

令和4年度における個別課題の現状および今後の予定

③ 深地層の研究施設計画
a) 幌延深地層研究計画

令和5年3月29日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター 深地層研究部

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**
- **令和4年度の成果と令和5年度の計画**
 - ① **実際の地質環境における人工バリアの適用性確認**
 - ② **処分概念オプションの実証**
 - ③ **地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証**
- **幌延国際共同プロジェクト(HIP)、地下施設の整備について**
- **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4年4月1日～令和5年3月31日）

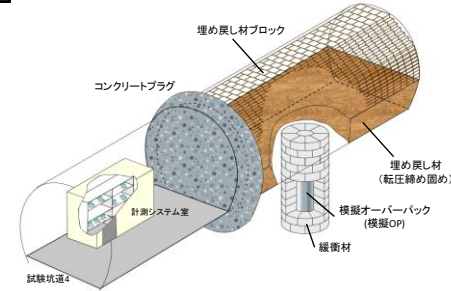
- 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認については、令和4年度は、廃棄体周辺で起こる熱、水、応力、化学連成現象を理解するため、人工バリア性能確認試験において発熱がおさまった状態を模擬した条件でのデータ取得を継続する。また、岩盤における物質移行特性を把握するため、有機物・微生物・コロイドがそれらに与える影響を評価するための物質移行試験を実施する。
- 処分概念オプションの実証については、令和4年度は、処分場の閉鎖に関わる埋め戻し材や止水プラグ材の品質確認、ボーリング孔の閉塞技術開発等を行う。また、回収技術の実証の一環として、回収可能性の維持に伴う影響評価技術を整備する。
- 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証については、令和4年度は、これまでに実施した水圧擾乱試験結果の評価を行うとともに、化石海水が分布するような長期的に安定な水理場・化学環境を評価するために必要なボーリング調査や解析を行う。
- 令和5年度から PFI 事業により稚内層深部（深度 500m）に坑道を展開するため、その掘削準備として仮設備の補修等を進める。
- 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、国際共同プロジェクトを立ち上げる。

令和2年度以降の幌延深地層研究計画

令和2年度以降の幌延深地層研究計画

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 1) 人工バリア性能確認試験
- 2) 物質移行試験



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

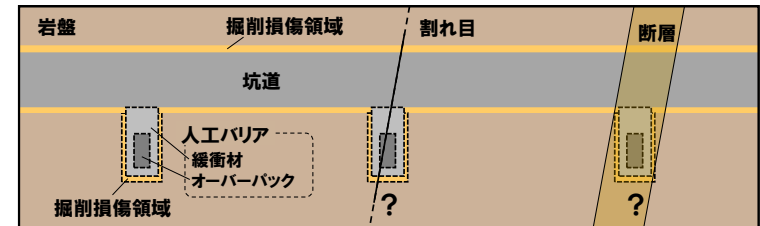
- 1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
 - ・操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
 - ・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 2) 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



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



- 1) 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
- 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

研究計画と坑道掘削の工程

		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 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な情報の整理、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増設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								
【施設計画】										
	坑道掘削		掘削準備	30m調査坑道	換気立坑	東立坑	西立坑	500m調査坑道		
【維持管理】										

 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。

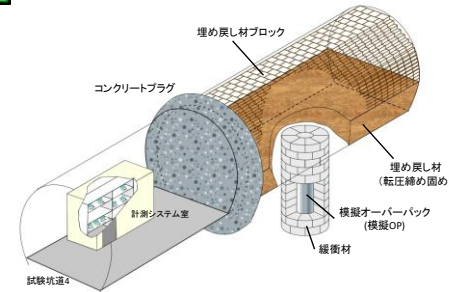
前半の取り組み: 必須の課題のうち、継続的な課題への対応に3~5年程度を想定
後半の取り組み: 必須の課題のうち、継続的な課題の成果をふまえて体系化して取り組む課題で5年程度を想定

令和2年度以降の幌延深地層研究計画

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験

2) 物質移行試験



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

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

- ・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

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



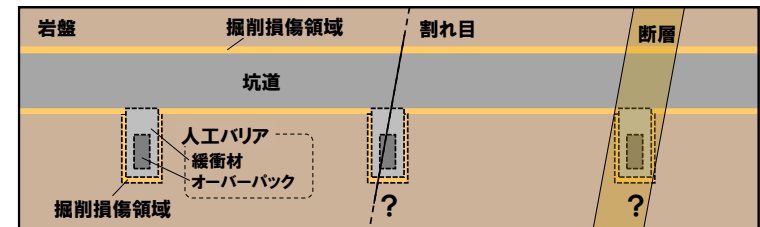
閉鎖技術オプションの整理

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 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

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

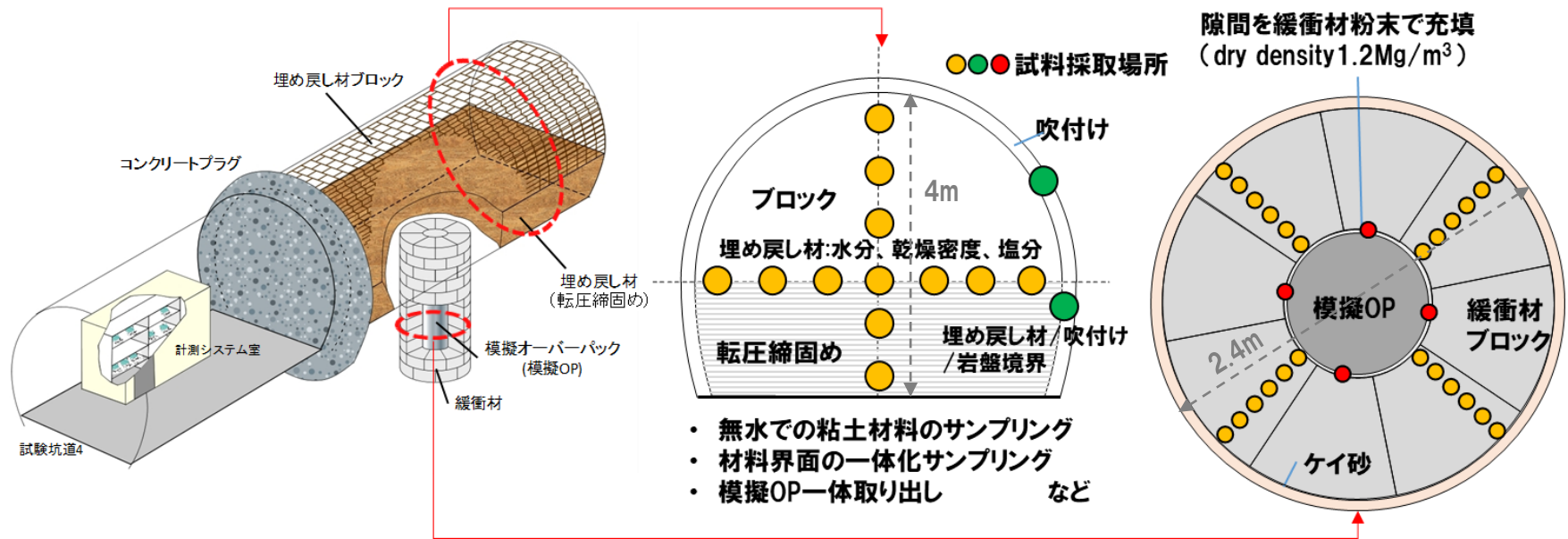
①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験

【目的】

熱－水－応力－化学連成現象モデルの高度化、浸潤時の飽和度などの確認

- 緩衝材の地下水浸潤データを取得し、連成モデルの適用性確認
- 人工バリアの解体作業及び緩衝材の飽和度の確認



【令和4年度の実施内容】

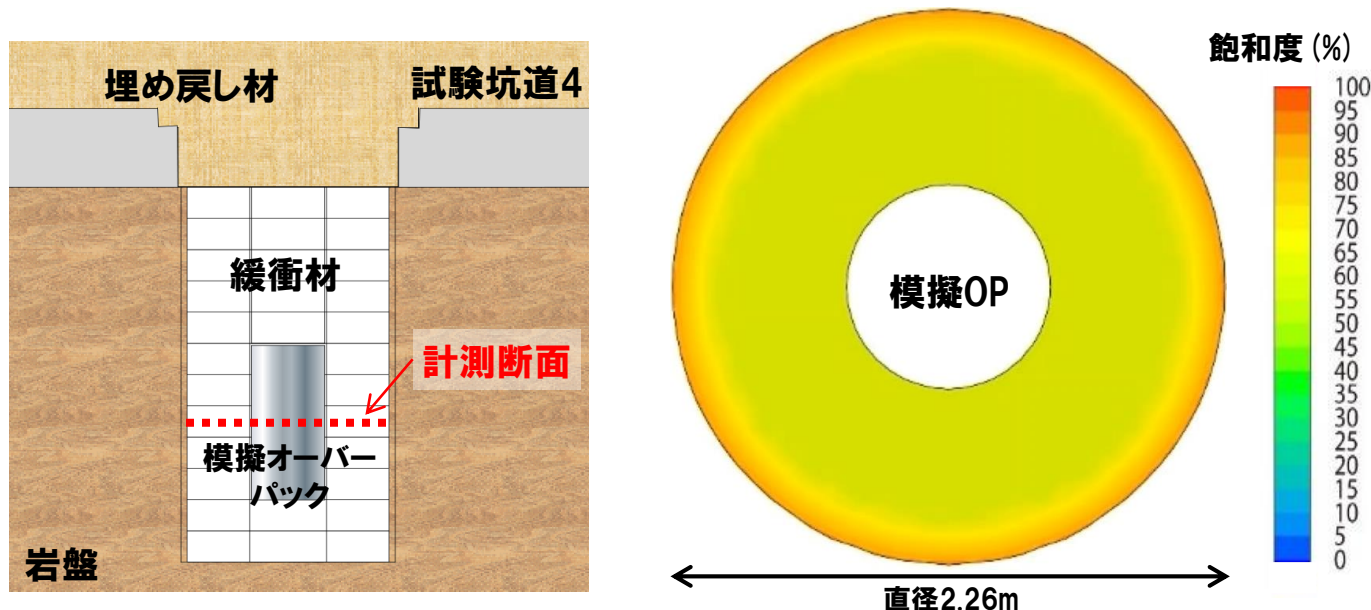
- 減熱過程の試験データの取得を継続
- 国際共同研究(DECORVALEX)において、取得データに基づく連成解析結果を比較、検証
- 人工バリア解体試験施工の結果(緩衝材、埋め戻し材、コンクリート、岩盤および境界面の採取手法に関わる知見)をもとに、人工バリア性能確認試験場所の解体調査計画を検討

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験

【令和4年度の成果】

- 廃棄体からの発熱が収まった状態を模擬した条件での試験を継続し、緩衝材中の温度分布変化、緩衝材への地下水浸潤、それらに伴う応力変化などのデータを取得し(下図)、予察解析結果の妥当性を確認した。
- 温度勾配のある環境下における、緩衝材中の水分移動特性に関する室内試験の解析結果から、温度勾配、水分拡散係数を決定した。DECOVALEXでは、人工バリア性能確認試験を対象とした連成解析について、参加機関ごとに解析モデルの作成に着手した。
- 解体調査では、令和3年度に確認したサンプリング手法を踏まえ、施工手順、サンプリング対象および各種調査で取得する情報を決定した。



【今後の計画(令和5年度の計画)】

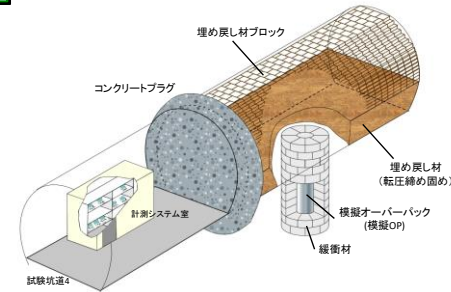
DECOVALEXを通して、人工バリア性能確認試験を対象とした連成解析を行い、異なる解析コードとの比較検証を行う。

加熱～減熱試験(2015/1/15～2023/1/17)の飽和度変化(比抵抗トモグラフィ)

令和2年度以降の幌延深地層研究計画

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 1) 人工バリア性能確認試験
- 2) 物質移行試験



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

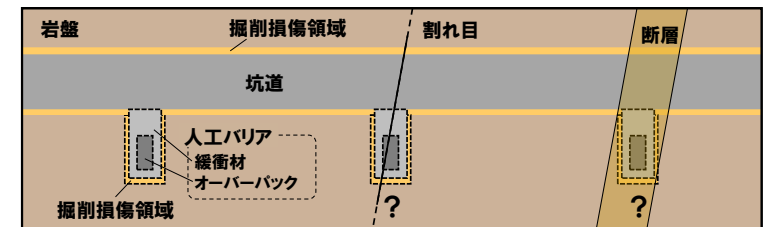
- 1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
 - ・操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
 - ・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 2) 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



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

- 1) 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
- 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

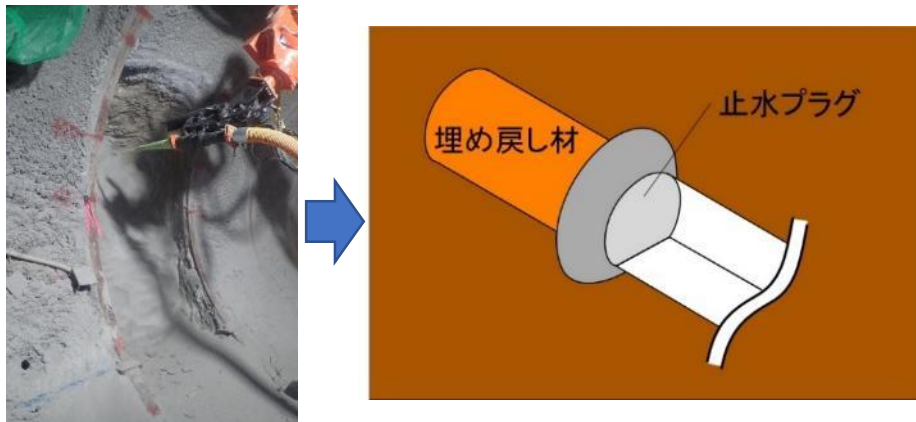
②処分概念オプションの実証

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

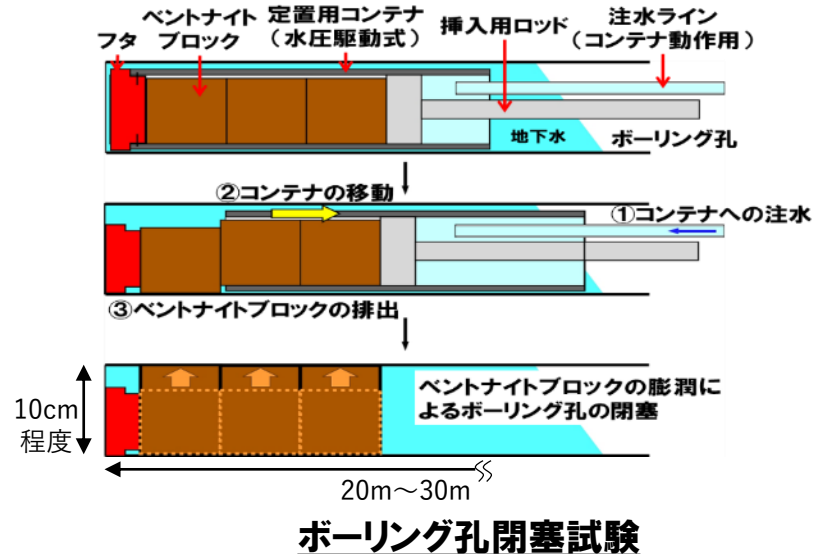
操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

【目的】

- 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)の整備
- 閉鎖技術(埋め戻し方法:プラグ等)の実証
- 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工に係る品質保証体系の構築



ベントナイト吹付けプラグの工学規模試験



ボーリング孔閉塞試験

【令和4年度の実施内容】

- 地下環境でコンクリート物性変化データ取得を継続、坑道閉鎖後の環境の予測解析
- 止水プラグ吹付け後のベントナイト乾燥密度や含水比などの施工品質を整理
- ボーリング孔閉塞技術の適用性確認試験の実施
- 緩衝材流出試験を継続し、緩衝材の施工方法に応じた長期的な流出量などを確認

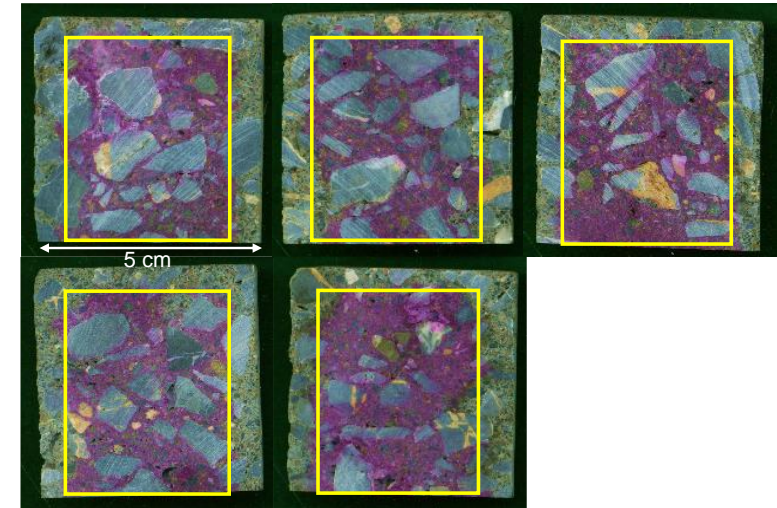
②処分概念オプションの実証

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

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

【令和4年度の成果】

- コンクリート支保の経年劣化を調査する暴露試験を継続し、暴露条件(大気条件下、湿潤条件下)による中性化の程度の違いや進行具合を確認した(右図)。
- ボーリング孔閉塞の原位置試験を実施し、ボーリング孔内にベントナイトブロックを設置する技術を確認した(右下図)。



約2年間経過後のコンクリート試験体の中性化領域(大気条件下:表面から約6mm)

【今後の計画(令和5年度の計画)】

- 地下環境でのコンクリートの物性変化データの取得を継続するとともに、地下施設に施工された吹付けコンクリートの劣化挙動などを調査する。
- 止水プラグの地下水移行抑制機能を評価するため、粘土止水壁に対する透水試験を継続する。
- 実際に施工可能な止水プラグの形状や材料配合などに関わる解析や室内試験を実施する。

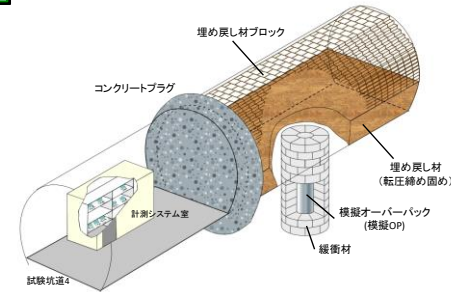


ボーリング孔閉塞試験
(ベントナイトブロックの充填作業)

令和2年度以降の幌延深地層研究計画

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 1) 人工バリア性能確認試験
- 2) 物質移行試験



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

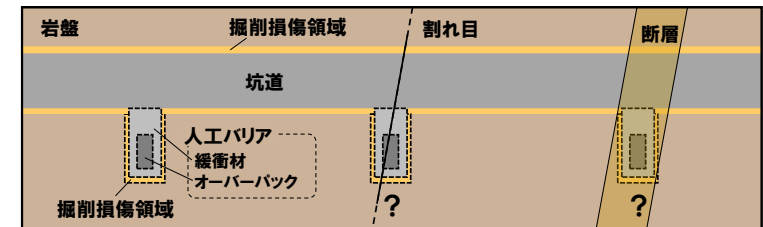
- 1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
 - ・操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
 - ・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 2) 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



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

- 1) 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
- 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

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

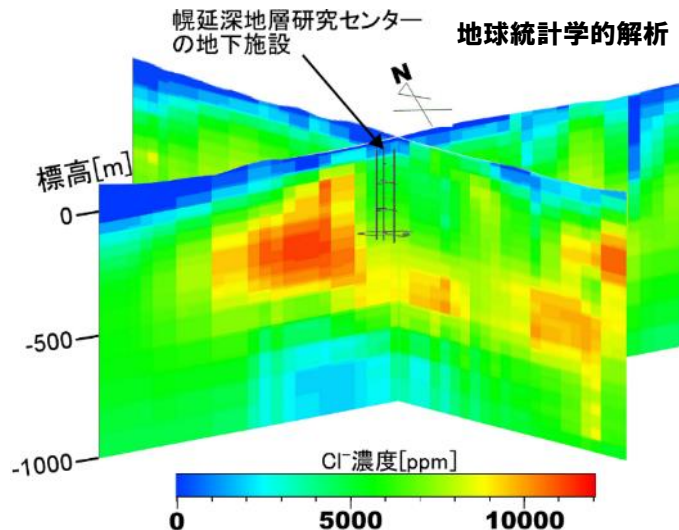
1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

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

【目的】

地下水の流れが非常に遅い領域の分布を把握するための技術を構築

- 化石海水の分布領域の調査・評価技術の高度化
- 地下水の滞留時間、塩濃度分布を推測するための水理解析、物質移動解析



Cl⁻濃度の三次元分布(コロケートド・コクリギング)
三次元比抵抗分布とボーリング調査データに基づき地球統計学的解析によりCl⁻濃度、酸素・水素同位体比の三次元分布を評価



【令和4年度の実施内容】

- 深度500mまでボーリング孔を掘削、化石海水の有無を確認するため水質・同位体データを取得
- 化石海水の三次元分布を推定するための物理探査、ボーリング調査、地球統計学的解析、水理・物質移行解析といった一連の調査・解析手法の取りまとめ

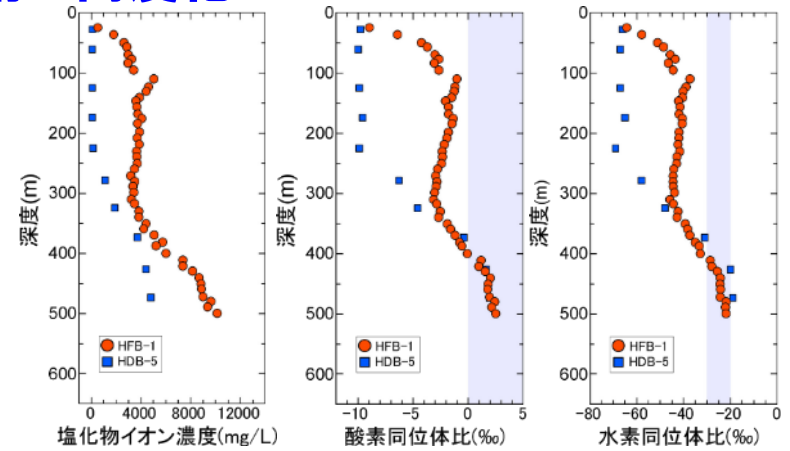
③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

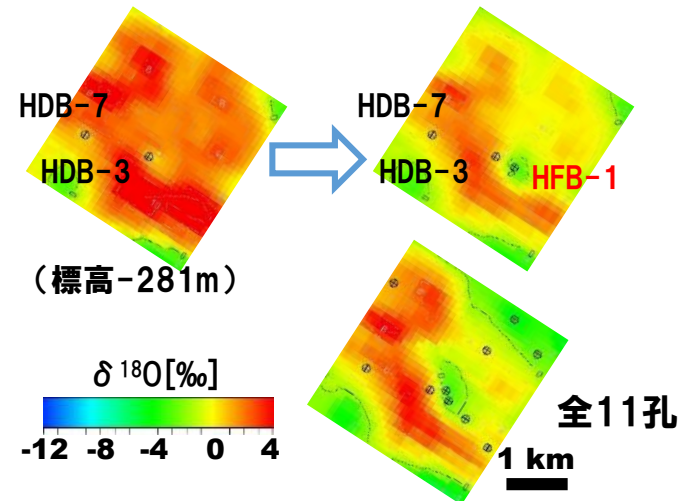
地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

【令和4年度の成果】

- ボーリング調査により深度200m以深の化石海水の深度分布を確認し(右図)、令和2年度に実施した電磁探査の有効性を確認した。
- 化石海水の三次元分布を推定するための物理探査、ボーリング調査、地球統計学的解析手法など一連の手法を確認した(右下図)。
- 長期的な地形、涵養量、海水準の変化を考慮した地下水流動解析を実施した結果、稚内層深部では実質的に地下水が動いていないことを確認した。



ボーリング調査から得られた塩化物イオン濃度、酸素・水素同位体比の深度分布



【今後の計画(令和5年度の計画)】

- 得られた成果の論文化、報告書類の整備を行う。
- 海陸連続三次元地質環境モデルの妥当性の検証のため、海上物理探査を実施する(産総研との共同研究)。

ボーリング孔の $\delta^{18}O$ データ、電磁探査の比抵抗を用いて、コロケートド・コクリギングにより推定した $\delta^{18}O$ の分布

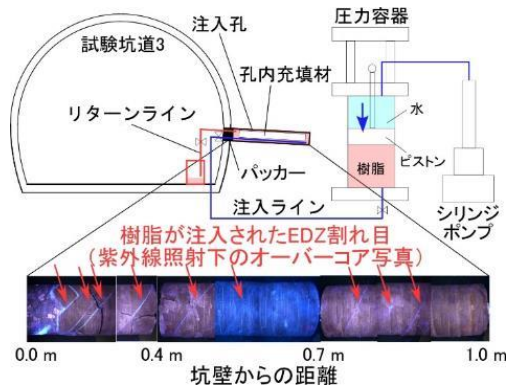
③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

2) 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

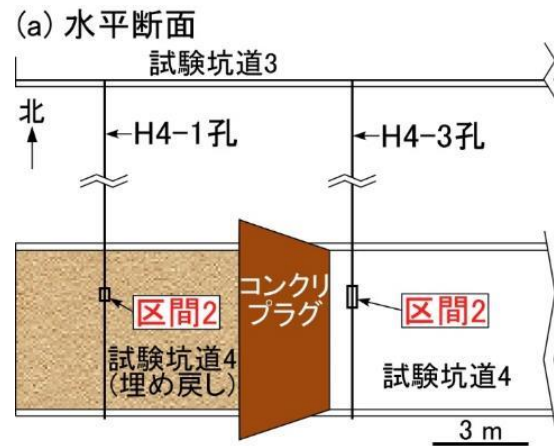
【目的】

緩衝材や埋め戻し材が掘削損傷領域の力学的・水理学的な緩衝能力(自己治癒能力)に与える影響の解析手法を構築

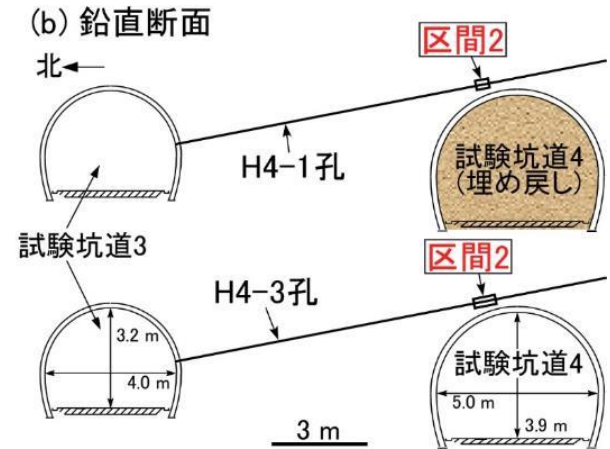
- 岩盤の強度・応力条件から掘削損傷領域の透水性を予測する既存モデルの再検証
- 坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を予測するモデルの構築



掘削損傷領域の樹脂注入試験
割れ目のせん断変位量と開口幅との相関を調べ、モデルの妥当性を検証



掘削損傷領域の段階注水試験(H4-1孔の区間2とH4-3孔の区間2)
水圧増加(応力変化)に伴う割れ目の透水性の変化を調べ、モデルの妥当性を検証



【令和4年度の実施内容(「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の実施内容の完了を目指す)】

- 掘削損傷領域の注水試験結果を解析し、坑道埋め戻し後の緩衝材や埋め戻し材の膨潤による地圧変化に伴う割れ目の開閉が、掘削損傷領域の透水性に与える影響をモデル化
- 地圧変化に伴う割れ目のせん断変位の影響を評価する樹脂注入試験のモデルと合わせて、坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を予測するモデルを構築

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

2) 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

【令和4年度の成果】

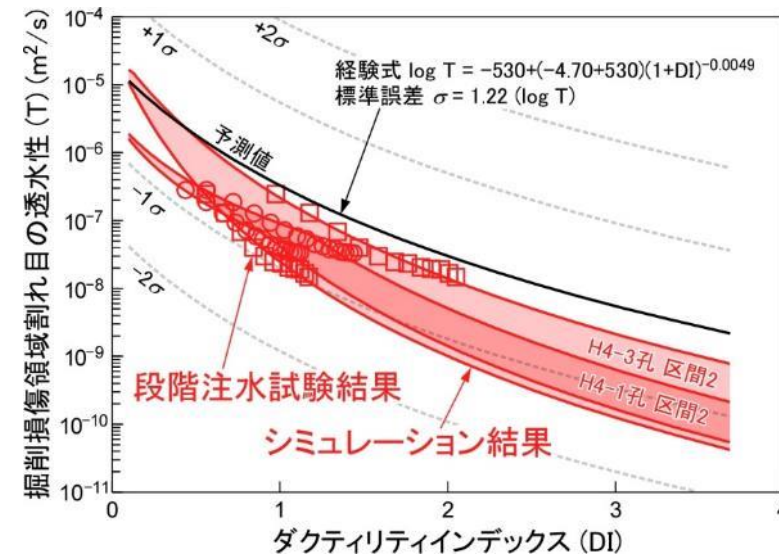
- 掘削損傷領域の割れ目を対象とした既往の段階注水試験のデータ解析を行った結果、掘削損傷領域の割れ目のDI*を変化させた時の透水性の変化が、令和3年度に再検証したDIの経験式と整合的であることを確認した。

*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

【令和2年度～令和4年度の成果】

坑道埋め戻し後の緩衝材や埋め戻し材の膨潤が掘削損傷領域の透水性に与える影響の評価手法を構築するために、既往の試験結果を用いた机上検討を行った結果、以下の知見が得られた(右図)。

- 坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性の変化は経験式により埋め戻し後のDIを求めることで予測可能*。
- 上記予測の信頼性は、段階注水試験や樹脂注入試験により確認できる*。
- 掘削損傷領域の透水性の変化は、個々の割れ目の透水性を理論的モデルにより評価し(右図)、それを足し合わせることで予測できる*。



段階注水試験結果とDIモデルの比較
試験により得られたDIの変化に伴う透水性の変化傾向がDIモデルに基づく予測値と整合的

**

- Eng Geol, vol.294, 106369
- Int J Rock Mech Min Sci, vol.159, 105229
- Rock Mech Rock Eng, vol.52, 385-401 & vol.55, 1855-1869.

以上により、所期の目標である、坑道埋め戻し後の緩衝材や埋め戻し材の膨潤が掘削損傷領域の透水性に与える影響を評価する手法の整備を完了。

幌延国際共同プロジェクト(HIP)、地下施設の整備について

幌延国際共同プロジェクト

【前提】

- ・「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
- ・「幌延町における深地層の研究に関する協定書」を遵守

【目的】

アジア地域の地層処分に関わる国際研究開発拠点として、深地層での研究開発を多国間で協力しながら推進する。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、それを通して知識と経験を共有し次世代を担う国内外の技術者や研究者を育成する。

【プロジェクトの研究開発課題】

「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の中で国際的に関心の高い以下の項目を実施
(括弧内は、令和2年度以降の必須の課題との対応)

Task A: 物質移行試験 (実際の地質環境における人工バリアの適用性確認)

Task B: 処分技術の実証と体系化 (処分概念オプションの実証)

Task C: 実規模の人工バリアシステム解体試験 (実際の地質環境における人工バリアの適用性確認)

【参加機関】

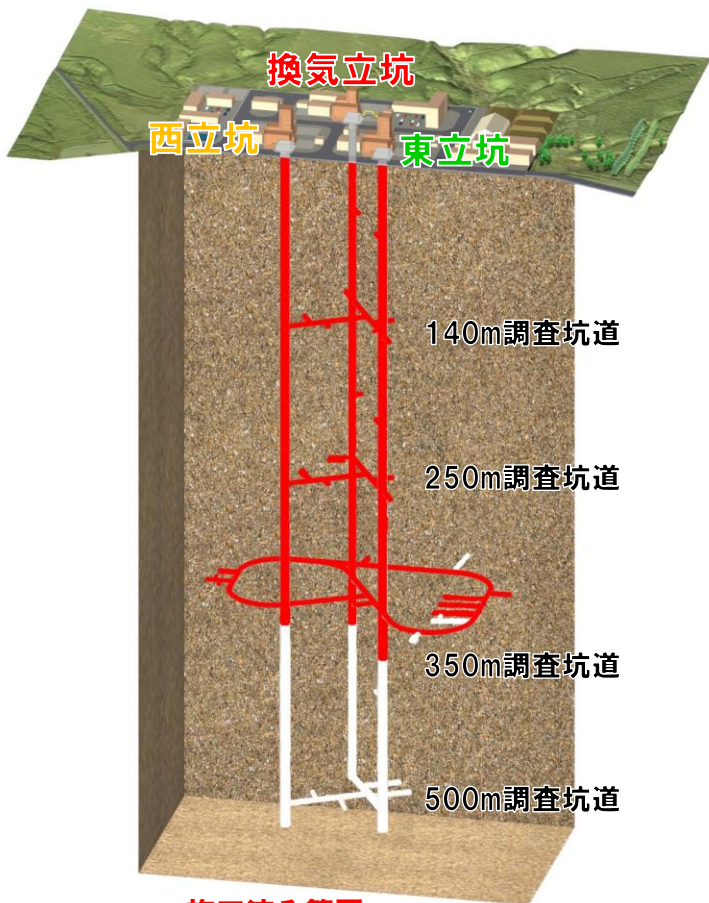
- ・令和5年2月8日 英国地質調査所(BGS)と原子力機構の2機関の署名により協定発効
- ・令和5年3月17日時点の署名機関(原子力機構が把握しているもの)
英国地質調査所(BGS)、原子力テクノロジー国营会社(RATEN、ルーマニア)、
工業技術研究院(ITRI、台湾)、韓国原子力研究所(KAERI)

地下施設の整備

【令和5年度の計画】

掘削工事

- 350m調査坑道の拡張
- 換気立坑、東立坑の掘削開始



地下施設イメージ図

令和5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
350m調査坑道	準備 ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	掘削 ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■		仕上げ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
換気立坑	準備 ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	掘削 ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■		
東立坑	準備 ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■		掘削 ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	
西立坑				準備 ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

坑道掘削に伴うデータ取得

- 壁面観察(350m調査坑道)
- 換気立坑、東立坑のステップ管理計測
 - コンクリート応力測定
 - 湧水量測定
 - 採水
 - 底盤観察

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2年度: 542名
 - 令和3年度: 498名
 - 令和4年度: 1,404名
- 累計: 14,615名(令和5年2月末現在)

ゆめ地創館の来館者数

- 令和2年度: 3,077名
 - 令和3年度: 2,701名
 - 令和4年度: 4,545名
- 累計: 128,453名(令和5年2月末現在)



地下施設の見学



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。



「サイエンスワンダーランドわくわく体験教室2022inほろのべ」に出展
(令和4年12月17日、18日開催)

広報活動の取り組み

情報公開の取り組み(1/2)

幌延センターHPコンテンツ(<https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/>)

施設を訪問できない方向けの、地下施設およびゆめ地創館見学を疑似体験できる3Dコンテンツを掲載

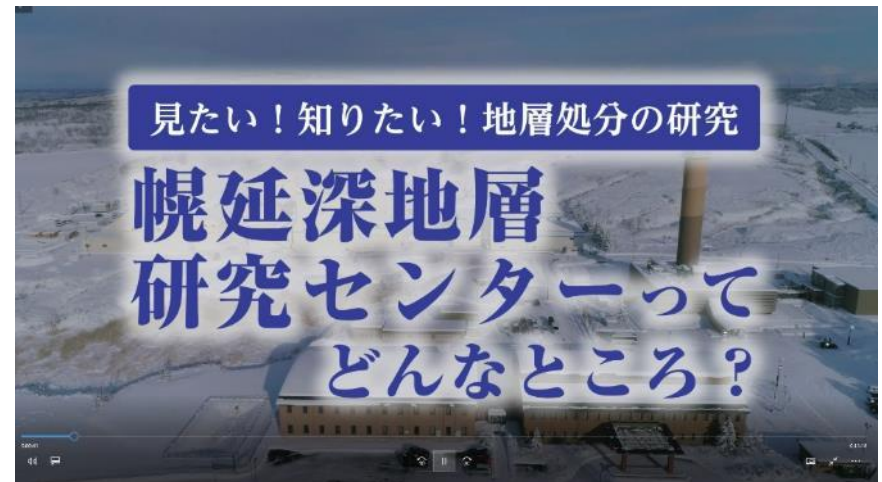


<https://my.matterport.com/show/?m=yiX6s67b75C&qs=1>



<https://my.matterport.com/show/?m=Uvs5LHJ9qAt>

一般の方向けの幌延センター紹介動画の公開



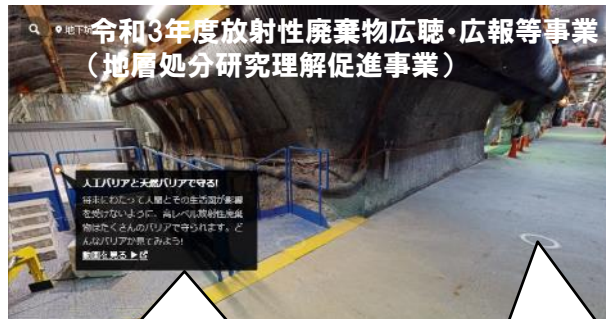
広報活動の取り組み

情報公開の取り組み(2/2)

幌延センターHPコンテンツ(<https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/research/general.html>)

一般の方・小中学生向け資料集の掲載

バーチャル地下施設見学



ここをクリックして
動画を見る

ここをクリックして
地下施設を歩く



地層処分とは？

どのように地層処分するの？

人工バリア(ガラス固化体、オーバーバック、緩衝材(ベントナイト))と天然バリアの多重バリアを作り、地下水により放射性物質がガラス固化体から出たり、移動することを遅くします。

緩衝材: 地下水や放射性物質の移動を遅くする

オーバーバック: 放射性物質と地下水の接触を遅くする

ガラス固化体: 放射性物質をガラスに固め、移行しにくくする

天然バリア: 地下300m以上の深い活動や地震変動の少ない安定な地質環境

人工バリア + 天然バリア = 多重バリア

緩衝材(ベントナイト)とは？ (人工バリア)

ベントナイト(粘土の一種)は膨らむ性質があり、隙間を埋めるとともに、地下水の動きを遅くする

ベントナイトは水を吸収すると膨らんで隙間を埋める

ベントナイトは膨らむ性質があるため、コンクリートなどにも利用

水を吸った膨らんだベントナイト

オーバーバックとは？ (人工バリア)

鉄製のオーバーバックで 1000年以上の間、ガラス固化体を地下水との接触から守る。

- 1000年間の錆の影響を考え、十分な余裕をみて、厚さを設定 → 約19cm
- 地下深部では酸度が少ないので、地下水と接触しても錆は容易に進まない

出雲大社で発掘された750年前の鉄製の斧

錆の深さは、1mmに満たない

一般の方や小中学生にご理解いただけるよう、動画を用いたり、分かりやすい説明に努めています。

広報活動の取り組み

その他の活動



幌延町の観光と幌延深地層研究センターの
紹介マンガの作成

※幌延町との合同企画(令和5年3月完成予定)



小学生への課外授業の実施(ゆめ地創館)

令和4年度の成果のまとめと今後の計画

成果のまとめ

- 人工バリア性能確認試験では、廃棄体からの発熱が収まった状態の模擬試験を実施し、緩衝材中の温度や飽和度変化に伴う応力変化などの評価モデルの検証データを取得した。また、解体調査のサンプリング対象と取得する情報を決定した。
- 搬送定置・回収技術の実証として、暴露条件によりコンクリート構造物の中性化(劣化原因)、進行具合を確認
- 閉鎖技術の実証として、ボーリング孔閉塞技術について原位置試験を実施し、ボーリング孔内にベントナイトブロックを定置できることを確認した。
- 地下水の流れが非常に遅い領域の調査・評価において、令和2年度の物理探査により推定した化石海水の三次元分布の妥当性を確認するためのボーリング調査を継続した。また、酸素・水素同位体比から化石海水の分布を推定し、電磁探査に基づく予測と調和する結果を得た。
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動の検討として、掘削損傷領域の割れ目を対象とした既往の段階注水試験のデータ解析を行った結果、坑道埋め戻し後の緩衝材や埋め戻し材の膨潤による掘削損傷領域の透水性の変化をDIの経験式により推定可能であることを確認した。

*本研究は、経済産業省資源エネルギー庁委託事業(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])の成果の一部を利用した。

今後の計画

- 国際共同研究DECOVALEXにて、人工バリア性能確認試験を対象とした連成解析を行い、複数の解析コードの比較検証を実施。
- 閉鎖技術の実証として、止水プラグ設計に対する考え方を提示するため、施工可能な止水プラグの形状や材料配合などを検討する数値解析や室内試験に着手。
- 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証として、過年度に実施した水圧擾乱試験結果の解析やDIと断層/割れ目の水理学的連結性の関係に関する解析を実施。
- 地下施設の掘削工事を再開し、350m調査坑道の拡張を行うとともに、深度500mに向けた立坑掘削を開始。

付録

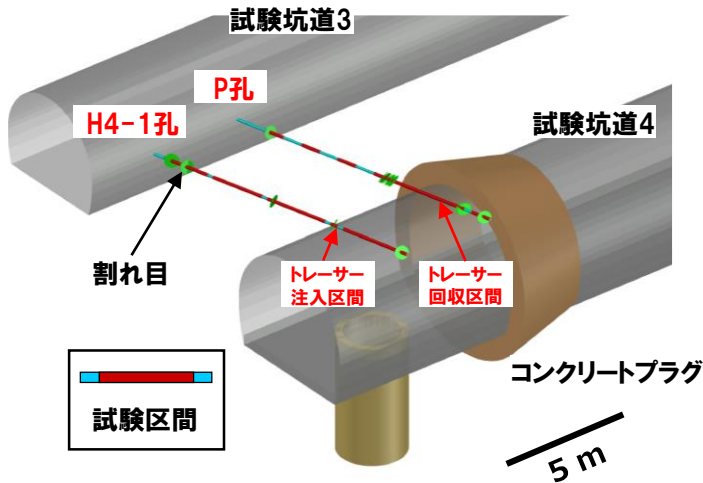
①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

2) 物質移行試験

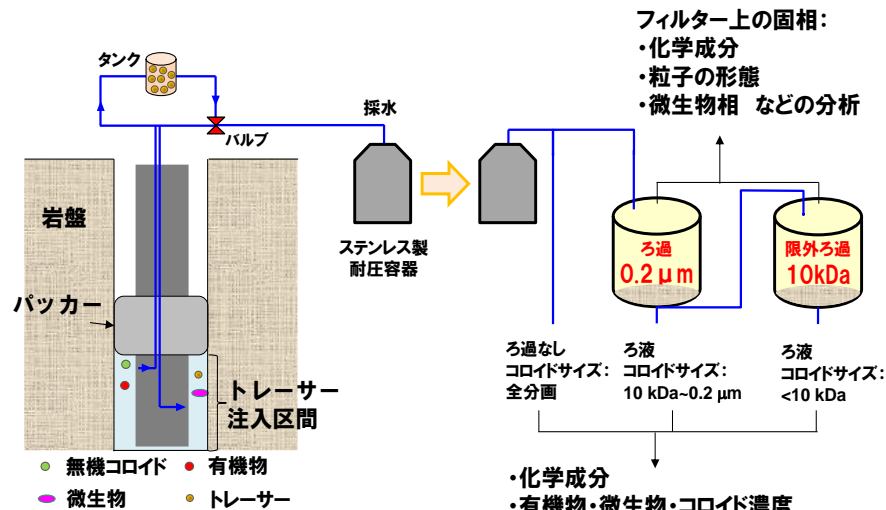
【目的】

堆積岩における物質移行現象の評価手法の整備

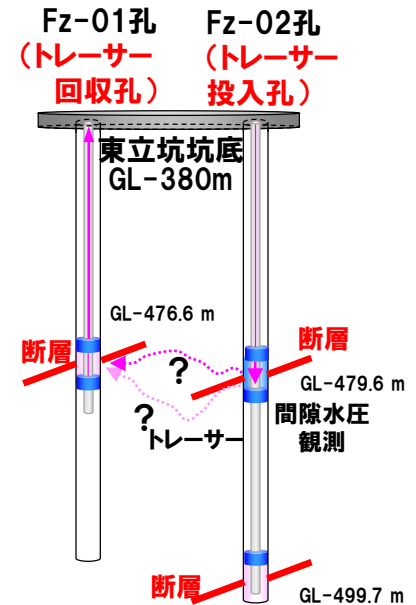
- 掘削損傷領域での物質移行試験、コロイド/有機物、微生物の影響確認
- 岩盤中の割れ目を含むブロックスケール(数m~100m規模)の物質移行評価手法の構築



掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験



コロイド/有機物、微生物を対象としたトレーサー試験



断層を対象としたトレーサー試験

【令和4年度の実施内容】

- 掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験結果に基づく物質移行挙動の評価手法の検討
- 有機物・微生物・コロイドが核種移行に及ぼす影響を確認するための原位置試験を実施
- 稚内層深部の断層(ブロックスケール)を対象として実施したトレーサー試験結果の解析

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

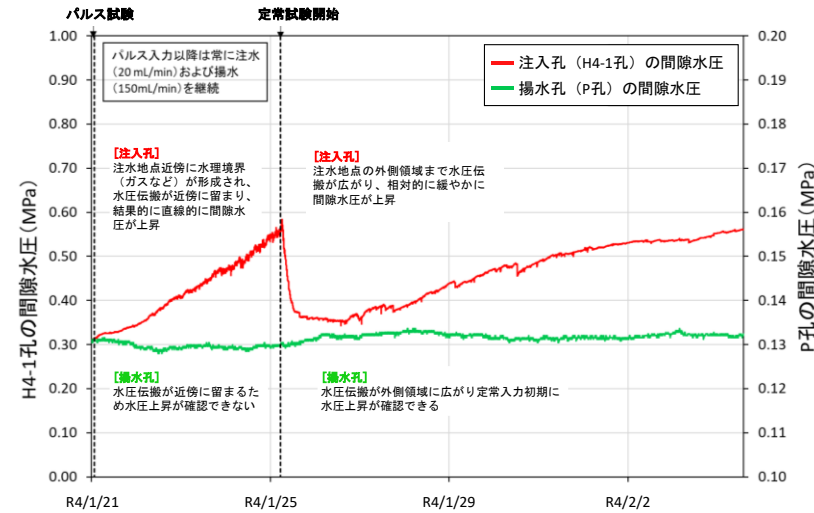
2) 物質移行試験

【令和4年度の成果】

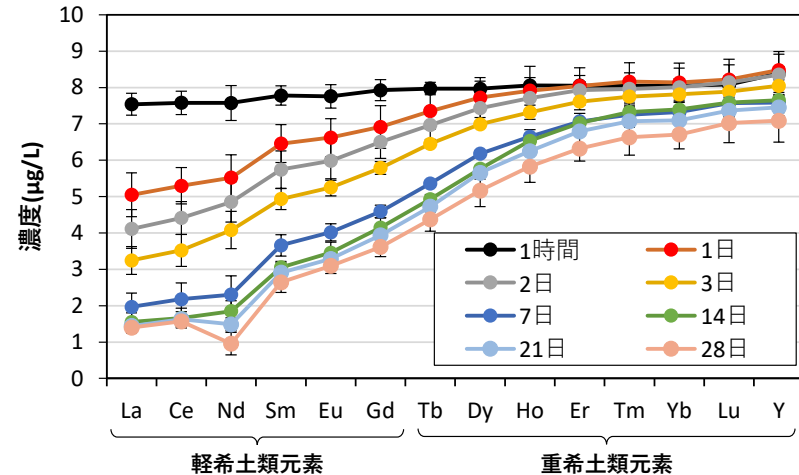
- 掘削損傷領域を対象とした試験では、過年度の試験結果(右図)を解釈し、解析上考慮すべき事項を明らかにした。
- 地下水中のコロイド粒子(有機物・微生物を含む)との、希土類元素の相互作用を評価する試験を実施した結果、軽希土類元素の方が重希土類元素よりもコロイド態になりやすい傾向が認められた(右下図)。
- ブロックスケールを対象とした物質移行試験について、声問層に分布する割れ目を対象としたボーリング調査に着手し(右下図)、水理学的連結性や物質移行特性を評価する対象となる割れ目の分布などの情報を取得した。

【今後の計画(令和5年度の計画)】

- 掘削損傷領域における物質移行挙動のモデル化/解析手法の検討を継続する。
- 有機物・微生物・コロイドの影響を考慮した物質移行試験として、令和4年度の試験結果を踏まえて現位置試験条件を検討し、物質移行試験を行う。
- 声問層を対象として、ブロックスケールのトレーサー試験、ボーリング調査を継続し、割れ目の水理学的連結性や間隙水圧分布などの水理特性データを取得する。



掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験の間隙水圧測定結果



10μg/L相当の希土類元素を地下水に添加後、0.2μmフィルターでろ過

地下水(深度350m)中のコロイド粒子に対する希土類元素の収着試験

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

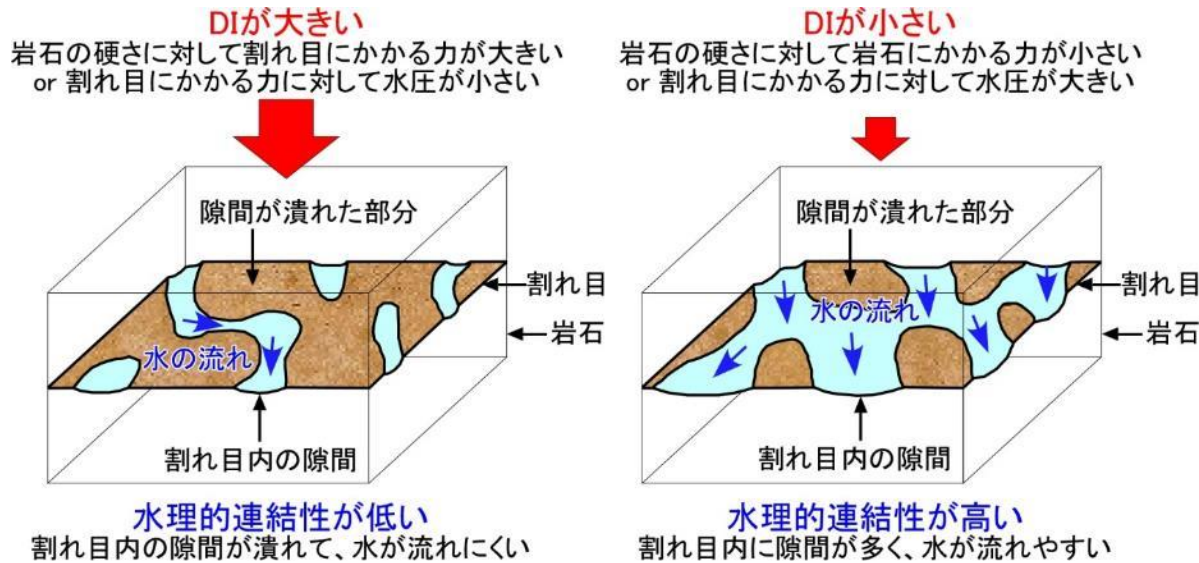
1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

【目的】

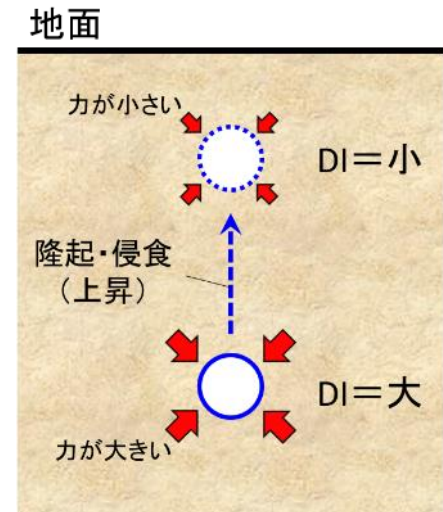
地殻変動が透水性に与える影響を推測するための手法を整備

- ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験
- DIを用いた透水性評価の信頼性向上、隆起・侵食の影響評価手法の整備
- 水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備



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

【令和4年度の実施内容】

- 既存のデータを活用して、DIと断層/割れ目の水理学的連結性の関係に関する解析を行い、DIを用いた透水性評価の信頼性向上、隆起・侵食の影響評価手法の整備

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 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

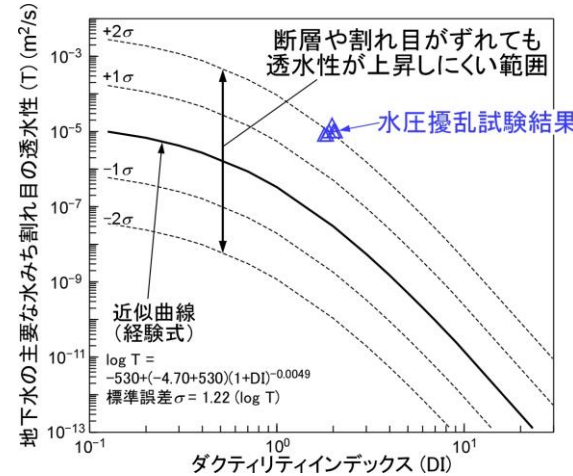
【令和4年度の成果】

- 令和3年度に再検証したDIモデルと、令和2年度に実施した水圧擾乱試験結果の比較検証により、DIの経験式と水圧擾乱試験による断層の透水性変化が整合することを確認した(右図)。
- これまでに得られた水圧観測データから、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、稚内層浅部から深部にかけて地層の巨視的な透水性を数値解析により再現できた(右下図*)。

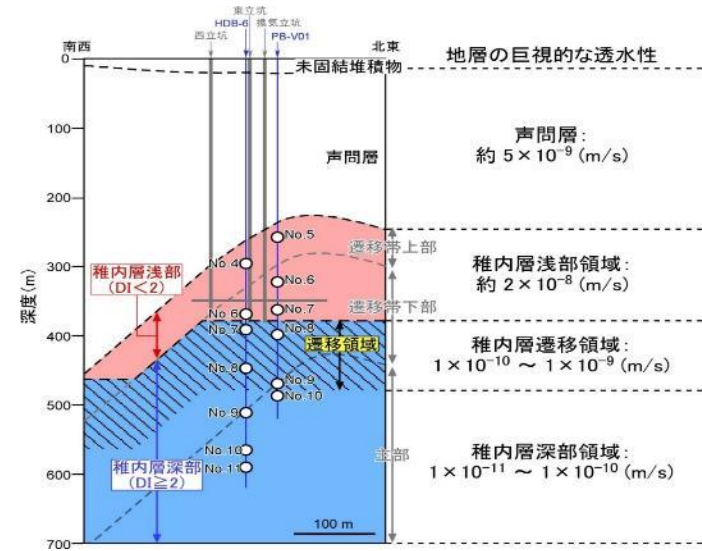
*Geomech Energy Environ, vol.31, 100311.

【今後の計画(令和5年度の計画)】

- 過年度に実施した水圧擾乱試験の結果の解析や、DIと断層/割れ目の水理学的連結性の関係に関する解析を実施する。



DIモデル(実線と破線)と水圧擾乱試験結果△は今回解析した水圧擾乱試験の結果。6段階で水圧を上昇させ、断層をずらした際の各段階の透水性とDIを表す。図中の範囲に透水性が達している断層はずれても透水性がほとんど増加しない(ずれ幅は数ミリ以上)。



施設建設時の周辺孔(HDB-6孔およびPB-V01孔)の水圧変化から数値解析により推定された各地層の巨視的な透水性。稚内層の浅部から深部にかけて巨視的な透水性が徐々に低下。浅部領域では断層や割れ目の透水性を、深部領域では健岩部の透水性を強く反映する。

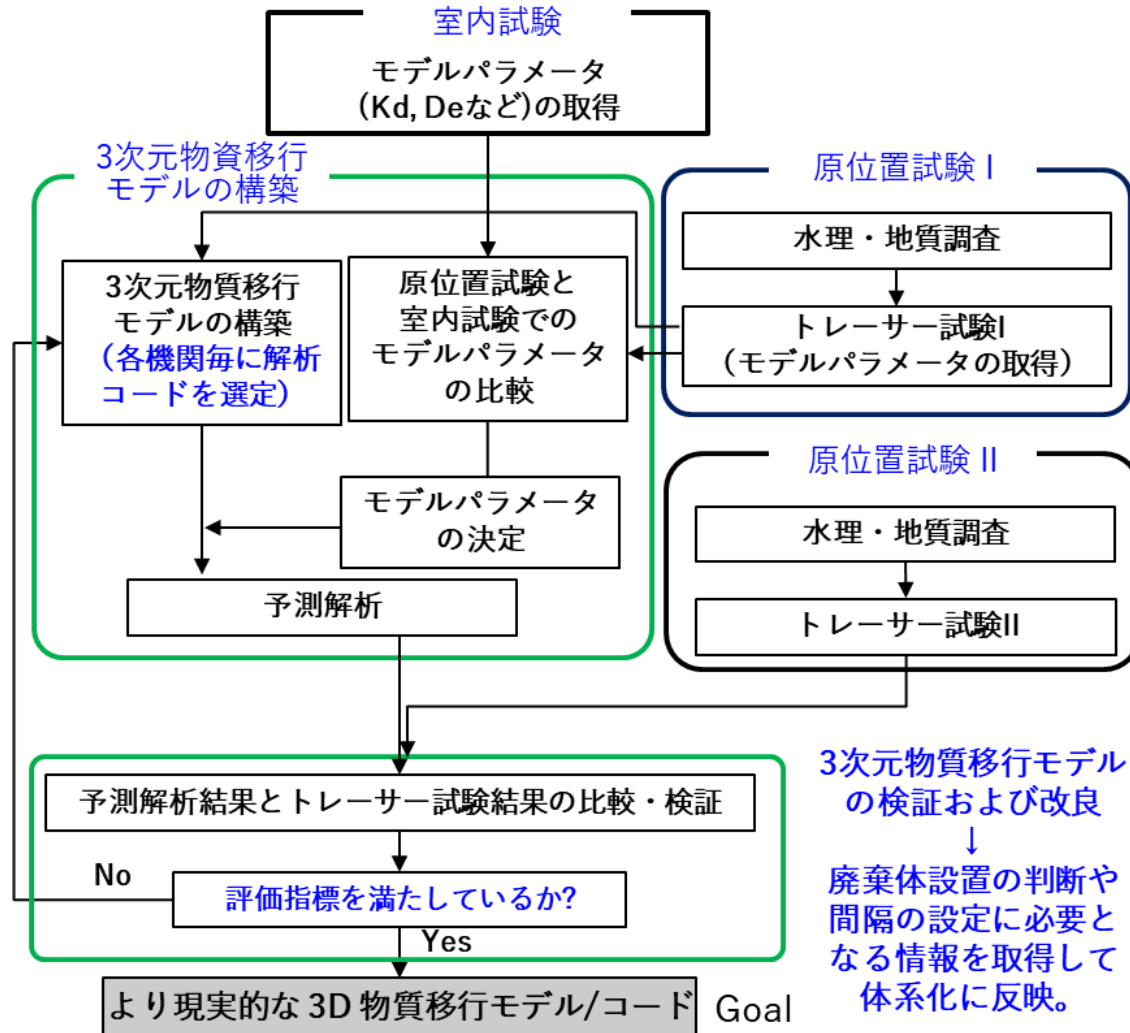
幌延国際共同プロジェクト Task A: 物質移行試験

【幌延国際共同プロジェクトで取り組む内容】

- ① 新第三紀堆積岩を対象として水理地質特性の調査および室内試験・原位置トレーサー試験(トレーサー試験Ⅰ:右図)を実施し、得られたデータを基に3次元物質移行モデルを構築する。
- ② 構築した3次元物質移行モデルによるトレーサー試験Ⅱ(右図)の予測解析とを実施し、異なるコード間の解析結果、トレーサー試験Ⅱ(右図)の結果との比較検証を行う。
- ③ 比較検証／モデルの更新を繰り返し実施し、3次元物質移行モデルの信頼性を向上する。

【目標成果】

調査～モデル構築／検証までの一連の評価手法を確立し、かつ使用する解析コードを各国の手法と比較しながら確認することで、精密調査後半で実施する核種移行評価に用いる技術の信頼性を提示する。



幌延国際共同プロジェクト Task B: 処分技術の実証と体系化

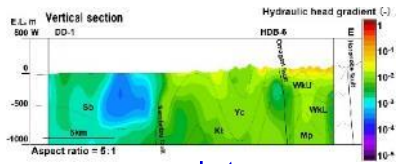
【幌延国際共同プロジェクトで取り組む内容】

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

- 指標の候補をあらかじめ検討し、予測解析により指標に関連する着目すべき特性を定量的に明確化
- 地質環境調査技術の適用として、指標に基づき断層・割れ目やEDZの特性に関するデータを取得
- 地質環境調査により必要性が判断された場合、工学的対策(グラウト)を実施
- 適用した調査技術やモデルの妥当性を評価するためのデータ取得と事後解析

地下水流動の既存モデルと解析(350mまでの知見)

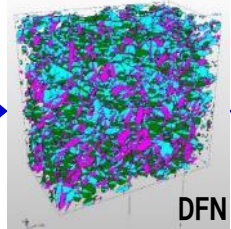
広域スケール(数10 km四方) CPMモデル



ブロックスケール(数10~数100 m)

ECPM / CPM / DFN モデル

境界条件

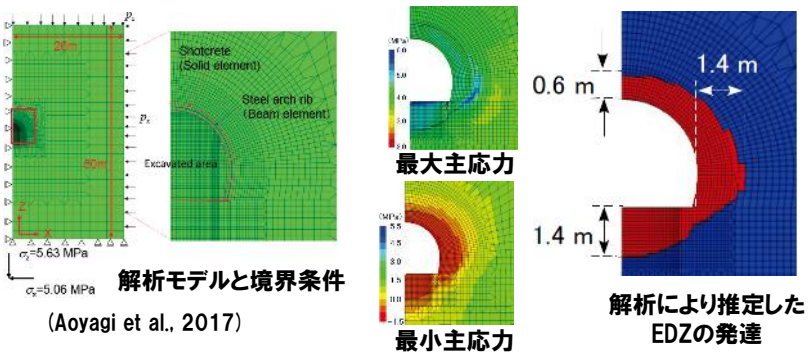


スケールに応じたモデルとアップスケールに伴う断層(水みち)による不均質性の考慮

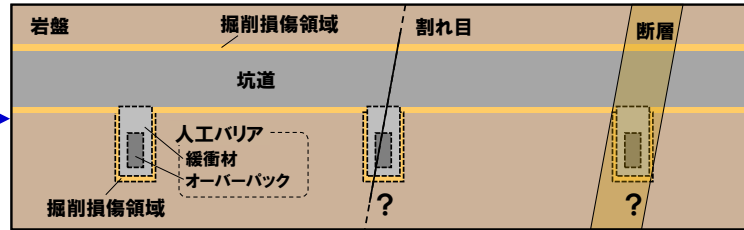
施設スケール(数 km) ECPM / CPM モデル



EDZの既存モデルと解析(350mまでの知見)

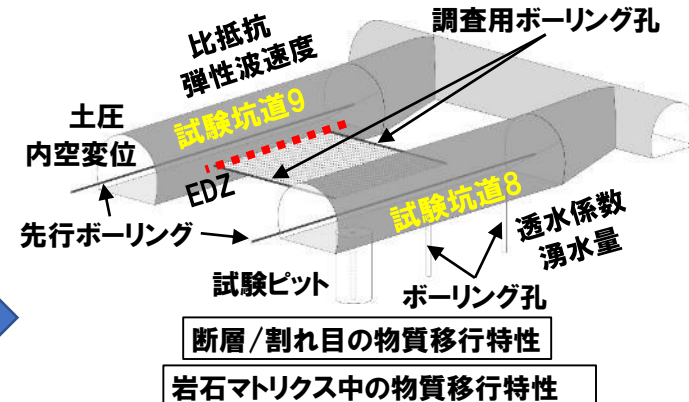
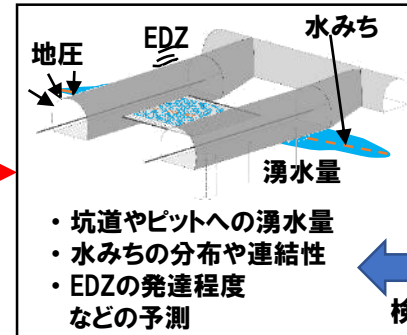


処分坑道の展開領域の指標検討



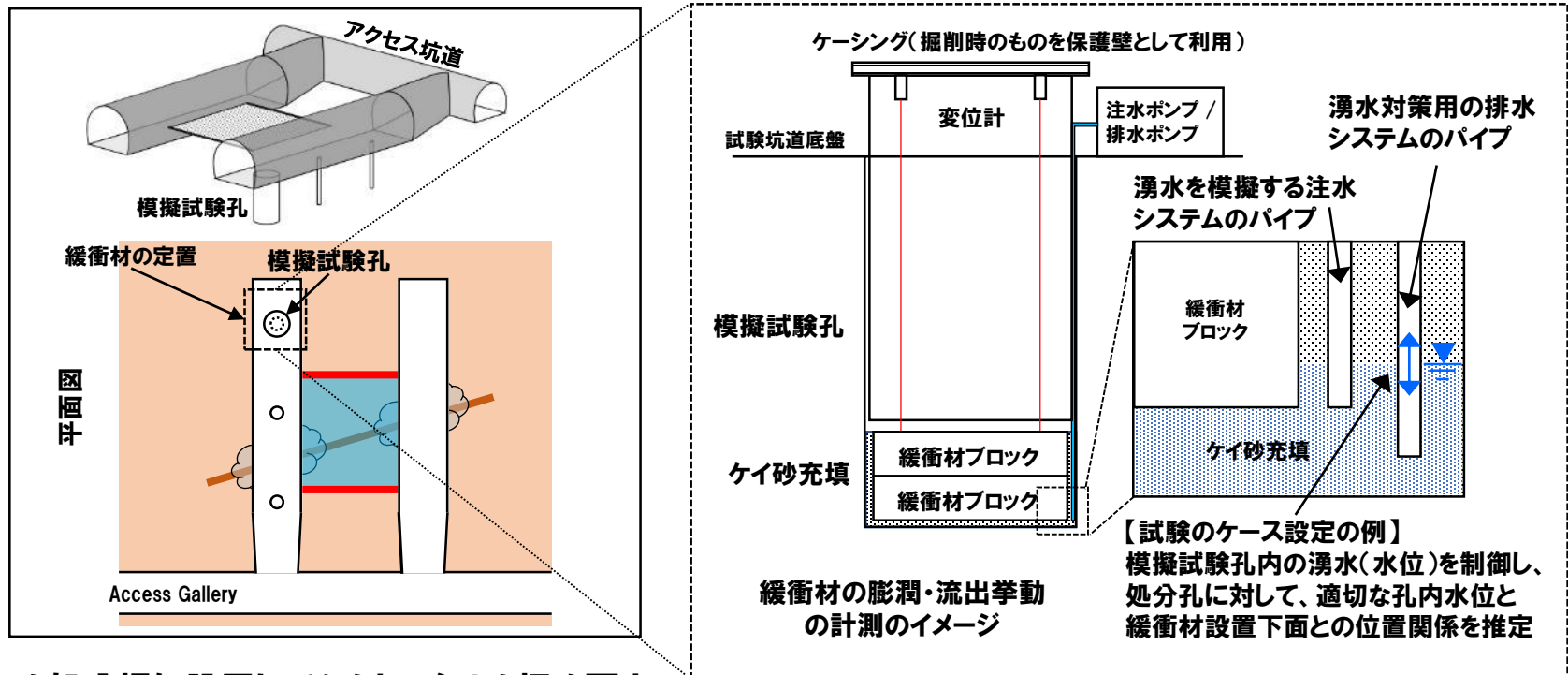
物質が移動し難い領域の事例として、500m調査坑道を対象として処分ピットの配置を事前検討し、実際に施工してその妥当性を確認するとともに、必要な工学技術を実証する。

処分ピット配置の指標検討



地質環境特性に基づきグラウトの必要性や処分坑道・ピットの配置を決定

幌延国際共同プロジェクト Task B: 処分技術の実証と体系化



人工バリアを処分場に設置してからトンネルを埋め戻すまでの期間を想定し、緩衝材の膨潤・流出挙動と処分場への湧水量の許容値を検証するためのデータを取得

今後得られる情報に基づき、試験レイアウトや実際に適用する具体的方法などを検討し、詳細計画に反映する。

【目標成果】

既存の地質環境情報、原位置試験・解析に基づき、「処分坑道・ピットの配置、設計に関する調査・評価技術の枠組み」を構築する。

- 処分坑道と交差する断層/割れ目を考慮した処分ピット/ホールの配置に関わる指標の整理
- 地質環境調査、処分坑道、ピット/ホール配置、工学的対策を含む関連技術を体系的に整理
- 関連する工学技術の実証

幌延国際共同プロジェクト Task C:実規模の人工バリアシステム解体試験

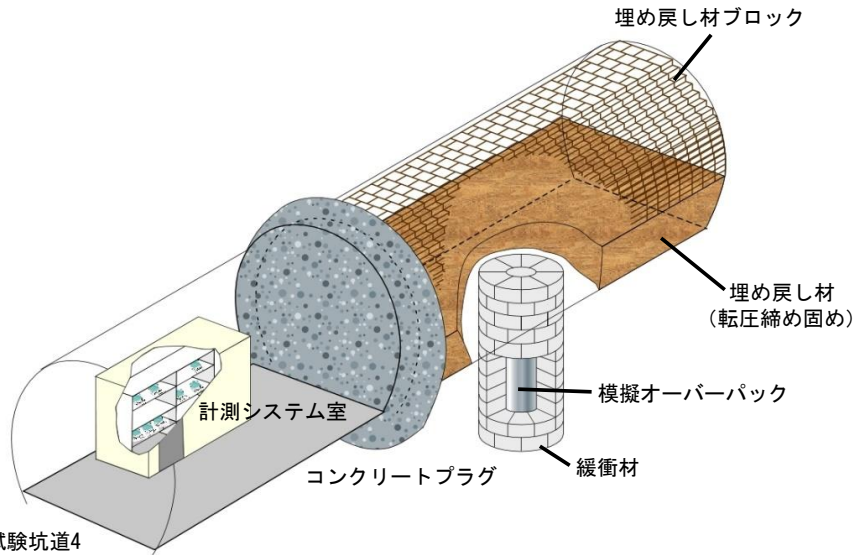
【幌延国際共同プロジェクトで取り組む内容】

人工バリア性能確認試験において、センサーによる測定データに加え、解体調査により詳細なデータ(粘土材料中の飽和度、乾燥密度、塩濃度分布や材料界面の情報など)を取得することで、人工バリア周辺での連成現象を理解し、それらの現象を表現する解析コードの検証を実施する。

- 解体調査計画の決定と実施
- 解体調査時に予測される飽和度、乾燥密度、塩濃度分布などの予測解析
- 予測解析と解体調査データの比較による解析モデルの更新

【目標成果】

各国の共通課題となっている人工バリアの物理化学特性の評価について、幌延の人工バリア性能確認試験結果を共通の解析対象として、各機関の解析コードを用いて解析、比較することで、熱-水-応力-化学連成解析手法の信頼性を提示する。



試験坑道4



底盤・側面コンクリート打設



埋め戻し材転圧締め固め



埋め戻し材ブロック設置



鉄筋組立・コンクリートプラグ打設



人工バリア試験孔掘削・コンクリート支持打設

令和3年度に実施した人工バリア解体試験施工の知見をもとに、実規模の人工バリアシステムの解体調査を行う。