

令和7年度 第1回 幌延深地層研究の確認会議 説明資料

令和7年4月23日

日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター

令和7年度 幌延深地層研究の確認会議

- 1 令和6年度の実施内容と成果および令和7年度の計画**
 - 1-1 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
 - 1-2 処分概念オプションの実証
 - 1-3 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
 - 1-4 必須の課題への対応に必要なデータ取得
 - 1-5 地下施設の建設・維持管理
 - 1-6 研究に対する評価

- 2 国内外の関係機関の資金や人材を活用することへの取り組み**

- 3 北海道からの要請事項への対応**

令和2年度以降の幌延深地層研究計画のスケジュール

		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な情報の整理、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。

矢印の調査研究課題については、令和6年度までの調査研究により、所期の目標を達成
 今後は、「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」を実施

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よる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(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

2) 物質移行試験(1/2)

研究開発の目的と令和6年度までの実施内容

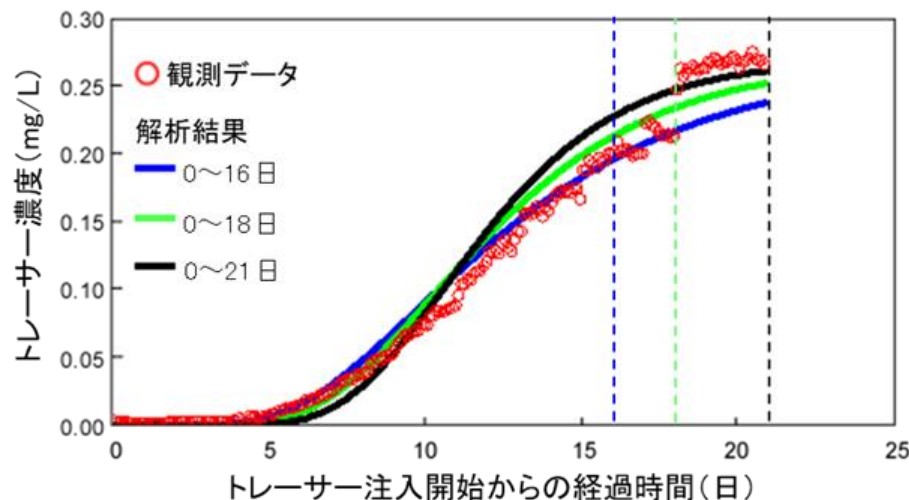
堆積岩における物質移行現象の評価手法の整備

- 掘削損傷領域でのトレーサー試験を行い、物質移行に関するデータを取得
- 有機物、微生物、コロイド*の影響を考慮した物質移行試験
- ブロックスケール（数m～100m規模）の物質移行評価手法を整備

*コロイド：大きさが1nm～1μmの液体中の浮遊物

令和6年度の実施内容と成果

- 掘削損傷領域における物質移行
一次元の解析モデルを適用、掘削損傷領域の割れ目の物質の移行挙動を評価する上で重要なパラメータ（分散長）を適切に評価
- 有機物・微生物・コロイド*の影響評価
原位置での長期の物質移行試験を実施し、地下水に添加した希土類元素の挙動の変化を定量的に評価
- ブロックスケール（数m～100m規模）を対象とした物質移行試験
曲がりくねった非常に長いチューブ状の経路を仮定することで、水理学的連結性が限定的な物質の移行経路を表現可能（図）



ブロックスケールを対象としたトレーサー試験結果の再現解析

2)物質移行試験(2/2)

令和2年度～令和6年度の成果

- 掘削損傷領域における物質移行

世界的にも例が無かった掘削損傷領域の物質移行特性の原位置データを稚内層浅部を対象に取得するとともに、割れ目を一次元の経路としてモデル化した解析によって実測データを再現することができた。

- 有機物・微生物・コロイド*の影響評価

地下水中の有機物・微生物・コロイドとの相互作用が物質移行に与える影響について、原位置と室内にてデータを取得し、その影響を定量的に見積もることができた。地下水中の有機物・微生物・コロイドの特性に関する知見やその評価手法について整備することができた。

- ブロックスケールを対象とした物質移行試験

ブロックスケール（数m～100 m規模）における物質移行を評価するため、稚内層深部の割れ目の連結性が限定的な岩盤を対象に物質移行データを取得するとともに、移行経路を湾曲が大きい非常に長い一次元の経路としてモデル化した解析によって実測データを再現することができた。

【まとめ】

坑道周辺の掘削損傷領域とブロックスケールの物質移行を評価するためのデータ取得やモデル化手法を提示するとともに、有機物等の関係因子の影響を把握したことによって、総合的な物質移行特性評価手法を構築するという所期の成果を得た。

*コロイド：大きさが1nm～1μmの液体中の浮遊物

1-2 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(1/2)

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

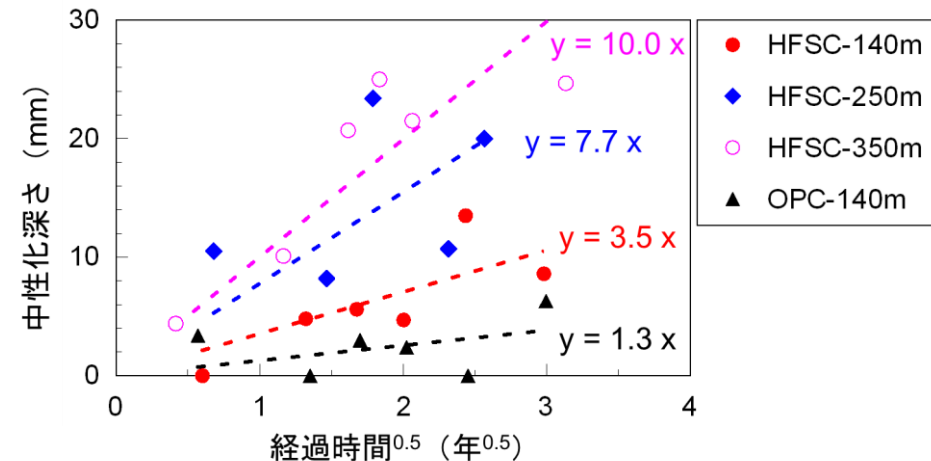
研究開発の目的と令和6年度までの実施内容

坑道の閉鎖技術や閉鎖システムの性能を担保する設計・施工技術の選択肢の整理

- 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）を整備
- 閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）を実証
- 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工に係る、実証した品質保証の仕組みや考え方を体系的に整理

令和6年度の実施内容と成果

- 搬送定置・回収技術の実証
 - 低アルカリ性セメントを用いたコンクリートの長期的な物性変化の調査手法を整備（図）
 - 坑道開放条件下における坑道周辺岩盤の長期変化の解析手法を整備
- 閉鎖技術の実証
 - トモグラフィ*調査の解析手法を止水プラグの施工試験を予定している350m試験坑道6周辺の調査に適用し、周辺岩盤の調査手法としての適用可能性を確認



坑道壁面から採取した吹付けコンクリート
試料の中性化深さと経過時間の関係

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

1-2 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(2/2)

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2年度～令和6年度の成果

- **搬送定置・回収技術の整備**

処分坑道が長期間開放された場合に生じ得るコンクリート支保の化学状態や長期的な物性変化の評価に必要な知見と調査手法、およびコンクリート支保に隣接する岩盤の坑道掘削から坑道埋め戻し後の再飽和過程の解析手法を整備できた。また、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について、現実的な時間内で一連の回収・除去作業が実現可能な見通しを得た。

- **閉鎖技術の実証**

埋め戻し材や止水プラグについて、期待される性能の具体化や設計評価技術の改良・高度化を目的とした数値解析や原位置試験を通じて、施工方法の原位置環境への適用性・実現性を確認、個別の技術開発で得られた成果を実際の設計・検討に活用できる設計フローとして提示した。

- **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**

埋め戻し材の施工方法について、5つの工法の適用範囲および施工品質などについて施工方法を選択する際の基盤情報を整備した。緩衝材の流出挙動について、総流出量を評価できるベースモデルを整備した。

【まとめ】

操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証について、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の整理、回収可能性を維持した場合の処分場の安全性への影響に関する品質評価手法の提示、坑道の閉鎖技術に係る埋め戻しや閉鎖システムの性能を担保する設計・施工技術の選択肢の整理を行い、所期の成果を得た。

1-2 処分概念オプションの実証

2) 高温(100°C以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験 (1/2)

研究開発の目的と令和6年度までの実施内容

想定外の要因により緩衝材温度が100°Cを超えた場合の挙動の確認

- 100°C超になった際に人工バリアとその周辺岩盤において発生する現象を整理し、人工バリアとその周辺岩盤における上限温度設定の考え方を提示

令和6年度の実施内容と成果

- 令和5年度に開始した原位置試験のモニタリングを継続
- 100°Cを超えるヒーター温度での加熱により緩衝材ブロックのヒーター接触部ではひび割れが生じることが確認 (右上写真)
- ヒーター近傍の緩衝材の色調が変化した範囲では飽和度の低下を確認 (右下写真)
- ヒーター近傍の緩衝材では、温度履歴を受けていない緩衝材と比べて一軸圧縮強度が低く透水係数が高い傾向を確認



緩衝材ブロックのひび割れ



緩衝材ブロックの色調変化

1-2 処分概念オプションの実証

2) 高温(100°C以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験 (2/2)

令和2年度～令和6年度の成果

- 原位置試験
 - 100°Cを超えるヒーター温度での加熱により緩衝材ブロックのヒーター接触部ではひび割れが生じることを確認
 - ヒーター近傍の緩衝材では、温度履歴を受けていない緩衝材と比べて一軸圧縮強度が低く透水係数が高い傾向を確認
- 室内試験（ひび割れの発生、閉塞挙動を確認）
 - 高温での加熱により緩衝材にひび割れが生じてもそれらが優先的な水みちとはならないことを確認
 - 生じたひび割れは、蒸留水を浸潤させた場合および塩水を浸潤させた場合のいずれも閉塞することを確認

【まとめ】

短期的に100°Cを超えた場合に緩衝材に生じる変質や人工バリアおよびその周辺に発生する現象を把握するとともに、人工バリア周辺における上限温度設定の考え方を整備した。

1-3 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(1/4)

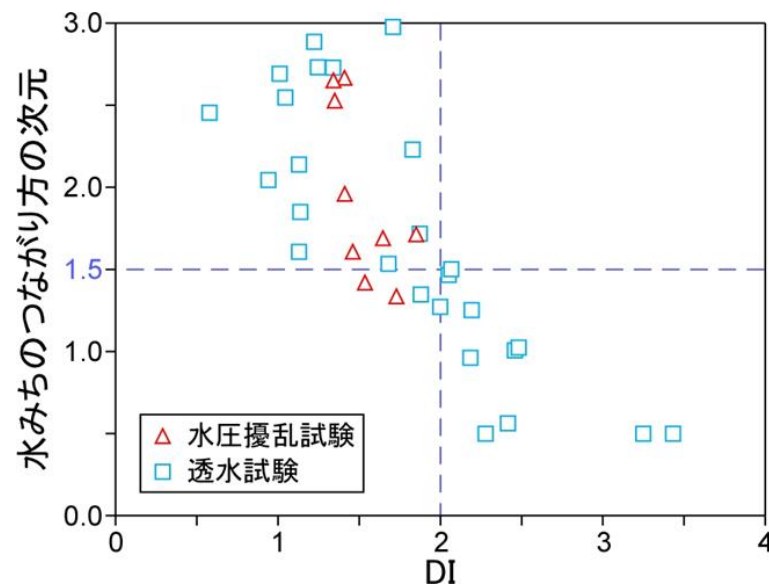
地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

研究開発の目的と令和6年度までの実施内容

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

令和6年度の実施内容と成果

- 過年度に実施した断層の水圧擾乱試験の結果の詳細な解析
- 割れ目の水理学的連結性*の指標となる水みちのつながり方の次元*とダクティリティインデックス (DI) *の関係を理解するための数値シミュレーションなどを実施
- 稚内層に類似する地層の場合、地殻変動が地層の透水性に与える影響は、断層や割れ目の水理学的特性とDIとの関係により評価可能



水圧擾乱試験および透水試験で認められた稚内層中の断層内の水みちのつながり方の次元とDIの関係

*水理学的連結性：断層や割れ目の中の隙間のつながり具合

*水みちのつながり方の次元：地下水の通り道となる隙間同士をつなぐ具合を表す指標

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

1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化(2/4)

地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

令和2年度～令和6年度の成果

- 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については、稚内層と類似する地層の場合、断層や割れ目の代表的な透水性とダクティリティインデックス (DI) *の関係や水圧擾乱試験を適用することにより、地殻変動の影響を考慮した地層の長期的な透水性を評価可能
- 断層の力学的な安定性を表す指標のひとつであるせん断剛性を水圧擾乱試験により原位置で適切に評価できることを確認

【まとめ】

地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握、ダクティリティインデックス (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力学的な安定性評価手法の整備を完了した。

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

1-3 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(3/4)

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

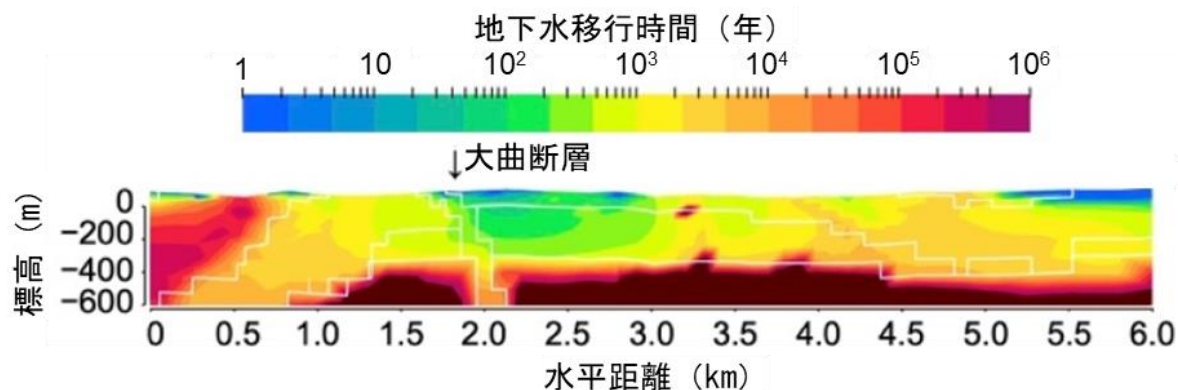
研究開発の目的と令和6年度までの実施内容

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の構築

- 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

令和6年度の実施内容と成果

- ・ 広域スケールを対象に地下水移行時間を解析し、割れ目に沿って地下水が流れている場合の堆積岩の水理学的有効間隙率*の適切な与え方を例示
- ・ 地下水の流れが非常に遅い領域を調査してモデル化する技術の取りまとめ



地下水移行時間の解析結果の一例

(割れ目に沿って地下水が流れている領域に対して水理学的有効間隙率0.01を与えた場合)

*水理学的有効間隙率：水の移動に有効な間隙の割合

1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化(4/4)

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2年度～令和6年度の成果

- 化石海水の三次元分布を地上からの調査から推定する一連の手法と手順を提示
 - 数十km四方～数km四方を対象とした電磁探査
 - 電磁探査結果に基づくボーリング調査地点の選定とボーリング調査
 - 地球統計学的手法による酸素同位体比の三次元分布の推定
- 地下水年代等による安定な水理場・化学環境の確認手法を提示
 - 割れ目水と間隙水の水質コントラストおよび炭素年代測定を利用した地下水流動の評価手法を構築
 - 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
- 広域スケールを対象とした地下水移行時間解析手法を整備

【まとめ】

地下水の流動域/低流動域の三次元分布の推定手法、地下水年代等による安定な水理場・化学環境の確認手法、広域スケールでの地下水移行時間の評価手法を構築し、それらを組み合わせて、地下水の流れが非常に遅い領域を調査してモデル化する技術を実証した。

1-1 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

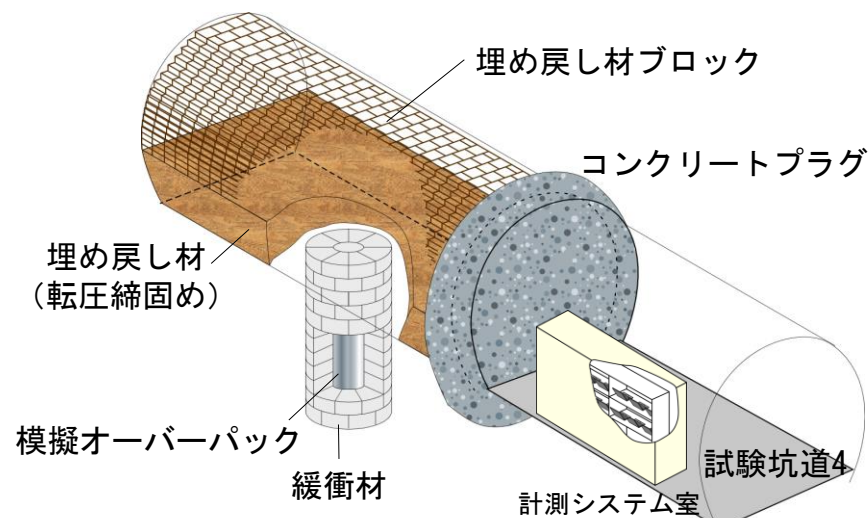
1) 人工バリア性能確認試験



研究開発の目的と令和9年度までの実施内容

人工バリア周辺で起こる現象の理解

- 緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータ（浸潤時・減熱時）を取得し、熱－水－応力－化学連成評価手法を整備
- 人工バリアの解体試験により緩衝材の飽和度などを確認



人工バリア性能確認試験の概念図

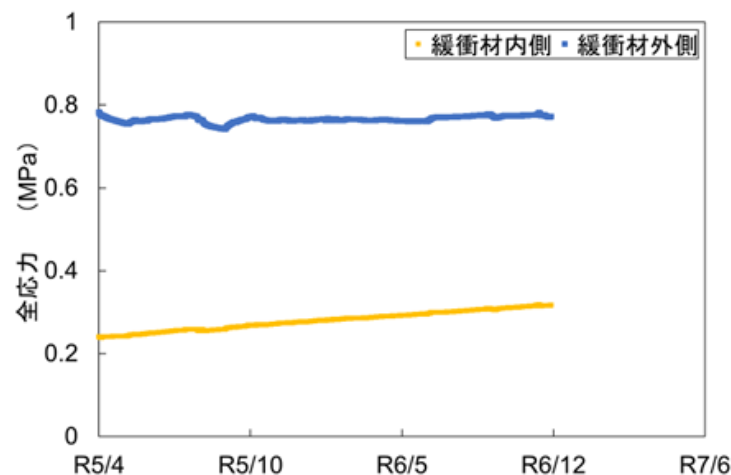
令和6年度の実施内容と成果

- ・廃棄体からの発熱が収まった状態を模擬した条件でのデータ取得を継続（右下図）
- ・原位置の複雑な現象を対象とした解析検討に向け、室内試験を対象とした解析検討を実施

令和7年度の計画

- ・人工バリア性能確認試験のデータ取得の継続
- ・解体試験計画の具体化、室内試験を対象とした解析検討

など



計測データの一部（全応力）

1-2 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(1/11)

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

研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

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

これまで研究してきた各要素技術を集約しつつ、4つの課題を設定し、一定のルール・基準に基づき手法を整理（体系化）。具体的には、以下の観点で整理。

- ・どのような情報を集めればよいか
- ・その情報はどのような調査で取得するか
- ・その情報を踏まえ、どのように設計するか
- ・それらの「閉じ込め」性能をどう評価するか

