



幌延深地層研究計画に関する 令和6年度の計画及び進捗

令和6年10月21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

報告内容

I. 令和2年度以降の計画の概要

- 1.1 研究計画の工程
- 1.2 施設整備の状況
- 1.3 原位置試験の実施予定場所
- 1.4 体系化の研究の全体像
- 1.5 地層処分システムの変遷と研究課題の関係
- 1.6 HIPの全体状況

II. 令和6年度の計画及び進捗

- 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
 - 1.2 物質移行試験
- 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
 - 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
 - 2.2 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
- 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

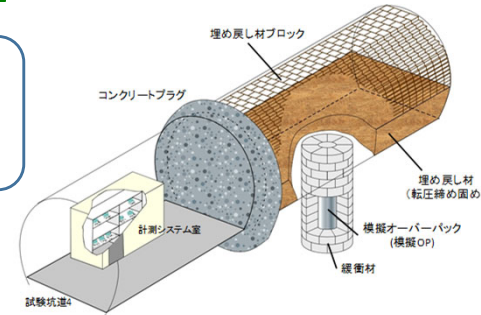
I. 令和2年度以降の計画の概要

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

1.2 物質移行試験

赤文字は幌延国際共同プロジェクトの対象課題



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

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

2.2 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



閉鎖技術オプションの整理

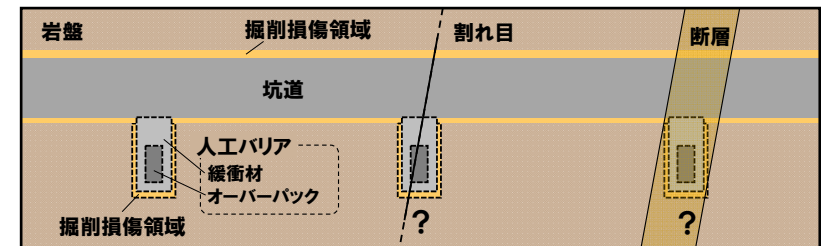
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

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

I. 令和2年度以降の計画の概要

1.1 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	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	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	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					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(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
- ② 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
- ③ 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

I. 令和2年度以降の計画の概要

1.2 施設整備の状況

施設整備工程の更新

令和5年4月より地下施設の施設整備業務を開始し、深度350m調査坑道の拡張並びに深度500mに向けた東立坑及び換気立坑の掘削を進めてきた。令和5年度の工事実績を反映し、令和6年度以降の施設整備工程を更新することとした。(令和6年3月13日に北海道及び幌延町にご説明するとともにHPに掲載)

【工程更新の主な理由】

【換気立坑】
変更なし

【東立坑】
1回の掘削長を当初の1mから2mにすることで工程短縮を計画したが、実際の掘削工事において軽微な落石等が認められたことから、より一層の安全対策を優先し、1回の掘削長を1mに戻したため4ヶ月程度掘削期間が長くなる。

【西立坑】
東立坑と同様に掘削長を2mとした工程短縮を計画したが、東立坑の実績を反映して1回の掘削長を1mに戻したことにより掘削期間が長くなる。

【500m調査坑道】
立坑の500m到達が当初計画より遅くなることから、3か月程度着手時期が遅れる。

	令和5年度	令和6年度	令和7年度
350m調査坑道			
換気立坑			
東立坑			
西立坑			
500m調査坑道			

■これまでの工程(令和5年8月公表)

■実績及び更新後の工程(令和6年3月公表)

※段取りや設備等の準備期間を含む(湧水抑制対策は含まない)

※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

掘削班の増強等による施工の効率化を図ることで、本更新に伴う施設整備完了時期に変更はないことから、研究計画への影響は生じない。

I. 令和2年度以降の計画の概要

1.2 施設整備の状況

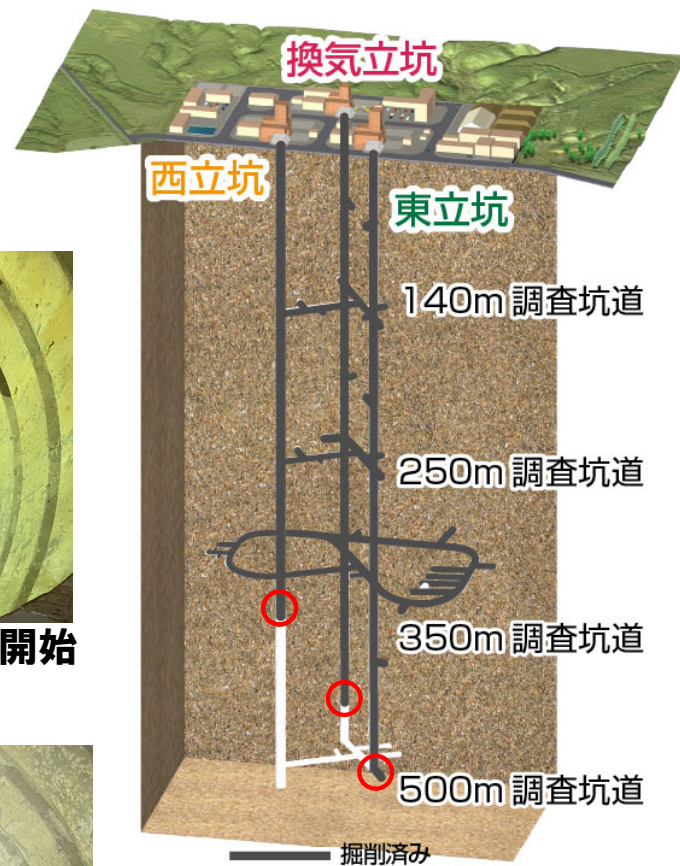
施設整備の状況 (令和6年10月17日現在)

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465m

西立坑:(R6.9.11掘削開始):深度382m

深度500m調査坑道:総延長14.3m



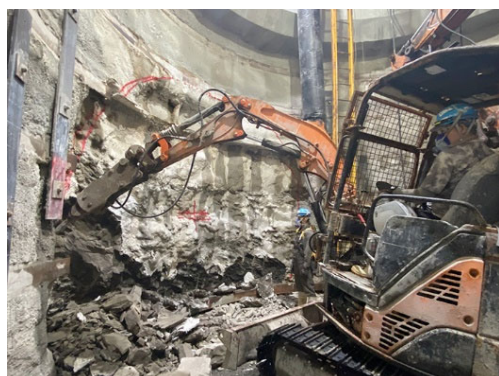
東立坑 深度500m到達
(R6.9.5)



換気立坑 深度461m
(R6.10.4)



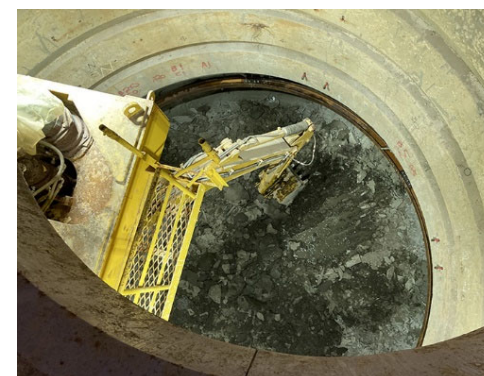
西立坑 深度365m掘削開始
(R6.9.11)



深度500m坑道掘削開始
(R6.9.17)



深度500m坑道の掘削
(R6.9.30)



西立坑 深度367m
(R6.9.18)

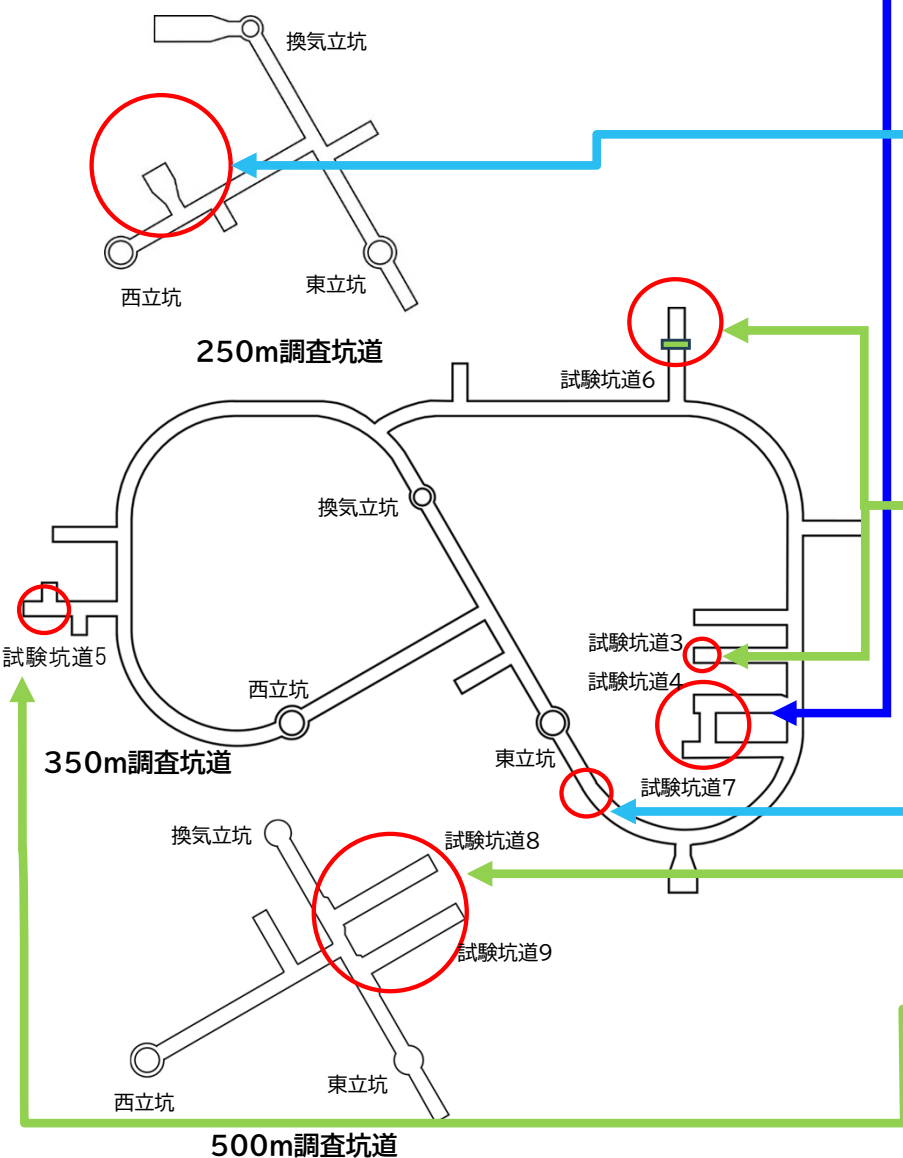
【地下施設イメージ図】

(令和6年10月17日現在)

I. 令和2年度以降の計画の概要

1.3 原位置試験の実施予定場所

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

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。

2)物質移行試験

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。

●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

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。

2)掘削影響試験

多接続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。

3)初期地圧測定

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。

4)高温条件での人工バリア性能確認試験

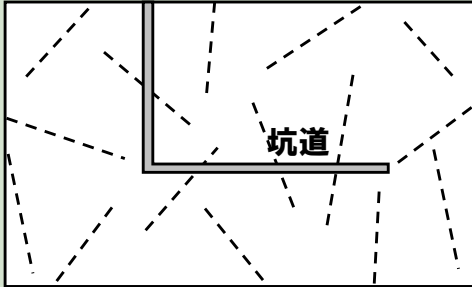
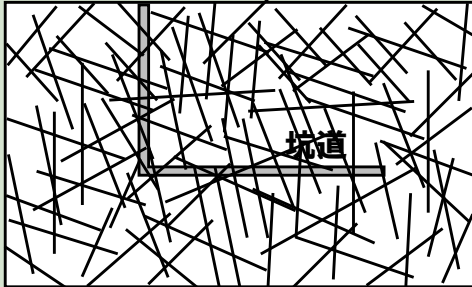
緩衝材の最高温度が100℃を超えた状態での人工バリア性能に関する試験データを整備するため、試験坑道5で原位置加熱試験を実施。

I. 令和2年度以降の計画の概要

1.4 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。

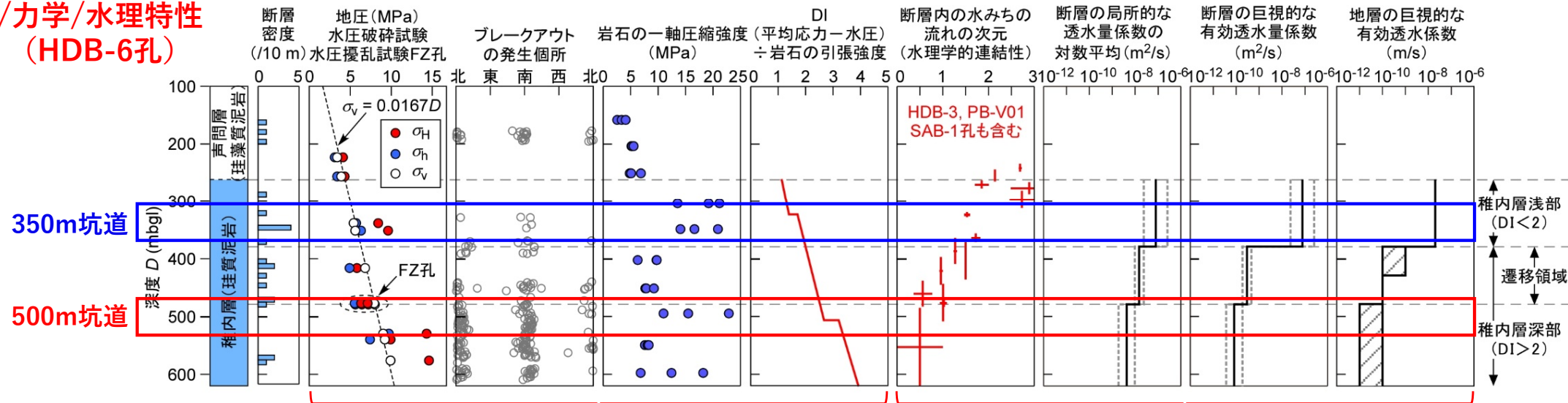
- 高い地圧がかかり坑道の設計・施工上の難易度が高い地質条件下で、処分技術に関わる基盤技術を実証。
- 物質が動きにくい環境で岩盤が有する物質を閉じ込める性能が実証でき、人工バリア等の技術仕様の精緻化を提案。
- 水の流れに大きな影響を及ぼす掘削影響領域を含めた安全評価技術を体系的に実証可能。

ポイント	深度500m	深度350m
処分技術	<ul style="list-style-type: none"> • 地圧が大きく、岩石が軟らかい • 地下水圧が高い <p>⇒ 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</p> <p>⇒ 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</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 地圧が小さく、岩石が硬い • 地下水圧が低い <p>⇒ 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</p>
安全評価	<ul style="list-style-type: none"> • 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 <p>⇒ 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</p> <p>⇒ 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</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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 <p>⇒ 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</p>
イメージ図	<p>立坑</p>  <p>坑道</p> <p>----- 水が流れにくい割れ目</p>	<p>立坑</p>  <p>坑道</p> <p>———— 水が流れやすい割れ目</p>

I. 令和2年度以降の計画の概要

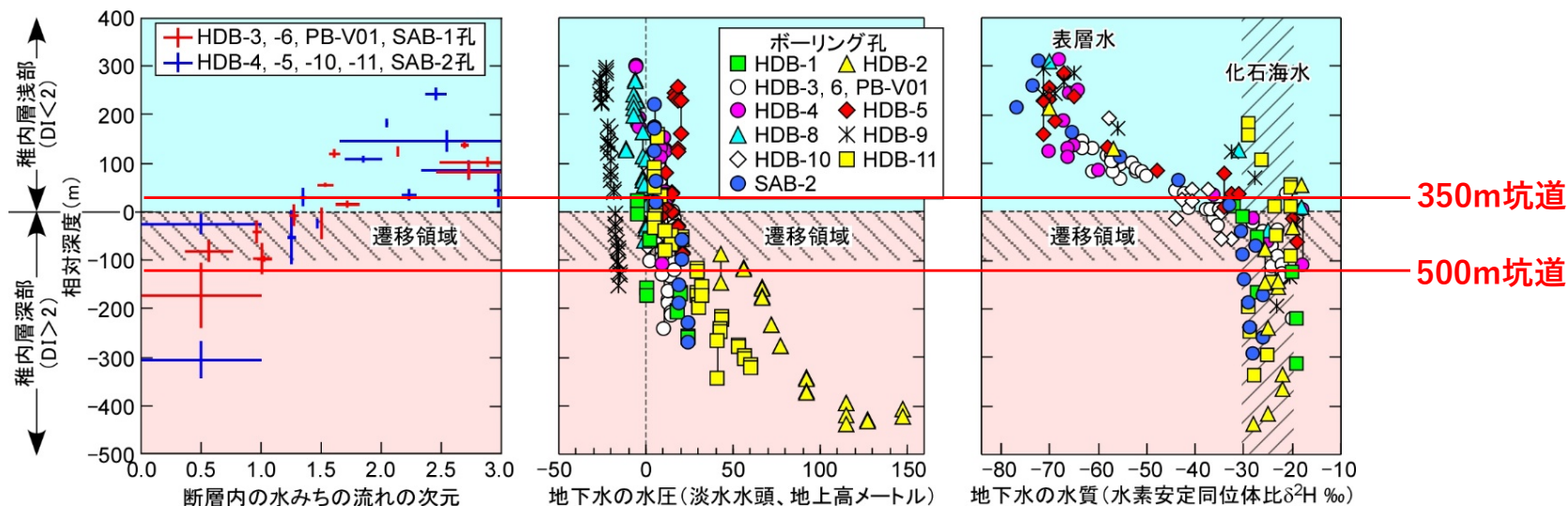
1.4 体系化の研究の全体像：350mと500mの地質、力学・水理・地球化学特性の違い

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

Ishii (2018, Water Resour Res), Ishii (2023, Hydrogeol J), Ishii (2024, Rock Mech Rock Eng), Ishii et al. (Hydrogeol J, in press), Ozaki & Ishii (2024, Geoenergy)



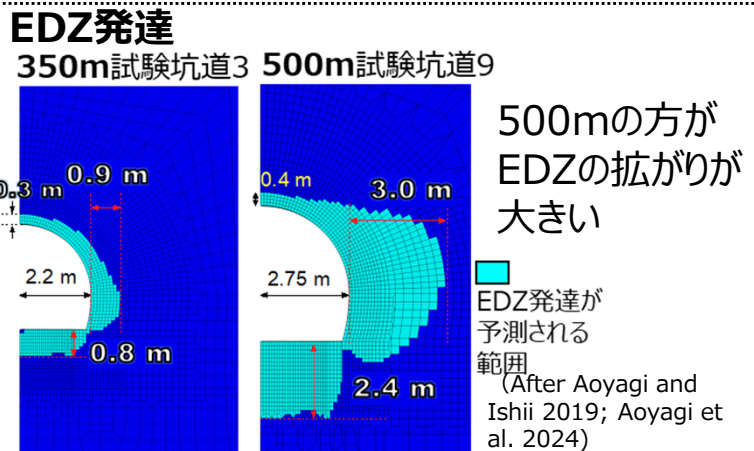
500m坑道が位置する稚内層深部は断層の水理学的連結性が低く、低透水性を示唆する水圧と水質が認められる

I. 令和2年度以降の計画の概要

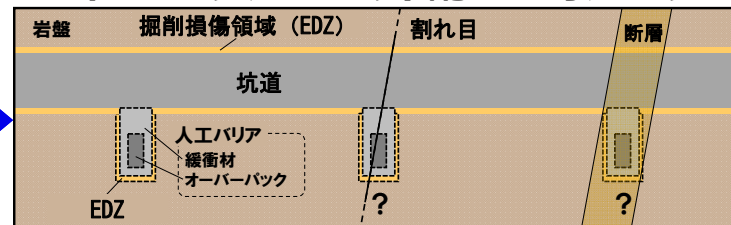
1.4 体系化の研究の全体像：坑道～ピットスケールの調査・設計・評価技術の体系化

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な情報等を整理するなど処分技術を実証

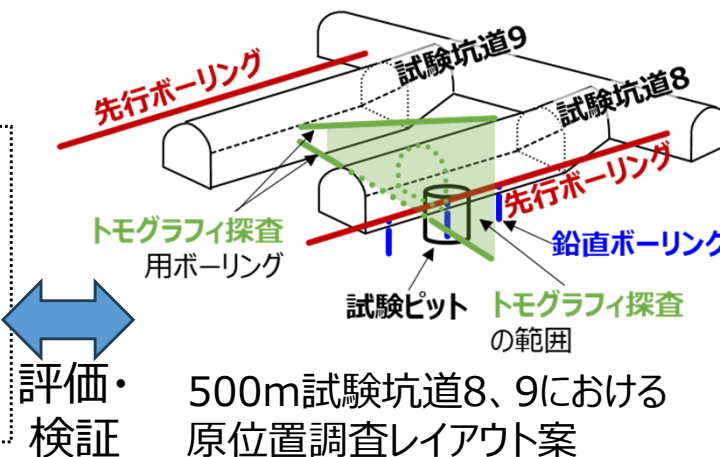
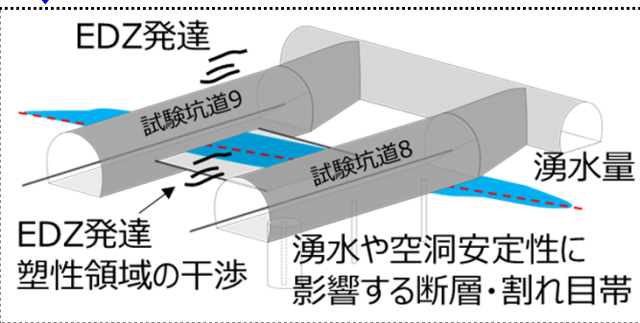
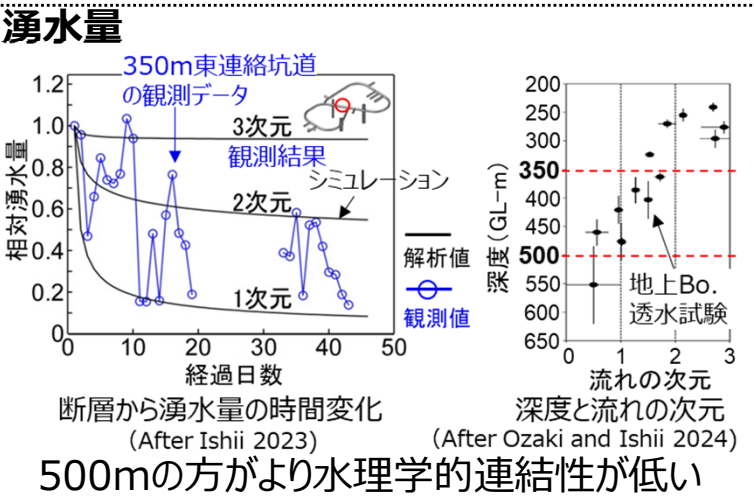


廃棄体定置や坑道・ピット配置の考え方や指標の情報を収集



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

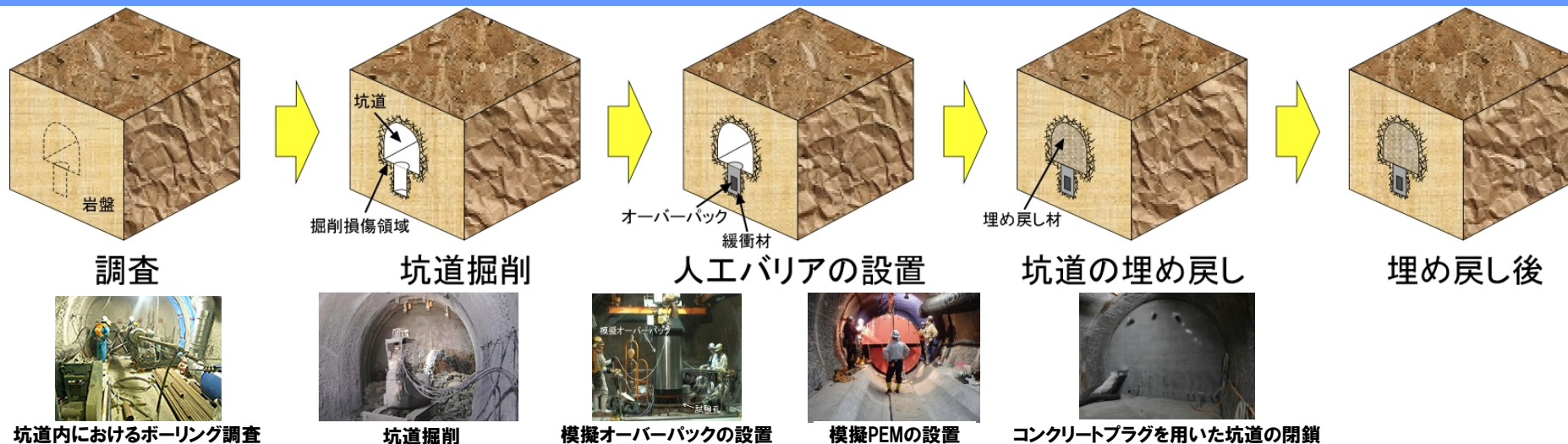
500m試験坑道8、9における原位置調査レイアウト案

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）

I. 令和2年度以降の計画の概要

1.4 体系化の研究の全体像：個別課題の成果の体系化への反映



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 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	人工バリア設置、坑道埋め戻しの技術オプションの確認 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(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 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	長期的な岩盤中の水の動き易さを推測する技術の確認		
		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	

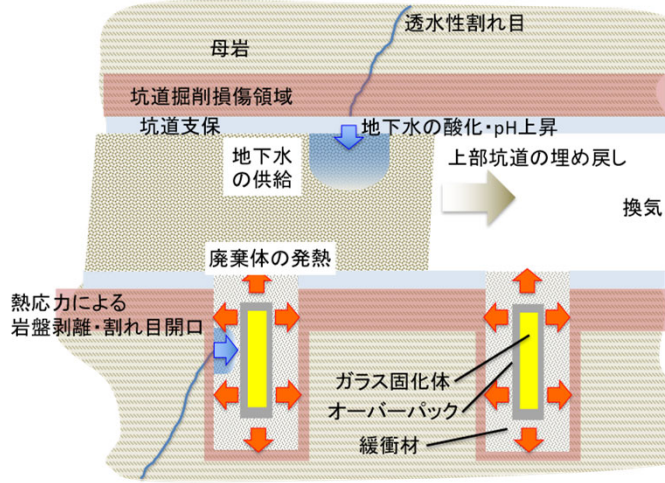
黒文字：令和元年度までに実施済 青文字：令和2年度以降計画の前半に実施 赤文字：令和2年度以降計画の後半に実施

I. 令和2年度以降の計画の概要

1.5 地層処分システムの変遷と研究課題の関係

モンテリにおける処分システム
変遷と課題の関係の整理例

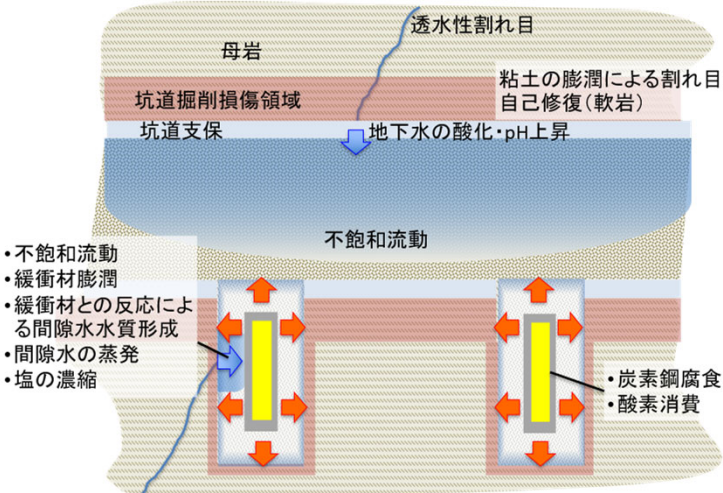
①建設・操業・埋め戻し期間



課題番号は令和2年度
以降の研究計画の課題
番号に対応(スライド2
ページ参照)

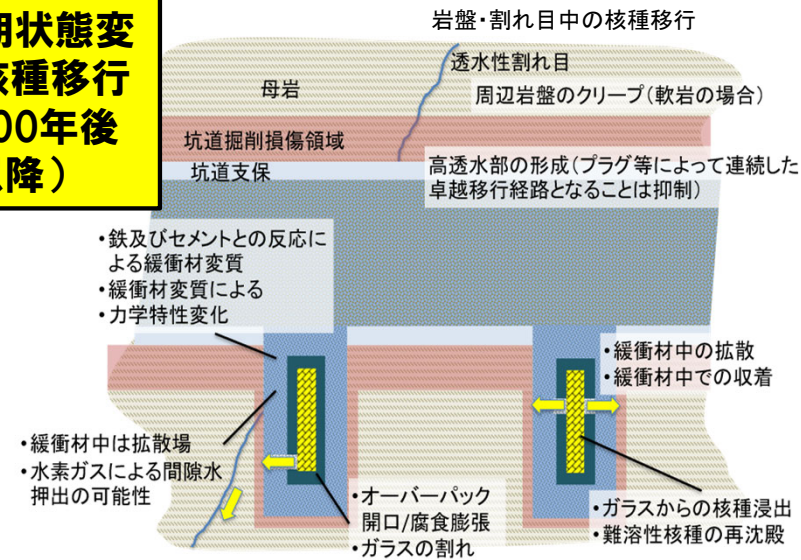
- ピットや坑道の配置・施工 (2.1)
- 人工バリアの設計・施工 (1.1, 2.1)
- 掘削影響による割れ目の生成や湧水(2.1)
- 操業・回収技術、埋め戻し・プラグ技術等の実証 (2.1)
- コンクリート支保の挙動 (2.1) など

②処分場閉鎖～過渡期の状態変遷 (閉鎖後1,000年まで)

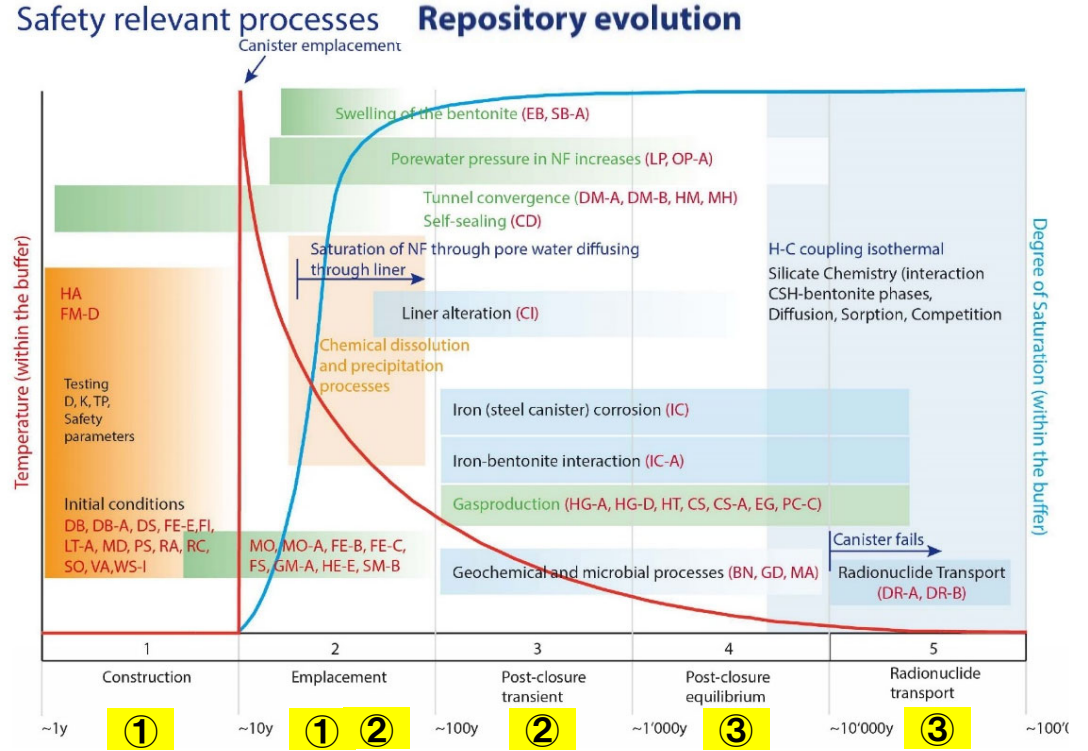


- 人工バリアと周辺岩盤の過渡期挙動(1.1)
- 100℃超の条件での人工バリア挙動(2.2)
- 緩衝材の膨潤による岩盤・割れ目の特性変化(2.1, 3.2) など

③長期状態変遷と核種移行 (1,000年後以降)

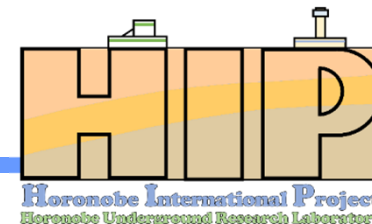


- 岩盤中の核種移行 (1.2)
- 有機物・微生物・コロイドの核種移行への影響(1.2)
- 地殻変動による岩盤特性や人工バリア特性の変化(3.1, 3.2)
- 地下水の流れが非常に遅い領域の把握(3.1) など



I. 令和2年度以降の計画の概要

1.6 HIPの全体状況



令和6年度の計画

・ タスクA:物質移行試験

物質移行モデルの構築に必要な走向傾斜や透水性、割れ目同士の連結性に関する情報を整理するとともに、トレーサー試験などを実施。

・ タスクB:処分技術の実証と体系化

断層/割れ目からの湧水や掘削損傷領域の発達を予測するための解析を行うとともに、500m調査坑道で実施する原位置調査で取得すべきデータの検討を実施。

廃棄体・人工バリアの定置、坑道の閉鎖、廃棄体の回収など、一連の操業技術の実証に向けて、埋め戻し材や止水プラグの材料特性の検討などを実施。

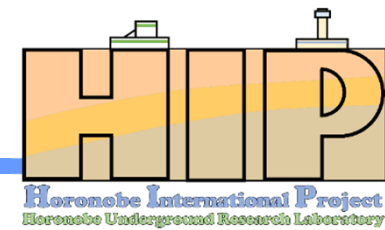
・ タスクC:実規模の人工バリアシステム解体試験

人工バリア性能確認試験でこれまで取得してきた情報をもとに、解体調査で取得する試料の配置や分析方法など、解体調査の具体化を実施。

- ・ 参加機関の理解促進のための現場状況の確認や、研究成果の取りまとめ方針などについて議論することを目的としたタスク会合を実施。
- ・ 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レポートに取りまとめ。
- ・ 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)の実施に向けた調整を進める。

I. 令和2年度以降の計画の概要

1.6 HIPの全体状況



令和6年度の実績(9月末現在)

- **オンライン形式のタスク会合**
一年に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: 2回(7/3, 9/27)、タスクC: 1回(9/9)
- **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: 2回(5/22-23, 8/21-23)
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)
- **その他会合**
韓国原子力研究所におけるタスクB会合: 5/24
- **国内外の学会等での成果発表**
 - OECD/NEA主催の国際会議ICGR-7(2件)、IAEA主催の会合(URF network; 1件)。
 - 原子力学会バックエンド部会企画セッション「幌延国際共同プロジェクトの現状と今後の展開」における発表と議論(全体概要1件、各タスク概要3件、総合討論)(9/11)
 - 日本国内の学会(地盤工学会1件、土木学会9件、原子力学会1件、地下水学会1件)で個別研究成果を発表。



タスクAの現地会合(水理試験状況の確認; 8/21-23)



合同タスク会合(6/5-7)



原子力学会企画セッションでの発表と議論(9/11)

報告内容

I. 令和2年度以降の計画の概要

1.1 研究計画の工程

1.2 施設整備の状況

1.3 原位置試験の実施予定場所

1.4 体系化の研究の全体像

1.5 HIPの全体状況

1.6 幌延課題の全体像

II. 令和6年度の計画及び進捗

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

1.2 物質移行試験

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

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

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

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

【第4期中長期計画 目的】

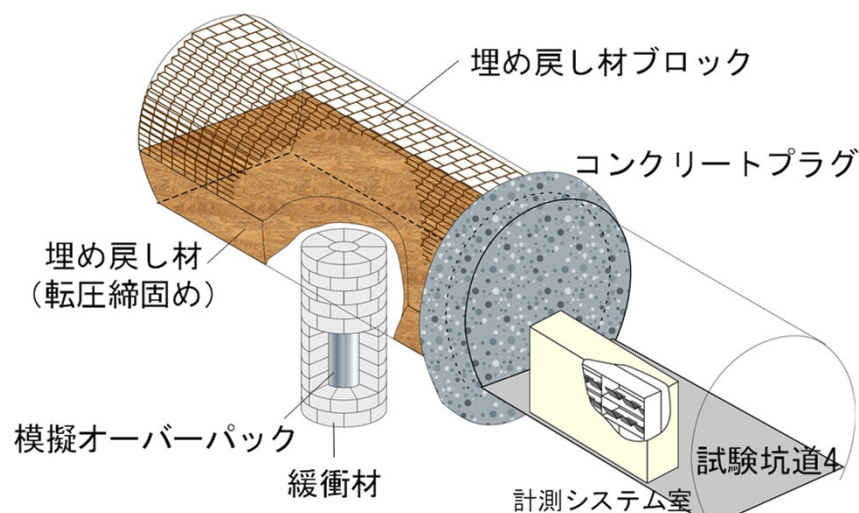
幌延URLの地下350mで実施している人工バリア性能確認試験で取得されたデータをもとに、人工バリア定置後、緩衝材が飽和に至るまでに発生する人工バリア周辺での熱-水-応力-化学連成現象の評価と現象を予測するための解析モデルの検証を実施

【令和6年度の計画・進捗(HIP: Task C)】

人工バリア性能確認試験のデータ計測の継続:解体試験までの人工バリアや埋め戻し材の状態を把握するために人工バリア性能確認試験のデータ計測を継続。取得したデータはHIP参加機関と共有し、連成現象の理解や共同解析に向けた議論を実施中

解体試験計画の具体化:HIP参加機関のニーズやアイデアをもとに、解体試験のサンプリング方法やレイアウト等を検討中

連成解析コードの検証:参加機関の解析コードの情報を共有し、室内試験(膨潤圧、膨潤変形、浸潤試験など)を対象としたベンチマークテストを開始



人工バリア性能確認試験の概念図

参加機関の解析コード

チーム	コード名	連成プロセス
CRIEPI	LOSTUF	THM
KAERI	COMSOL	THM
JAEA	THAMES	THM
	MACBECE	M
	COUPLYS	THC
NUMO	PFLOTRAN-MACBECE	THM
	MINARET	HC
	COMSOL	TH

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

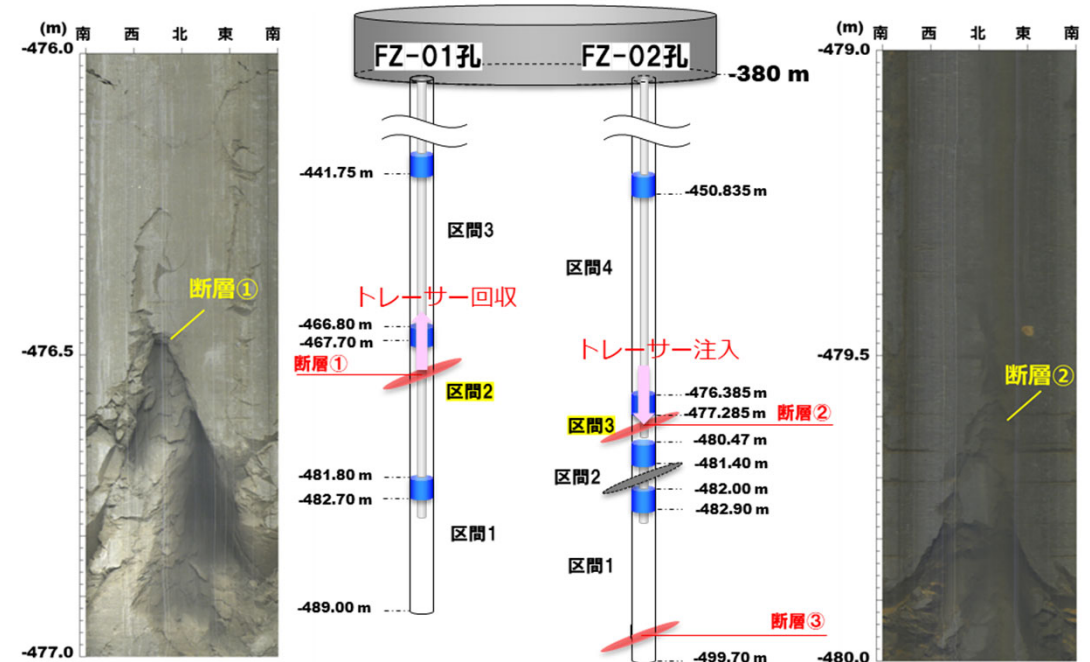
1.2 物質移行試験

【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・進捗】

- 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



※数字は東立坑坑口を基準(0 m)とした時の深度

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)

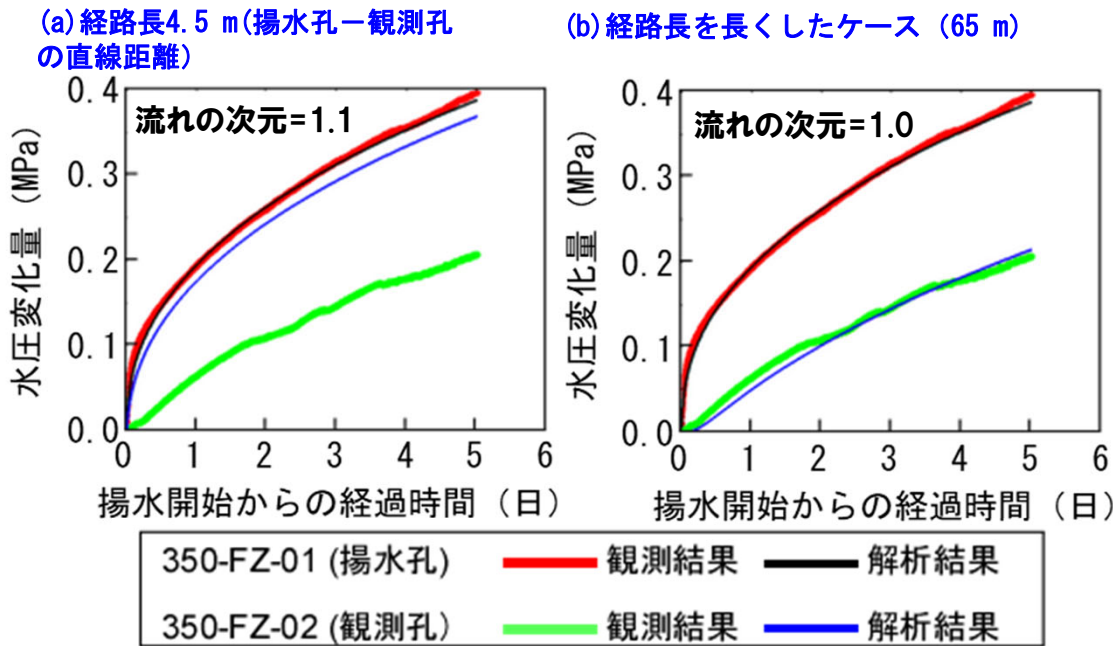
トレーサー試験中はFZ-02孔の区間②への注水(10 mL/min)、FZ-01孔の区間②からの揚水(500 mL/min)を継続。右図の解析結果はウラニン(100 mg/L)を連続注入したトレーサー試験の解析例

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(ブロックスケールを対象とした物質移行試験)

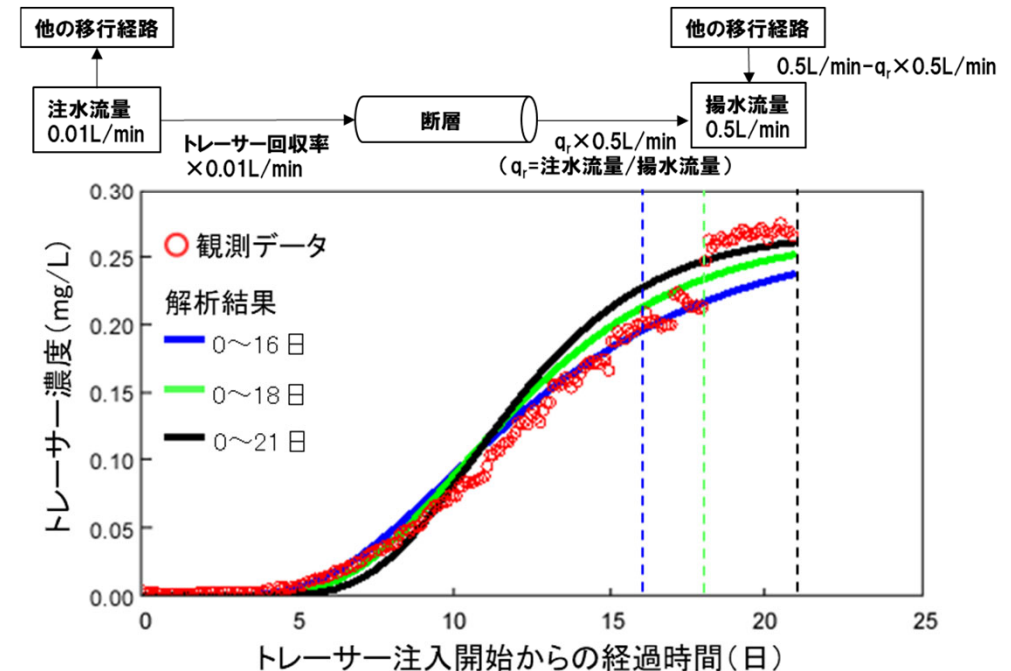
【成果取りまとめのイメージ】

- 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)



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

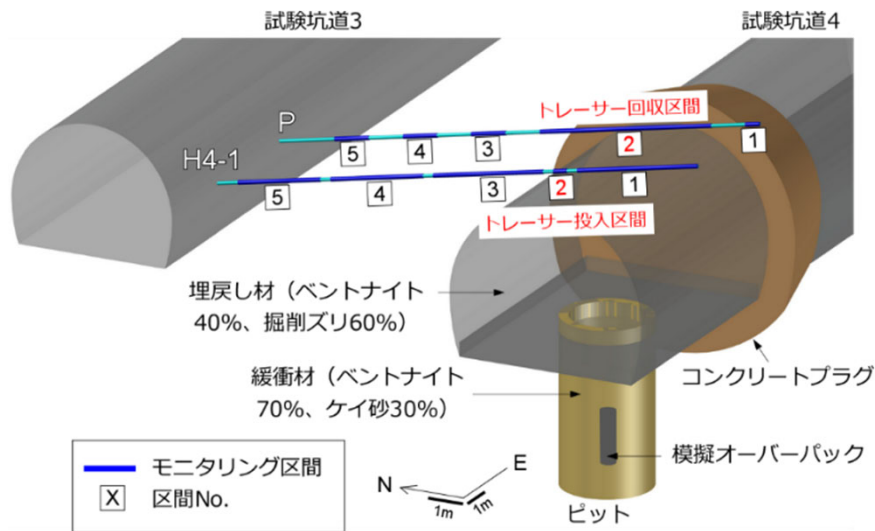
(物質移行経路は割れ目内の一次元的に連続する非常に長い隙間であると仮定することにより、BTCを再現可能)

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)

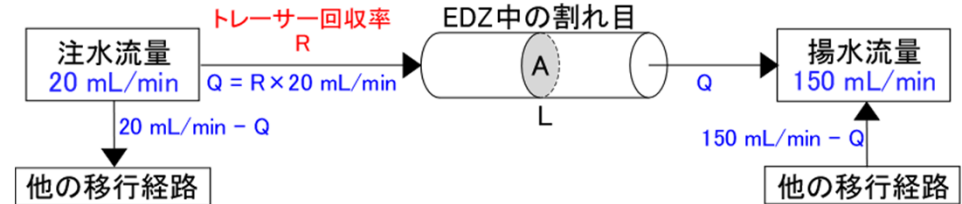
【成果取りまとめのイメージ】

- 掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験(350m調査坑道の試験坑道3および4で実施)の結果を対象に、掘削影響領域の物質移行のモデル化手法を検討
- 具体的には①掘削損傷領域の割れ目を対象とした孔間トレーサー試験の実施、②孔間トレーサー試験の再現解析から物質移行モデルの適用性を評価
- 1次元のpipeモデルを適用することにより、掘削損傷領域の分散効果を再現することが可能(左下図)。また、取得された分散長等のパラメータの妥当性を確認。
- その結果、一次元の物質移行モデルを仮定することで掘削損傷領域の移流分散挙動を推定可能であることを確認



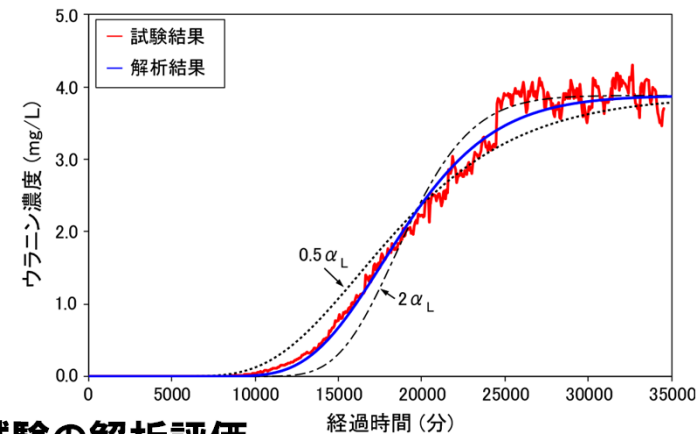
掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験のレイアウト

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。



モデルパラメータ		
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



トレーサー試験の解析評価

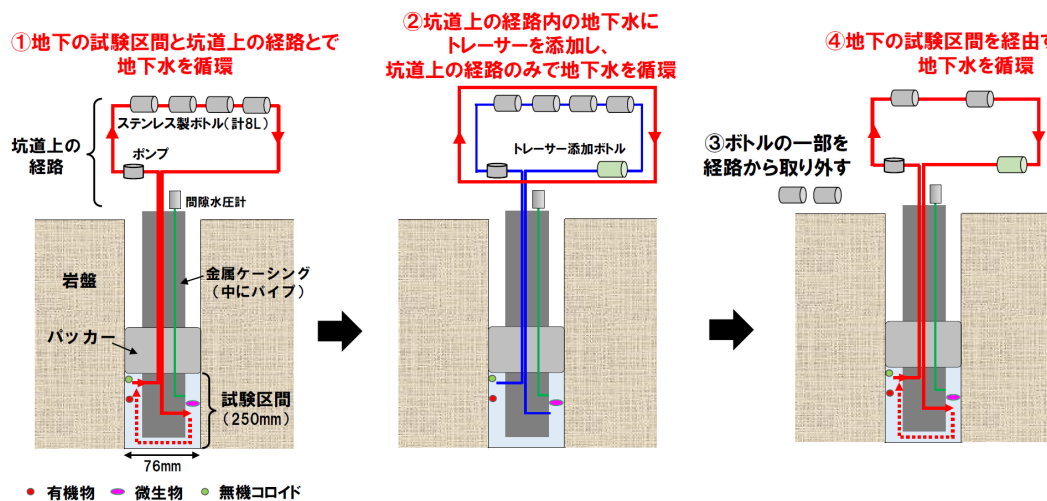
点線および破線はモデルパラメータのうち、縦方向分散長 ($\alpha_L = 0.12$) のみを0.5倍もしくは2倍にした際の解析結果

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(有機物・微生物・コロイドの影響評価)

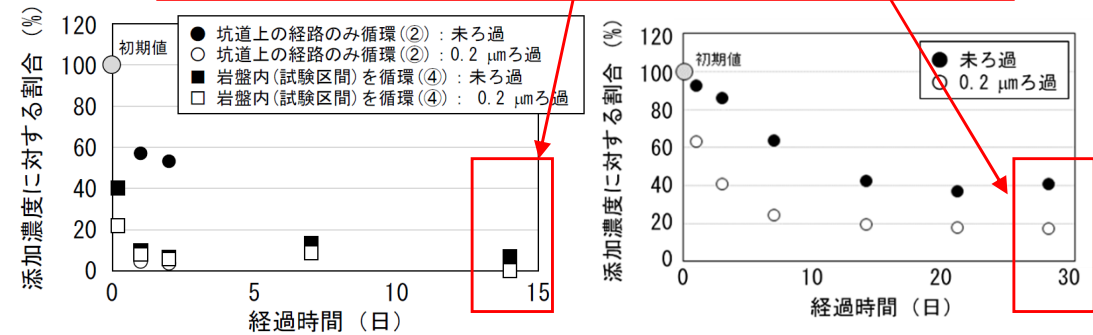
【成果取りまとめのイメージ】

- 幌延の地下水を対象として実施してきた室内・原位置試験結果の相互比較にもとづく有機物・微生物・コロイドの影響評価、および評価手法の提示
- 有機物・微生物・コロイド各成分の特性や元素との相互作用に関する成果、および評価手法の提示



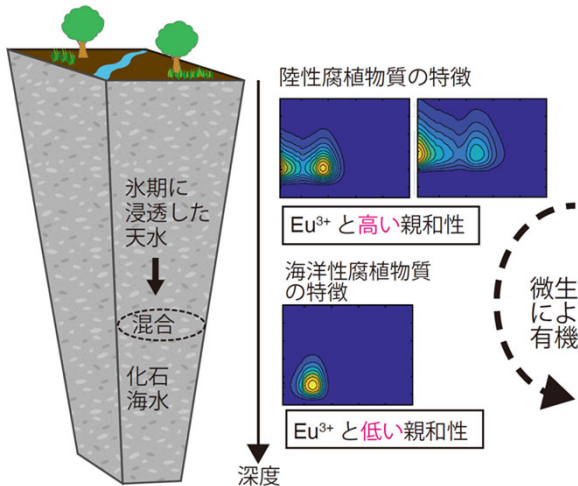
令和6年度:

- より長期(～4か月程度)の試験(実施中)
- 最終濃度と元素の溶解度の比較などを計画

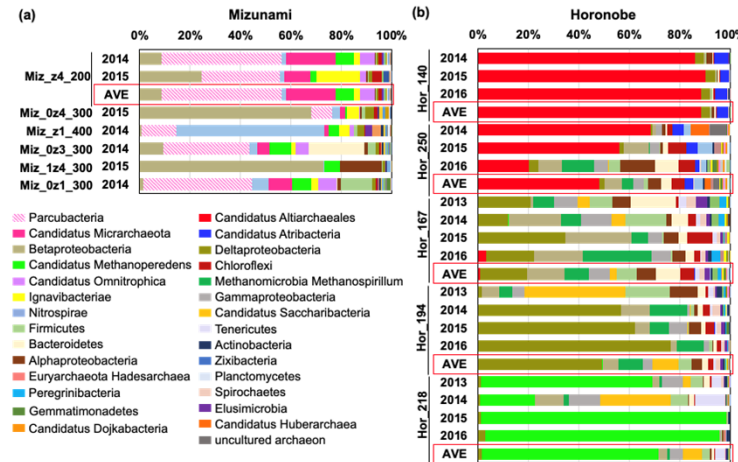


希土類元素をトレーサーとした原位置試験概念図(350m調査坑道)

原位置試験(左)と室内試験(右)におけるLa濃度の経時変化(望月ほか, 2024)



幌延地下水中の溶存有機物の特徴とEu³⁺との親和性 (Saito et al., 2023)



幌延・瑞浪地下水中の微生物組成の経時変化 (Amano et al., submitted)

2. 処分概念オプションの実証

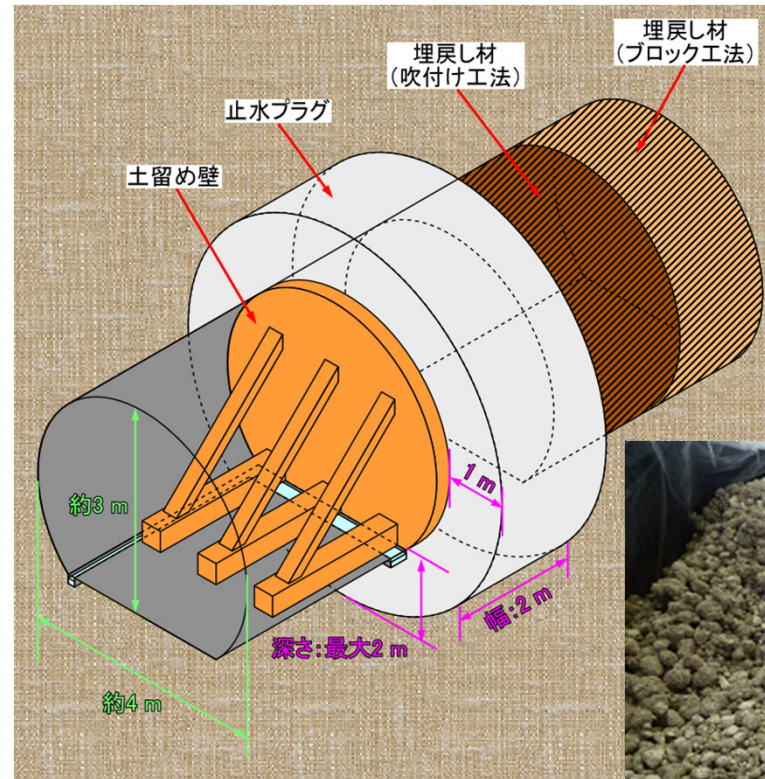
2.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

【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・進捗】

- 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



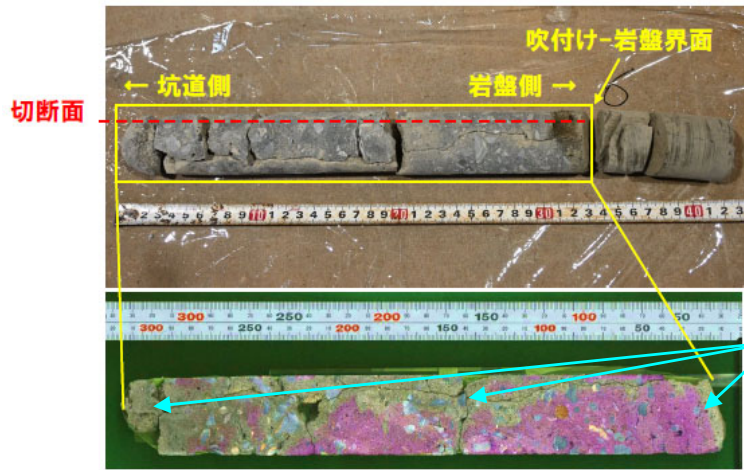
掘削土(ズリ)を用いた埋め戻し材

2. 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

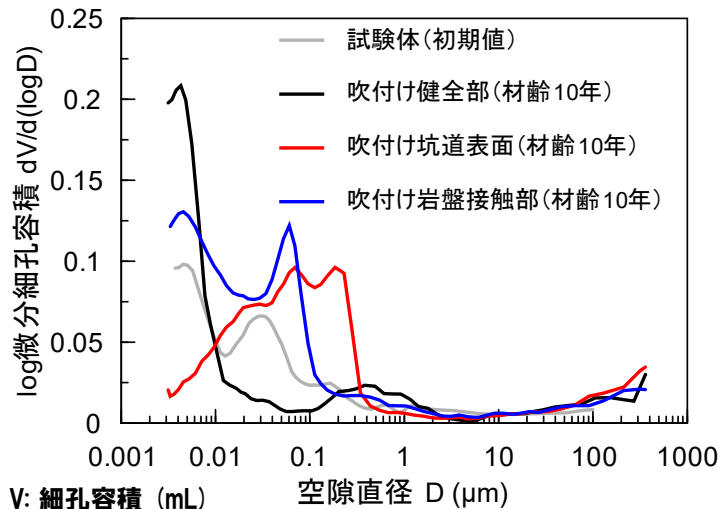
【搬送定置・回収技術整備の成果取りまとめのイメージ】

- これまでに実施してきた、低アルカリコンクリート試験体および実際の吹付けコンクリート(350m調査坑道)を対象とした化学・微細構造・力学特性等の分析結果の整理
- 上記の結果にもとづく、回収可能性の考慮にともなう坑道開放期間の長期化の影響評価

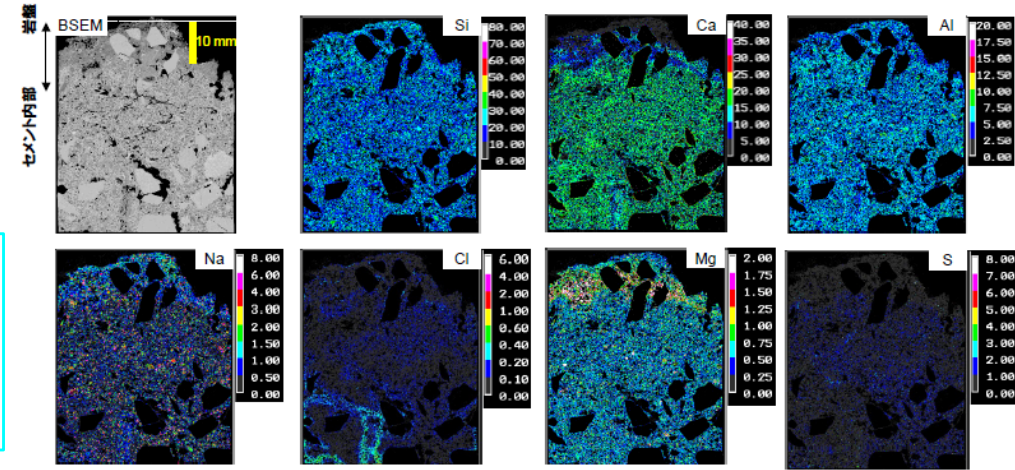


・坑道表面
・内部の亀裂周辺
・岩盤との接触部
で炭酸化(pH低下)

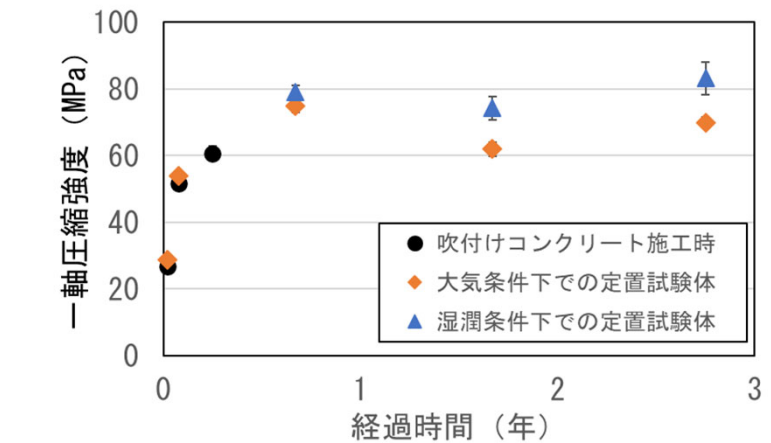
実際の吹付けコンクリートに生じている炭酸化



コンクリート試験体および
実際の吹付けコンクリートの
空隙径分布



吹付け-岩盤界面周辺の元素分布



コンクリート試験体の一軸圧縮強度の経時変化

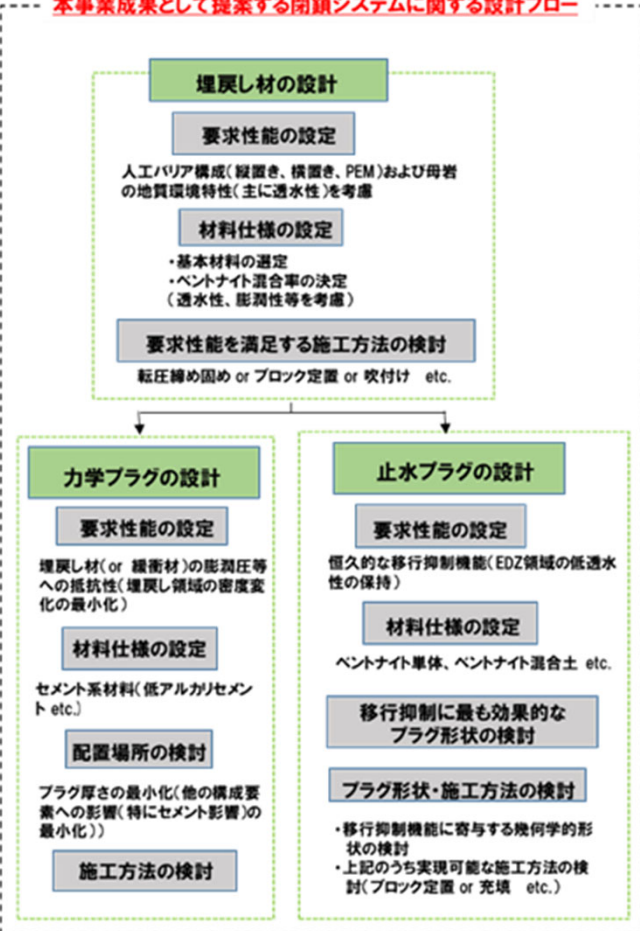
2. 処分概念オプションの実証

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

【閉鎖技術の実証の成果取りまとめのイメージ】

- 埋め戻し材と止水プラグの設計フローで示した設計項目に対して要求性能・条件や設計に必要な情報を整理・更新(原位置環境での適用性等の視点を含む)

本事業成果として提案する閉鎖システムに関する設計フロー



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)で提案した設計フロー(原子力機構・原環センター, 2023)

止水プラグの設計項目と要求性能・条件、設計に必要な情報の整理イメージ

設計項目	要求性能・条件	設計に必要な情報	実施内容
要求性能の設定	<ul style="list-style-type: none"> 周辺岩盤と同程度の透水係数 	<ul style="list-style-type: none"> EDZの分布 EDZ、岩盤の透水性 埋め戻し材の透水性 	<ul style="list-style-type: none"> ボーリング調査(コア観察、BTV観察) 弾性波・比抵抗トモグラフィ 透水試験・間隙水圧モニタリング 水理解析
材料仕様の設定	<ul style="list-style-type: none"> 設定した透水係数を達成できる材料仕様(乾燥密度、材料配合等) 	<ul style="list-style-type: none"> ベントナイト混合土の材料特性(締固め特性、透水性、膨潤特性等) 	<ul style="list-style-type: none"> 室内試験
プラグ形状の検討	<ul style="list-style-type: none"> 物質移動抑制効果の高い幾何形状 力学的安定性の観点から施工可能な形状 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤の力学物性 EDZの分布 EDZ、岩盤の透水性 	<ul style="list-style-type: none"> 室内試験 水理解析 力学解析
施工方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> EDZの拡大を抑制する切欠きの拡幅方法 設定した止水プラグの材料仕様を実現可能な施工方法 	<ul style="list-style-type: none"> 切欠きの拡幅によるEDZ形成の程度 止水プラグの工法毎の施工性(乾燥密度、施工時間等) 	<ul style="list-style-type: none"> 文献調査 力学解析

2. 処分概念オプションの実証

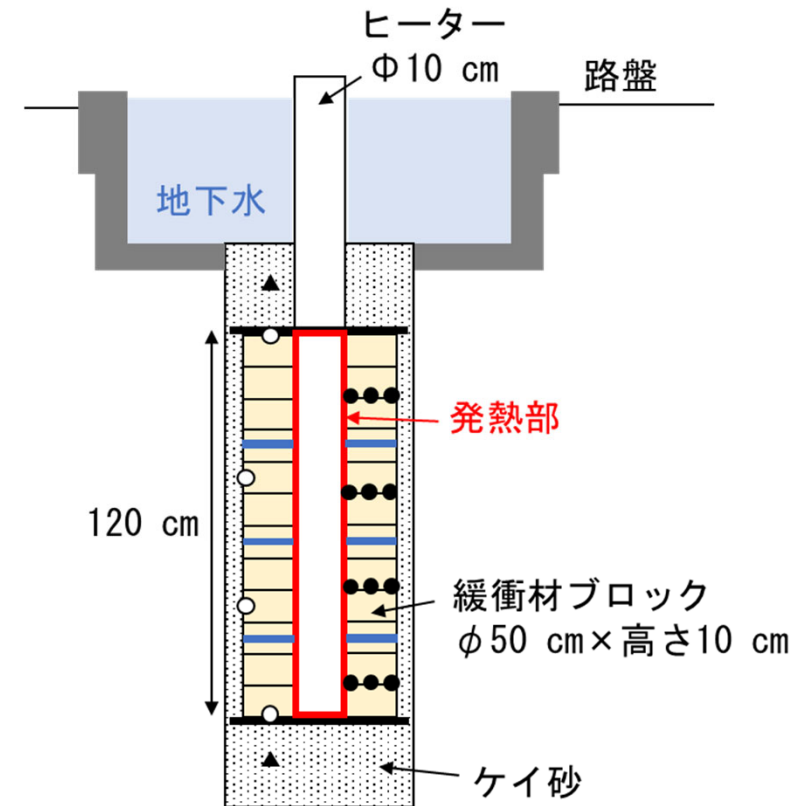
2.2 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

【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・進捗】

- 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



- 熱電対 (温度)
- ▲ 間隙水圧計 (水圧)
- 土圧計 (全応力)
- 比抵抗測定電極 (比抵抗→水分分布)

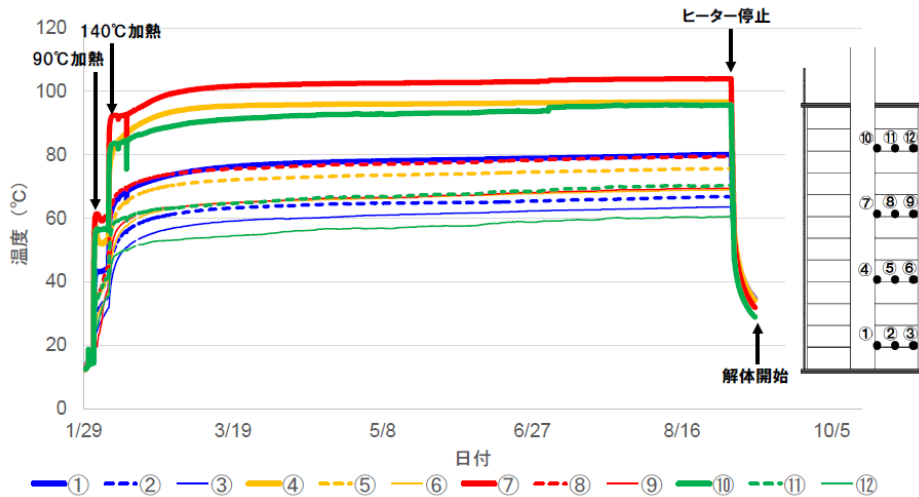
センサーの配置(断面図)

2. 処分概念オプションの実証

2.2 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

【成果取りまとめのイメージ】

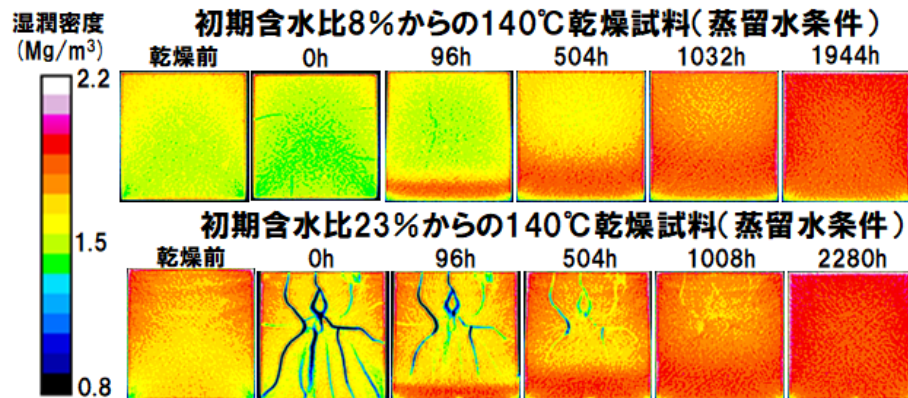
- 原位置試験の試験体(9月に解体調査を実施)および室内試験の試料分析にもとづく、高温履歴を経た緩衝材の特性変化に関する評価
- 100℃を超える条件下での人工バリアおよびその周辺に発生する現象などについて取りまとめ



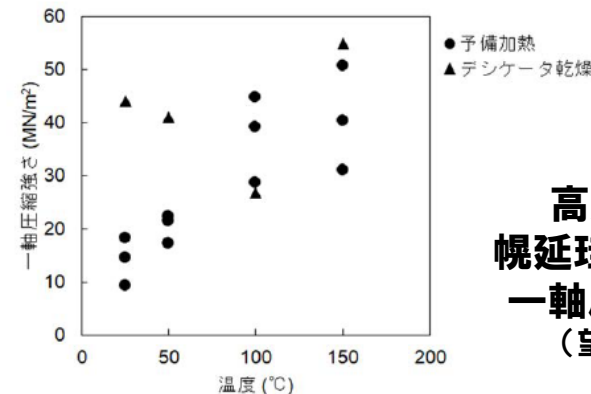
原位置試験の温度モニタリング結果



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



緩衝材試料の湿潤に関する室内試験の結果



高温条件下での
幌延珪質泥岩に対する
一軸圧縮試験の結果
(望月ほか, 2024)

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

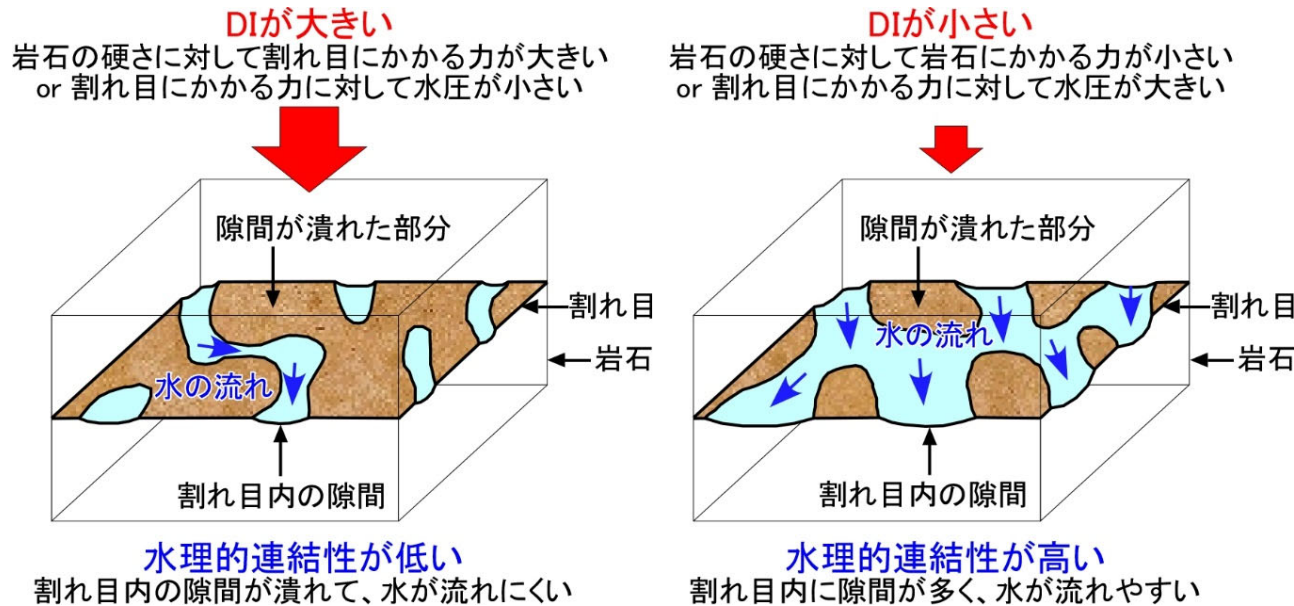
3.1.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

【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

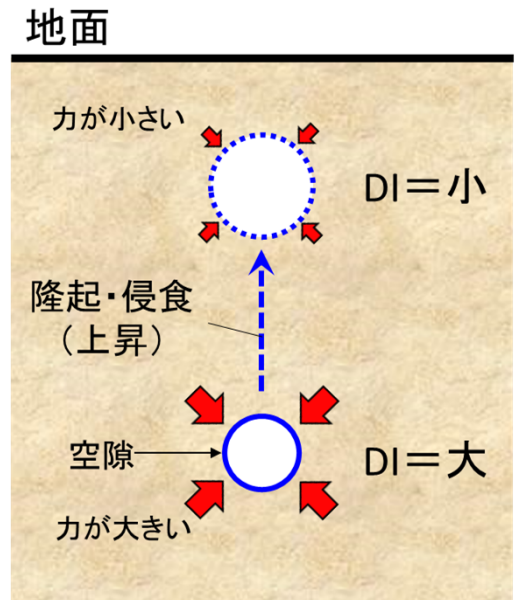
【令和6年度の計画・進捗】

- 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*と割れ目の水理学的連結性の関係

*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

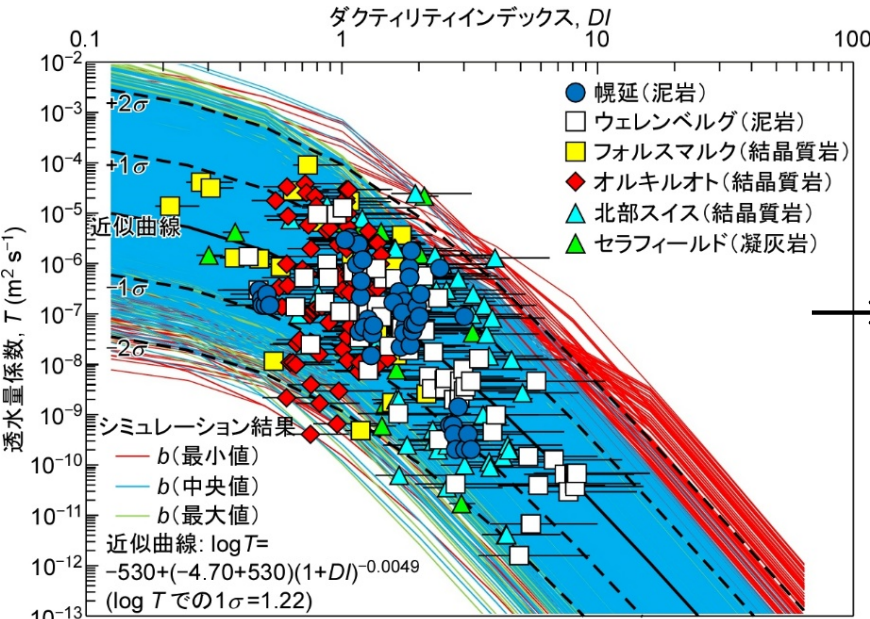


隆起侵食が透水性に与える影響

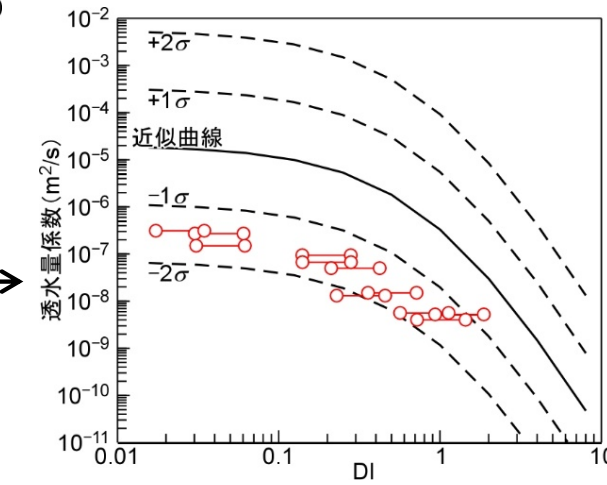
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.1.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

【成果取りまとめのイメージ】 水圧擾乱試験による地殻変動の影響を含めた透水性評価手法の整備

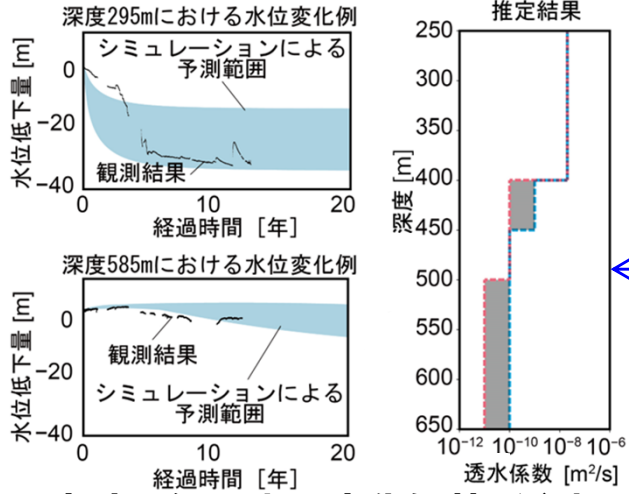


断層の局所的な透水量係数とDIの関係の構築



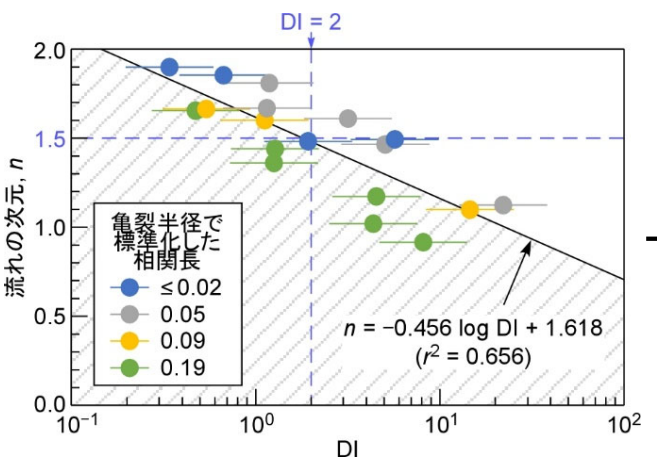
DIの変化とせん断変位の発生を伴う水圧擾乱試験による検証

Ishii (2021, Eng Geol)



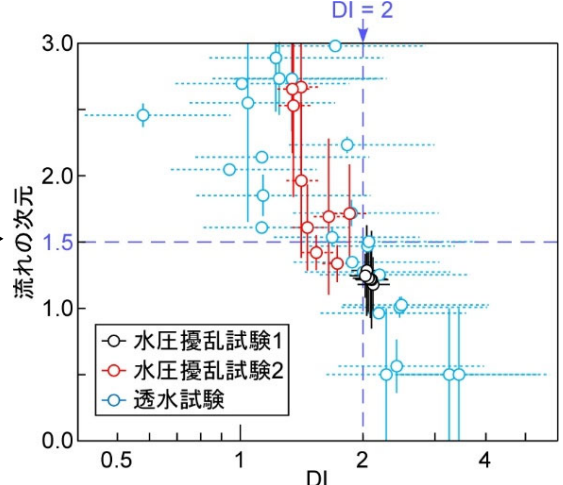
立坑周辺の水圧変化に基づく地層の有効透水量係数分布の推定

整合



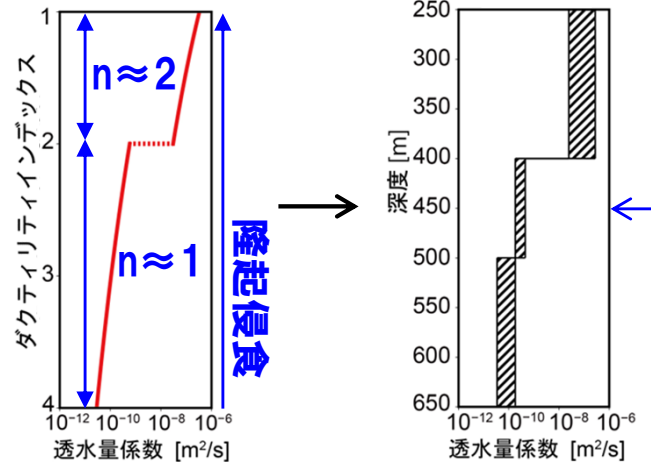
仮想透水試験による割れ目内の流れの次元とDIの関係のシミュレーション

Ishii et al. (Hydrogeol J, in press)



DIの変化やせん断変位の発生を伴う水圧擾乱試験による検証

Matheronの式を用いた統合



地殻変動の影響を考慮した断層の有効透水量係数とDIの関係の構築

立坑周辺の断層の有効透水量係数分布の推定

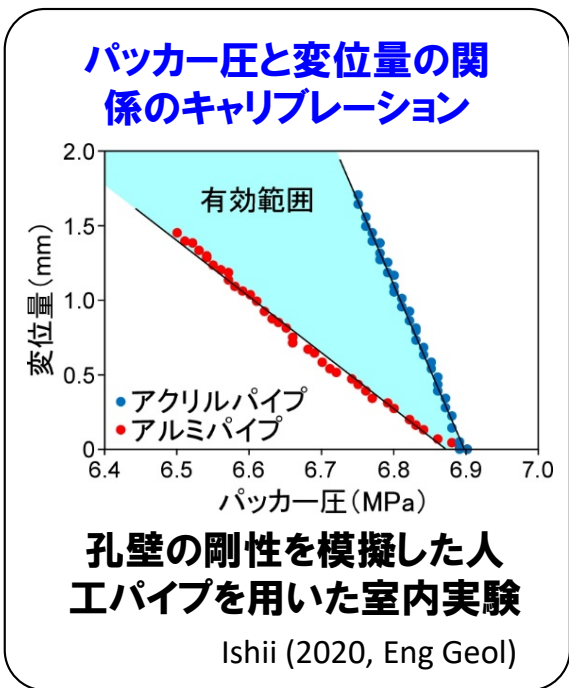
Ozaki & Ishii (2024, Geoenergy)

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.1.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

【成果取りまとめのイメージ】 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

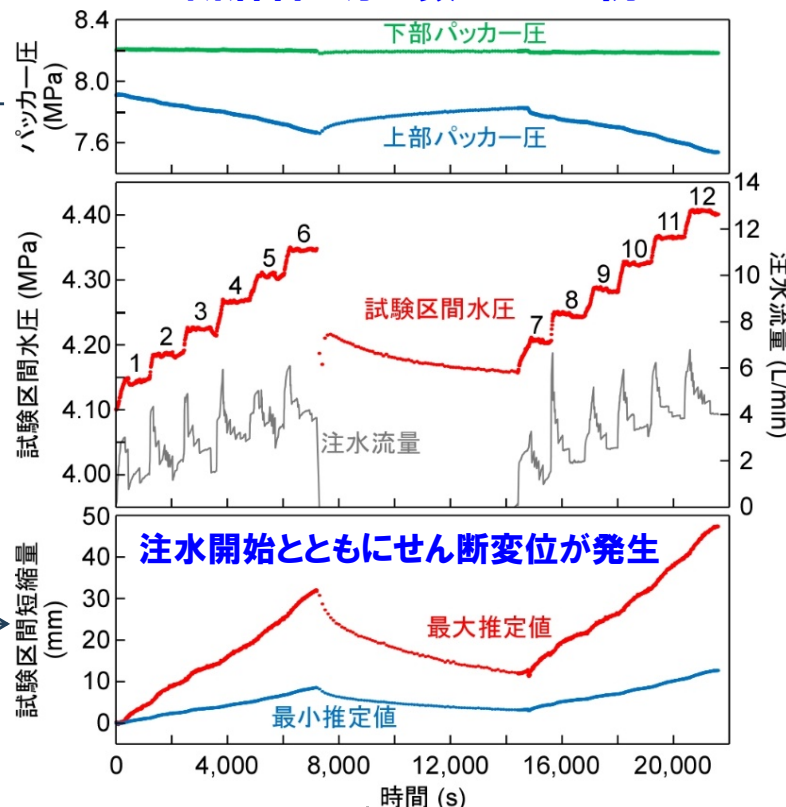
水圧擾乱試験(室内実験+原位置透水試験)により断層のせん断剛性を原位置で計測できることを確認



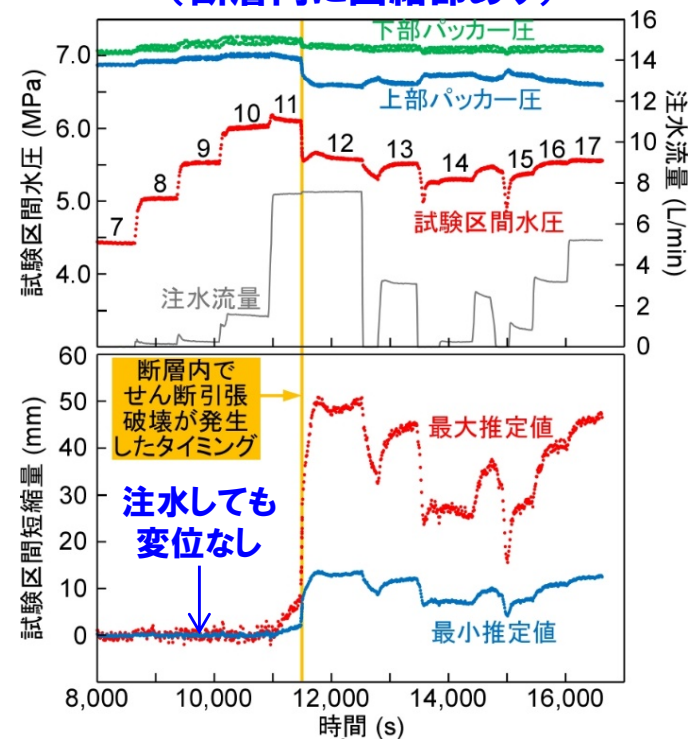
試験中の断層のせん断変位に基づいて推定した応力場(MPa)

σ_v	σ_H	σ_h
7.6	6.1-6.9	5.3

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)



断層を対象とした定圧段階注水試験結果

せん断剛性 $\leq 10^{-2}$ MPa/mm (軟らかい)

$\geq 10^0$ MPa/mm (硬い)

整合

整合

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

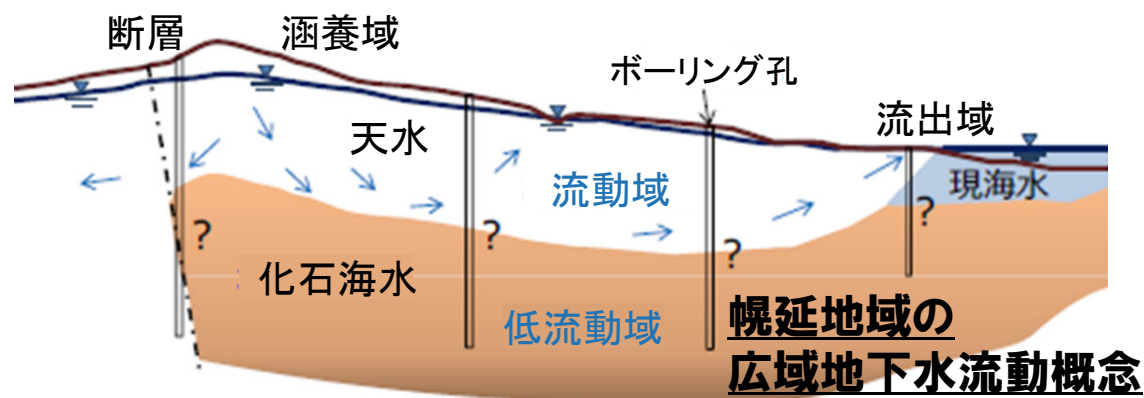
Ishii (2024, Rock Mech Rock Eng)

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.1.2 地下水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



【令和6年度の計画・進捗、成果取りまとめのイメージ】

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。

低流動域の三次元分布の推定

低流動域の三次元分布を推定

- 物理探査やボーリング調査などの地上からの調査により、低流動域の三次元分布を推定

長期的に安定な水理場・化学環境であることの確認

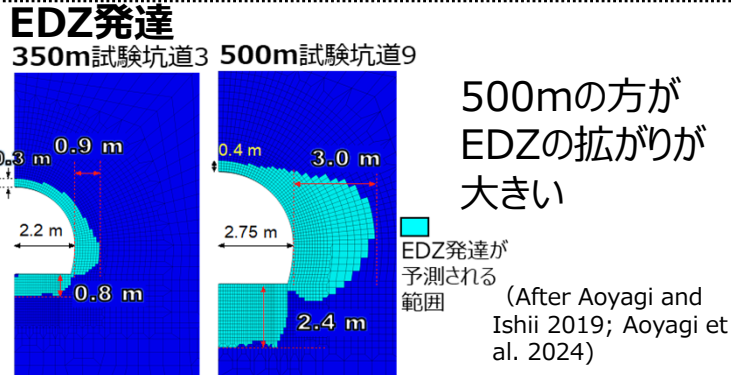
- 地下水の水質形成や年代といった地球化学的アプローチにより、着目した水質が低流動を示す指標になることを確認

2. 処分概念オプションの実証

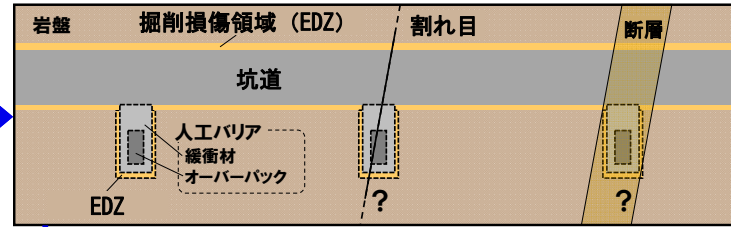
2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化：全体像と4つのタスク

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⇒タスク2

- 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な情報等を整理するなど処分技術を実証

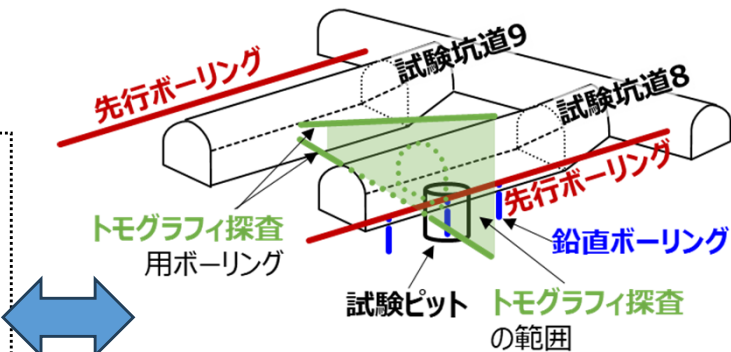
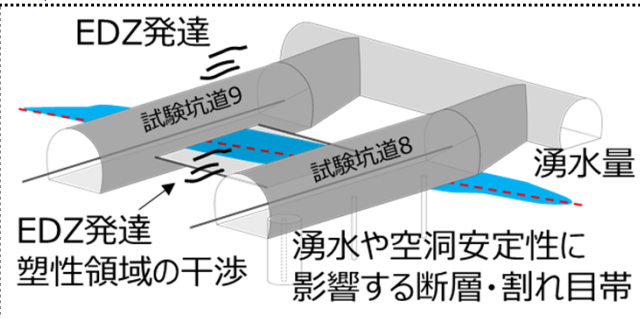
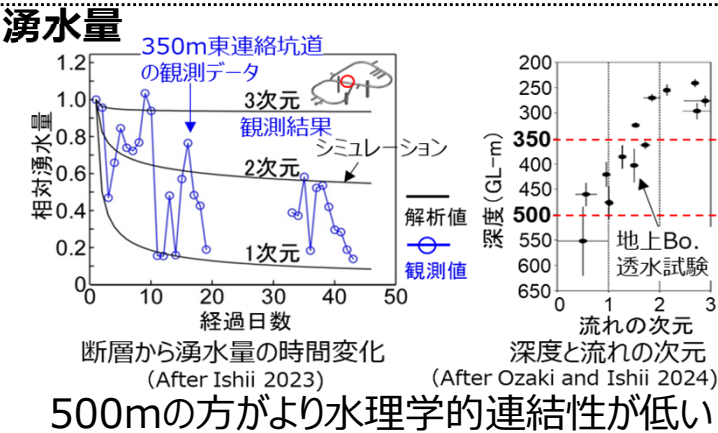


廃棄体定置や坑道・ピット配置の考え方や指標の情報を収集



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



500m試験坑道8、9における原位置調査レイアウト案

評価・検証

廃棄体設置の判断や間隔の設定に資する地質環境の調査・評価情報の整理⇒タスク4

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⇒タスク3

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)⇒タスク1

2. 処分概念オプションの実証

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

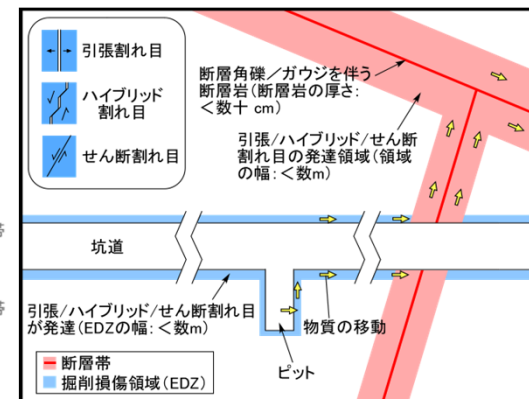
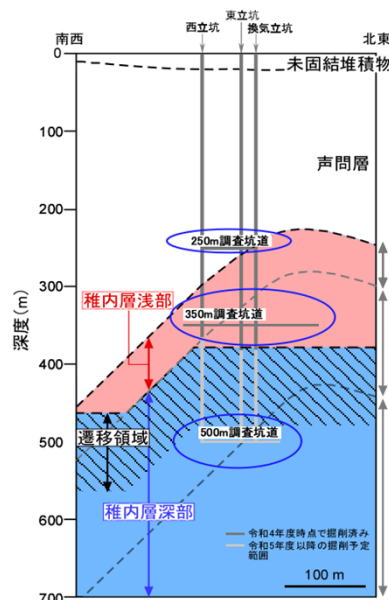
➤ 令和6年度調査研究計画で設定した4つのタスクの全体計画と令和6年度計画。

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

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が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。

2. 処分概念オプションの実証

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

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】

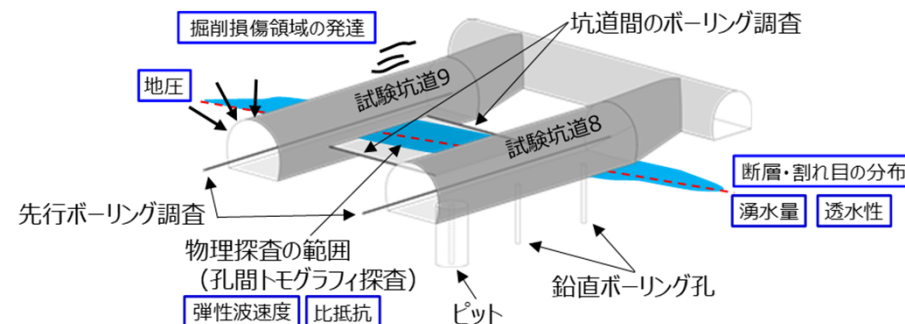
- これまでに得られたデータや深度500mに向けた掘削過程で得られるデータ(右上図)を用いて、多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術や緩衝材の流出現象を評価/抑制する技術について検討を進める。

4. 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報の整理

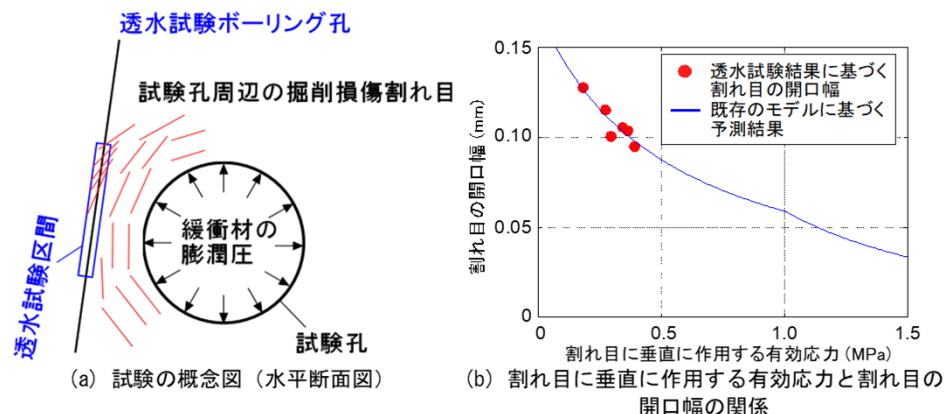
廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報(割れ目の湧水量、掘削損傷領域の広がりなど)の調査・評価手法について、実際に幌延で適用した調査・評価手法を体系的に整理する。

【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。



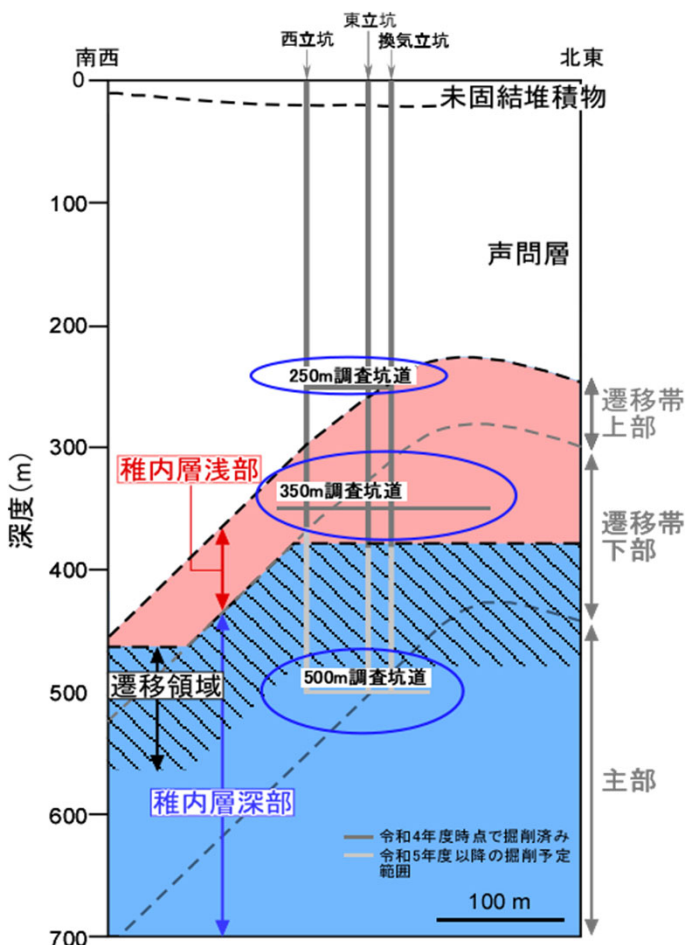
500m調査坑道の試験坑道8および試験坑道9における原位置調査のイメージ図



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

2. 処分概念オプションの実証

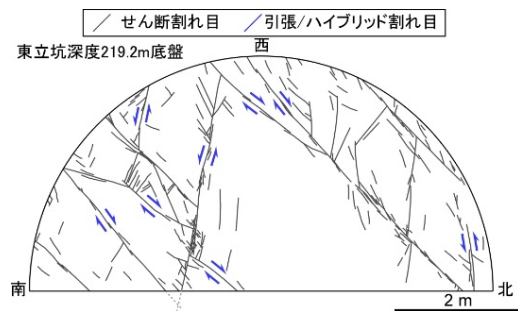
2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化(タスク1)



地質断面図

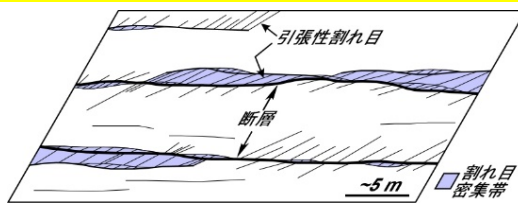
稚内層を力学的検討に基づき、割れ目が開きやすい（隙間ができやすい）浅部領域（ $DI < 2$ ）と割れ目が開きにくい（隙間ができにくい）深部領域（ $DI > 2$ ）に区分（ $DI = \text{平均有効応力} \div \text{引張強度}$ ）（Ishii et al., Hydrogeol J, in press）

深度250m（声問層）



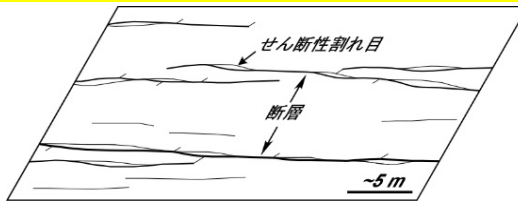
せん断割れ目のスケッチ (Ishii, 2017, IJRMMS)

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）

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）

- 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

- 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, in press）；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

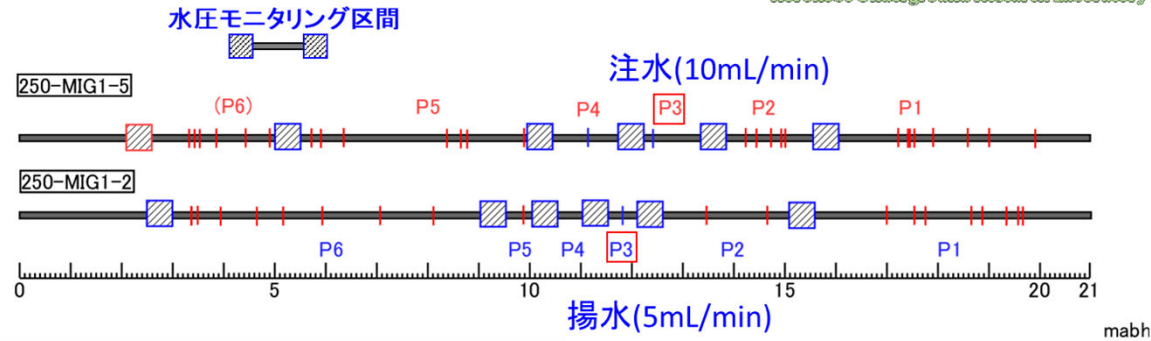
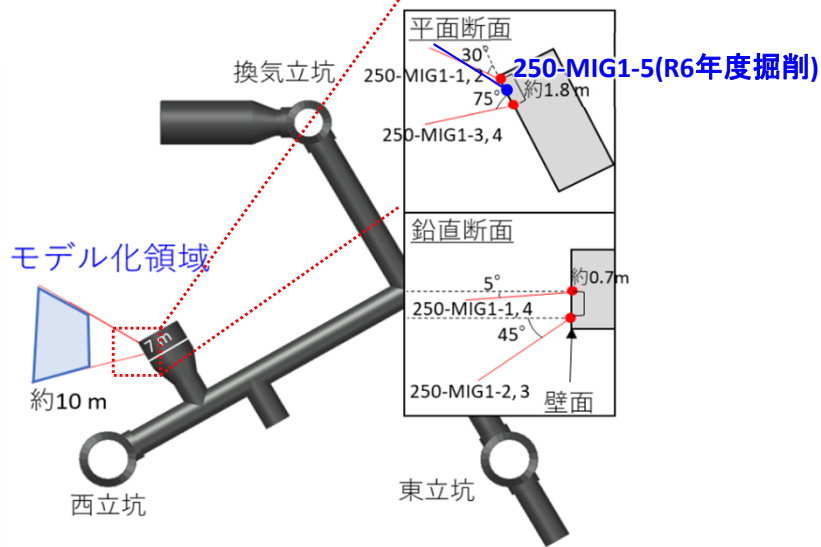
- 約1本/10mの1D頻度で断層が存在するものの、その水理学的連結性は限定的（Ishii, 2017, Eng Geol: Ishii et al., Hydrogeol J, in press）；坑道沿いのEDZ？
- 30～40%程度のマトリクス間隙

1.2 物質移行試験の成果を活用しつつ検討

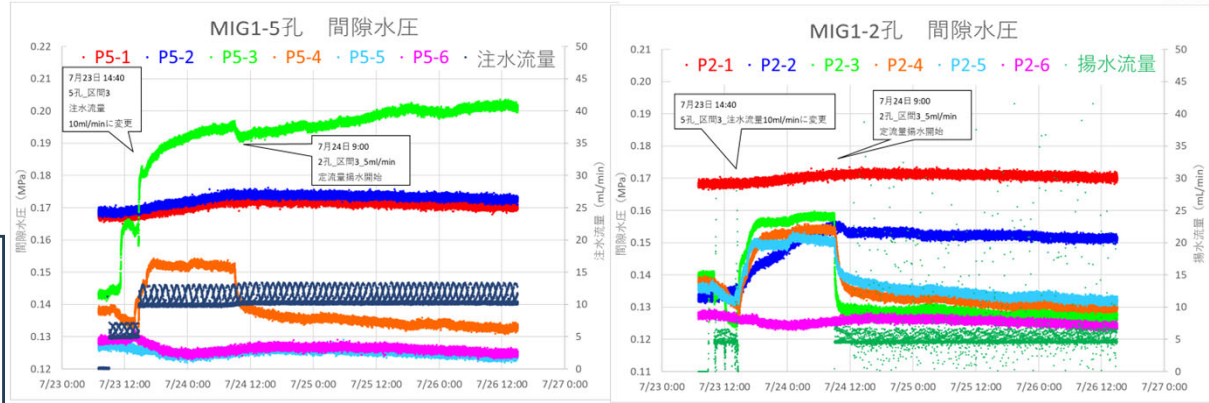
既存の成果、HIPでの取り組みの中で、水みち特性の異なる岩相の物質移行モデルを検討

2. 処分概念オプションの実証

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(タスク1)



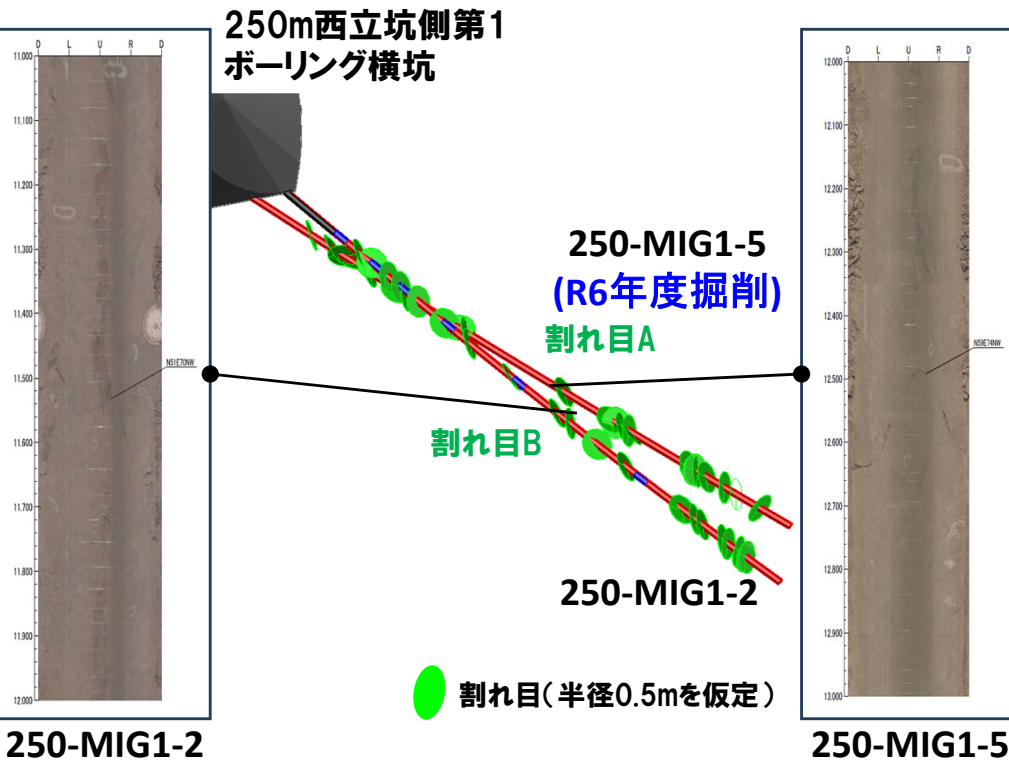
平面図:調査エリア(声問層:250m調査坑道)



注水・揚水による水圧応答試験の一例

トレーサー試験の候補区間である250-MIG1-5の区間3(割れ目Aを含む)への注水、250-MIG1-2の区間3(割れ目Bを含む)から揚水を実施した結果、両孔間で明瞭な応答を確認

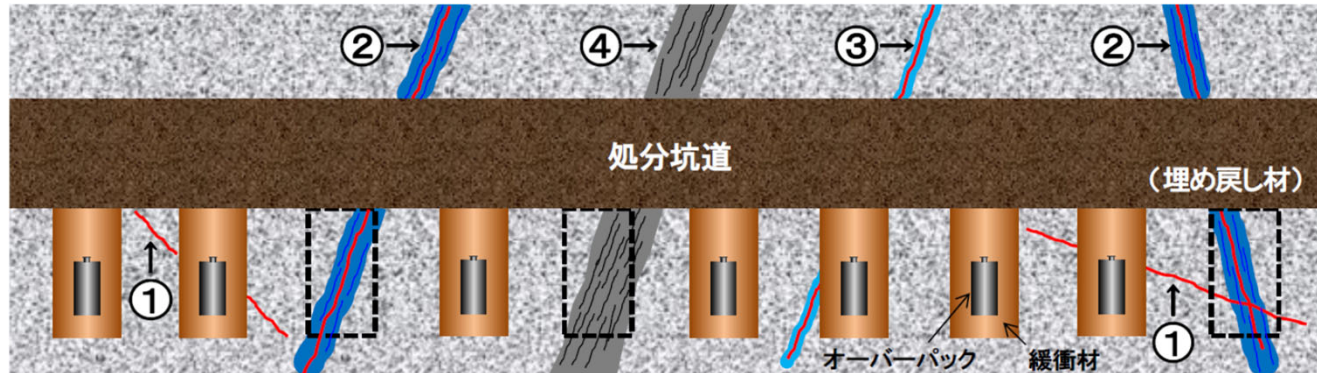
- 孔間距離約0.8 mのボーリング孔間で水理的連結性が確認できる割れ目を特定
- 孔間トレーサー試験を可能とする流量条件 (注水流量:10 mL/min、揚水流量:5 mL/min)を決定



2. 処分概念オプションの実証

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(タスク2)

NUMOの包括的技術報告書(NUMO-TR-20-03)の例： 処分孔の定置位置の考え方



- ①：湧水を伴わない断層・割れ目、
- ②、③：湧水を伴う断層あるいは透水性割れ目
- ④：断層・割れ目が密集し、力学的強度が低下している領域

廃棄体を埋設する場所として好ましくない特性の模式図

(**縦置き・ブロック方式の例**) (NUMO, 2021, TR-20-03, 図 4.5-27)

断層・割れ目に対処する際に、処分孔の掘削、および緩衝材や埋戻し材の施工の関連から、好ましくないケースは以下の通り

- 断層・割れ目からの湧水が多い場合には、排水処理量が増大
- 断層・割れ目からの処分孔内（あるいは処分坑道内）への湧水量が多い場合、**緩衝材（あるいは埋戻し材）の施工が困難**
- 断層・割れ目から処分孔内への湧水が、緩衝材定置後も長期間継続すると緩衝材の一部が湧水により断続的に流出する**パイピング現象が発生し、緩衝材の品質の確保が困難**
- 断層・割れ目が密集するなど局所的に**岩盤の力学的強度が低下している場合、処分孔壁（あるいは処分坑道の切羽）の崩落などが発生**

2. 処分概念オプションの実証

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(タスク2)

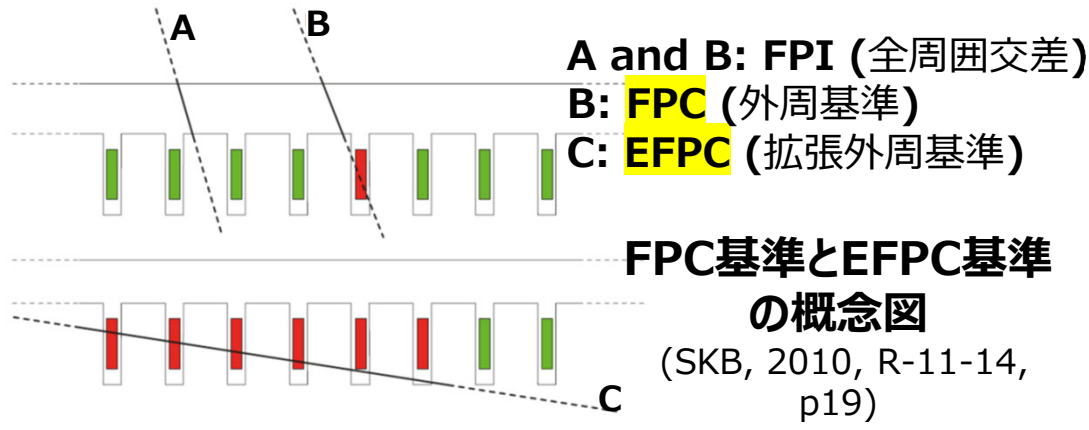
SKB, POSIVAの事例: 処分坑道・処分孔の配置に関連する指標と調査

RSC-Iフェーズでオルキルトで提要された予備的な指標の概要 (POSIVA, 2012, Hella et al. 2009)

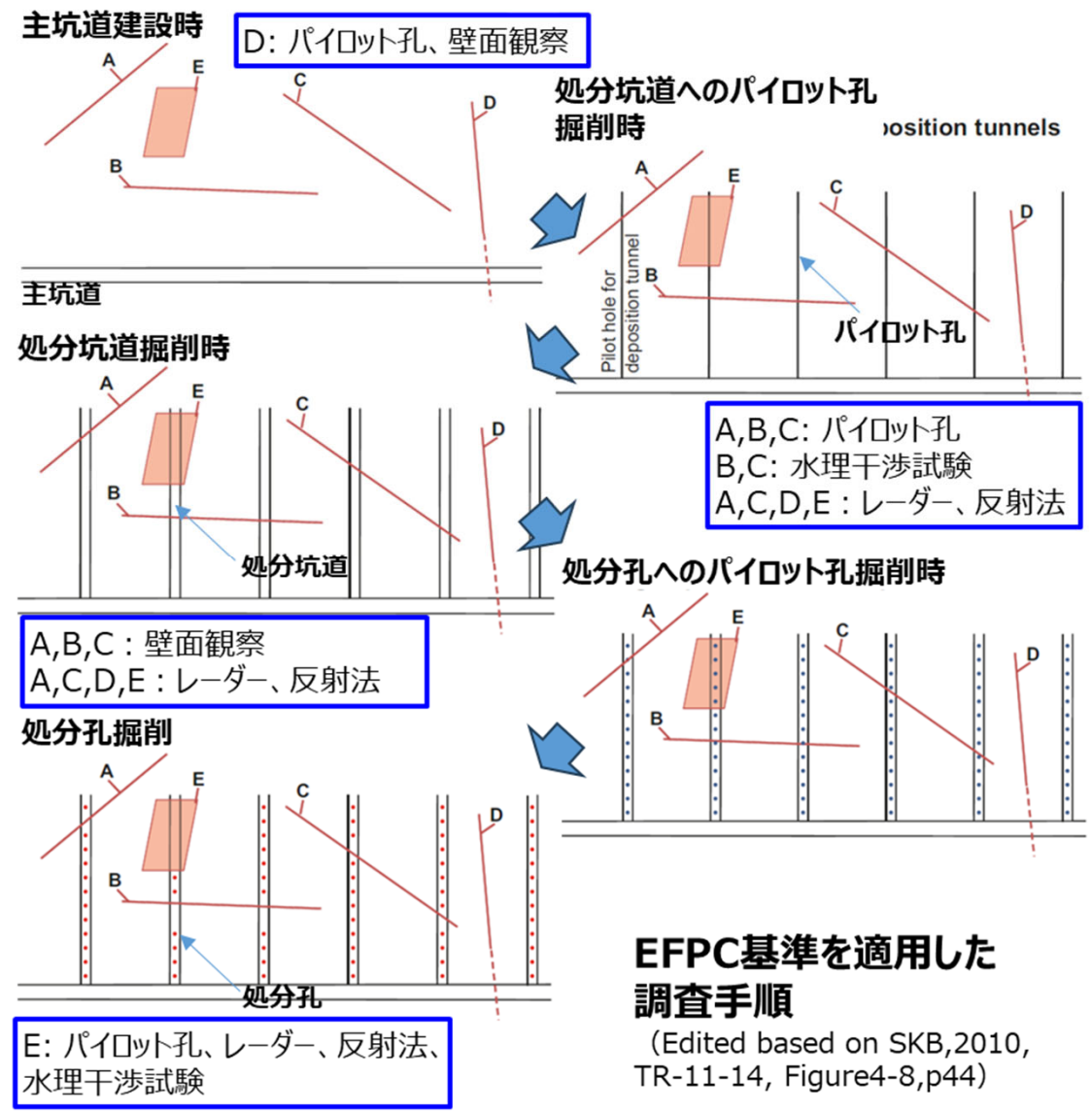
Target properties	Scale	Criteria
Inflow to deposition holes <math>< 0.1 \text{ L/min}</math>	Repository	Avoid the influence zones of the site-scale hydrogeological zones. In general, 20 m is considered as adequate distance
Low flow rate around a deposition hole in saturated conditions (in the order of 1 L/year)	Tunnel	No additional criteria
Transport resistance in the order of few thousands of years per metre in the vicinity of a deposition hole	Deposition hole	Deposition hole can be within the influence zone of the site-scale hydrogeological zones
Limited mechanical disturbances	Repository	Avoid the influence zones of the site-scale hydrogeological zones. In general, 20 m is considered as adequate distance
Rock shear in deposition hole <math>< 10 \text{ cm}</math>	Tunnel	No additional criteria
	Deposition hole	Deposition hole can be within the influence zone of the site-scale hydrogeological zones

処分孔の配置を判断する際の指標

- 処分孔への湧水量: **0.1 L/min以下**
⇒ パイピング現象による緩衝材流出
- 処分孔のせん断: **10 cm以下**
⇒ 氷河期後の地震に対する健全性
⇒ **FPC基準とEFPC基準**



- 現地調査によって割れ目サイズを直接測定することはできないが、「大規模割れ目」を保守的に除外するための指標
- なお、「EFPC基準」は、特に断りのない限り、FPC基準とEFPC基準の両方を含む。



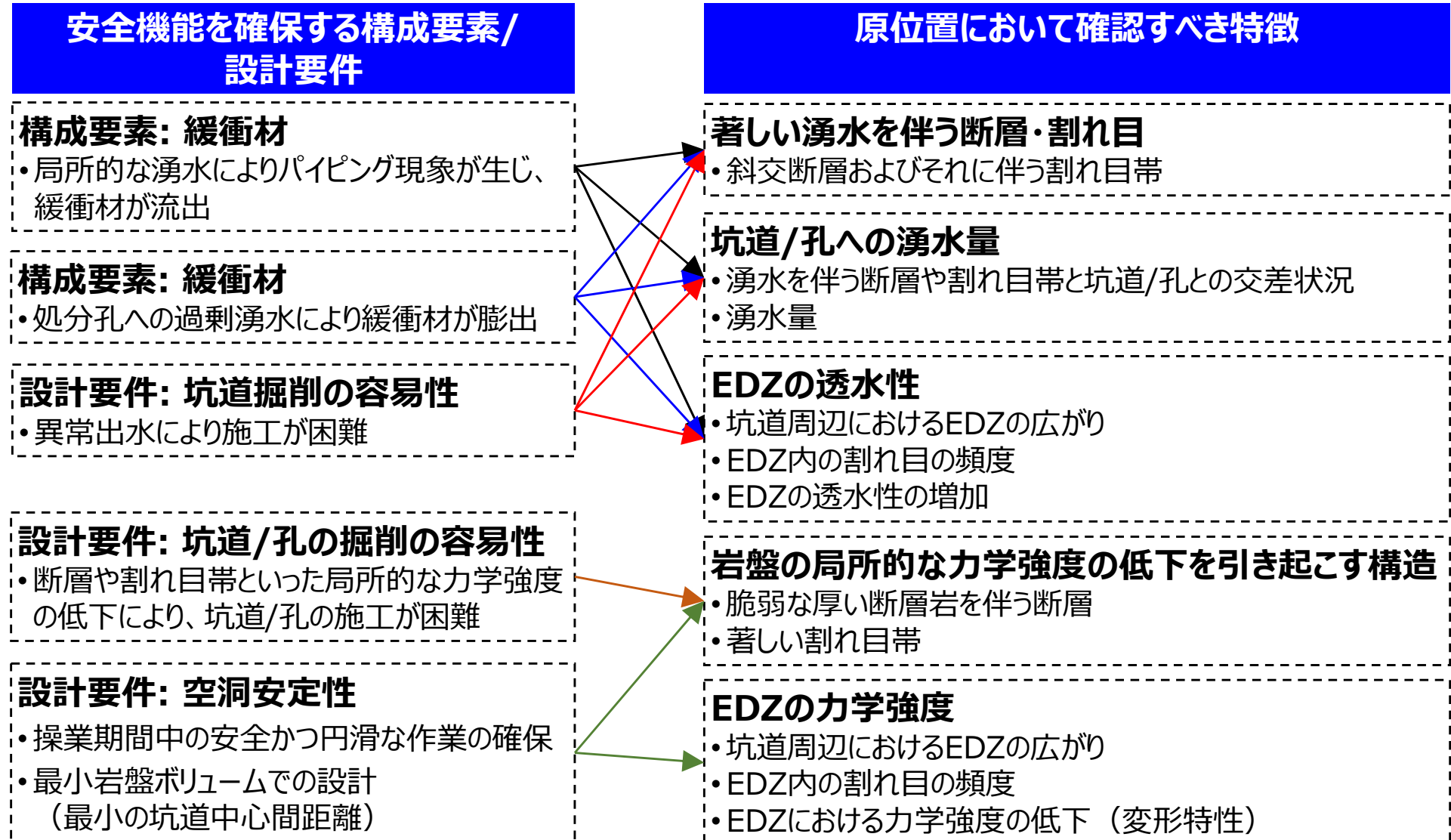
EFPC基準を適用した調査手順
 (Edited based on SKB, 2010, TR-11-14, Figure4-8, p44)

これら段階的な原位置で各種調査による取得したデータと、それに基づくモデリングにより割れ目サイズを評価し、**EFPC基準**に該当する割れ目を除外

2. 処分概念オプションの実証

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(タスク2)

処分坑道・処分孔の配置に関連する安全機能を確保するための構成要素、それらに対する懸念事象、関連する原位置での特徴



2. 処分概念オプションの実証

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(タスク2)

350m調査坑道における調査

事前の評価項目

(原位置において確認すべき特徴)

地質構造

- 顕著な湧水を伴う断層
- 力学的な強度の低下を伴う断層/割れ目帯
- EDZ割れ目

岩盤力学

- EDZの拡がり
- 坑道間の塑性領域の干渉

水理

- 坑道、試験孔への湧水量

調査

坑道周辺ボーリング

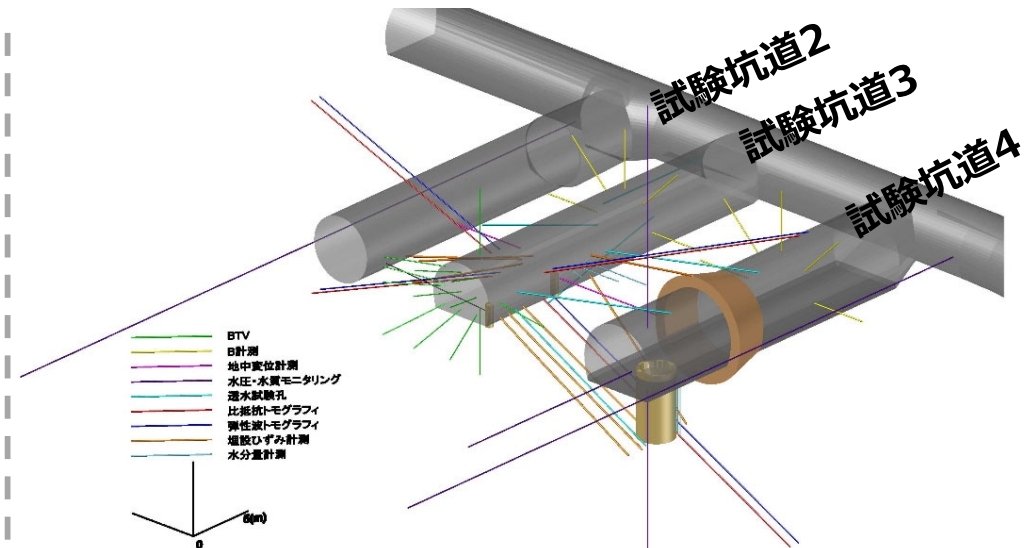
- コア観察
- BTV観察
- 透水試験
- 室内力学試験
- 水圧・水質モニタリング

試験坑道2、3、4

- 坑道壁面地質観察
- 内空変位
- 地中変位計測
- 吹付けコンクリート・鋼製支保工応力計測

トモグラフィ探査

- 弾性波、比抵抗



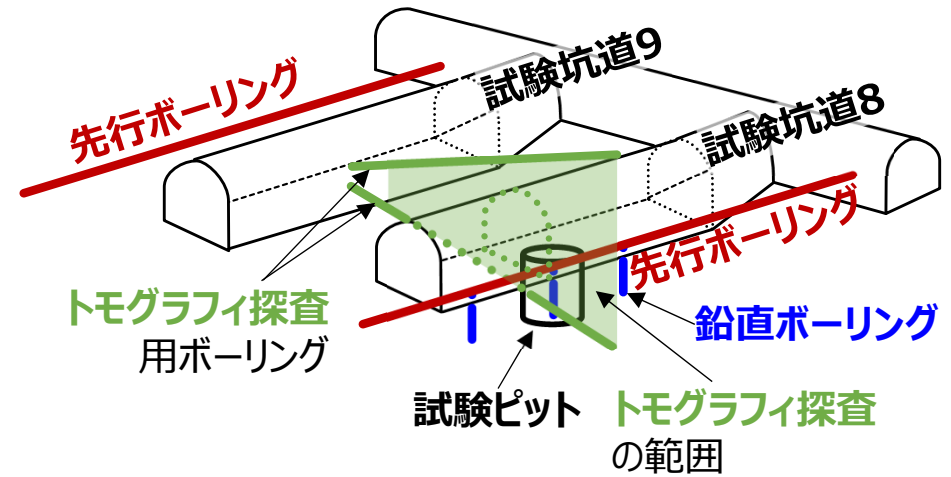
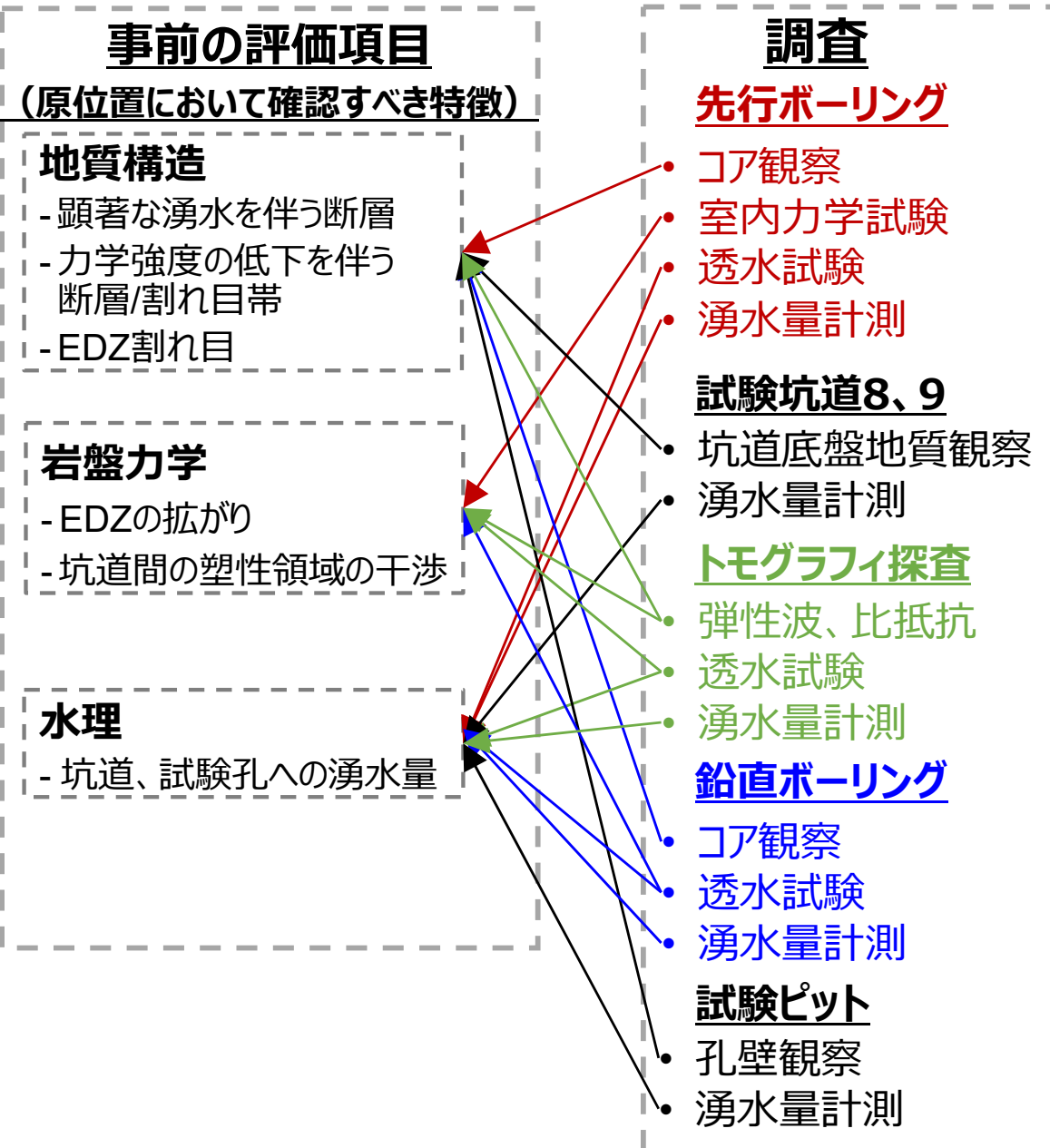
350m試験坑道2,3,4周辺における
原位置調査の模式図

- 350調査坑道において、平行する試験坑道2、3、4と試験孔を掘削し、その際、各種ボーリング調査を実施
- 立坑の先行ボーリング調査（PB-V01やSAB-1など）や壁面地質観察に基づき、坑道掘削や試験に影響する地質構造を回避
- EDZの発達予測に対して、坑道周辺ボーリングなどでその妥当性を確認

2. 処分概念オプションの実証

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(タスク2)

500m試験坑道8、9における原位置調査



500m試験坑道8、9における原位置調査の模式図

- 令和6年度末頃から、地質構造、岩盤力学、水理の視点でボーリング調査、トモグラフィ探査、湧水量計測を実施
- 以上の調査結果に基づき、評価項目に対する評価を行い、以下を評価・判断
 - ✓ 試験ピットの位置
 - ✓ 坑道間隔の妥当性
- 試験ピットの掘削を実施し、それを活用した試験を計画

2. 処分概念オプションの実証

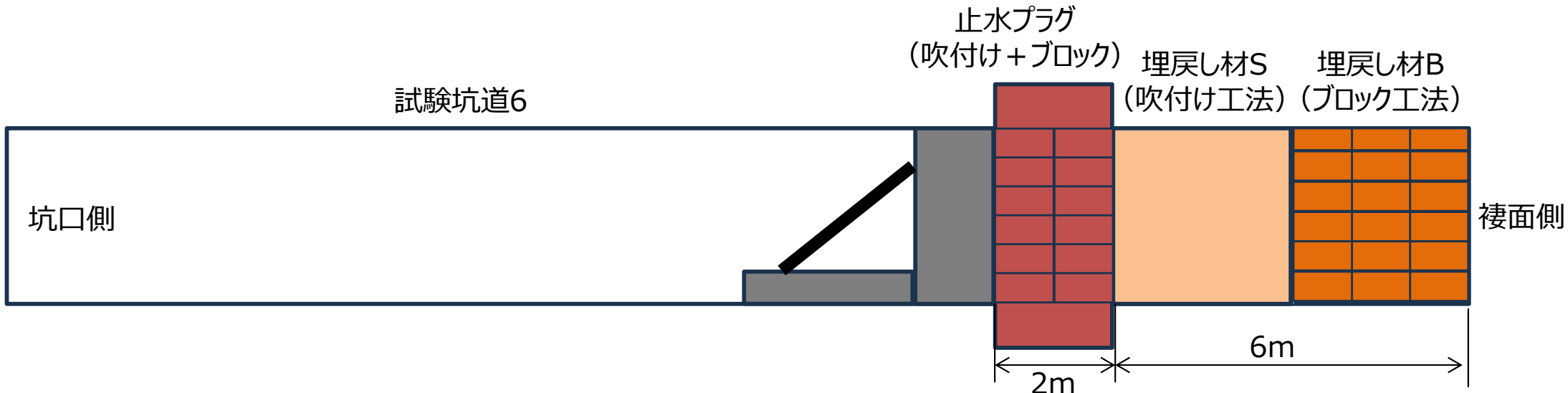
2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化(タスク2)

【第4期中長期計画 目的】

止水プラグについて、地質環境特性に応じた要求性能を明確化し、止水プラグの形状や材料仕様を具体化できるように設計手法の詳細化を進めるとともに、実際の地質環境条件や作業環境を考慮した地下研究施設を活用した実証的な研究をととして、施工技術の成立性を確認

※幌延国際共同プロジェクトTask Bおよび資源エネルギー庁からの受託事業「地層処分施設施工・操業技術確証試験」として実施

- 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8～9年度の2年で施工試験として坑道埋め戻しと止水プラグの設置を実施
 - 令和6年度までに幌延の堆積岩を対象として設計フローに基づいた埋め戻し材と止水プラグの要求性能や設計を具体化
 - また、埋め戻し材や止水プラグの施工方法の検討を進め原位置施工試験の計画案を提示



試験坑道6における坑道埋め戻しと止水プラグの施工試験イメージ

2. 処分概念オプションの実証

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(タスク2)

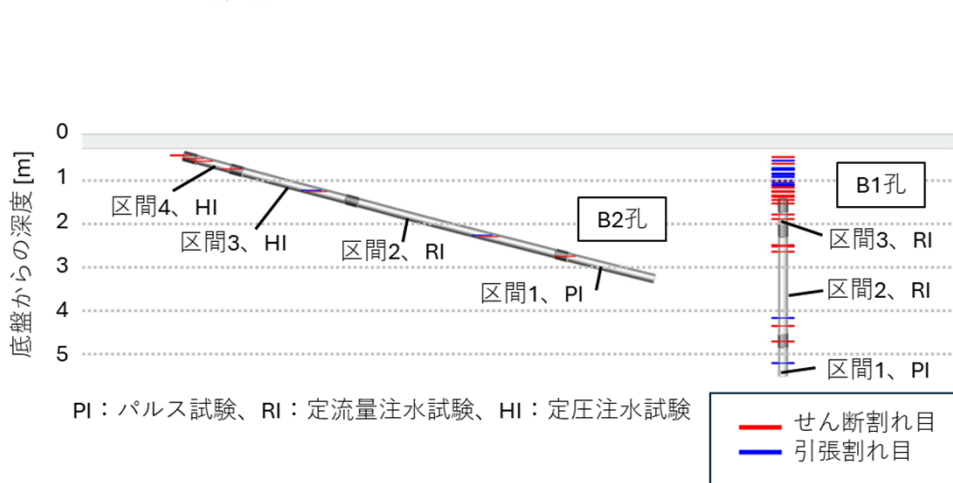
【令和6年度の計画・進捗:HIP(Task B)】

● 試験坑道6周辺の地質環境調査

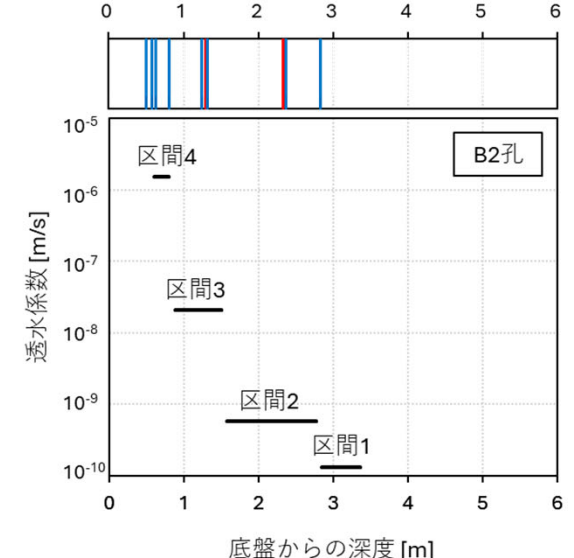
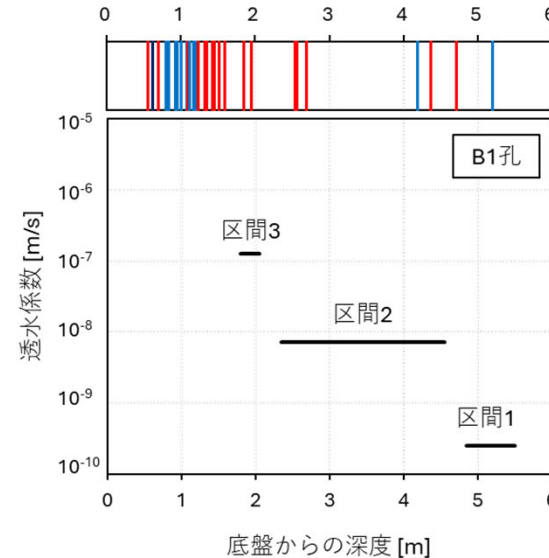
- 弾性波・比抵抗トモグラフィ探査によりEDZの範囲やEDZの経時変化を把握
- 水理特性を把握するための透水試験及び間隙水圧モニタリングを実施
 - 令和5年度には試験坑道6底盤で透水試験を実施して、割れ目の分布状況と透水係数の変化を整理(下図)
 - 令和6年度は坑道側壁を対象に透水試験を実施して、透水性と割れ目の状況を整理
 - また、得られた結果から水理地質構造モデルを構築

● 埋め戻し材と止水プラグの施工方法の検討

- 地質環境調査の結果を踏まて要求性能を設定して、埋め戻し材と止水プラグの材料仕様を検討



試験坑道6底盤における透水試験レイアウト

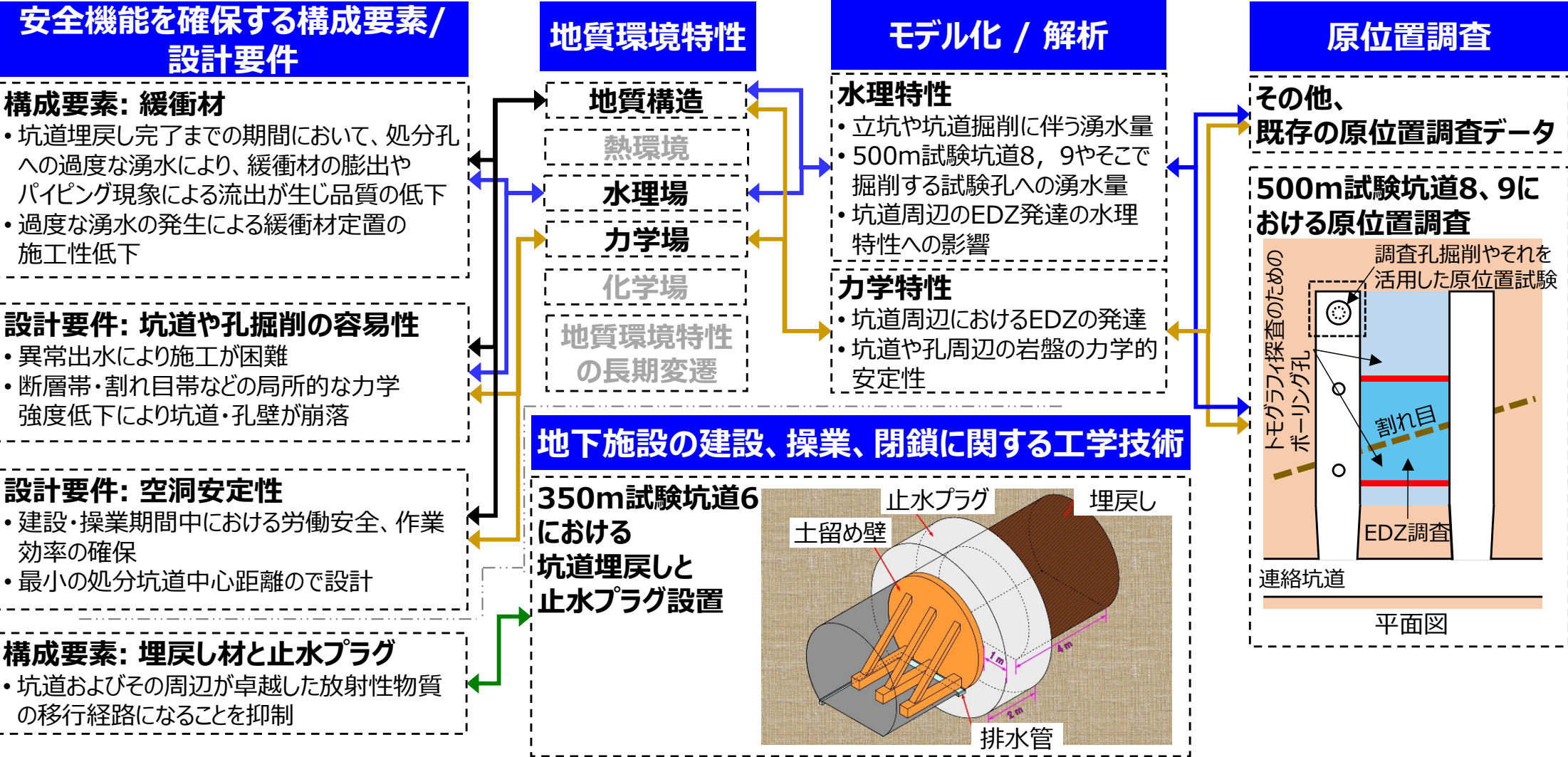


岩盤の透水係数と割れ目の分布

2. 処分概念オプションの実証

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(タスク2)

坑道・ピットの配置を設計するために必要な情報とその情報の取得・評価方法の整理



- HIPの枠組みも活用しながら、坑道・ピットの配置を設計するために必要な情報を整理
- 350m調査坑道での調査実績と500m調査坑道における予測を踏まえ、500m試験坑道8, 9における原位置調査を実施し、上記情報の取得・評価方法を確認
- 坑道埋め戻し、止水プラグ設置の実規模スケールの施工試験により、設計から施工に至る一連の技術を確認