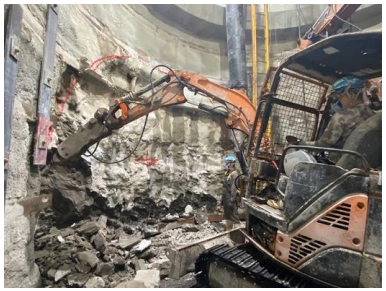


■令和6年3月公表の工程
■実績及び更新後の工程（令和7年3月公表）
※各工程には路盤や各種設備等の仕上げ作業を含む。
※本工程は、今後も現場の進捗等に応じて適宜見直しを行う。

東立坑　深度500m到達
（R6.9.5）

換気立坑　深度500m到達
（R7.1.22）

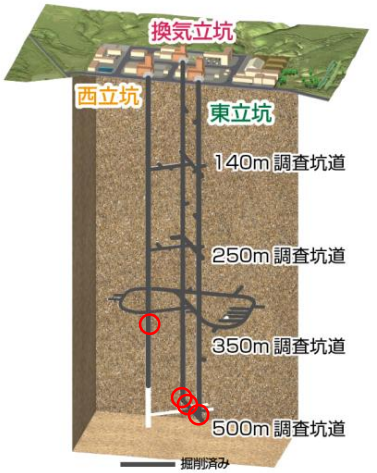
西立坑　深度365m掘削開始
（R6.9.11）



深度500m坑道掘削開始
（R6.9.17）

500m東連絡坑道の掘削
（R6.12.20）

東連絡坑道の貫通
（R7.2.18）



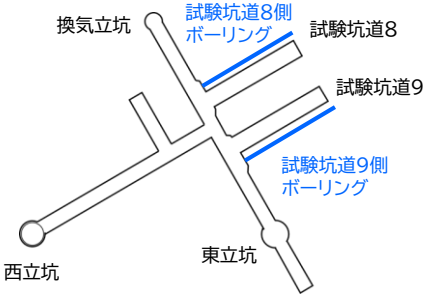
【地下施設イメージ図】
（令和7年3月19日現在）
◯：写真撮影場所

地下施設の整備

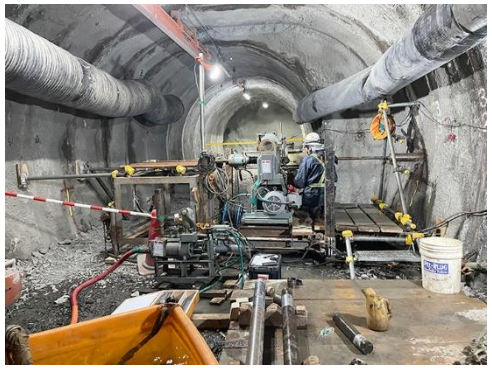
掘削に関する調査研究

500m調査坑道の先行ボーリング調査

試験坑道8・9の掘削に先立って、坑道周辺の地下水や岩盤の初期状態を把握するためのボーリング調査（コア観察、BTV、検層、透水試験）、水圧モニタリングを実施。



500m調査坑道レイアウト



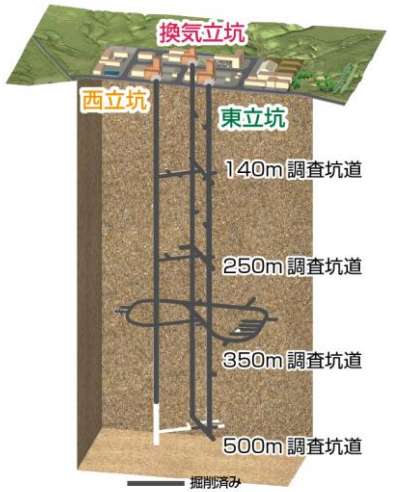
先行ボーリング掘削の様子

ボーリングコアの確認

【令和7年度の計画】

掘削工事

- 西立坑の掘削継続
- 500m調査坑道の掘削継続



【地下施設イメージ図】

（令和7年3月19日現在）

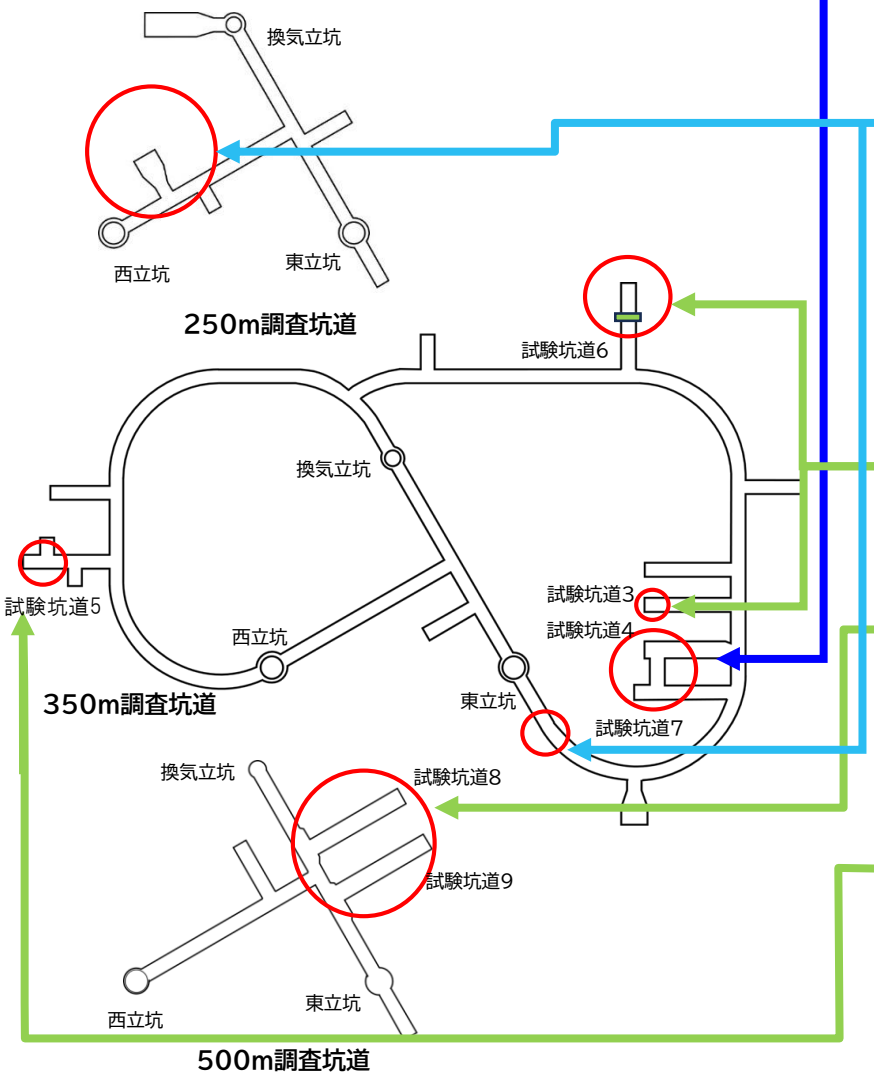
令和7年度の掘削工事のスケジュール

	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
西立坑	掘削			
500m調査坑道	掘削			仕上

※本工程は、今後の施工計画策定や工事進捗に応じて変更となる場合があります。

原位置試験の実施場所と状況

令和2年度以降の課題における原位置試験の実施予定場所



●実際の地質環境における人工バリアの適用性確認に関わる研究

1）人工バリア性能確認試験【実施中、解体調査はR8年度～】
連成解析技術の信頼性を確認するため、試験坑道4で人工バリアの解体、センサーの較正、分析を実施。 Task C

2）物質移行試験【実施中】
ブロックスケールにおける遅延性能評価手法を整備するため、250m調査坑道で物質移行データを取得。／有機物・微生物・コロイドの影響評価手法を整備するため、350m周回坑道で物質移行データを取得。 Task A

●処分概念オプションの実証に関わる研究

1）閉鎖技術（埋め戻し方法・プラグ等）の実証試験【実施中】
坑道閉鎖に関わる地下施設及び人工バリアの設計評価技術を体系化するための実証試験を実施。 Task B

2）掘削影響試験／初期地圧測定【R6年度から開始】
多連接坑道での湧水抑制対策技術及び処分孔支保技術を整備するために、試験坑道8、9でボーリング調査、物理探査などを実施。坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術を体系化するため、500m調査坑道で初期地圧測定を実施。 Task B

3）高温条件での人工バリア性能確認試験【実施中】
緩衝材の最高温度が100℃を超えた状態での人工バリア性能に関する試験データを整備するため、試験坑道5で原位置加熱試験を実施。

令和6年度に終了する課題の成果取りまとめ

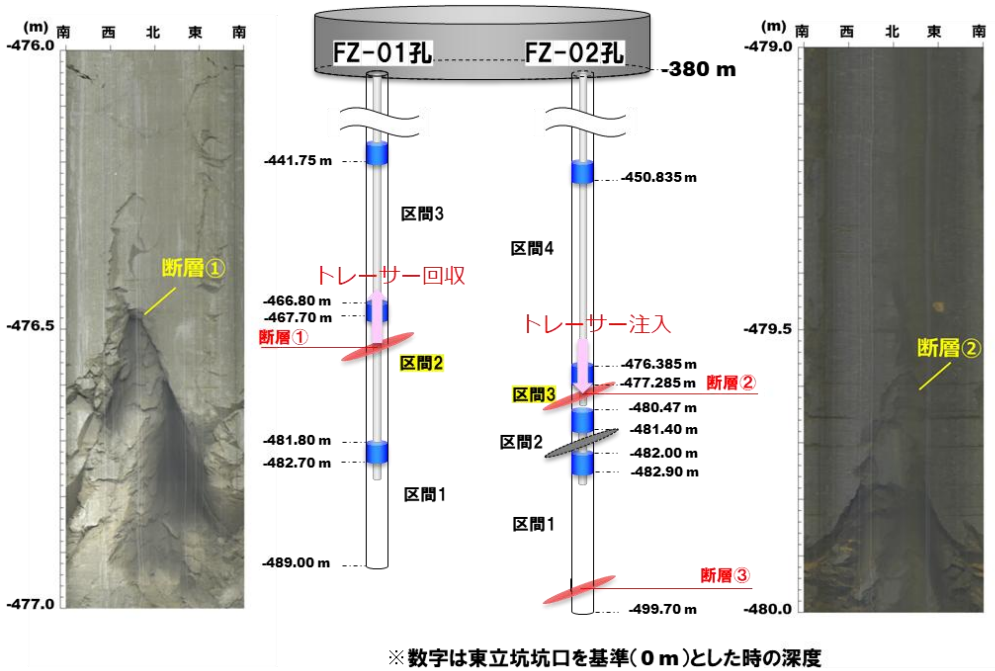
1.2 物質移行試験

【第4期中長期計画　目的】

幌延地域に分布する水みちの特性が異なる3つの岩盤を事例に、岩盤特性の不均質性等を考慮した上で、物質移行のシナリオおよび関連因子（微生物、有機物、コロイド影響など）や坑道近傍からより広い領域を含む複数のスケールを対象とした核種移行モデルを構築・検証するとともに、これら一連のモデル化・解析手法を総合的な物質移行特性評価手法として整備

【令和6年度の計画】

- **掘削損傷領域における物質移行**
  - モデル化・解析手法の取りまとめ
- **有機物・微生物・コロイドの影響評価**
  - 室内試験および原位置試験の結果の整理
  - 影響評価手法の取りまとめ
- **ブロックスケールを対象とした物質移行試験**
  - モデル化・解析手法の取りまとめ

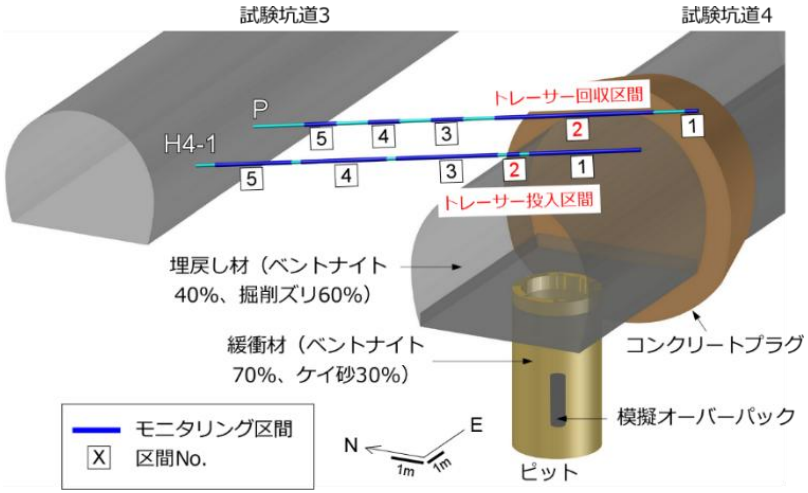


ブロックスケールを対象とした物質移行試験
（東立坑の480m付近の稚内層深部を対象，孔間距離4.5m）

1.2 物質移行試験　掘削損傷領域における物質移行

【成果取りまとめ】

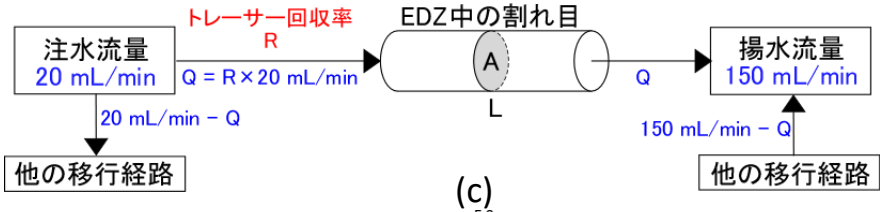
- 350m調査坑道の試験坑道3および4(左下図)において、**これまでに事例がない掘削損傷領域を対象とした原位置での孔間トレーサー試験**(左下図)によりデータを取得
- **掘削損傷領域中を1次元的な流れを介して移行するモデルを適用することで、掘削損傷領域の移流分散挙動を適切に評価可能であることを確認**(右下図)。また、導出された縦方向分散長と移行経路長との関係性(α_L/L)は天然の割れ目に対する関係性と整合的。
- これまでに知見の得られていない**掘削損傷領域の物質移行特性を把握するための原位置でのデータ取得とモデル化の手法を提示**



掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験のレイアウト

H4-1孔とP孔は試験坑道3の南側壁面から試験坑道4に向かって斜め上向きに掘削されている。H4-1孔の区間2をトレーサー投入区間、P孔の区間2をトレーサー回収区間としている。

(a)

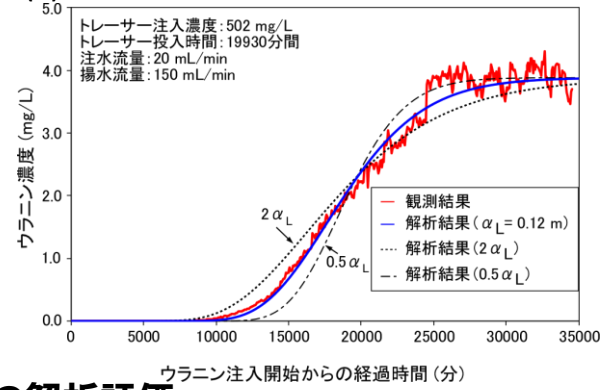


(b)

解析パラメータ		
トレーサー回収率 (-)	R	0.06
移行経路長 (m)	L	4.2
流量 (mL/min)	Q	1.2
移行経路の断面積 (m^2)	A	5.2×10^{-3}
縦方向分散長 (m)	α_L	0.12

赤字：推定値

(c)



トレーサー試験の解析評価

(a) 解析モデルの概念図、(b) 解析パラメータの一覧、(c) 解析結果
(c) 中の点線および破線は解析パラメータのうち、縦方向分散長
(α_L=0.12)のみを0.5倍もしくは2倍にした際の解析結果

武田・石井 (2024)

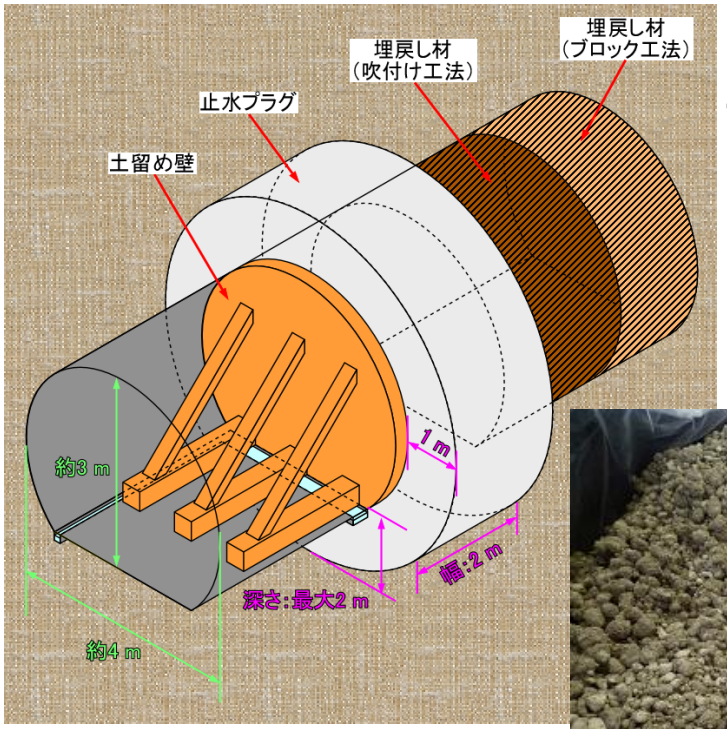
2.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

【第4期中長期計画　目的】

人工バリアの搬送定置・回収技術（緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術オプション、回収容易性を考慮した概念オプション、品質評価手法など）を、幌延の地下施設を事例として整備

【令和6年度の計画】

- **搬送定置・回収技術の整備**
  - 支保部材の経年変化などの整理、取りまとめ
- **閉鎖技術の実証**
  - 埋め戻し材や止水プラグなどの性能の考え方や掘削損傷領域の調査技術などの有効性や技術的な課題について取りまとめ
- **人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工の違いによる品質保証体系の構築**
  - 品質保証の仕組みや考え方の体系的な整理、取りまとめ



止水プラグを用いた坑道閉鎖の施工試験イメージ

掘削土（ズリ）を用いた埋め戻し材

2.1.1 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

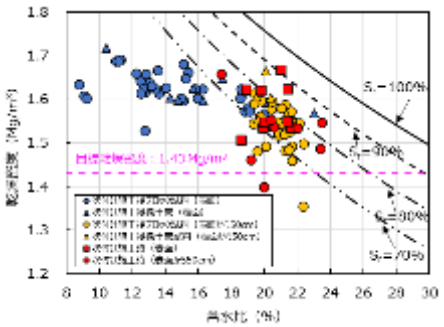
閉鎖技術の実証

【成果取りまとめ】

- 止水プラグ等の**施工要素技術の原位置環境への適用性・実現性を確認**
- 個別要素技術の成果を**実際の設計・検討に活用できる設計フローとして提示**

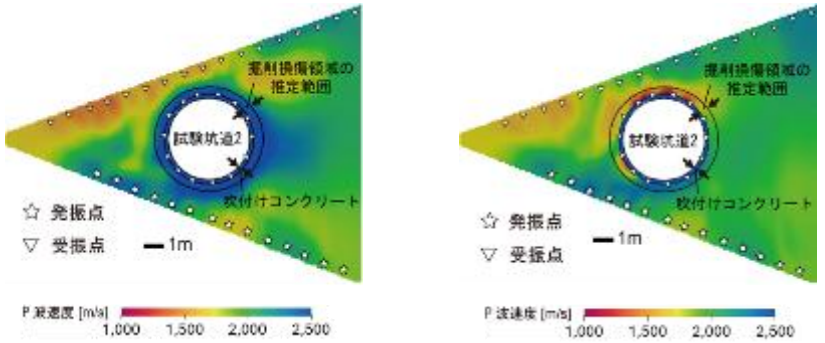
止水プラグの施工方法として吹付け工法に着目して原位置環境での吹付け試験を実施。要求性能（透水係数）を満足する材料仕様（乾燥密度、材料配合）の施工が可能であることを確認

原位置吹付け試験の状況



吹付け後の乾燥密度と含水比の関係

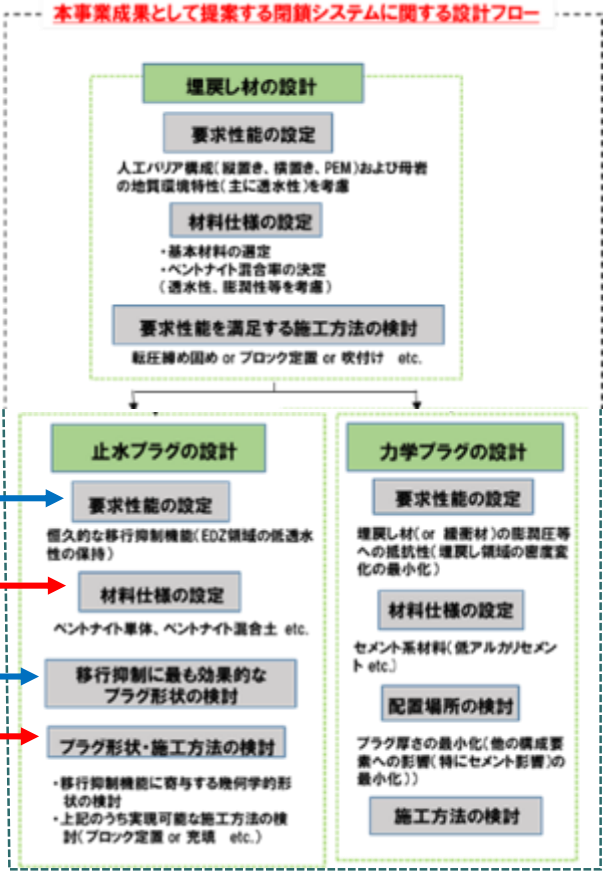
EDZの範囲や物性を調査できる方法として、坑道内においても弾性波トモグラフィや比抵抗トモグラフィを適切に適用できるように解析手法を整備



(a) 吹付けコンクリートの影響を考慮しない　(b) 吹付けコンクリートの影響を考慮

吹付けコンクリートの影響を考慮した解析手法によるP波速度分布の推定

EDZの存在が想定される領域に弾性波速度が遅い領域を検出



設計フロー

（資源エネルギー庁受託事業「地層処分施設閉鎖技術確証試験」（平成30年度～令和4年度），原子力機構・原環センター，2023）

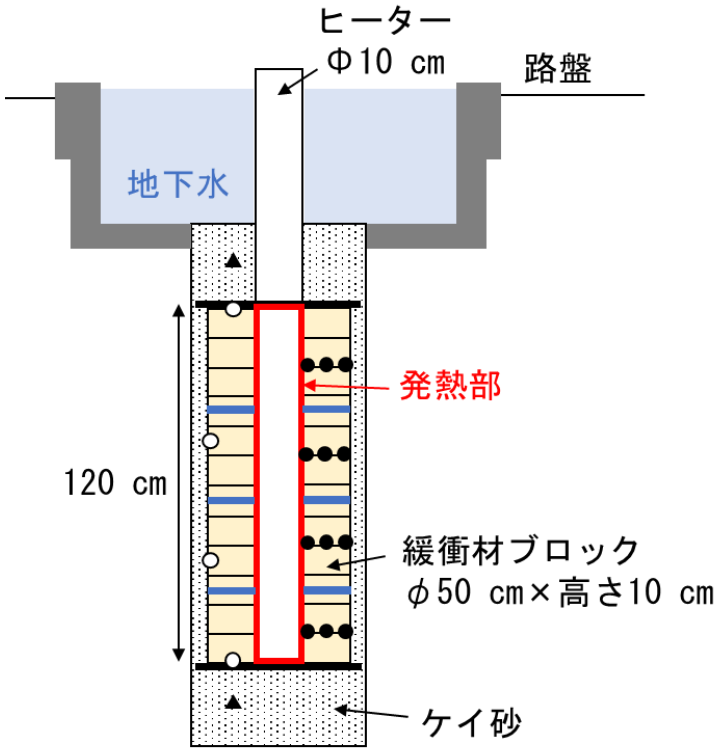
2.2 高温度(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

【第4期中長期計画　目的】

人工バリア中の緩衝材の最高温度が100℃を超えた状態で、人工バリアおよびその周辺岩盤領域(ニアフィールド)において発生しうる現象を整理し、人工バリア性能に関する試験データの整備および解析手法の開発を行い、ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示

【令和6年度の計画】

- 高温条件下での原位置試験(350m試験坑道5)の継続(孔内の温度や水分分布などのモニタリング)
- ひと組の試験系の解体、100℃を超える熱履歴を経た緩衝材の特性を確認する試験・分析の実施
- 緩衝材に浸潤させる水の組成などの条件を変えた室内試験の実施



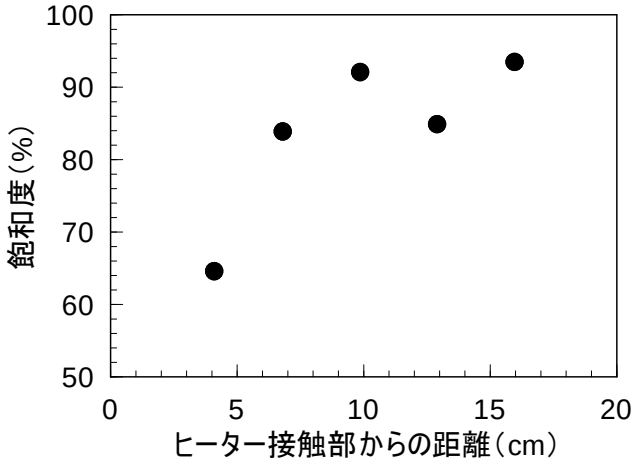
センサーの配置(断面図)

2.2 高温度(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

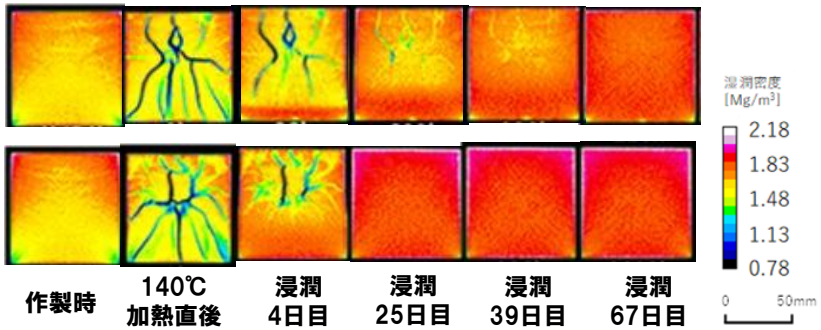
【成果取りまとめ】

- 加熱にともない緩衝材のヒーター接触部でひび割れが発生することを原位置試験により確認
- 加熱による緩衝材のひび割れが優先的な水みちとはならないこと、生じたひび割れが塩水でも閉塞することを室内試験により確認

緩衝材内部の色調の変化(左)、
ヒーター接触部に認められた
緩衝材のひび割れ(右)



緩衝材中の
飽和度の分析結果



緩衝材試料の湿潤に関する室内試験の結果
蒸留水(上)、塩水(下)

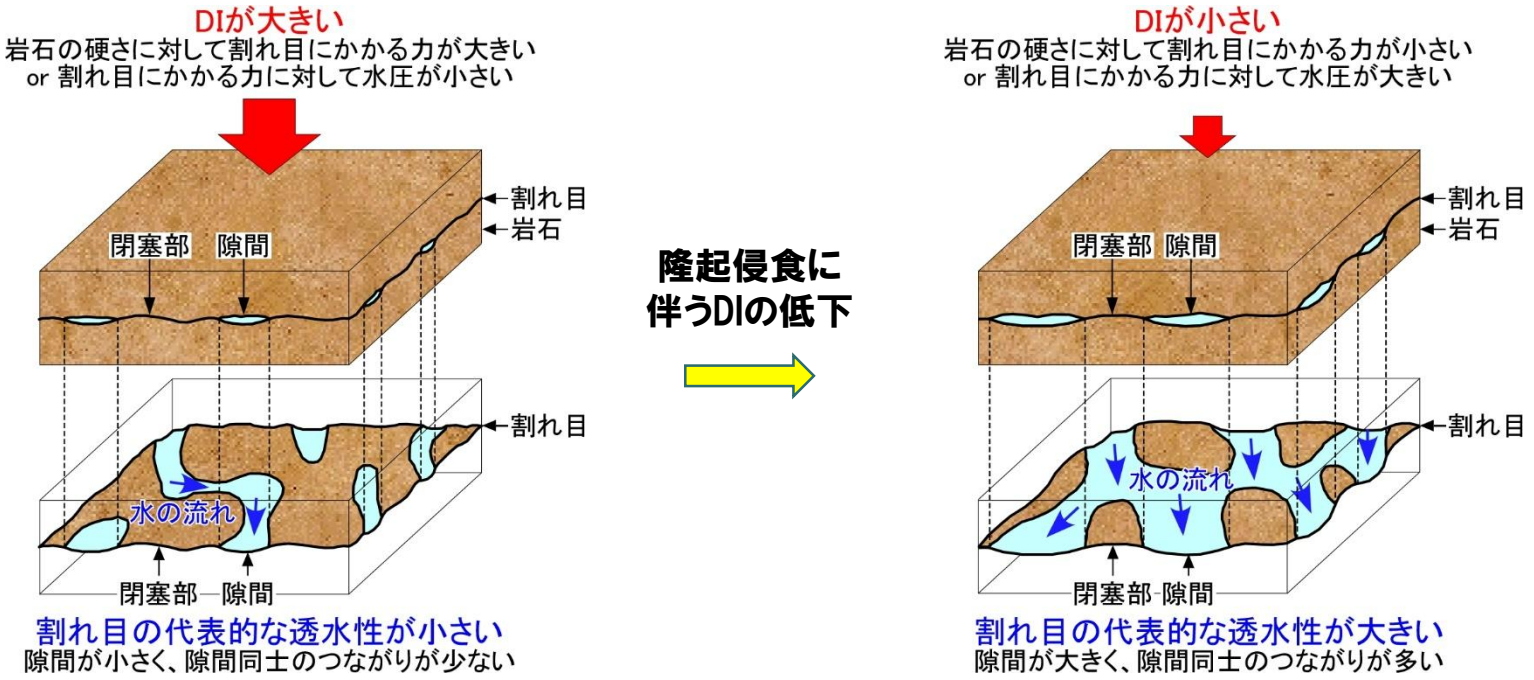
3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

【第4期中長期計画　目的】

地殻変動が地層の透水性に与える影響を推測するため、ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験と、その結果に基づく隆起侵食の影響を含めた透水性評価、断層の力学的な安定性評価の手法を整備

【令和6年度の計画】

- **断層/割れ目の水理学的連結性とDIの関係や断層の力学的な安定性に関する検討**
- **これまでの成果の取りまとめ**

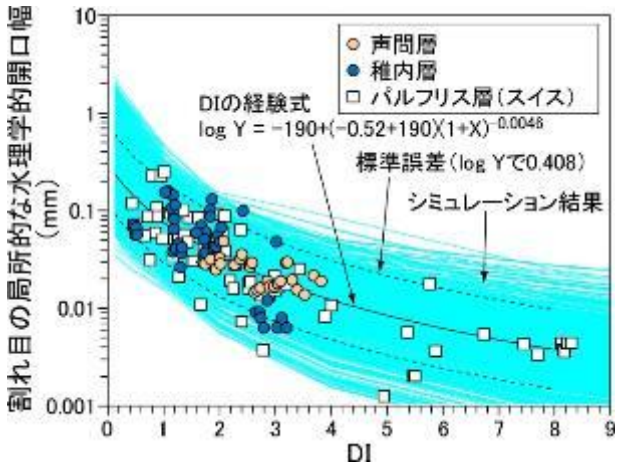


DI*と割れ目の代表的な透水性の関係

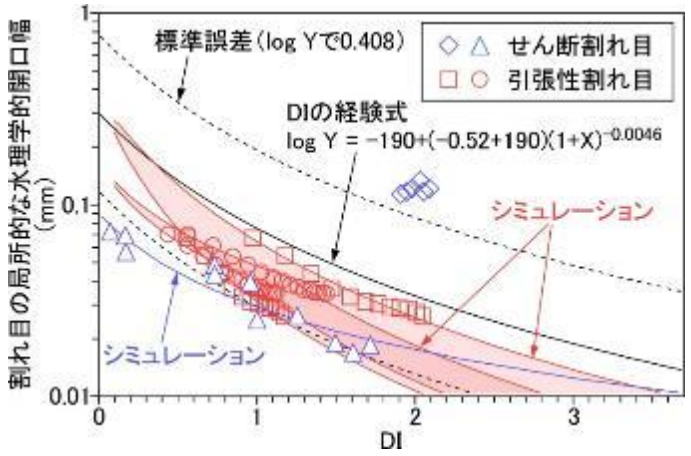
＊DI(ダクティリティインデックス):岩石にかかる力を岩石の引張り強さで割ったもの

3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

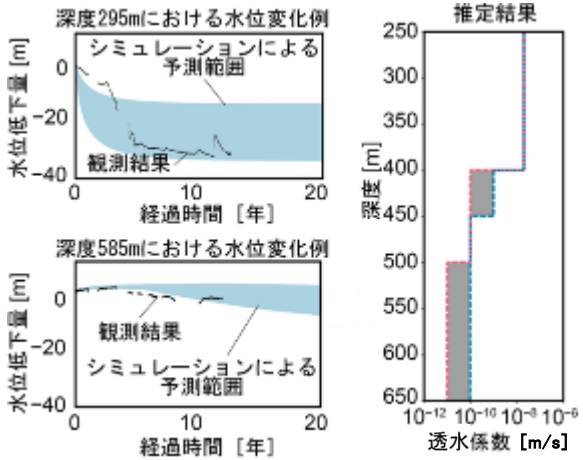
【成果取りまとめ】 断層や割れ目の代表的な透水性とDIの関係や水圧擾乱試験を適用した地殻変動の影響を含めた地層の長期的な透水性評価手法の整備



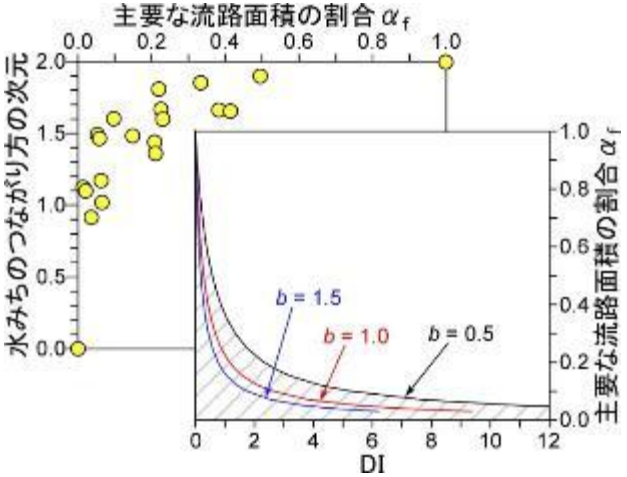
割れ目内の隙間の大きさとDIの関係の構築とシミュレーションによる検証



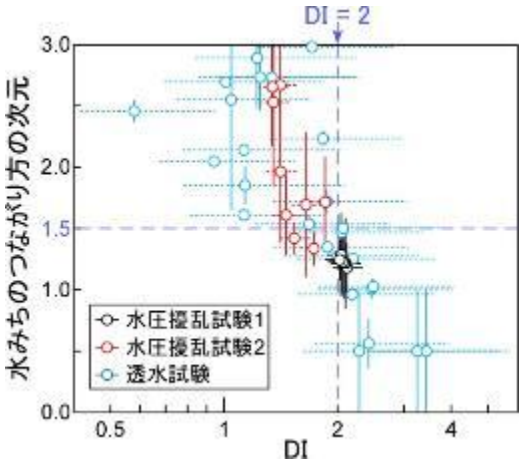
稚内層における割れ目を対象とした水圧擾乱試験による検証



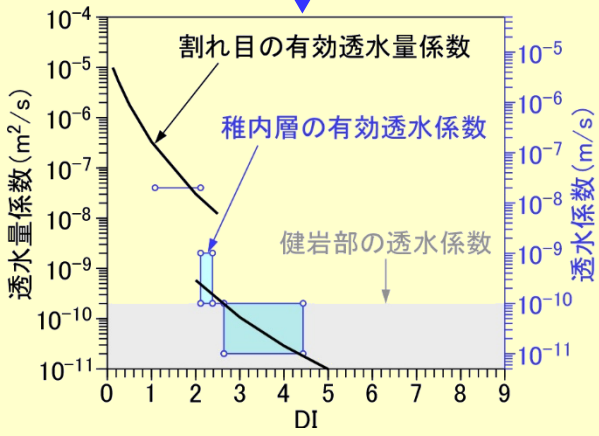
地下施設周辺の水圧変化に基づく稚内層の有効透水係数の推定



仮想透水試験による割れ目内の隙間のつながり具合とDIの関係



稚内層における断層帯を対象とした透水試験と水圧擾乱試験による検証

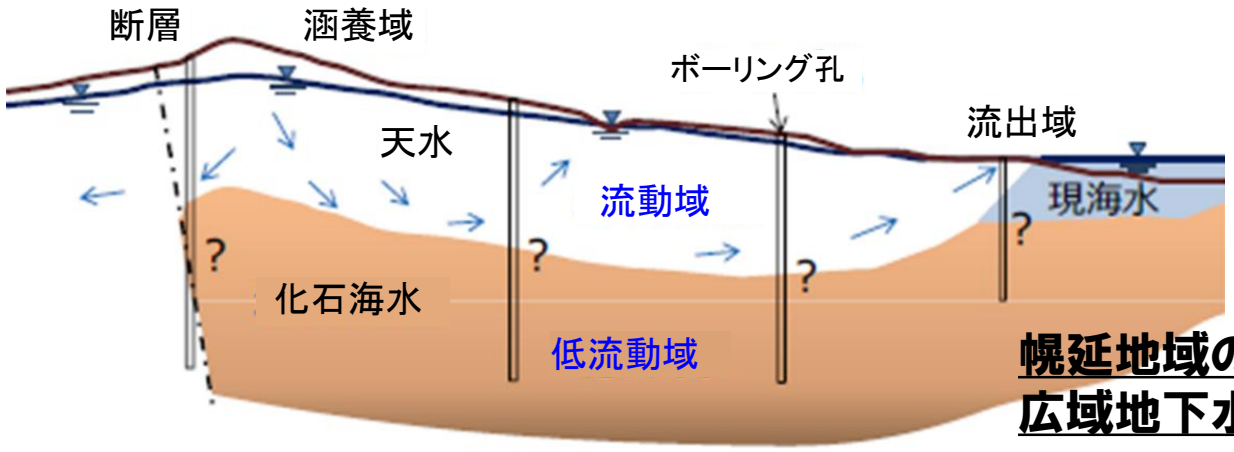


地殻変動の影響を考慮した割れ目の有効透水量係数とDIの関係

3.1.2 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

【第4期中長期計画　目的】

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を目的として、化石海水が存在するような地下水の流れが非常に遅い領域（低流動域）の三次元分布を調査・評価する手法の検証および広域スケールを対象とした水理・物質移行評価手法の検証



幌延地域の広域地下水流動概念

- 地下浅部は、隆起・侵食により天水が涵養し、地下を経由して、流出域まで流動する**流動域**
- 地下深部は、隆起・侵食を経ても天水の涵養の影響を受けておらず、埋没続成過程により変質した堆積時の海水※が残されており、拡散が支配的な**低流動域**

※本研究では、このような古い海水を「化石海水」と呼ぶ

【令和6年度の計画】

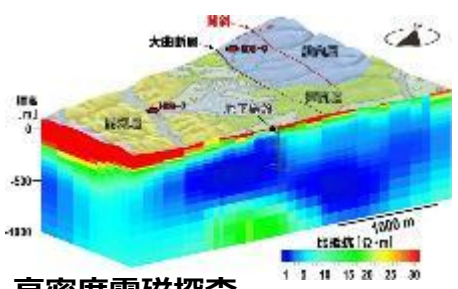
引き続きこれまでに得られた成果に基づき、地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する方法を取りまとめる。

3.1.2 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

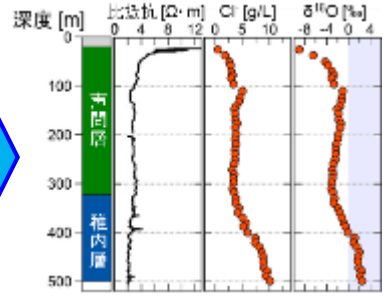
【成果取りまとめ】

地下水の流れが非常に遅い領域の調査・モデル化技術を実証

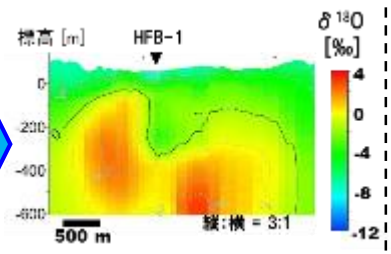
流動域/低流動域の三次元分布を調査・評価



高密度電磁探査



ボーリング調査
（比抵抗、Cl^-濃度、$\delta^{18}O$の深度分布取得）



地球統計学的解析
（各パラメータの三次元分布推定）

流動域/低流動域の三次元分布を推定

- 既存調査も含む幌延地域の調査データを基に、数十km四方の範囲の調査結果に基づき、数km四方に絞り込み，その範囲の三次元分布を推定する手順を提示

長期的に安定な水理場・化学環境の確認

- 割れ目水と間隙水の水質コントラストと、地下水の放射性炭素（^{14}C）年代測定とを組み合わせて、割れ目に沿った地下水の流れの有無を判別する評価手法を構築
- 幌延地域の埋没続成作用のモデル化と数値解析により、化石海水の水質形成機構を定量的に理解

水理モデル構築と数値解析による地下水移行時間の評価

- 広域スケールを対象とした水理・物質移行解析（地下水移行時間解析）において、地下水移行時間をより適切に評価するための岩盤の水理学的有効間隙率の与え方を提示

※平成30年度～令和4年度エネ庁事業（岩盤中地下水流動評価技術高度化開発）の成果の一部を活用して実施

令和6年度の取りまとめ対象課題 一覧

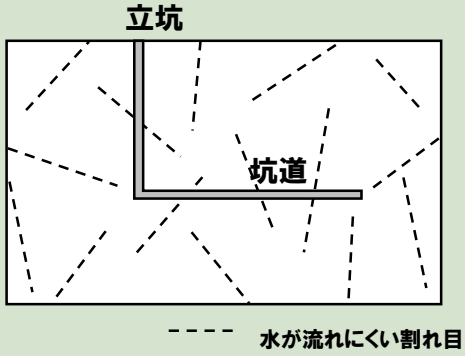
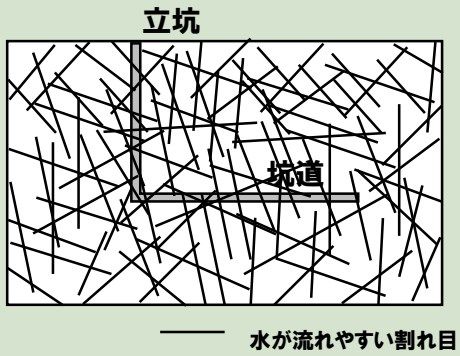
	目 標	成 果
1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認		
1.2 物質移行試験	●**掘削損傷領域における物質移行** モデル化・解析手法の取りまとめ ●**有機物・微生物・コロイドの影響評価** 室内・原位置試験結果の整理、影響評価手法の取りまとめ ●**ブロックスケールを対象とした物質移行試験** モデル化・解析手法の取りまとめ	●掘削損傷領域の物質移行特性を把握するための原位置でのデータ取得とモデル化の手法を提示 ●地下水中の有機物・微生物・コロイドが物質移行に与える影響を定量的に評価する手法を整備 ●ブロックスケールの物質移行特性を把握するための一連のデータ取得とモデル化手法を提示
2. 処分概念オプションの実証		
2.1.1 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	●**搬送定置・回収技術の整備** 支保部材の経年変化等の整理、取りまとめ ●**閉鎖技術の実証** 埋め戻し材や止水プラグ等の性能の考え方,EDZの調査技術の有効性,技術課題の取りまとめ ●**緩衝材と埋め戻し材の施工上の品質保証体系の構築** 品質保証の仕組みや考え方の体系的な整理、取りまとめ	●回収可能性を考慮して坑道開放期間が長期化することにともなう影響の調査評価手法の整備 ●止水プラグ等の施工要素技術の原位置環境への適用性・実現性を確認, 設計フローの提示 ●緩衝材の充填時の流出量評価モデルを整備,埋戻し材の施工方法の有効性を提示
2.2 高温度(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験	●高温条件下での原位置試験(350m試験坑道5)の継続(孔内の温度や水分分布などのモニタリング) ●試験系の解体、100℃を超える熱履歴を経た緩衝材の特性を確認する試験・分析 ●緩衝材に浸潤させる水の組成等を変えた室内試験	●加熱で生じる現象(ﾋｰﾀｰ接触部でのひび割れ等)や緩衝材特性の変化を、解体調査結果をもとに整理 ●解析により緩衝材の温度分布の影響事象を整理 ●加熱による緩衝材のひび割れ・水の浸潤による閉塞挙動に関する室内試験結果を整理
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証		
3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握	●断層/割れ目の水理学的連結性とDIの関係や断層の力学的な安定性に関する検討	●水圧擾乱試験により地殻変動の影響を含めた透水性評価手法を整備 ●水圧擾乱試験により断層のせん断剛性を原位置で計測できることを確認
3.1.2 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	●これまでに得られた成果に基づく地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する方法の取りまとめ	●地下水の流れが非常に遅い領域の調査・モデル化技術を実証

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

体系化の研究の全体像
深度500mの地質環境の特徴と研究の意義

深度350mとは性質の異なる深度500mの地層を対象に、坑道を展開して研究に取り組むことで、主に以下の成果が得られ、技術基盤の整備に、より一層貢献可能。

- 高い地圧がかかり坑道の設計・施工上の難易度が高い地質条件下で、処分技術に関わる基盤技術を実証。
- 物質が動きにくい環境で岩盤が有する物質を閉じ込める性能が実証でき、人工バリア等の技術仕様の精緻化。
- 水の流れに大きな影響を及ぼす掘削影響領域を含めた安全評価技術を体系的に実証可能。

ポイント	深度500m	深度350m
処分技術	・岩石強度に対して地圧が大きい ・地下水圧が高い ⇒ 高い地圧がかかり坑道の設計・施工上の難易度が高い地質条件下で、処分技術に関わる基盤技術を実証できる ⇒ 海外でも事例が少ない堆積岩の深度500mにおいて処分技術を実証できる	・岩石強度に対して地圧が小さい ・地下水圧が低い ⇒ 地圧が低く坑道の設計・施工上の難易度が低い地質条件下で、処分技術に関わる基盤技術を実証できる
安全評価	・地下水や物質が割れ目内を流れにくい ・岩盤中の割れ目が少なく、坑道の掘削により掘削損傷領域がより広く発達すると考えられる ⇒ 物質が動きにくい環境で、岩盤が有する物質を閉じ込める性能が実証でき、人工バリア等の技術仕様が精緻化できる ⇒ 水の流れに大きな影響を及ぼす掘削影響領域も含めた安全評価技術を体系的に実証できる	・地下水や物質が割れ目内を流れやすい ・岩盤中の割れ目が多く、坑道の掘削による掘削損傷領域の発達度合いは小さい ⇒ 水が流れやすい割れ目が多くつながる領域を対象とした安全評価技術を体系的に実証できる
イメージ図		

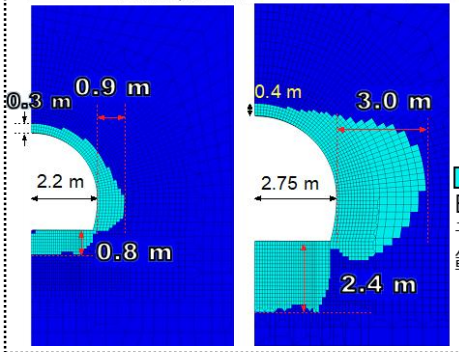
体系化の研究の全体像
坑道～ピットスケールの調査・設計・評価技術の体系化

処分坑道・ピットを配置するための設計概念や指標および関連技術を体系的に整備、最適化

➢ **実際に坑道を掘削して、地質環境の調査、設計・施工、岩盤力学・水理・物質移動に関わる解析等を実施し、廃棄体設置や坑道・ピットの配置の設定に必要となる情報等を整理するなど処分技術を実証**

EDZ発達

350m試験坑道3　500m試験坑道9

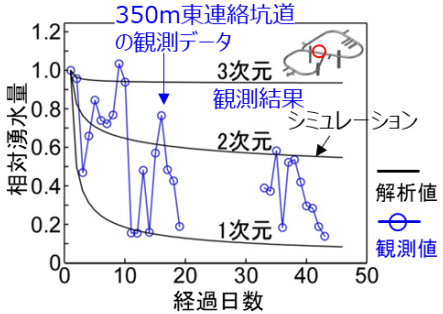


500mの方がEDZの拡がりが大きい

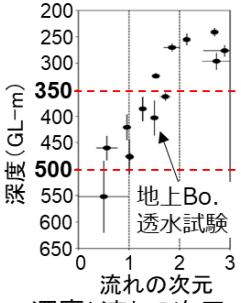
EDZ発達が予測される範囲

(After Aoyagi and Ishii 2019; Aoyagi et al. 2024)

湧水量



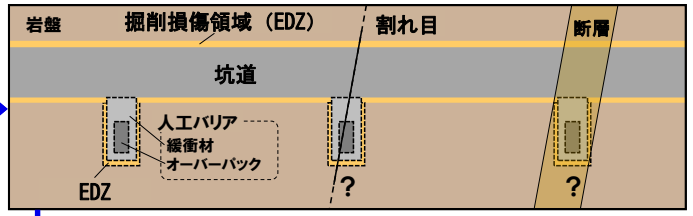
断層から湧水量の時間変化
(After Ishii 2023)



深度と流れの次元
(After Ozaki and Ishii 2024)

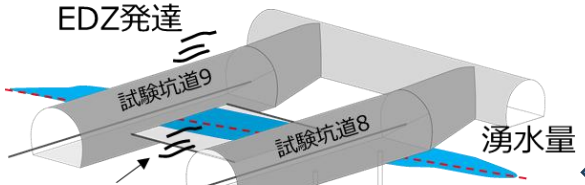
500mの方がより水理学的連結性が低い

廃棄体定置や坑道・ピット配置の考え方や指標の情報を収集

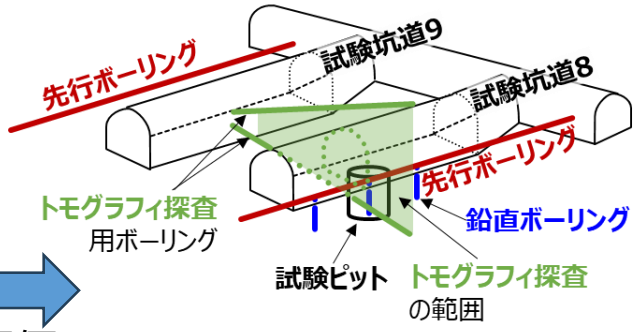


350m調査坑道で適用性が確認された調査を、350mとは特徴が異なる500m調査坑道に適用し、施工とそれに並行した原位置調査により坑道・ピットの配置を決定する手順を確認

国内外の既存事例やHIPにおいて共有された情報に基づき、着目すべき地質環境特徴（評価項目）を特定



評価・検証



500m試験坑道8、9における原位置調査レイアウト案

地質環境特性に基づく工学的対策（湧水抑制、処分孔支保、緩衝材流出抑制等）の検討

特性の異なる岩盤中の物質移行モデルの構築、地下深部から地上までの物質移行・閉じ込め性能の評価（安全評価技術の適用性評価）

体系化の研究の全体像
4つの課題の全体計画と令和6年度計画（1）

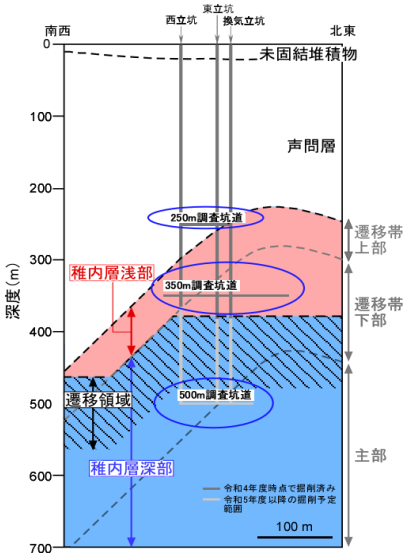
➢ **令和6年度調査研究計画で設定した4つの課題の全体計画と令和6年度計画**

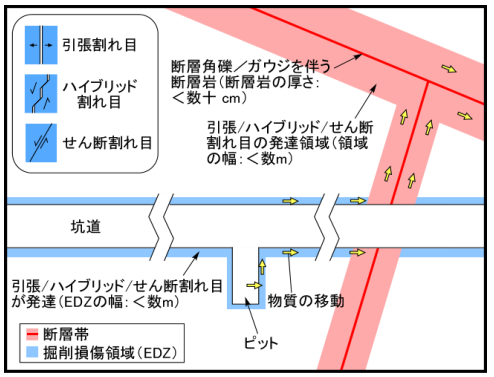
課題①坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

水みちの水理特性や物質の移行特性に関する情報に加え、人工バリアや処分坑道の設計（仕様やレイアウトなど）も考慮した物質移行解析を通じ坑道スケール～ピットスケールにおける閉じ込め性能の評価手法を体系的に整理する。

【令和6年度の計画】

➢ 人工バリアや岩盤の閉じ込め性能に大きく影響を及ぼすピット周辺の水みちの水理特性や物質の移行特性に関わる評価手法などの整理を進める。





水理・物質移行特性に関わる評価手法を検討するスケールのイメージ図

凡例で示す割れ目が断層帯およびEDZ内に発達

課題②先行ボーリングによる地質環境特性調査ならびに工学的対策を考慮した、地下施設および人工バリアの設計評価技術の体系化

500m調査坑道（試験坑道8および9）において、先行ボーリング調査や物理探査を行い、人工バリアを定置するピットの配置位置や坑道の間隔を設計するために、坑道やピットを掘削する段階に取得する必要のある情報とその情報の取得方法を整理する。また、350m調査坑道の試験坑道6において、実規模スケールの坑道の埋め戻しと止水プラグの施工試験を実施し、埋め戻しと止水プラグの設計から施工に至るまでの一連の技術を確認する。

【令和6年度の計画】

➢ 500m調査坑道における原位置調査に先立ち、断層や割れ目から坑道などへの湧水量や掘削損傷領域の発達範囲を予測するための解析を行い、原位置調査において取得すべきデータを検討する。試験坑道6周辺の掘削損傷領域の広がりや水理特性を調査するとともに、坑道の埋め戻しと止水プラグの設計を進める。

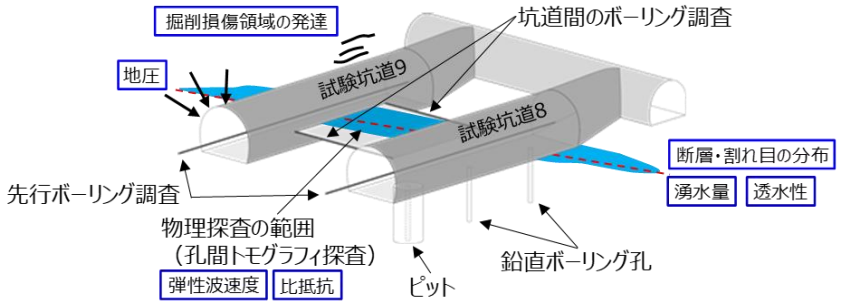
体系化の研究の全体像
4つの課題の全体計画と令和6年度計画（2）

課題③多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術および処分孔支保技術の整備、緩衝材流出・侵入現象評価手法および抑制対策技術の整備

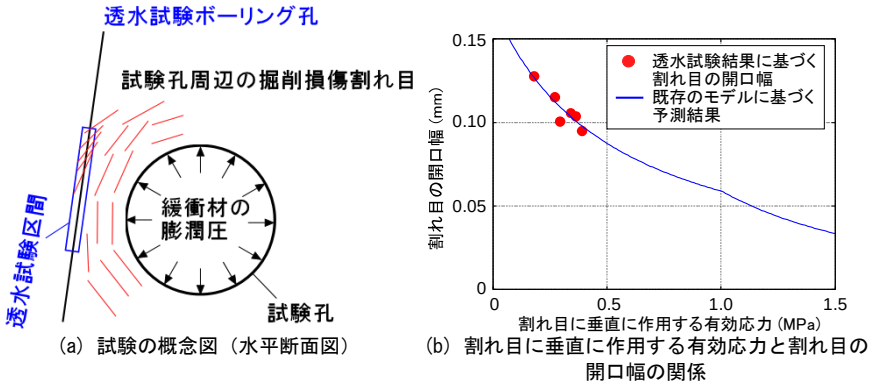
多連接坑道の処分孔に人工バリアを設置する場合を想定し、幌延で得られたデータを用いて、湧水抑制対策、処分孔の支保技術、緩衝材の流出現象を評価／抑制する技術、緩衝材の岩盤への侵入現象を評価／抑制する技術を整備する。

【令和6年度の計画】

- これまでに得られたデータや深度500mに向けた掘削過程で得られるデータ（右上図）を用いて、多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術や緩衝材の流出現象を評価／抑制する技術について検討を進める。



500m調査坑道の試験坑道8および試験坑道9における原位置調査のイメージ図



試験孔周辺に発達した掘削損傷割れ目を対象とした透水試験の概念図と割れ目に作用する有効応力と開口幅の関係

課題④廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報の整理

廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報（割れ目の湧水量、掘削損傷領域の広がりなど）の調査・評価手法について、実際に幌延で適用した調査・評価手法を体系的に整理する。

【令和6年度の計画】

- 人工バリア性能確認試験の試験孔周辺に発達した掘削損傷割れ目に対して過年度に実施した透水試験の例（右下図）などを用いて、幌延を事例とした、処分孔周辺に存在する割れ目の開きにくさや処分孔周辺の地下水の流れにくさを把握するための調査・評価手法の整理を進める。

体系化の研究の全体像
4つの課題の役割・成果目標と全体としての成果目標・反映先

課題①：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
□深度に応じた堆積岩の水理・物質移行特性の違いの実証
□掘削損傷領域や人工バリア／処分坑道の設計（仕様やレイアウトなど）も考慮した閉じ込め性能の評価手法の整理

物質移行評価技術（安全評価）

課題②：先行ボーリングによる地質環境特性調査ならびに工学的対策を考慮した、地下施設および人工バリアの設計評価技術の体系化
□人工バリアを定置するピットの配置位置や坑道の間隔を設計するための調査・設計・評価の一連の技術の体系化
□高地圧下での坑道掘削や、実規模スケールでの埋め戻し／止水プラグの設計から施工までの一連の技術の実証

調査・設計・施工技術

課題③：多連接坑道を考慮した湧水等抑制対策技術および処分孔支保技術の整備、緩衝材流出・侵入現象評価手法および抑制対策技術の整備
□複数の坑道やピットを施工する際の湧水抑制対策や支保技術の整備
□緩衝材の流出現象や岩盤への侵入現象を評価・抑制する技術の整備

各種対策技術

課題④：廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報の整理
□廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要なピット周辺の割れ目からの湧水量や掘削損傷領域の広がりなどの調査・評価手法について、他の堆積岩との比較による体系的整理

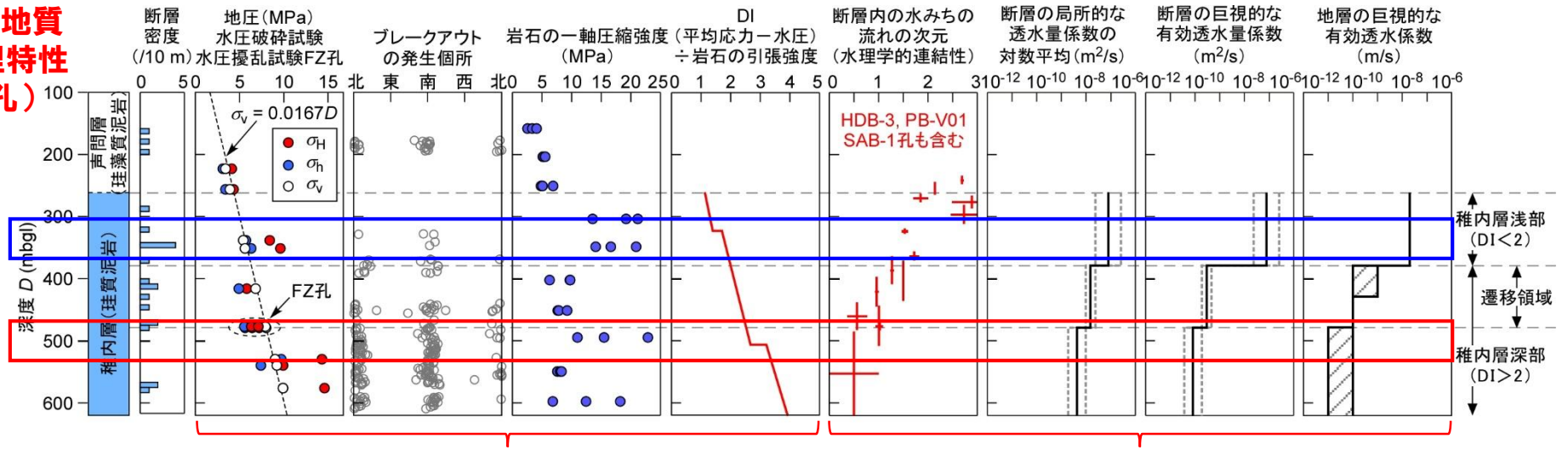
地質環境特性の体系化と一般化

これまでに構築してきた地質環境調査、工学的対策、モデル化技術の体系的な適用による、坑道やピットの配置に係る考え方、人工バリア材料などの設置方法、それらの閉じ込め性能を評価する手法の体系的な提示 【実際の地質環境に適用可能な技術基盤】

体系化の研究の全体像

350mと500mの地質、力学・水理・地球化学特性の違い

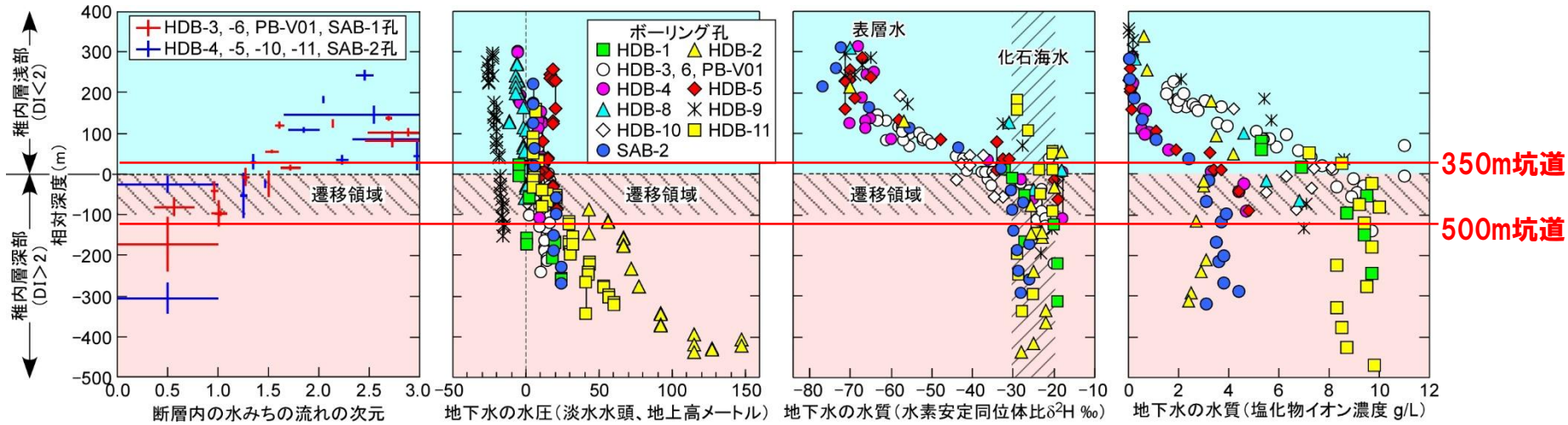
地下施設の地質/力学/水理特性（HDB-6孔）



500mの方が岩石の強度に対して地圧が大きい

500mの方が地層の透水性が小さい

天野ほか（2012, JAEA-Data/Code 2011-023）, Ishii（2018, Water Resour Res）, Ishii（2023, Hydrogeol J）, Ishii（2024, Rock Mech Rock Eng）, Ishii et al.（2025, Hydrogeol J）, Ozaki & Ishii（2024, Geoenergy）



500m坑道が位置する稚内層深部は断層の水理学的連結性が低く、低透水性を示唆する水圧と水質が認められる

幌延の350mと500mへの適用を通じて課題①～④の一連の調査・設計・評価手法を体系化

体系化の研究の全体像
これまでの研究成果の体系化課題への反映

坑道内におけるボーリング調査

坑道掘削

模擬オーバーパックの設置

模擬PEMの設置

コンクリートプラグを用いた坑道の閉鎖

必須の課題の項目			各課題の成果が地層処分事業のどの時点に反映されるのか？		
			調査	建設（坑道掘削）・操業（人工バリアの設置）・坑道の埋め戻し	坑道の埋め戻し後の評価
①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認	1.1 人工バリア性能確認試験		人工バリア設計手法の確認	人工バリア設置技術、坑道埋め戻し方法の確認	人工バリア、埋め戻された坑道で起こる現象の確認
	1.2 物質移行試験		岩盤中での物質の動きの調査技術の確認	岩盤中、掘削損傷領域での物質の動きの調査技術の確認	岩盤中での物質の動きの解析評価技術（安全評価技術）の確認
②処分概念オプションの実証	2.1 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	2.1.1 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		人工バリア設置、坑道埋め戻しの技術オプションの確認	
		2.1.2 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	岩盤の状態に応じた、坑道、ピット、人工バリアの設計手法の確認	坑道～ピットの配置、掘削・操業・閉鎖技術の体系化、坑道周辺の物質の動きの確認	埋め戻し後の掘削損傷領域、岩盤中の物質の動きの予測解析技術の確認
	2.2 高温度（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験				限界条件下で人工バリアで起こる現象の確認
③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証	3.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化	3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握	長期的な岩盤中の水の動き易さを推測する技術の確認		
		3.1.2 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	長期的な地下水の流動状態を把握する技術の確認		
	3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験			坑道、人工バリア周辺の地下水の動き易さを推測する技術の確認	埋め戻された坑道、人工バリア周辺の地下水の動きを推測する技術の確認

黒文字：令和元年度までに実施済　青文字：令和2年度以降計画の前半に実施　赤文字：令和2年度以降計画の後半に実施

課題❶：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

【令和6年度成果概要】

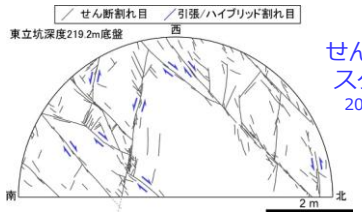
- 数m～10数mスケールにおける声問層の物質移行モデルを検討するための孔間トレーサー試験を実施（250m試験坑道）。
- 最適な試験条件（注水流量、揚水流量など）での孔間トレーサー試験により、データを取得し、物質移行モデルによる再現解析を実施中。

一部をHIPのTask Aとして実施

HIP Task A

幌延URLにおける異なる深度の岩相の水みちと物質移行の特性

深度250m（声問層）

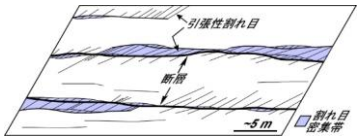


せん断割れ目のスケッチ（Ishii, 2017, IJRMMS）

数十本/10mの1D頻度でせん断割れ目が存在するものの、その開口性や水理学的連結性は限定的（舟木ほか, 2009, 応用地質）；坑道沿いにEDZ（青柳ほか, 2014, 土木学会論文集）
50～60%程度のマトリクス間隙

HIP Task Aの中で検討

深度350m（稚内層浅部：DI<2）

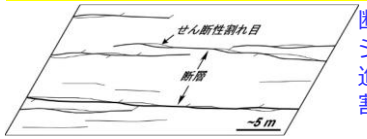


断層のイメージ（多数の引張性割れ目が断層の連結を促進）（Ishii, 2016, JGR）

約1本/10mの1D頻度で存在する断層が水みちのネットワークを形成（Ishii, 2017, Eng Geol; Ishii et al., Hydrogeol J, 2025）；坑道沿いにEDZ（Aoyagi & Ishii, 2019, RMRE）
30～40%程度のマトリクス間隙

既存の成果を活用しつつ検討

深度500m（稚内層深部：DI>2）



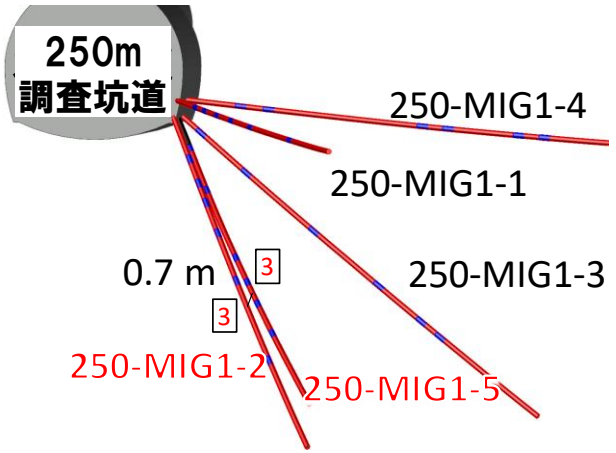
断層のイメージ（連結を促進する引張性割れ目の発達が限定的）（Ishii, 2016, JGR）

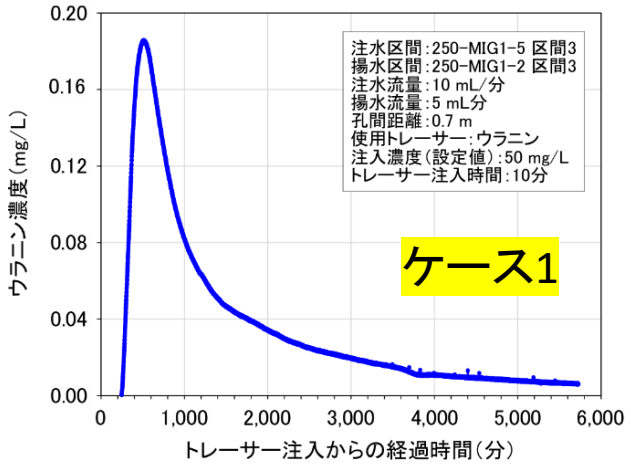
約1本/10mの1D頻度で断層が存在するものの、その水理学的連結性は限定的（Ishii, 2017, Eng Geol; Ishii et al., Hydrogeol J, 2025）；坑道沿いのEDZ？
30～40%程度のマトリクス間隙

既存の成果を活用しつつ検討

【令和7年度計画】

- 令和6年度に取得されたトレーサー試験結果の解析評価。
- 坑道スケール～ピットスケールにおける閉じ込め性能の評価手法の検討。





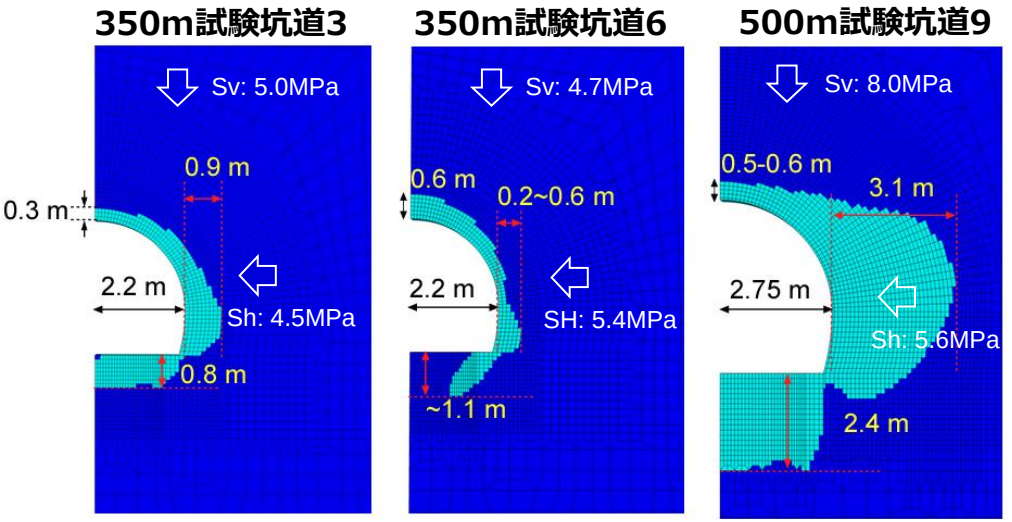
孔間トレーサー試験のレイアウトと試験結果（ケース1：ウラニン）

❷先行ボーリングによる地質環境特性調査ならびに工学的対策を考慮した、地下施設および人工バリアの設計評価技術の体系化

Task B

【令和6年度成果概要】

- 坑道やピットの配置に係る考え方の検討に向けて、坑道掘削時の湧水量やEDZの拡がりに着目し、500m調査坑道の掘削を対象に予測解析を実施。
- 350m試験坑道6での坑道埋め戻しと止水プラグ試験に先立ち，坑道周辺のEDZの拡がりや水理特性の把握を目的とした原位置調査や、埋戻し材特性等に係る室内試験を実施。

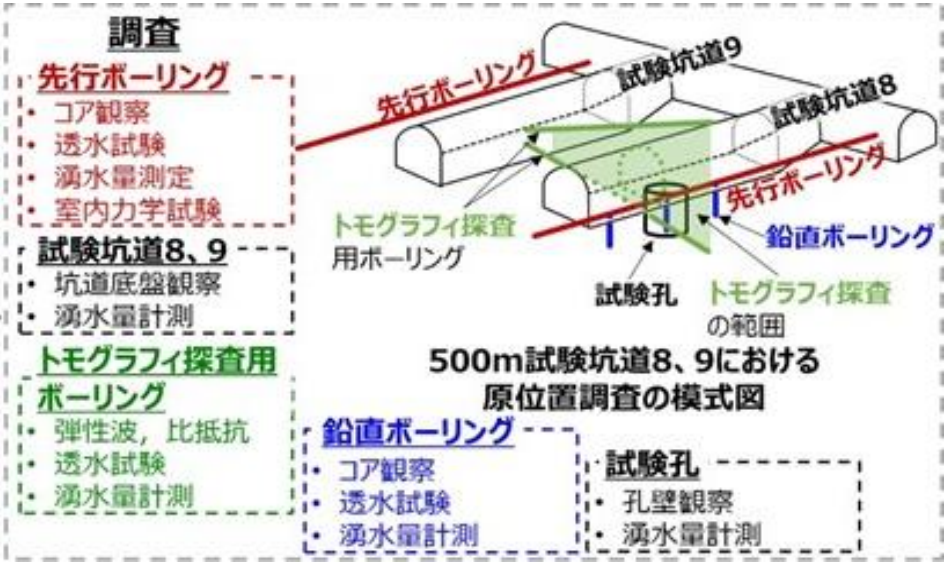


EDZの拡がりの予測結果　(Aoyagi and Ishii 2019; Aoyagi et al. 2024)

EDZの拡がりの予測解析（350m及び500m試験坑道の比較）の例

【令和7年度計画】

- 500m試験坑道8、9における原位置調査（先行ボーリング、坑道掘削、坑道からのボーリング調査等）の調査結果に基づき、令和6年度に実施した予測手法の妥当性確認と手法の更新を実施。
- 350m試験坑道6でのEDZの発達や水理特性に係るデータ取得や解析検討を進め、坑道埋め戻しと止水プラグの設計や原位置施工試験のレイアウトの検討を実施。



500m試験坑道8，9における原位置調査の模式図と調査項目

2.1.2 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
④廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報の整理

【令和6年度成果概要】

- 割れ目の発達する堆積岩を対象に、割れ目の幅とその開きにくさ、ピット周辺の地下水の流れにくさについて地質学的な情報に基づいて分類し、下表分類I-aおよびI-bの堆積岩に反映可能な成果として提示。

【令和7年度計画】

- 割れ目の幅とその開きにくさ 等の調査・評価手法に関する令和6年度に検討した整理を拡充。
- 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報のうち、割れ目からの湧水量や、ピット周辺のEDZの拡がりについて、調査・評価手法を整理。

割れ目の開口幅などに関連する地質学的情報に基づいた堆積岩の分類例

分類	粘土鉱物による割れ目の自己閉塞	鉱物充填による割れ目の自己閉塞	割れ目充填鉱物の溶解	岩石（健岩部）の透水性	地層例	割れ目の開口幅とDIとの相関性	割れ目の水理学的連結性とDIとの相関性	割れ目の開口幅	割れ目の代表的な透水性
								幌延の岩盤が属する分類	
I-a	限定的	限定的	限定的	小	稚内層泥岩、パルフリス泥岩（スイスウェレンベルグ）	強い	強い	大～小	大～小
I-b				大	声問層泥岩		弱い		大
II			強い	–	セントビーズ砂岩（英セラフィールド）	弱い		大	
III		強い	–		トアキアン―ドメリアン泥岩（仏トゥルヌミール）			小	小
IV	強い	–			オパリナス泥岩（スイスモンテリ）				

幌延と他の堆積岩との地質環境特性等の比較整理を通じた成果の一般化の検討イメージ：

- 課題④で整理した堆積岩の特性に基づく分類整理の結果と、課題①～③の幌延の岩盤を対象とした調査・設計・評価の方法論とをあわせて検討することによって、調査・設計・評価手法に応じて、その適用範囲や適用限界などを整理

幌延国際共同プロジェクト（HIP）について

幌延国際共同プロジェクト

Horonobe International Project
Horonobe Underground Research Laboratory

目的

実際の深地層での研究開発を**多国間で協力**しながら推進する。日本のみならず参加国における先進的な安全評価技術や工学技術に関わる**研究成果を最大化**するとともに、それを通して次世代を担う**国内外の技術者や研究者を育成**する。

実施内容

- **タスクA:物質移行試験**（主に250m調査坑道を利用）
  堆積岩中の三次元物質移行モデルの開発
- **タスクB:処分技術の実証と体系化**（主に350m調査坑道と500m調査坑道を利用）
  好ましい適性を有する場所に処分孔を配置するための基準を確立するための技術開発
- **タスクC:実規模の人工バリアシステム解体試験**（主に350m調査坑道を利用）
  人工バリアシステムの解体を通じて坑道周辺で生じる現象の理解、解析手法の開発

参加機関（フェーズ1： 8つの国と地域から11機関）

- ■ 英国地質調査所(イギリス)
- ■ 原子力環境整備促進・資金管理センター(日本)
- ■ 台湾工業技術研究院(台湾)
- ■ ドイツ連邦放射性廃棄物機関(ドイツ)
- ■ 韓国原子力研究所(韓国)
- ■ 日本原子力研究開発機構(日本)
- ■ オーストラリア連邦科学産業研究機構(オーストラリア)
- ■ 原子力発電環境整備機構(日本)
- ■ 電力中央研究所(日本)
- ■ ブルガリア国営放射性廃棄物会社(ブルガリア)
- ■ ルーマニア原子力テクノロジー国営会社(ルーマニア)

実施期間

- 「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に沿って、令和10年度末までを限度として実施。
- 令和4年度後半～令和6年度をフェーズ1、令和7年度～令和10年度をフェーズ2として設定。

幌延国際共同プロジェクト

令和6年度の主な活動実績

- **オンライン形式のタスク会合**
  1年に3，4回の頻度で各タスクの担当者が集まり、研究の進捗や今後の試験計画について議論、意見交換。
  タスクA：4回（7/3，9/27、10/3、10/7）、タスクB：3回（11/19、12/11、2/6）、タスクC：2回（9/9、2/3）
- **現地会合**
  実際の現場で実施する試験期間に合わせて開催し、試験状況を確認する場として活用。
  タスクA：3回（5/22-23，8/21-23、2/3-4）、タスクC：1回（5/12-14）
  合同タスク会合：国内外の8機関から42名が対面参加（6/5-7）
- **成果とりまとめの実施**
  フェーズ1（令和6年度まで）の各タスクの研究成果をレポートに取りまとめ。
- **国内外の学会等での成果発表**
  IAEA、OECD/NEA主催の国際会議や、日本国内の学会（地盤工学会、土木学会、原子力学会）、連成解析関係の国際会議（Coufrac2024）などで成果を発表。
  令和6年度までに、国際会議7件、国内会議17件の発表実績
  原子力学会秋の大会の企画セッションとして、HIP全体と各タスク概要の講演（2024年9月）。その内容を、原子力バックエンド研究に講演再録として公開。

幌延での合同タスク会合（2024年6月）

タスクAの現地会合（2025年2月）

令和7年度の計画

- 各タスクの計画や進捗の議論や参加機関の現場状況の確認を目的にタスク会合や現地会合を実施。
- HIPに関連する試験や現地会合の開催実績を、ホームページで情報発信。
- フェーズ1（令和6年度まで）の各タスクの研究成果を、OECD/NEAのレポートとして公開を進める。
- 各タスクの成果を国内外の学会等で積極的に発表。
- フェーズ2（令和7年度～令和10年度）の着実な実施。

広報活動の取り組み

広報活動の取り組み

見学会の実施・出展

地下施設の見学者数

- 令和4年度：1,430名
- 令和5年度：　509名
- 令和6年度：　586名

累計：15,736名（令和7年2月末現在）

ゆめ地創館の来館者数

- 令和4年度：4,767名
- 令和5年度：6,479名
- 令和6年度：5,909名

累計：141,063名（令和7年2月末現在）

地上施設の見学者数

- 令和5年度：　371名
- 令和6年度：　313名

累計：684名（令和7年2月末現在）

※令和5年度より地下施設の工事が再開されたため、
平日の地下施設の見学に代えて地上施設の見学を実施。

https://my.matterport.com/show/?m=yiX6s67b75C&qs=1

ゆめ地創館（平成19年6月30日開館）
地下深部での研究内容を紹介
＊館内や地下施設の様子を3D画像でご覧いただける
タブレットを設置しています。

地下施設の見学

「おもしろ科学館2024 in ほろのべ」に出展
（令和6年7月20～21日開催）

広報活動の取り組み

情報公開の取り組み

ホームページでの情報発信

（調査研究の状況）

（地下施設整備の状況）
毎週更新

（地下施設の管理状況）
メタンガス濃度、排水量等
毎日更新

- 幌延深地層研究センター紹介動画の制作・公開
- 地下施設とゆめ地創館の見学を疑似体験できる3Dコンテンツの公開
- 一般の方・小中学生向け資料集のページ新設

地層処分とは？

X（旧ツイッター）での情報発信

幌延町広報誌「ほろのべの窓」での研究内容紹介の連載

※2020年7月号から連載を開始

幌延深地層研究センターホームページ　https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/index.html
原子力機構X（旧ツイッター）ページ　https://twitter.com/jaea_japan

令和6年度の成果のまとめと今後の計画

成果のまとめ

- 令和6年度に終了する課題について成果の取りまとめを行い、所期の目標を達成した。
- 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化の計画や目標を具体化するとともに、手法の整理、室内試験の実施、原位置試験や解析の計画の検討を進めた。
- 令和2年度以降の研究計画の実施のために500m調査坑道の整備に向けて坑道の掘削を進め、東立坑・換気立坑について500mまでの掘削を完了するとともに西立坑の掘削に着手した。500m調査坑道については東連絡坑道の掘削を完了した。
- 幌延国際プロジェクトを計画通り進めるとともに、フェーズ１（令和6年度まで）の成果をレポートとして取りまとめた。また、フェーズ２（令和7年度～令和10年度）の実施について調整を進め、実施することが決定した。

今後の計画

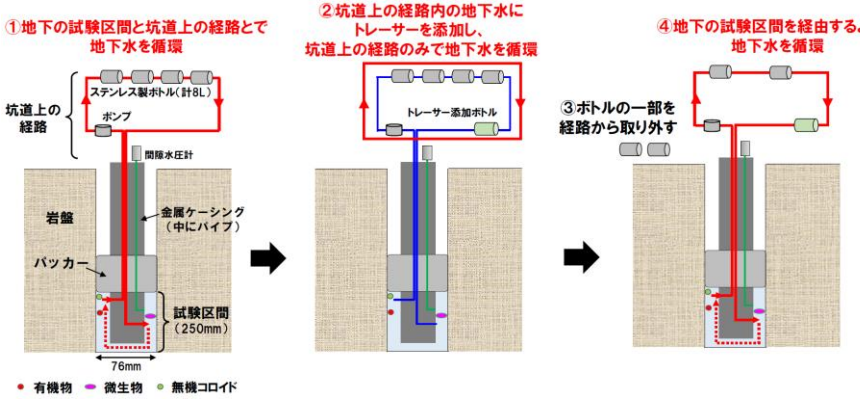
- 人工バリア性能確認試験のデータ取得を継続するとともに、解体試験計画を具体化する。
- 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化の取り組みを進める。
- 地下施設の掘削工事を継続し、深度500mに向けた西立坑の掘削及び500m調査坑道の掘削を完了する。
- 幌延国際プロジェクトのフェーズ２における各タスクの計画に沿って、原位置での調査や試験、室内試験、解析評価などを継続するとともに、フェーズ１で得られた成果を取りまとめたレポートを公表する。

参考資料

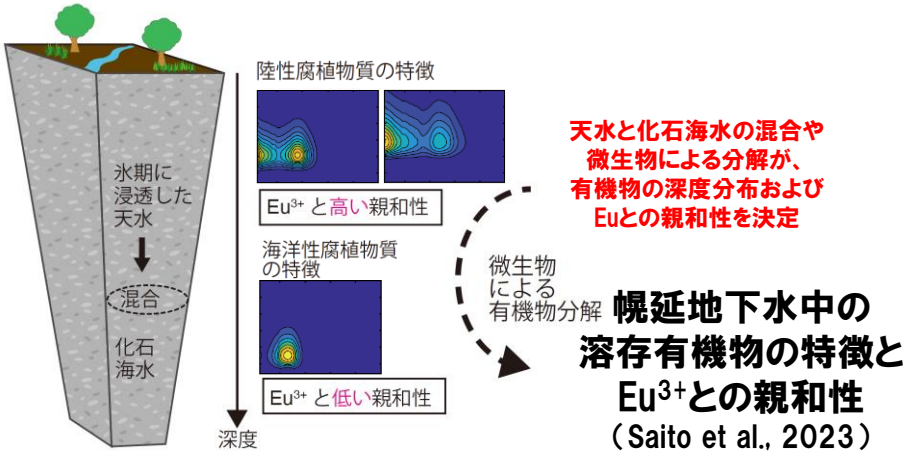
1.2 物質移行試験　有機物・微生物・コロイドの影響評価

【成果取りまとめ】

- 地下水中の有機物・微生物・コロイドとの相互作用が希土類元素等の濃度変化に与える影響を、室内・原位置試験により取得し、その結果を定量的に評価
- 有機物・微生物・コロイド各成分の特性に関する知見やその評価手法を、幌延での試験・分析を事例として整備
- **地下水中の有機物・微生物・コロイドが物質移行に与える影響を定量的に評価する手法を整備**

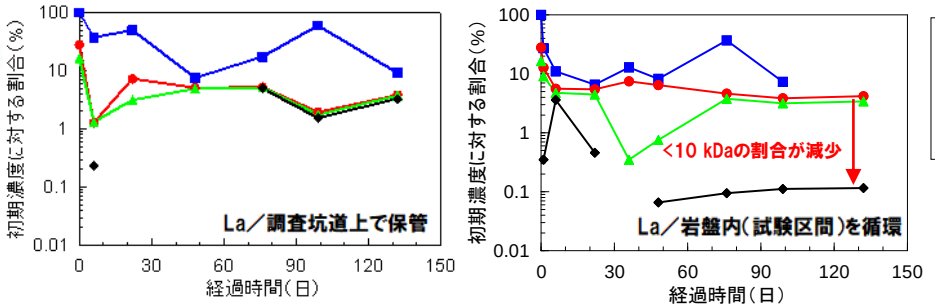


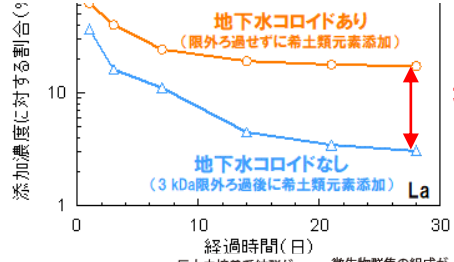
原位置試験の装置概念図および試験手順



天水と化石海水の混合や微生物による分解が、有機物の深度分布およびEuとの親和性を決定

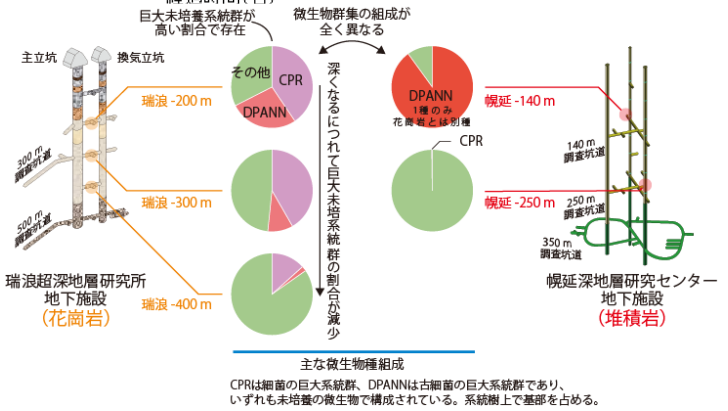
幌延地下水中の溶存有機物の特徴とEu^{3+}との親和性
（Saito et al., 2023）





地下水コロイドの存在により濃度が約1オーダー増加

原位置試験（上）と室内試験（左）でのLa濃度の経時変化



両地下環境で種組成は大きく異なるが、利用している代謝反応は共通

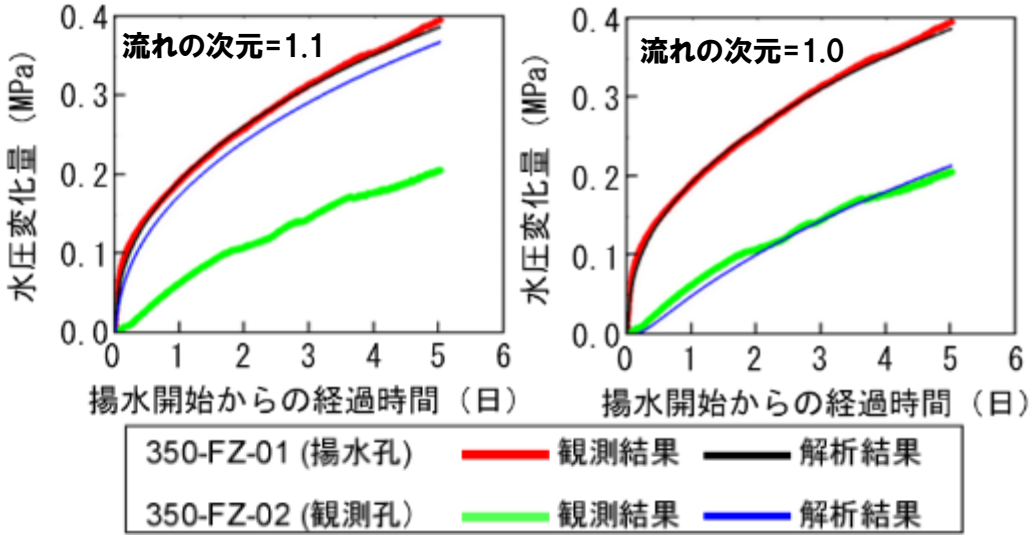
メタゲノム解析による幌延・瑞浪地下水中での微生物種組成
（Amano et al., 2024）

1.2 物質移行試験　ブロックスケールを対象とした物質移行試験

【成果取りまとめ】

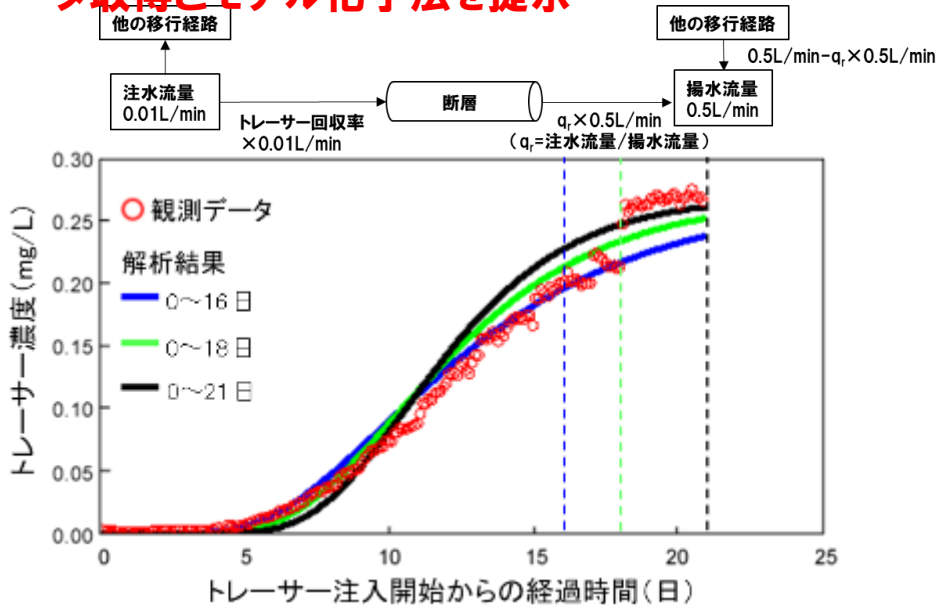
- 稚内層深部で実施したブロックスケールのトレーサー試験結果を対象として、割れ目の水理学的連結性が乏しい断層（DI＞2）における物質移行のモデル化手法を検討
- 具体的には、①孔間透水試験時の水理解析から流れの次元と流動経路の長さを推定（左下図）、②水理解析結果から推定された情報を基に物質移行モデルを構築、③孔間トレーサー試験時の再現解析（物質移行解析）から物質移行モデルの適用性を評価。**その結果、稚内層深部のような割れ目の水理学的連結性が乏しい断層（DI＞2）の物質移行挙動は、非常に長い一次元の物質移行経路を仮定することで推定可能であることを確認（右下図）**
- **ブロックスケールの物質移行特性を把握するための一連のデータ取得とモデル化手法を提示**

(a)経路長4.5 m(揚水孔－観測孔の直線距離)　(b)経路長を長くしたケース（65 m）



孔間透水試験の解析結果

（揚水孔と観測孔の試験区間の間は、割れ目内の隙間のつながりが少なく、隙間が一次元的かつ非常に長く曲がりくねって連続していると仮定可能）



トレーサー試験結果の解析結果

（物質移行経路は割れ目内の一次元的に連続する非常に長い隙間であると仮定することにより、BTCを再現可能）

Ohno et al; Modelling transport pathways of faults with low hydraulic connectivity in mudstones with low swelling capacity, Geoenergy, 2024

2.1.1 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

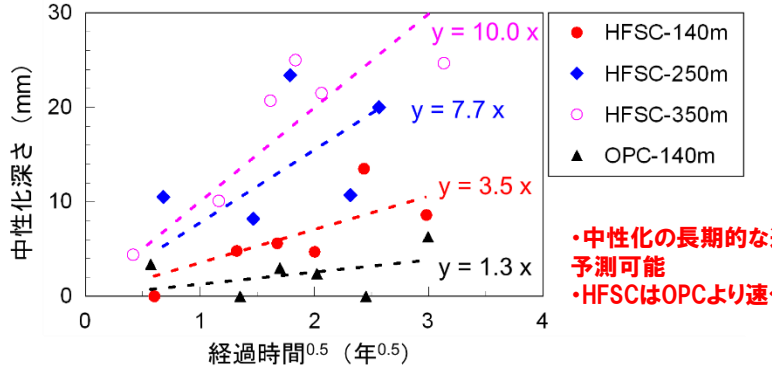
搬送定置・回収技術の整備

【成果取りまとめ】

➢ 回収可能性を考慮して坑道開放期間が長期化することにともなう影響の調査評価手法の整備

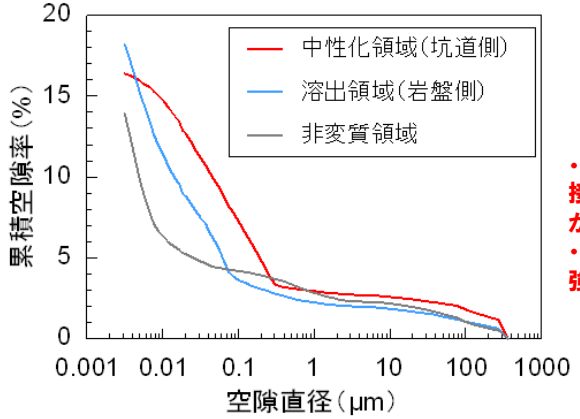
・吹付けコンクリートの化学・微細構造・力学特性等の変化に関する知見と調査手法

・坑道周辺岩盤の、坑道掘削～埋め戻し後の再飽和過程に関する解析の例示



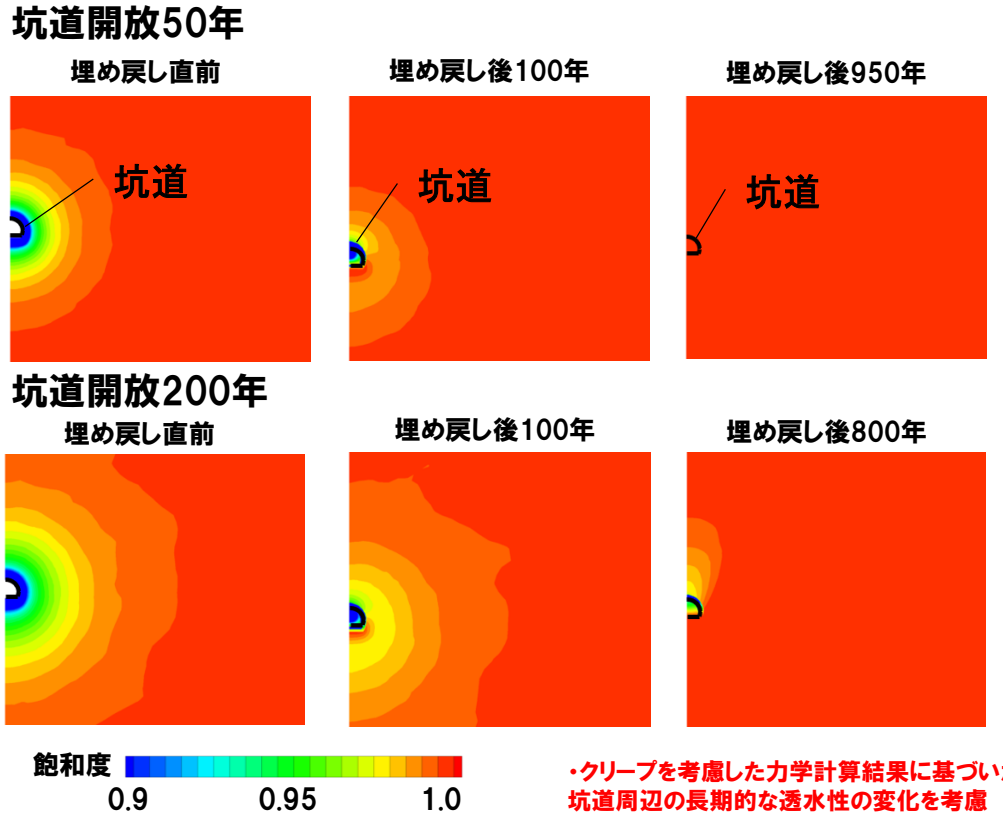
・中性化の長期的な進行を予測可能
・HFSCはOPCより速く進行

低アルカリ性セメント（HFSC）および普通ポルトランドセメント（OPC）吹付けコンクリートの中性化深さ
（Mochizuki et al., submitted）



・中性化領域および岩盤との接触領域で～0.2 μmの空隙が増加
・それに伴う透水性の増加や強度の低下は認められず

HFSC吹付けコンクリートの空隙径分布
（Mochizuki et al., submitted）



・クリープを考慮した力学計算結果に基づいた坑道周辺の長期的な透水性の変化を考慮

気液2相流解析による坑道閉鎖後の飽和度変化の予察解析結果

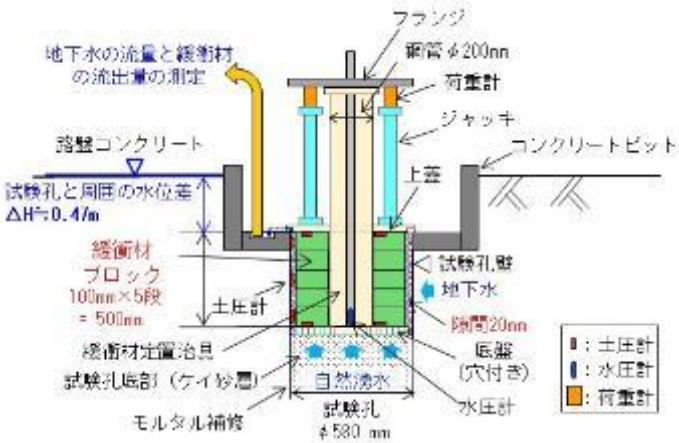
2.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工の違いによる品質保証体系の構築

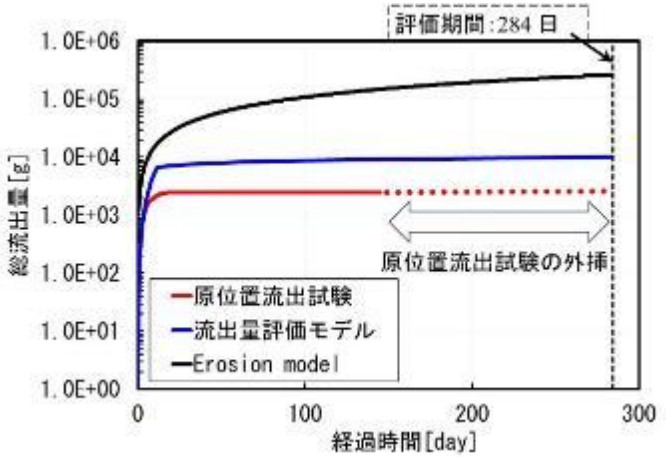
【成果取りまとめ】

人工バリアの緩衝材

- 人工バリアの緩衝材の竪置き定置方法として、「隙間未充填」と「ケイ砂充填」の2つの技術オプションについて、緩衝材の総流出量を評価できるベースモデルを整備した
- 原位置試験を通じて、整備したベースモデルを用いることにより、より現実的に総流出量が評価できる見通しを得た



350m試験坑道5における緩衝材流出試験の概要（隙間未充填ケース）



原位置試験結果とベースモデルによる総流出量評価（隙間未充填ケース）（菊池ほか，2024）

坑道の埋め戻し材

- 埋め戻し材の施工効率の向上が期待できるブロック工法、斜め転圧工法およびスクリュー工法について要素試験を実施し、各工法の埋め戻しの施工方法としての有効性を示した
- 転圧工法と吹付け工法の実証試験※で得られたデータと合わせて埋め戻し材の施工方法としての5工法の適用範囲および施工品質などに関する情報を整備した

埋め戻し材ブロックの試作

斜め転圧工法による施工試験の状況

※原子力機構，原環センター，2023

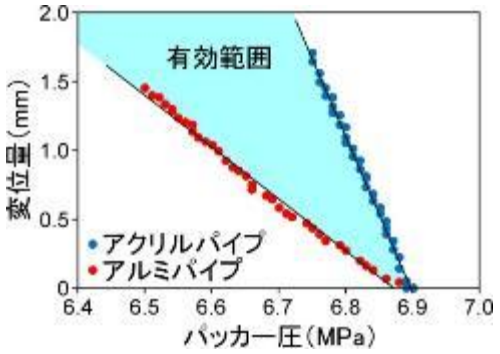
「高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業[JPJ007597]：ニアフィールドシステム評価確証技術開発ならびに地層処分施設施工・操業技術確証試験」において、原子力環境整備促進・資金管理センターと協力して実施

3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

【成果取りまとめ】水圧擾乱試験による断層の力学的な安定性の評価手法の整備

水圧擾乱試験(室内実験＋原位置透水試験)により断層のせん断剛性を原位置で計測できることを確認

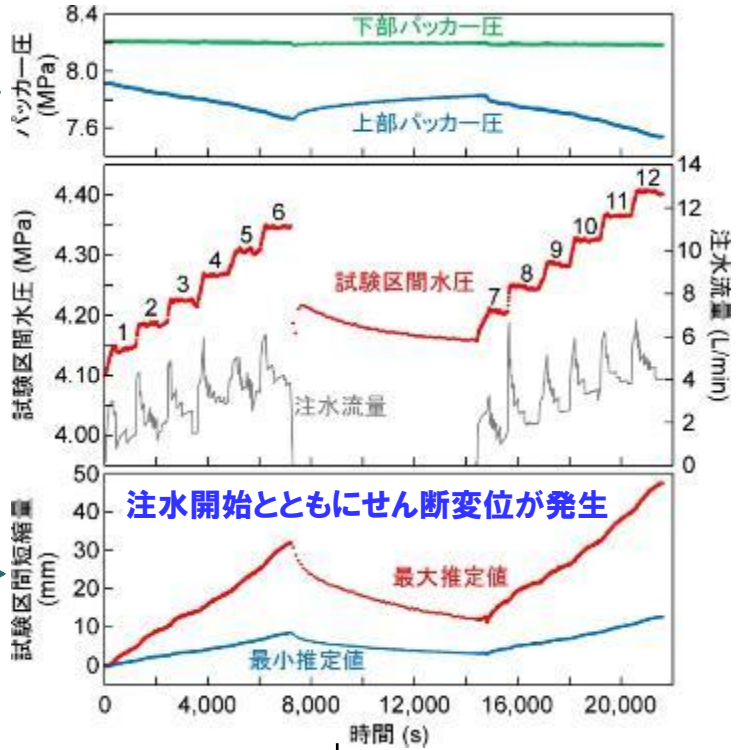
パッカー圧と変位量の関係のキャリブレーション



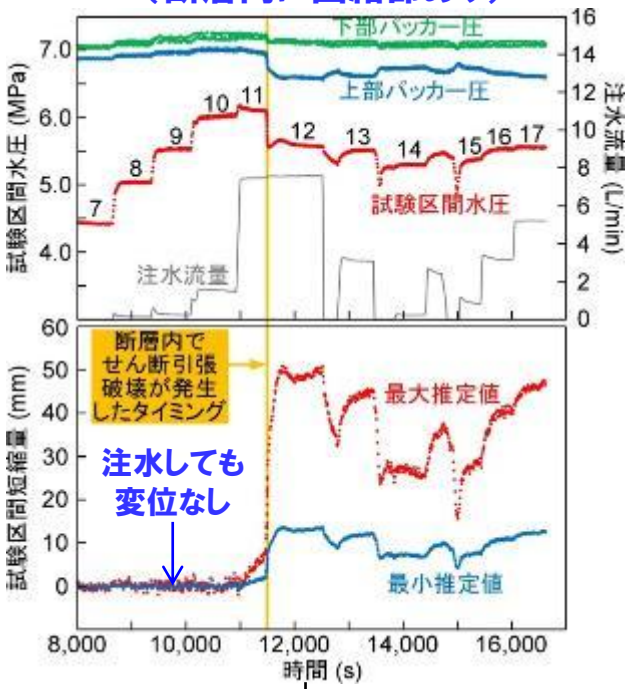
孔壁の剛性を模擬した人工パイプを用いた室内実験

Ishii (2020, Eng Geol)

断層岩の厚さ数センチの例



断層岩の厚さ数ミリ以下の例（断層内に固結部あり）



試験中の断層のせん断変位に基づいて推定した応力場(MPa)

σV	σH	σh
7.6	6.1–6.9	5.3

断層を対象とした定圧段階注水試験結果

せん断剛性　≦10^{-1} MPa/mm（軟らかい）　　**≧10^{0} MPa/mm（硬い）**

整合　　整合

室内実験に基づく断層/割れ目のせん断剛性　10^{-3} – 10^{-1} MPa/mm（軟らかい）