

幌延深地層研究計画
令和3年度調査研究計画

令和3年4月

日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター

目 次

1.	はじめに.....	1
2.	令和2年度以降の幌延深地層研究計画に基づく研究課題.....	3
2.1	研究課題.....	3
2.2	令和2年度の成果の概要.....	6
3.	令和3年度の主な業務内容.....	9
4.	実際の地質環境における人工バリアの適用性確認.....	15
4.1	人工バリア性能確認試験.....	15
4.2	物質移行試験.....	18
5.	処分概念オプションの実証.....	22
5.1	人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験.....	22
5.1.1	操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証.....	22
5.1.2	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... ..	28
5.2	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.....	28
6.	地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証.....	31
6.1	水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化.....	31
6.1.1	地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握.....	31
6.1.2	地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化.....	35
6.2	地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験.....	38
7.	令和2年度以降の必須の課題への対応に必要なデータ取得.....	40
8.	地下施設の管理.....	42
9.	環境調査.....	42
9.1	排水量および水質調査.....	42
9.2	研究所用地周辺の環境影響調査.....	43
10.	安全確保の取り組み.....	44
11.	開かれた研究.....	44
11.1	国内機関との研究協力.....	45
11.2	国外機関との研究協力.....	47
12.	用語集.....	48
	参考資料.....	52

1. はじめに

国立研究開発法人^{*1}日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）幌延深地層研究センターでは、原子力発電に伴って発生する高レベル放射性廃棄物を安全に地層処分するための基盤的な研究開発として、平成13年3月より、北海道の幌延町において幌延深地層研究計画（堆積岩を対象とした深地層の研究施設計画）を進めています。この計画は、堆積岩を対象とした深地層の科学的な研究（地層科学研究）および地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化に向けた研究開発（地層処分研究開発）を目的として、「地上からの調査研究段階（第1段階）」、「坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第2段階）」、「地下施設での調査研究段階（第3段階）」の3つの調査研究段階に分けて実施してきました。地層処分のために地下を調査する施設には、最終処分場として使用しない施設で技術を磨く地下研究施設（ジェネリックな地下研究施設）と最終処分候補地の適性を見定める地下研究施設（サイトスペシフィックな地下研究施設）の2つの種類があります。幌延深地層研究センターの地下施設はジェネリックな地下研究施設です。

平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、「高レベル放射性廃棄物の問題の解決に向け、国が前面に立って取り組む必要がある」との考え方が示され、そのために「地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映する」ことが示されました。これを踏まえて、文部科学省、経済産業省および原子力規制委員会により「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標（中長期目標）^{*2}」（以下、第3期中長期目標^{*3}）が定められ、この第3期中長期目標を達成するために、「国立研究開発法人

*1：独立行政法人通則法の改正（平成27年4月1日施行）により新たに設定された分類の一つで、研究開発に係る業務を主要な業務として、中長期的（5～7年）な目標・計画に基づき行うことにより、わが国の科学技術の水準の向上を通じた国民経済の発展その他の公益に資するため研究開発の最大限の成果を確保することを目的とする法人に対する名称です。原子力機構は、平成27年4月1日に「独立行政法人日本原子力研究開発機構」から「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構」に名称変更しています。

*2：原子力機構は、原子力基本法第2条に規定する基本方針に基づき、原子力に関する基礎的及び応用の研究並びに高レベル放射性廃棄物の処分等に関する技術の開発等を総合的、計画的かつ効率的に行うことを目的としています。中長期目標はこれを踏まえ、文部科学省、経済産業省および原子力規制委員会が、独立行政法人通則法第35条の4の規定に基づき定めた目標です。

*3：第3期中長期目標の期間は、平成27年4月1日～令和4年3月31日の7年間です。

日本原子力研究開発機構の中長期目標を達成するための計画（中長期計画）（平成27年4月1日～令和4年3月31日）」を策定しました。

幌延深地層研究センターでは、北海道および幌延町により受け入れられました、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」で示した研究課題である、実際の地質環境における人工バリア^{*}の適用性確認、処分概念オプションの実証、地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力^{*}の検証について、令和2年度以降、第3期及び第4期中長期目標期間を目途に取り組むこととしました^{*4}。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します。

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

※ このマークがついた用語は、用語集に説明を掲載しています。

*4：令和2年度以降の研究期間は9年間であり、その期間を通じて必要な成果を得て研究を終了できるように取り組むこととしております（https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/press/31/press_1206.html）。

2. 令和 2 年度以降の幌延深地層研究計画に基づく研究課題

2.1 研究課題

令和 2 年度以降の幌延深地層研究計画では、必須の課題のうち、引き続き研究開発が必要と考えられる以下の課題（令和 2 年度以降の必須の課題）に取り組んでいます（図 1、表 1、参考資料）。

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

令和元年度までの人工バリア性能確認試験では、実際の地下環境におけるヒーターの加熱過程のデータを取得しましたが、減熱過程^{*}のデータが取得されていません。令和 2 年度以降は、注入する地下水の圧力や量を増加させ緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータを取得し、分析・評価します。その後、減熱時のデータを取得します。加えて、人工バリアの解体作業および緩衝材の飽和度の確認を実施します。

また、令和元年度までの物質移行試験により、トレーサー^{*}試験手法を確立することができました。ただし、これまでの研究結果から、幌延の堆積岩において、微生物や有機物が、放射性物質の岩盤への吸着を妨げ、閉じ込め効果を低下させる可能性が確認されており、令和 2 年度以降は、確立した試験手法を用いて掘削損傷領域^{*}での物質移行に関するデータ取得を実施するとともに、有機物や微生物が放射性物質を取り込んで移動する影響を確認するためのトレーサー試験を実施します。

(2) 処分概念オプションの実証

令和元年度までの試験では、実際の環境下において、坑道の埋め戻し方法の違い（締固め、ブロック方式等）による埋め戻し材の基本特性（密度や均一性）を把握しましたが、緩衝材の施工方法や坑道閉鎖に関する様々なオプションの検討には至っていません。令和 2 年度以降は、人工バリア性能確認試験において、注入する地下水の圧力や量を増加させ、緩衝材に十分に水を浸潤させた状態を確保して施工方法（締固め、ブロック方式等）の違いによる緩衝材の品質の違いを把握するとともに、埋め戻し方法（プラグの有無等）・回収方法^{*}による埋め戻し材の品質の違いを実証試験で明らかにします。さらに、人工バリアの品質を踏まえて、廃棄体の設

置方法（間隔など）を確認するための実証試験を行います。また、人工バリアシステムの安全裕度の検証に向けて、緩衝材が 100℃超になった状態を想定した解析手法を開発します。

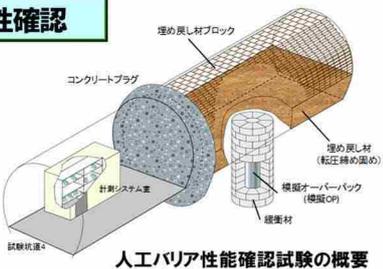
(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

令和元年度までの検討では、まずは小規模な断層（幅数 cm）に着目して試験を行い、断層への地震動の影響などを確認しました。これまでの研究開発で手法の妥当性が確認できたため、この手法を使って、処分場の設計・施工や安全評価とリンクした形で研究を進めることが可能となりました。令和 2 年度以降は、より大型の断層において、地震動や坑道掘削に伴う割れ目中の地下水の流れの変化に関して、堆積岩の緩衝能力（自己治癒能力）の作用に係る実証試験を実施します。さらに、地下水が動いていない環境を調査してモデル化する技術を実証するとともに、人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力を解析する手法を開発します。

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 人工バリア性能確認試験
- 物質移行試験

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



埋め戻し材ブロック
コンクリートプラグ
埋め戻し材 (軽圧締め風め)
モニタリングシステム室
試験坑道
埋め戻し材 (軽圧締め風め)
模擬オーバーバック (模擬OP)
緩衝材

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

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

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

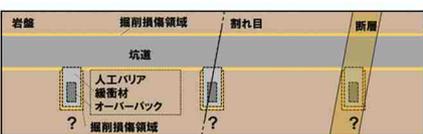


閉鎖技術オプションの整理

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

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

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



岩盤
掘削準備領域
割れ目
断層
坑道
人工バリア
緩衝材
オーバーバック
掘削準備領域
?

廃棄体定置決定や間隔設定の考え方の整理

図 1 令和 2 年度以降に取り組むべき研究課題

(令和 2 年度以降の必須の課題)

表 1 幌延深地層研究計画の令和 2 年度以降のスケジュール

	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	第3期		第4期中長期目標期間						
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									

※ 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していく。

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。

2.2 令和2年度の成果の概要

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

人工バリア性能確認試験において、廃棄体の減熱過程を模擬した試験を開始したことにより、緩衝材中の温度や間隙圧（隙間の空気と水の圧力の和）が低下し、緩衝材内側への地下水浸潤が進んだことを設置センサーにより確認しました。

国際共同研究DECOVALEX^{*}では、室内試験結果を対象に、共同解析を行うための解析モデルや解析条件を設定するとともに、各国間の解析コードの違いを確認しました。また、空気の移動等を考慮した熱－水理－力学連成現象に関する室内試験については、事前解析結果を基に浸潤挙動や膨潤挙動に及ぼす空気の影響を確認し、試験条件の設定を行いました。

人工バリアの試験体を取り出すための試験施工では、埋め戻し材の設置、プラグの施工、試験孔の掘削を行うとともに、模擬オーバーパックおよび緩衝材の設置を開始しました。

物質移行試験では、掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験を行い、掘削損傷領域の水理・物質移行特性を評価するためのデータが取得できました。また、微生物・有機物・コロイド^{*}を対象としたトレーサー試験に先立ち、既存孔を利用した予察的な原位置試験の計画立案を行うとともに、地表水および地下水中の溶存有機炭素濃度、有機物の分子サイズ分布データ等を取得しました。さらに、ブロックスケール（数m～100m規模）を対象としたトレーサー試験の準備作業を完了しました。

(2) 処分概念オプションの実証

搬送定置・回収技術の実証として、人工バリア性能確認試験等のデータを利用して、縦置き・ブロック式における回収作業において考慮すべき条件の整理を行いました。また、回収可能性が維持される期間における吹付けコンクリートの経年劣化の把握を目的にコンクリート試験体の暴露試験^{*}の準備を行うとともに、坑道開放条件下において岩盤内部で生じうる事象の整理等を行いました。

閉鎖技術の実証として、埋め戻し材の長期的な性能に関わる現象について、埋め戻し材の変質挙動に関する解析やベントナイト^{*}の流出挙動に関する室内試験計画の立案等を行うとともに、埋め戻し材の設計に必要な膨潤変形挙動に関するデータを取得し整理しました。また、閉鎖後に水みちとなることが想定される掘削損傷領域を遮断するための施工技術の構築や高度化に向けて、ベントナイトの吹付け施工試験を行い、材料の種類や配合の違いによる吹付けベントナイトの品質の違いを把握するとともに、掘削損傷領域の物性値を高精度に探査する試験装置の開発と掘削損傷領域の連続性を評価する上で必要となる物性値を取得しました。さらに、ボーリング孔を閉塞する際の材料や閉塞方法に関する技術的な課題等を整理しました。

人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いに係る品質保証体系の構築として、緩衝材の流出挙動に係る試験を継続し、自然湧水が0.4 L/minの環境では緩衝材が膨潤し、隙間が埋まるに従って排水される水の量は減少し、緩衝材が流出しなくなることを確認しました。

高温（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験として、緩衝材の最高温度が100℃を超えた状態で発生しうる現象の検討に着手し、海外で実施されている緩衝材の最高温度が100℃を超えた状態を模擬する原位置試験（スイスのHotBENT^{*}プロジェクト）について、試験条件、試験手法、計測機器の選定・配置等に関する情報を入手しました。

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握として、過年度に実施した水圧擾乱試験^{*}のデータの解析や、稚内層における割れ目の水理的連結性に関する既存の知見やデータの見直しを実施し、稚内層の水理特性分布に関わる統一的な説明が可能となりました。さらに、幅数10cmのより大型の断層を対象とした水圧擾乱試験を実施しました。

地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水^{*}領域）を調査・評価する技術の高度化においては、物理探査および地質構造との関係性の検討を実施するとともに、既存の水理解析結果に基づく深度、地質・地質構造分布、

気候などの条件の違いが地下水移行時間に与える影響の整理を行いました。

地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動を検討するための基礎的な知見として、まずは岩盤を対象として、原位置で樹脂を注入後に採取した掘削損傷領域の割れ目試料の詳細な観察を行い、せん断変位量（割れ目に沿ったずれ幅）と割れ目の開口幅との相関が小さいことを確認しました。

国内外の資金や人材を活用することについては、令和2年度から人工バリア性能確認試験をタスクの一つとする国際共同研究DECOVALEXに参画するとともに、環太平洋地域における国々で地下研究施設を活用した国際協力^{*5}の憲章を締結し、国際研究拠点化を推進しました。

以上のように、令和2年度は計画していた調査研究を進めて、ほぼ想定していた成果を得ることができました。詳細については令和2年度の成果報告書にとりまとめます。

*5 環太平洋地域における地下研究所（URL）を活用した国際協力に関する枠組みで、以下の研究機関が参加しています。日本原子力研究開発機構（JAEA）、韓国原子力研究所（KAERI）、米国サンディア国立研究所（SNL）、オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）、台湾 工業技術研究院（ITRI）。

3. 令和3年度の主な業務内容

令和3年度においては、「実際の地質環境における人工バリアの適用性確認」として、人工バリア性能確認試験において発熱の影響を無くした条件での試験に移行し、データを分析・評価するとともに、人工バリアの試験体を取り出すための試験施工の解体調査を行います。また、物質移行試験について、掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験の評価や、微生物・有機物・コロイドが物質移行特性に与える影響の現象理解を進めるとともに、稚内層深部のブロックスケールを対象としたトレーサー試験を実施します。

「処分概念オプションの実証」については、搬送定置・回収技術の実証として、地下環境におけるコンクリートの劣化に関する試験、分析を継続します。閉鎖技術の実証として、数値解析を通じた連成解析や水理・物質移行解析を通じ、坑道および周辺岩盤の長期変遷が安全評価に有意な影響を及ぼす条件の詳細化を図るとともに、プラグの施工性や性能確認のための工学規模試験や埋め戻し材と緩衝材との相互作用を検討するための室内試験等を継続します。人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いに係る品質保証体系の構築として、緩衝材ブロックと岩盤の間に隙間がある場合の緩衝材流出挙動を確認し、緩衝材流出の観点から、施工方法の適用性を評価するための試験を行います。高温(100℃超)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験として、限界的条件下での現象の解析手法の高度化計画の策定やシナリオの整理を行います。また、それに資する海外での原位置試験に関する情報等を引き続き入手します。

「地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証」については、地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握として、令和2年度に実施した水圧擾乱試験の結果の解析を行うとともに、稚内層中の断層/割れ目の水理的不連結性に関する検討を継続します。地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)を調査・評価する技術の高度化として、化石海水領域の三次元分布を確認するためのボーリング調査を実施するとともに、化石海水領域を効率的に把握するための方法論の検討を継続します。また、緩衝材や

坑道埋め戻し材の膨潤圧が掘削損傷領域の亀裂の透水性（あるいは開口幅）に与える影響について、令和 2 年度に実施した観察結果や既往の掘削損傷領域の透水試験結果などを用いて坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を推定するモデルの構築を進めるとともに、掘削損傷領域の透水性を予測する既存モデルの再検証を行います。

また、令和 2 年度以降の必須の課題への対応に必要なデータ取得を実施します。

地下施設の管理においては、試験坑道1における工事を行うとともに、施設内の機械設備や電気設備などの維持管理（設備運転や保守点検など）を継続実施します。地下施設からの排水および掘削土（ズリ）置場の浸出水は、排水処理設備において適切に処理した上で天塩川に放流します。

環境調査においては、研究所用地周辺における水質・魚類に関する調査、坑道内および掘削土（ズリ）置場で発生する排水の水質調査、天塩川の水質調査を継続します。

安全確保の取り組みにおいては、作業員などに対する安全教育や定期的な安全パトロール、訓練などの活動を継続します。

なお、幌延深地層研究計画で実施する地下深部の地質環境を対象とした研究は、地球科学の幅広い分野にわたり、学術研究の発展にも寄与することから、国内外の関連する研究機関の専門家の参加を得ながら進めていきます。また、国内外の資金や人材を活用することについて、DECOVALEX や環太平洋地域における地下研究施設を活用した国際協力を継続するとともに、国内外の研究機関や実施主体に働きかけを行い、国際連携を進め、幌延深地層研究センターの地下施設を活用して効率的に研究を進めていきます。

令和 3 年度に地下施設、研究所用地および周辺地域（幌延町内）で行う主な業務の実施内容を図 2、表 2 に示します。また、表 2 に示した調査に関する地上からのボーリング孔の位置および観測装置の設置場所を図 3 に、研究所用地における主な施設と観測装置の配置を図 4 に、350m 調査坑道における主な調査研究の実施場所を図 5 に示します。

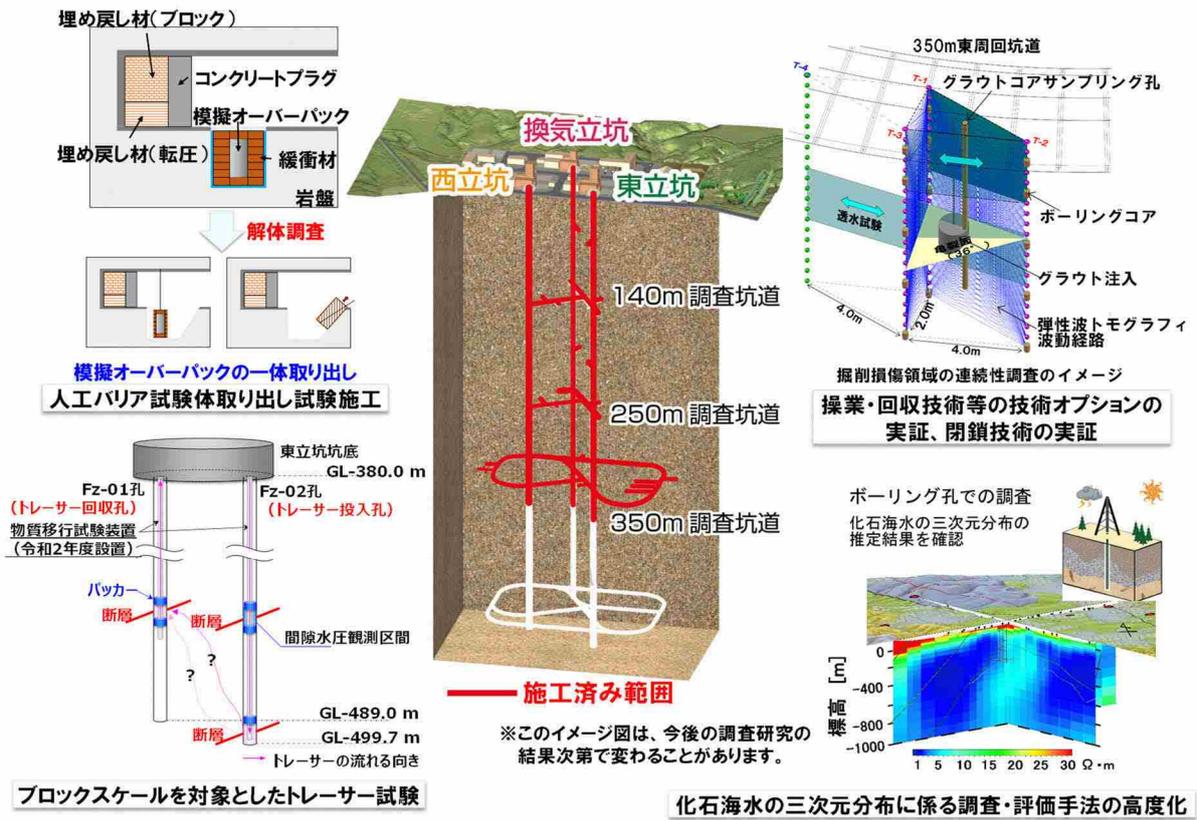


図 2 令和 3 年度の主な調査研究

表 2 令和3年度の主な業務の実施内容

実施項目		実施内容	実施場所	
令和2年度 以降の必須 の課題	実際の地質 環境におけ る人工バリア の適用性 確認	人工バリア性能確認試験	人工バリア性能確認試験において発熱の影響をなくした条件での試験に移行、国際共同研究による連成挙動の共同解析、評価モデルの検証、気相を考慮した熱-水理-力学連成挙動に関する室内試験の開始、人工バリアの試験体を取り出すための試験施工の解体調査	研究所用地、 地下施設など
		物質移行試験	掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験の評価、微生物・有機物・コロイドが物質移行特性に与える影響の現象理解および予備的な原位置試験の検討、稚内層深部のブロックスケールを対象としたトレーサー試験	研究所用地、 地下施設など
	処分概念オ プションの 実証	人工バリアの定置・ 品質確認などの方法 論に関する実証試験	地下環境におけるコンクリートの劣化に関する試験、分析を継続、閉鎖システム（埋め戻し材やプラグなど）に関する基盤情報の整備を目的とした解析検討、閉鎖技術を実証するための工学規模試験および室内試験等の継続、緩衝材流出の抑制に関する試験	研究所用地、 地下施設など
		高温度（100℃以上） などの限界的条件下 での人工バリア性能 確認試験	限界的条件下での現象の解析手法の高度化計画の策定やシナリオの整理、海外での原位置試験に関する情報等の継続入手	研究所用地、 地下施設など
	地殻変動に 対する堆積 岩の緩衝能 力の検証	水圧擾乱試験などに よる緩衝能力の検 証・定量化	水圧擾乱試験の結果の解析、稚内層中の断層/割れ目の水理的な不連続性に関する検討の継続、既存の室内試験結果や水圧擾乱試験結果を用いた既存モデルの再検証 化石海水領域の三次元分布を把握するためのボーリング調査、海上物理探査、化石海水領域を効率的に把握するための方法論の検討、地下水移行時間評価や塩濃度三次元分布評価の解析方法の改良	研究所用地および周 辺、地下施設、HDB- 1～11孔、浜里地区 など
		地殻変動による人工バ リアへの影響・回復挙 動試験	坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を推定するモデルの構築 掘削損傷領域の透水性を予測する既存モデルの再検証	研究所用地、 地下施設など
令和2年度以降の必須の課題へ対応するためのデータ取得		地質構造に関する調査、分析、岩盤の水理に関するデータ取得・モニタリング、分析、解析、地下水の地球化学に関する分析、岩盤力学に関するデータ取得、解析、地震観測、および計測手法の妥当性評価と必要に応じた調査技術・機器の改良など	研究所用地、地下施 設、HDB-1～11孔、 上幌延地区、浜里地 区など	
地下施設の管理		施設内の機械設備や電気設備などの維持管理、排水処理設備の運転	研究所用地、地下施 設など	
環境調査		地下施設からの排水などの水質調査、水質・魚類に関する調査	研究所用地、天塩 川、清水川など	

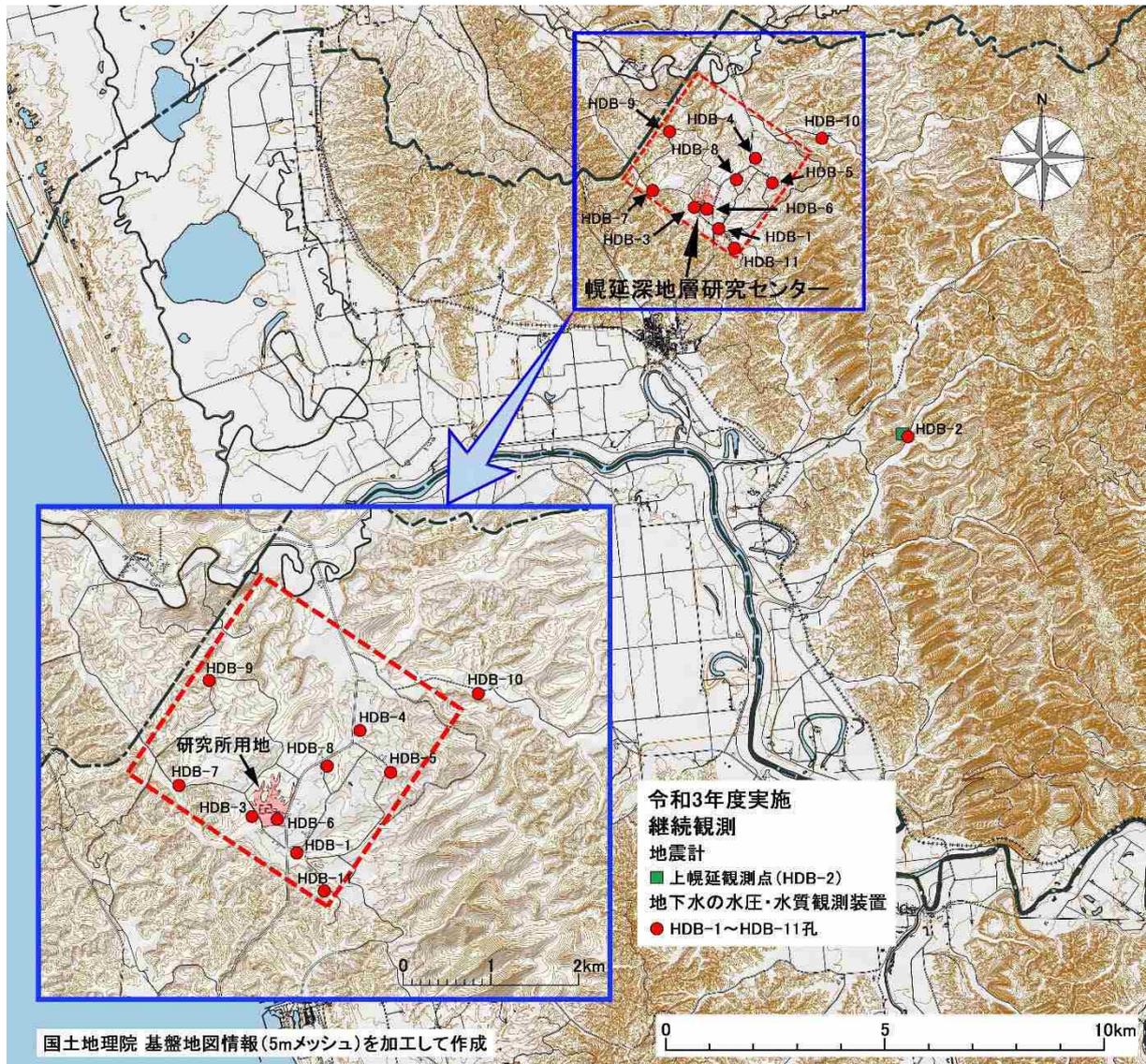


図 3 ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所

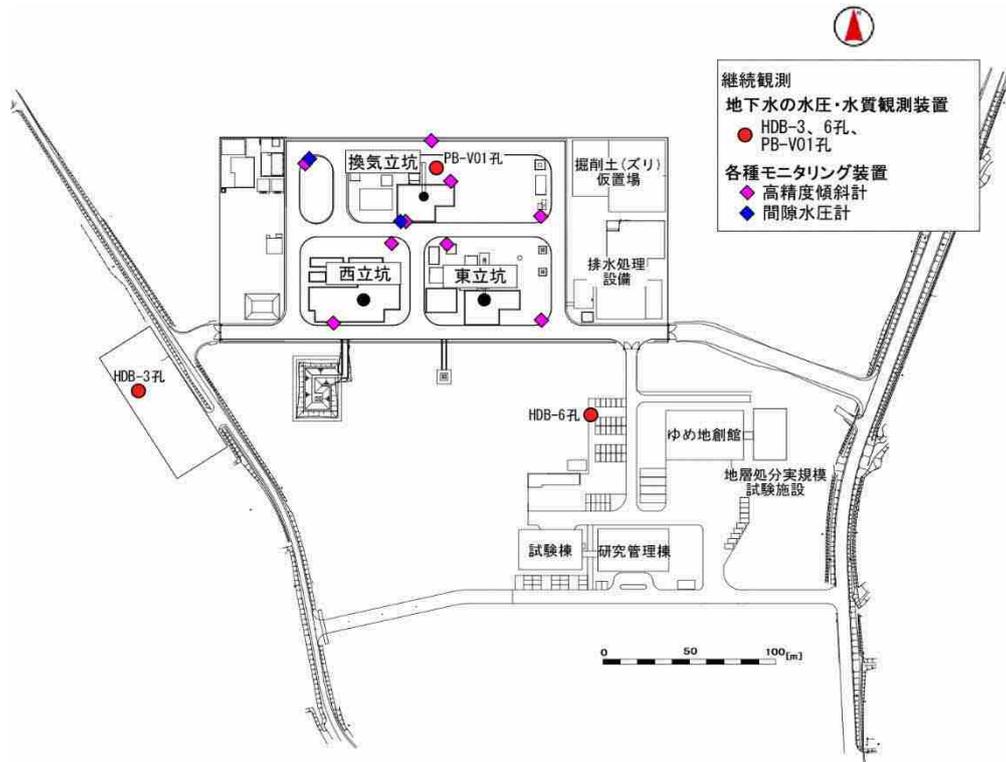


図 4 研究所用地における主な施設と観測装置の配置

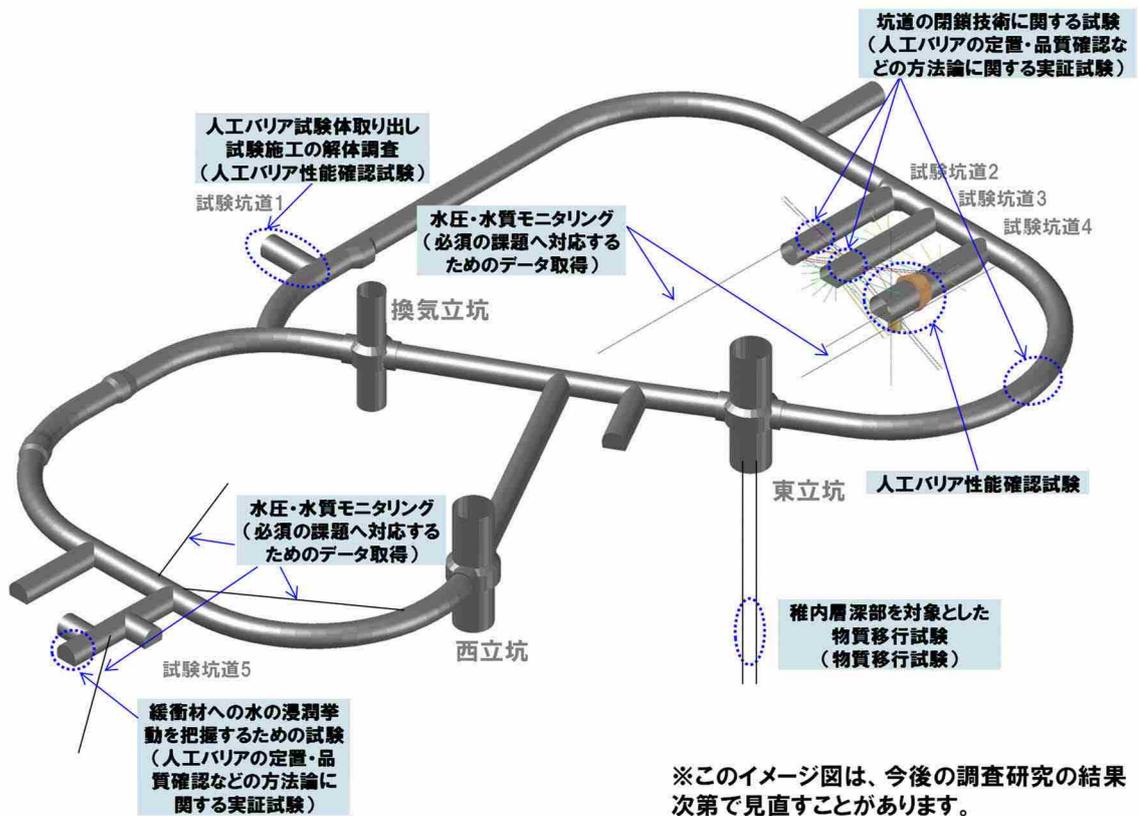


図 5 350m 調査坑道における主な調査研究の実施場所

4. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

4.1 人工バリア性能確認試験

令和2年度以降は、ガラス固化体設置直後の廃棄体の発熱過程に加えて、減熱過程を模擬した原位置試験データや解体調査により得られるより詳細なデータに基づく熱－水理－力学－化学連成現象^{*}の評価モデルの高度化が課題となります。そのため、人工バリア性能確認試験で設置しているヒーターの温度を下げた試験（減熱過程を模擬した原位置試験）を行い、熱－水理－力学－化学連成現象に係るデータを取得します。また、減熱試験終了後は解体調査により、人工バリア、埋め戻し材、コンクリート、周辺岩盤やそれらの境界面のサンプリングや分析を行います。人工バリア性能確認試験の解体調査については、適用する施工方法の検証を行うために事前に試験施工を行います。設置したセンサーや解体調査により得られるデータを基に、熱－水理－力学－化学連成解析を行い、評価モデルの高度化や適用性の確認を行います。このような人工バリア周辺で起こる現象の理解は、地層処分後の数万年以上の間の安全評価における初期状態の把握やオーバーパックの寿命を評価する際の人工バリア周辺の環境条件の設定に役立ちます。

令和2年度は、人工バリア性能確認試験（図6）のヒーターの設定温度を約90℃から50℃に変更し、廃棄体の減熱過程を模擬した試験を開始しました。ヒーターの表面温度を低くしたことにより、緩衝材中の温度や間隙圧が低下し、緩衝材内側への地下水浸潤が進んだことを設置センサーにより確認しました（図7、図8）。加えて、国際共同研究 DECOVALEX では、室内試験結果を対象に、共同解析を行うための解析モデルや解析条件を設定するとともに、各国間の解析コードの違いを確認しました。また、空気の移動等を考慮した熱－水理－力学連成挙動に関する室内試験については、事前の解析結果を基に浸潤挙動や膨潤挙動に及ぼす空気の影響を確認し、粘土材料の乾燥密度、設定温度、センサー（温度、水分量、応力、間隙圧）の設置位置、試験期間などの試験条件の設定を行いました。

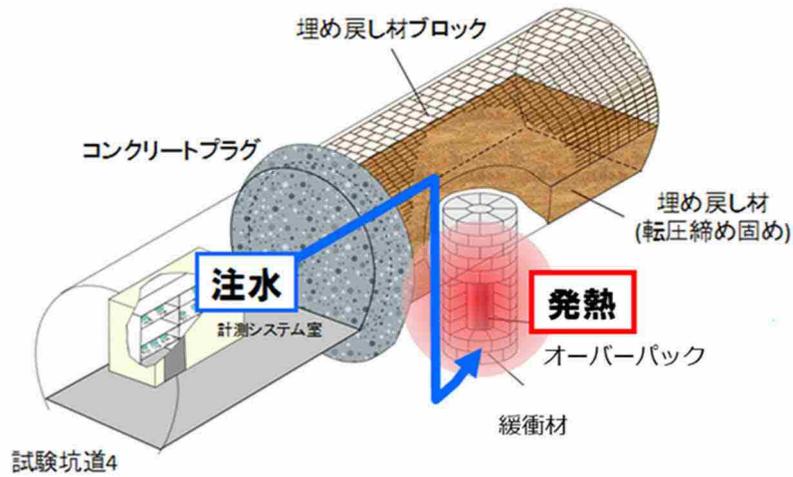


図 6 人工バリア性能確認試験の概念図

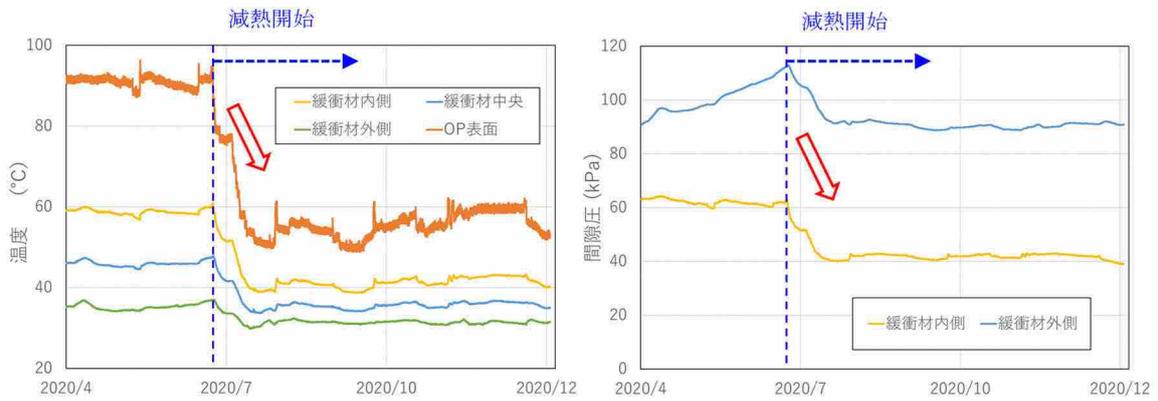


図 7 緩衝材 5 段目の計測データ (左: 温度、右: 間隙圧)

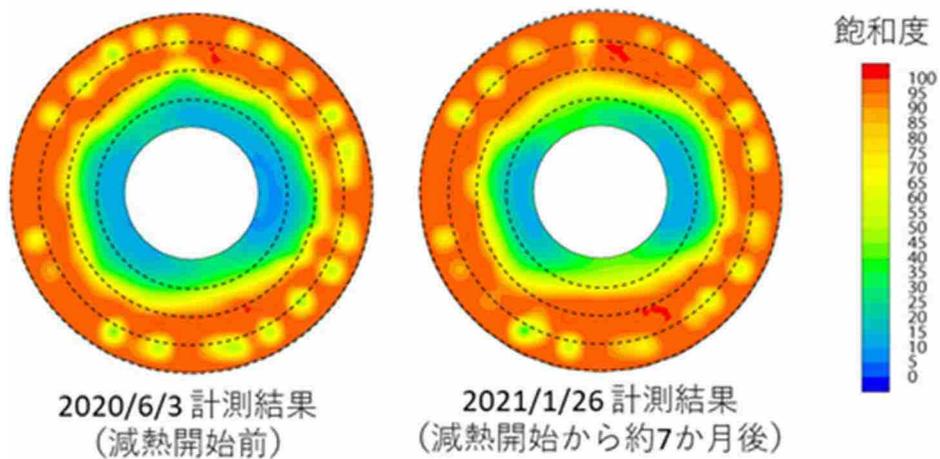


図 8 緩衝材 5 段目の計測データ (飽和度)

解体調査に先立って実施している試験施工（図 9）のうち、埋め戻し部については埋め戻し材の転圧、埋め戻し材ブロックの設置、プラグの施工を行い、人工注水を開始しました。試験孔部（人工バリアを設置する試験孔）については、試験孔の掘削を行い、人工バリア（緩衝材、模擬オーバーバック）の設置を開始しました（図 10）。

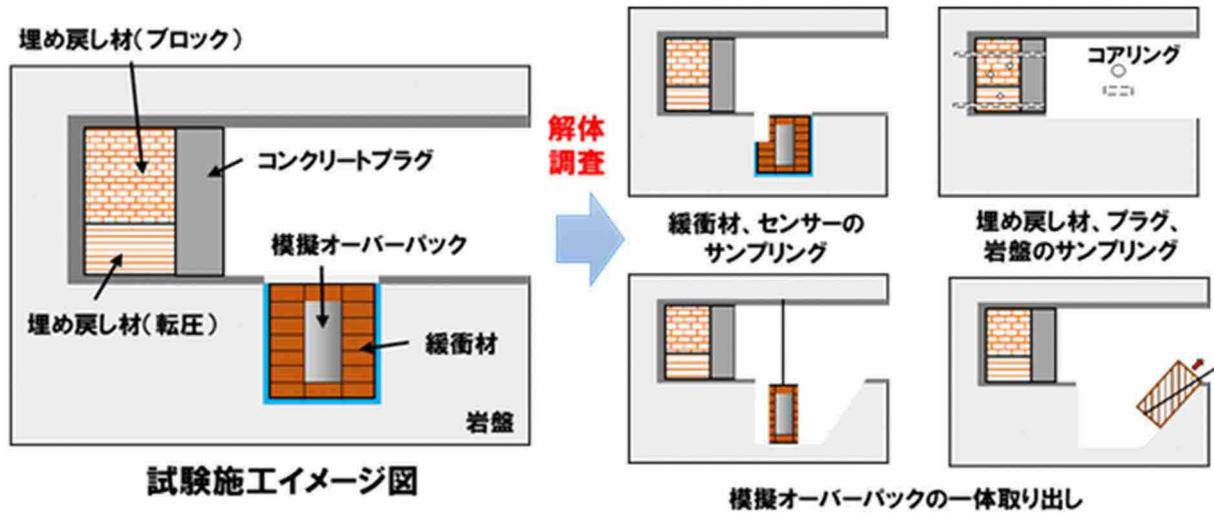


図 9 人工バリア解体試験施工の概念図



図 10 人工バリア解体試験施工の施工状況

令和 3 年度は、人工バリア性能確認試験のヒーターの電源を切り、発熱による影響を無くした条件での試験に移行します。連成解析については、国際共同研究 DECOVALEX において令和 2 年度に設定した解析条件を基に共同解析を行い、解析コード間の比較検証を行い、評価モデルの検証を行います。空気の移動等を考慮した熱－水理－力学連成挙動に関する室内試験については、令和 2 年度に設定した条件下での試験を開始します。

試験施工では、解体調査を実施し、緩衝材、模擬オーバーパック、埋め戻し材、コンクリート、岩盤、設置したセンサー等のサンプリング手法や各種材料の境界面を一体化した状態でサンプリングする手法の適用性の確認を行います。

4.2 物質移行試験

令和 2 年度以降は、掘削損傷領域の物質移行の評価手法の確立、微生物・有機物・コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化、割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価手法の確立が課題となります。そのため、これまでに確立した物質移行特性評価手法の適用／高度化を図りつつ、掘削損傷領域での物質移行に関するデータ取得を行うとともに、微生物・有機物・コロイドが物質移行に与える影響を評価します。また、掘削損傷領域の物質移行特性に加え、微生物・有機物・コロイドの物質移行特性に与える影響を考慮した上で、割れ目を有する堆積岩を対象とした掘削損傷領域を含むブロックスケール(数 m～100m 規模) (図 11) における遅延性能評価手法の整備を行います。これらの成果は、処分事業で堆積岩を対象とする場合に、核種移行モデルを構築する際の基盤情報となるものです。

令和 2 年度は試験坑道 3 の既存孔 (H4-1、H4-2、P 孔) において掘削損傷領域を対象としたトレーサー (非収着性) 試験を行い、同領域の物質移行特性を評価するためのモデル化／解析手法を検討するためのデータ取得を行いました (図 12) 。また、微生物・有機物・コロイドを対象としたトレーサー試験に先立ち、既存孔を利用した予察的な原位置試験計画

の検討を行いました。また、地下水中の溶存有機物をその構造や化学特性に応じて複数の物質群に分けるとともに、各物質群の溶存有機炭素 (DOC) 濃度や分子サイズ分布等を取得しました。その結果、地下水中の溶存有機物は主に腐植物質* (DOC 濃度の約 60%) と親水性物質* (約 35%) からなり、親水性物質は腐植物質に比べて相対的に分子サイズが小さい有機物を多く含むことが示唆されました (図 13)。物質移行特性の評価にあたっては、元素と有機物との結合に関する評価のほか、このような有機物のサイズ分布が移行挙動に与える影響も考慮する必要があると考えられます。さらに、ブロックスケールにおける物質移行特性を評価するためのトレーサー試験の準備作業として、物質移行試験装置の設置を行いました。

令和 3 年度は、掘削損傷領域に分布する割れ目を介した物質の移行挙動のモデル化／解析手法を検討するために、令和 2 年度に実施したトレーサー試験箇所周辺の岩盤の水理・物質移行特性の評価を継続するとともに、必要に応じ、水理・物質移行に関する追加の情報取得を行います。また、微生物・有機物・コロイドが核種移行に及ぼす影響について室内試験等による現象理解を継続して進めるとともに、微生物・有機物・コロイドの影響を考慮した物質移行概念モデルを構築するための予備的な原位置試験に着手します。さらに、令和 2 年度に準備した、ブロックスケールにおける物質移行特性を評価するためのトレーサー試験を実施し (図 14)、稚内層深部において推定されている物質の移行経路の水理学的連結性について、物質移行の観点から検証を行う予定です。