

図 11 ブロックスケールにおける物質移行のイメージ

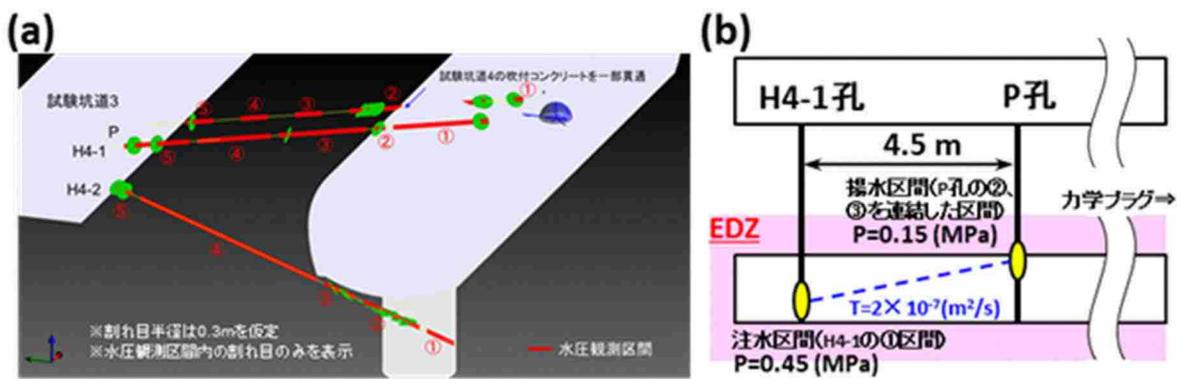


図 12 掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験箇所における割れ目の分布 (a) と試験区間の水理特性 (b)

(a) は試験対象とした試験孔のレイアウト、(b) 試験区間と水理特性を示しています。(b) 中の P は間隙水圧、試験区間の間の透水量係数を示します。

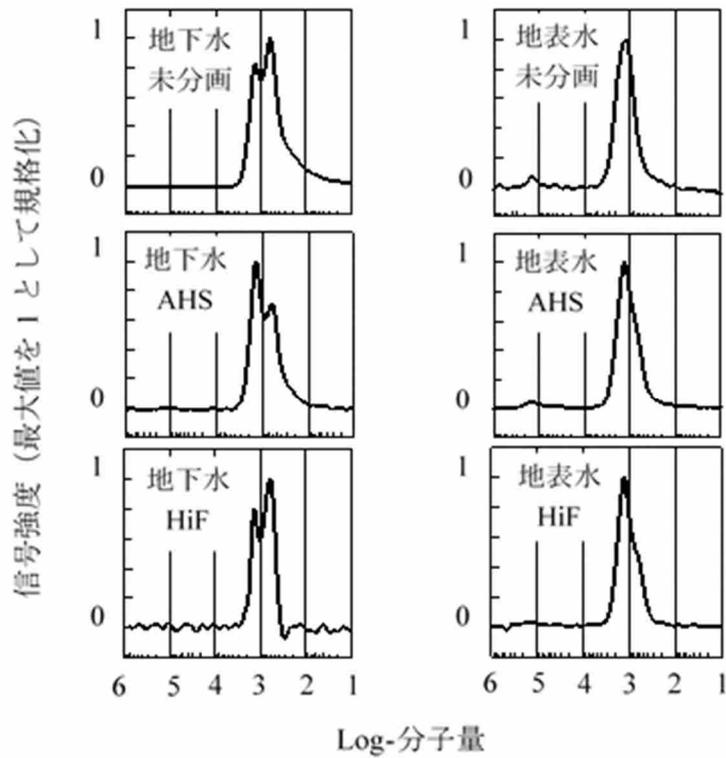


図 13 地下水（深度 140m）および地表水中の有機物のサイズ分布
 AHS：腐植物質、HiF：親水性物質

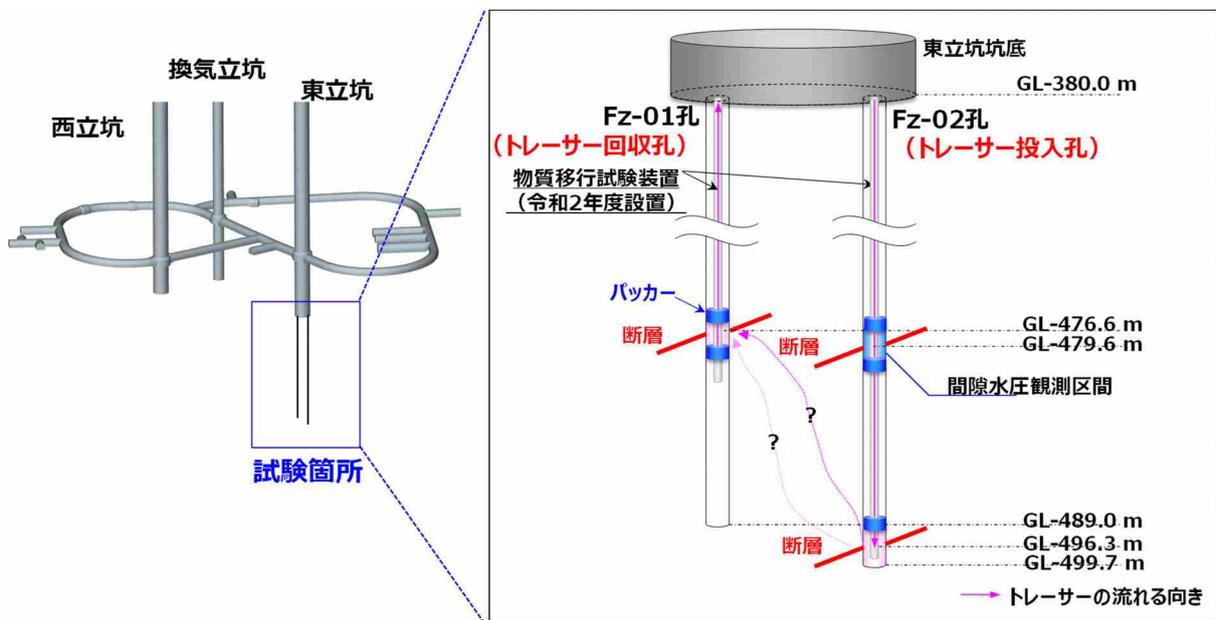


図 14 ブロックスケールを対象としたトレーサー試験箇所（左）および試験レイアウト（右）

5. 処分概念オプションの実証

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

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

令和2年度以降は、操業・回収技術などの技術オプションの実証、閉鎖技術の実証が課題となります。そこで、具体的には以下の3つの項目に取り組んでいきます。

- ・ 搬送定置・回収技術の実証
- ・ 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方法の違いによる品質保証体系の構築

搬送定置・回収技術の実証としては、緩衝材や埋め戻し材の状態に応じたこれらの除去技術の技術オプションの整理、より合理的に人工バリアを回収するための手法の提示、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を行います。

閉鎖技術の実証としては、将来の処分場閉鎖後に、坑道や掘削損傷領域が地上まで直結する移行経路となることを防ぐために、地下施設および周辺岩盤の長期的な変遷を考慮しつつ、埋め戻し材やプラグなどに期待される性能の具体化や設計評価技術の改良・高度化を図ります。また、埋め戻し材やプラグなどの施工方法の原位置環境への適用性・実現性について確認します。具体的には、以下に示す5項目について室内試験や原位置試験、数値解析等を実施していきます。

- ① 埋め戻し材やプラグ等の長期的な性能の考え方の提示
- ② 埋め戻し材の設計評価に必要な緩衝材膨出抑制機能の把握
- ③ 掘削損傷領域を遮断するための施工技術の実証
- ④ 掘削損傷領域調査技術の高度化
- ⑤ 坑道内から掘削されたボーリング孔の閉塞技術の実証

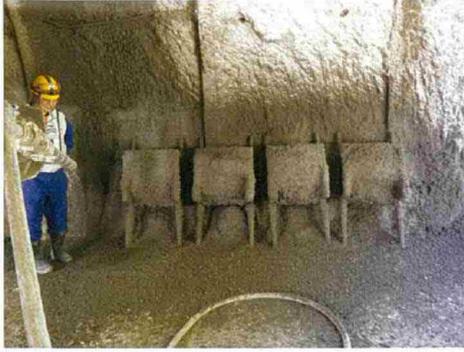
人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いに係る品質保証体系の構築については、人工バリア性能確認試験において、注入する地下水の圧力や量を増加させ、緩衝材に十分に水を浸潤させた状態で

得られる情報等に基づき、埋め戻し材の施工方法（締固め、ブロック方式等）に応じた緩衝材の品質の違いを把握します。また、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把握します。

これらの成果は、将来的に処分場を閉鎖する際に適用される閉鎖技術に求める性能を設定する際やその性能を担保するために必要となる設計・施工技術を選択する際の基盤情報として利用されます。

令和2年度は、搬送定置・回収技術の実証としては、4.1節の人工バリア性能確認試験等のデータを利用して、豎置き・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。加熱試験開始から約6年が経過した人工バリア性能確認試験では、緩衝材の外周部はほぼ飽和しているものの、模擬オーバーパック近傍の緩衝材内側では廃棄体の発熱を模擬したヒーターの加熱により、定置時から飽和度が低下していることが確認されています。実際の処分場においても廃棄体定置後の数十年間は、廃棄体の発熱の影響を受け続けることが想定されます。これにより、例えば廃棄体近傍では緩衝材の飽和度が低く、この結果緩衝材と廃棄体の密着性は小さくなるため、廃棄体を回収するうえで必要となる緩衝材と廃棄体との密着部の除去が比較的容易となる可能性があります。このように、回収作業においては解析等により緩衝材の状態を予測した上で、適した回収技術を選定することが必要であることが考えられます。また、安全に回収作業を行うためには、処分坑道内の空間が保たれていることが必要となります。そこで、吹付けコンクリートの経年劣化の把握を目的としたコンクリート試験体の暴露試験の準備を行いました。具体的には、地下坑道の吹付けコンクリートと同様の成分および施工方法で試験体を作成し（図15）、地下坑道の吹付けコンクリートと同等の特性を有することを確認しました（図16）。試験体は、坑道内における大気条件下および浸潤条件下に定置し、今後、約4年間にわたり暴露試験を継続します。また、幌延でみられる岩盤の変形挙動や脱ガス現象に着目し、坑道開放条件下において岩盤内部で生じうる事象を整理・モデル化し、シミュレーションを実施しました。

閉鎖技術の実証としては、①埋め戻し材やプラグ等の長期的な性能の考え方の提示については、埋め戻し材の変質に影響を及ぼすと考えられるコンクリート成分の溶出に起因する現象を考慮した連成解析を行うとともに、坑道内の水理・物質移行現象に及ぼす影響の程度とその条件について整理を行いました。その結果、設計要件を満たすように埋め戻し材が施工された場合、埋め戻し材の変質は長期的にほとんど進行しない可能性が示唆されました。また、埋め戻し材の性能を変化させる要因となり得るベントナイトの流出挙動を把握するための室内試験の計画を立案しました。②埋め戻し材の設計評価に必要な緩衝材膨出抑制機能の把握については、緩衝材と埋め戻し材を組み合わせた縮尺模型試験を実施しました。その結果から、緩衝材と埋め戻し材の力学的な相互作用を考慮した膨潤変形挙動の評価に必要な膨潤変形量と膨潤圧のデータを整理しました。③掘削損傷領域を遮断するための施工技術の実証については、350m 調査坑道の試験坑道 3 の底盤に構築した粘土系材料を用いた止水壁を対象とした透水試験を実施し、止水壁を含む領域の透水係数を評価しました。また、ベントナイトの吹付けによる施工方法について予備試験を実施しました（図 17）。その結果、吹付けに用いるベントナイト材料の種類や配合によって生じる品質の違いとして、吹付け後のベントナイトの乾燥密度に生じるばらつきを整理しました。④掘削損傷領域調査技術の高度化については、掘削損傷領域の物性値を高精度に探査する試験装置を開発し、幌延の堆積岩への適用性を確認しました。また、350m 調査坑道において、透水試験やトモグラフィ調査による、掘削損傷領域の連続性を評価する上で必要となる初期値を取得しました。さらに、250m 調査坑道、350m 調査坑道の試験坑道 2 および試験坑道 4 の周辺に分布する掘削損傷領域を対象にトモグラフィ調査を実施し、坑道の周辺岩盤の物性値の経時変化について評価しました。⑤坑道内から掘削されたボーリング孔の閉塞技術の実証については、令和 3 年度以降に計画している原位置試験の計画検討を行いました。ボーリング孔を閉塞する際の材料の種類や配合を決定するための考え方や、閉塞方法に関する技術的な課題を抽出・整理しました。



吹付けコンクリート施工状況



コアサンプリング

図 15 吹付けコンクリート試験体作成状況

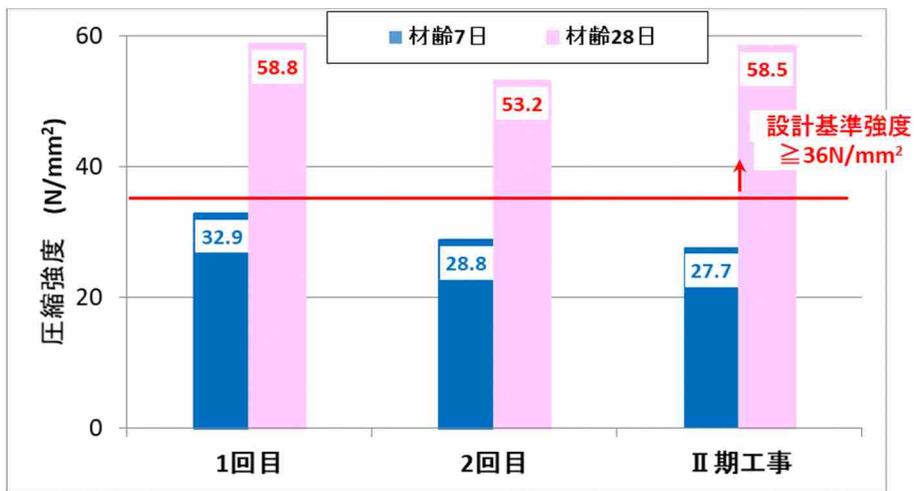


図 16 試験体の圧縮強度の確認



ベントナイト材料の吹付け状況



サンプリングの実施状況

図 17 ベントナイトの吹付けによる施工方法の予備試験実施状況

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については、品質保証体系を構築するために必要となる緩衝材の流出挙動を把握するための試験を継続しました。具体的には、緩衝材試験体と岩盤の間の隙間に何も充填しない状態での試験を行い、試験孔上部へ排水される地下水の量、排水中の緩衝材の量、緩衝材に地下水が浸潤して発生する膨潤圧、試験孔にかかる水圧等を計測しました。その結果、自然湧水環境（湧水量：0.4 L/min）では初期に緩衝材の流出が見られたものの、緩衝材が膨潤し、隙間が埋まるに従って上部に排水される水の量は減少し、約40日後には完全に閉塞して緩衝材が上部に流出しなくなることを確認しました。

令和3年度は、搬送定置・回収技術の実証に関する試験については、令和2年度に製作したコンクリート試験体の暴露試験を継続するとともに、定期的に試験体の分析を行い、地下環境でのコンクリートの劣化挙動に係るデータの取得を進めます。

閉鎖技術の実証としては、①埋め戻し材やプラグ等の長期的な性能の考え方の提示については、令和2年度に実施した連成解析に引き続き、連成解析や水理・物質移行解析を通じ、過年度に設定したシナリオが生起する条件の詳細化を進めます。また、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、過年度に設定したシナリオが生起する条件の詳細化を図ります。また、令和2年度に計画した埋め戻し材の流出現象の発生条件を把握するための室内試験などに着手します。②埋め戻し材の設計評価に必要な緩衝材膨出抑制機能の把握については、令和2年度に実施した埋め戻し材と緩衝材の力学的相互作用を考慮した縮尺模型試験を継続し膨潤変形挙動に係るデータの拡充を図ります。③掘削損傷領域を遮断するための施工技術の実証については、令和2年度に実施した予備試験結果を踏まえ、350m調査坑道において側壁部へのベントナイトの吹付けによる施工方法を検証するための工学規模試験を実施します。④掘削損傷領域調査技術の高度化については、令和2年度に構築した実験サイトでグラウト注入を行い、ボーリングコア採取、室内試験およびトモグラフィ調査を実施します（図18）。また、トモグラフィ調査の中で、令和2年度に開発した高精度の物

理探査技術の適用性も確認します。⑤坑道内から掘削されたボーリング孔の閉塞技術の実証については、令和 2 年度に抽出・整理したボーリング孔の閉塞方法に関する技術的な課題に基づき、粘土系材料のもつ閉塞に係る特性を把握するための室内試験などに着手します。

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については、湧水量が多い試験孔(湧水量:約 1.0 L/min)で緩衝材ブロックと岩盤の間に隙間がある施工方法での緩衝材流出試験を行います。令和 2 年度に実施した湧水量が 0.4 L/min の試験孔で流出が止まった試験と比較しながら、湧水量に対しての施工方法の適用範囲を確認します。

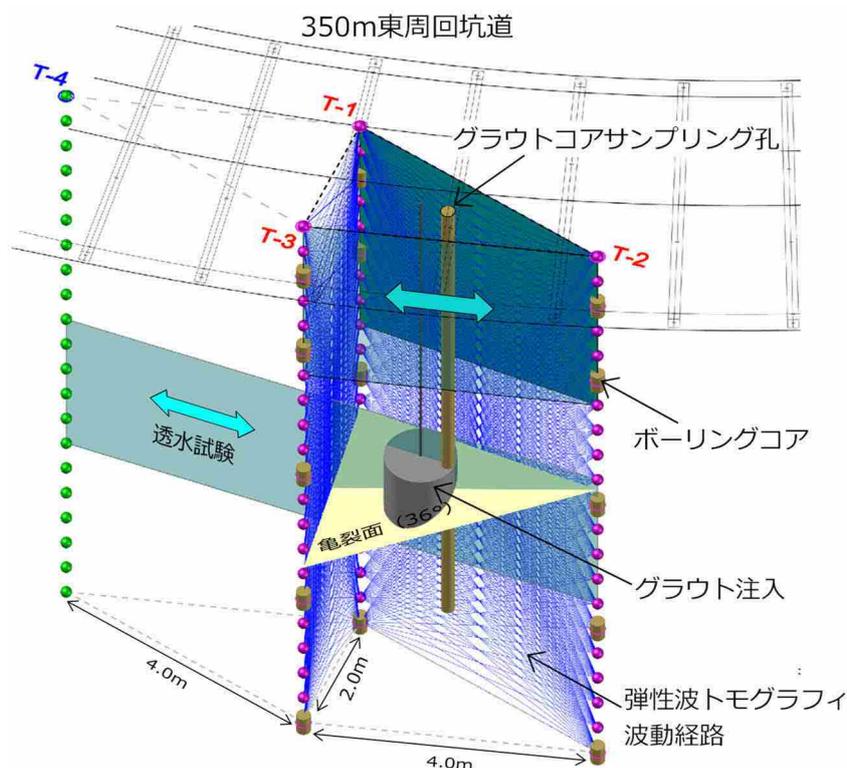


図 18 掘削損傷領域の連続性調査の概念図

プラグを施工する際、掘削損傷領域中の割れ目の連続性や空間分布を把握することは、プラグの設計(厚さや深さなど)をする上で重要な知見となります。この調査では割れ目の連続性や空間分布をより適切に把握するための技術を開発することを目的としています。

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

令和 2 年度以降は、廃棄体の設置方法等の実証試験を通じた坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化が課題となります。そのため、人工バリアに要求される品質を踏まえて、要素技術を体系的に適用し、廃棄体の設置方法（間隔など）を確認します。具体的には、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、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技術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、多接続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・浸入現象評価手法および抑制対策技術の整備、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を行います（図 19）。本研究については、「令和 2 年度以降の幌延深地層研究計画」の研究期間の後半に実施します。

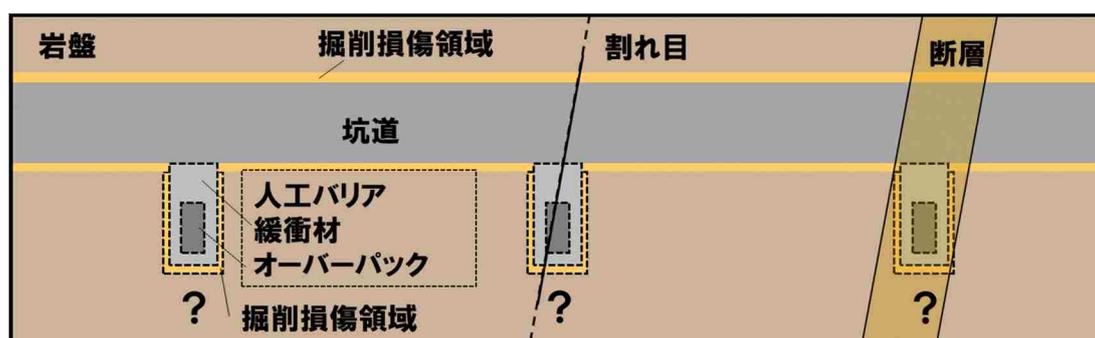


図 19 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化の概念図

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

令和 2 年度以降は、人工バリアの構成要素である緩衝材の最高温度が 100℃を超えた状態での人工バリアとその周辺岩盤の領域（ニアフィールド）において発生する現象の整理、人工バリア性能に係る試験データの整備、解析手法の開発を行うとともに、ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示します。これらの目標が達成されることにより、地層処分場において想定外の要因により緩衝材の温度が 100℃を超えた状態と

なった場合の人工バリアの挙動を検討できるとともに、高温条件下での人工バリアの安全裕度を評価できます。

令和2年度は、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ました。その結果、緩衝材の最高温度が100℃を超えた場合に緩衝材の挙動に与える影響が大きい特性として、蒸発による水分移動特性ならびに物質移動特性が挙げられました。この影響を定量的に見積もるために、蒸発による水分移動特性を把握するための室内試験の実施ならびに蒸発や水蒸気による水分の移動を考慮可能な解析手法の整備の必要性が確認されました。

また、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。スイスのグリムゼル試験場では、地下施設を使用して、緩衝材の温度を最高200℃程度まで上昇させることを想定した人工バリア試験が実施されており（HotBENTプロジェクト）、令和2年度は、廃棄体を模擬したヒーターや緩衝材であるベントナイトの試験坑道への設置が開始されました（図20）。ベントナイトの種類（米国産およびチェコ産）や形状（ブロックおよびペレット）、ヒーターの加熱温度（175℃および200℃）などの試験条件を変化させることにより、異なる条件下での人工バリアの挙動が検証される予定です。また、100℃を超えた状態で人工バリアにおいて生じる現象を観測するために、全圧力、水圧、水分量、飽和度、相対湿度、温度、変位、ガス組成およびガス圧の計測が可能なセンサーが、各ヒーターの周囲やベントナイトの内部、および試験坑道の周囲に配置されています。今後、ヒーターの加熱が開始され、100℃を超えた状態での各パラメータの変化に関するデータが取得される予定です。

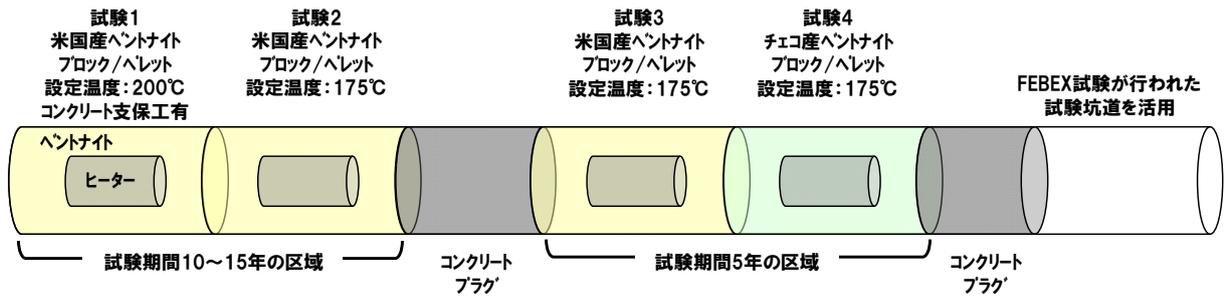


図 20 高温度における人工バリア性能確認試験の概念図
(海外での研究事例)

令和3年度は、100°Cを超えた状態における現象等の調査事例に基づく課題の抽出、データ取得や解析手法の高度化の計画の策定を行うとともに、100°Cを超えた状態での人工バリアの基本特性やニアフィールドでの熱-水理-力学-化学に係る連成現象に関する試験や解析の事例、100°Cを超えた状態で発生しうる現象の検討事例等を調査します。例えば図 21 に示すように、ガラス固化体からの発熱により人工バリア周辺に生じうる現象に対して、100°Cを超えた状態での挙動や特性の変化等に着目した調査を行います。これらの調査結果に基づき、わが国の処分概念や設計オプションを想定して発生しうる現象を整理します。また、海外での原位置試験に関する情報を引き続き入手します。

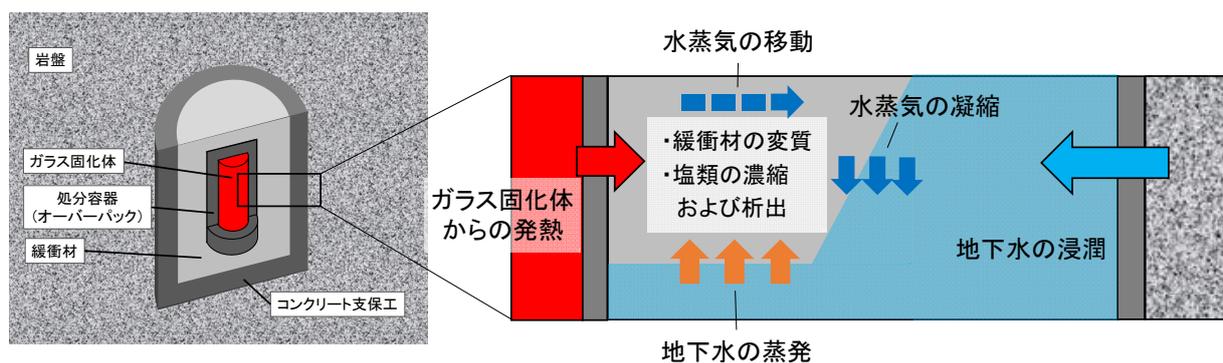


図 21 ガラス固化体からの発熱により人工バリア周辺に生じると想定される現象の概念図

6. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

6.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

6.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

令和 2 年度以降は、地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握が課題となります。そのため、断層沿いに亀裂の発達する幅が数 10cm 程度のより大型の断層における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）の評価手法の確認を行います。具体的には、地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握（ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験）、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活動性評価手法の整備を行います。

令和 2 年度は、地層の透水性を評価する上で重要となる割れ目の水理的連結性について、これまでに稚内層で得られてきている知見やデータの見直しを行いました。稚内層中の割れ目の水理的連結性については、平成 30 年度に DI の概念を用いて、割れ目内に隙間ができやすく、断層同士の連結も促されやすい $DI < 2$ の領域（稚内層浅部）と、割れ目内に隙間ができにくく、断層同士の連結が促されにくい $DI \geq 2$ の領域（稚内層深部）に区分し、浅部が水理的連結性の高い領域である一方で深部が水理的連結性の低い領域であることを透水試験・水圧観測・水質分析結果から示しました⁽¹⁾⁽²⁾。さらに平成 30 年度～令和元年度に、この結果と立坑掘削時に HDB-6 孔で観測された水圧応答との整合性を検討し、同孔の深度 500m 以深で観測された継続的な水圧上昇が割れ目の水理的連結性の低さを表すことを明らかにしました⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。しかし、稚内層深部の深度 500m 以浅では立坑掘削時に水圧低下が一部に認められており、十分な整合性がとれていませんでした⁽⁴⁾。令和 2 年度に既存データの見直しと解析を行った結果、稚内層浅部と稚内層深部の境界から深度方向に 100m ほどの領域に、割れ目の水理的連結性が高い部分と低い部分が共存する遷移領域を仮定することにより、得られているデータを統一的に説明できることが分かりました（図 22、図 23）。この結果に基づけば、地下施設における

深度 500m 以深の領域はこの遷移領域を超えた深度領域に相当することが考えられます（図 23）。

令和 2 年度はさらに、既往の水圧擾乱試験⁽⁵⁾前後の透水試験時に得られた水圧データを解析し、水圧擾乱試験中の高圧注水が断層の水理的不連結性にどのような影響を与えたかを検討しました。その結果、高圧注水によって断層の水理的連結性が一時的に高くなるものの、水圧が元の状態に戻ると水理的連結性も数日の時間差を置いた後に元の低い状態に戻ることが確認できました⁽⁶⁾。この結果は、断層の水理的不連結性が断層面に垂直に掛かる力に支配されていることを示唆しており⁽⁶⁾（図 24）、このようなメカニズムは断層の水理的不連結性をもたらす普遍的な要因として考えられることから、今後も引き続き検討する必要があります。

令和 3 年度は、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ついて、引き続き既存のデータを用いた検討を継続します（図 25）。また、DI を用いた透水性評価手法の高度化に向け、既存の室内実験結果や水圧擾乱試験結果を用いた既存の DI モデル⁽⁷⁾の再検証を行います。

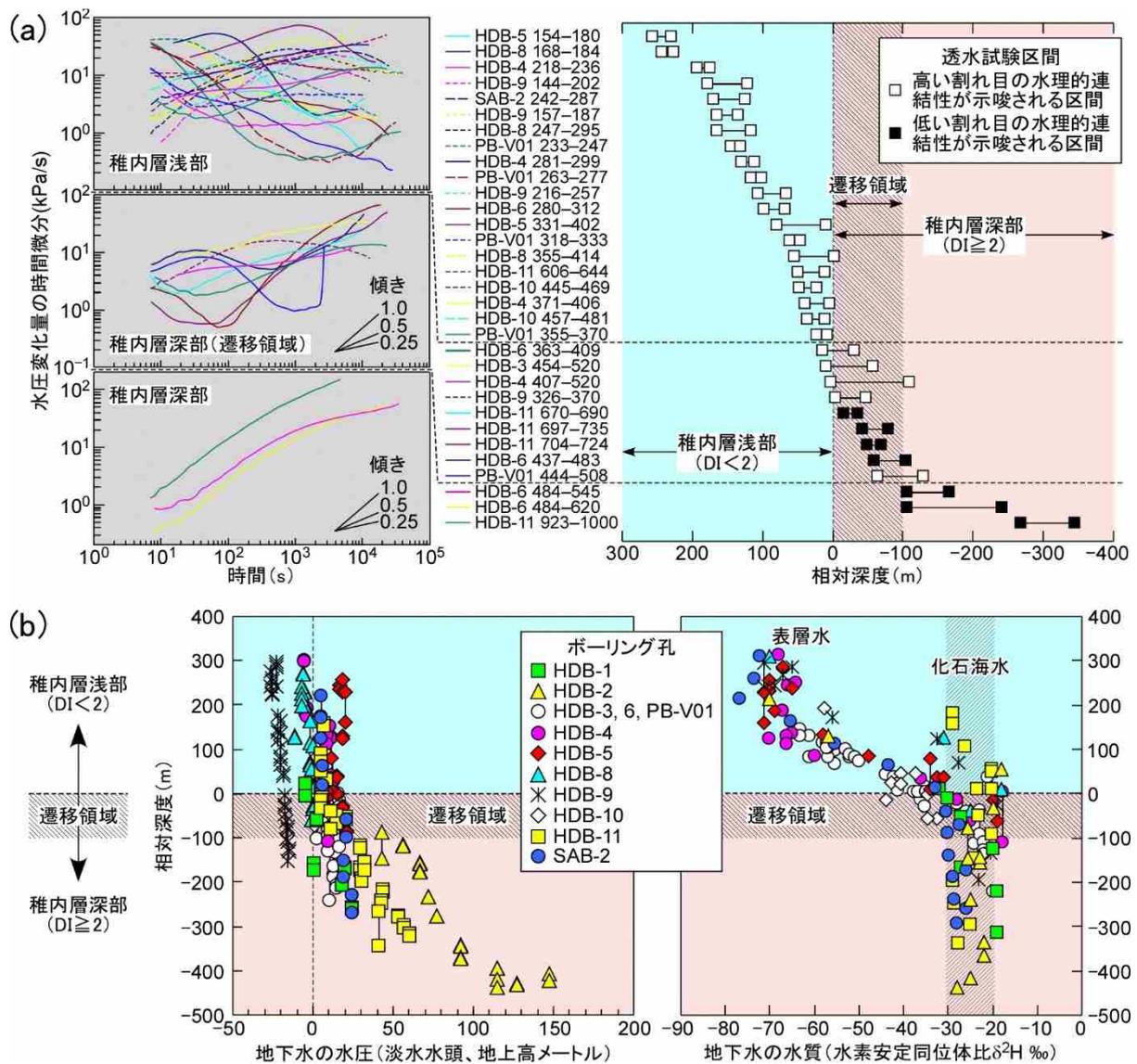


図 22 (a) 稚内層の割れ目を対象とした透水試験時の水圧変化 (b) 地下水の水圧と水質のボーリング孔における深度分布⁽¹⁾に加筆

(a) 透水試験の中～後半の時間帯で水圧の変化速度が一定若しくは小さくなる場合は割れ目の水理的連結性が高く、大きくなる場合は水理的連結性が低いことが示唆されます。稚内層浅部では前者の水圧挙動、稚内層深部(遷移領域)では両者の水圧挙動、そして稚内層深部では後者の水圧挙動が認められます。(b) 稚内層深部(特に遷移領域より深い領域)は、淡水水頭が深度とともに変化することから、水を通しにくいことが示唆されます。さらに稚内層深部は、遷移領域では表層水の混入が認められるものの、化石海水が残っていることが確認できます。これらの水圧・水質情報は割れ目が水理的に連結していないことを示唆します。

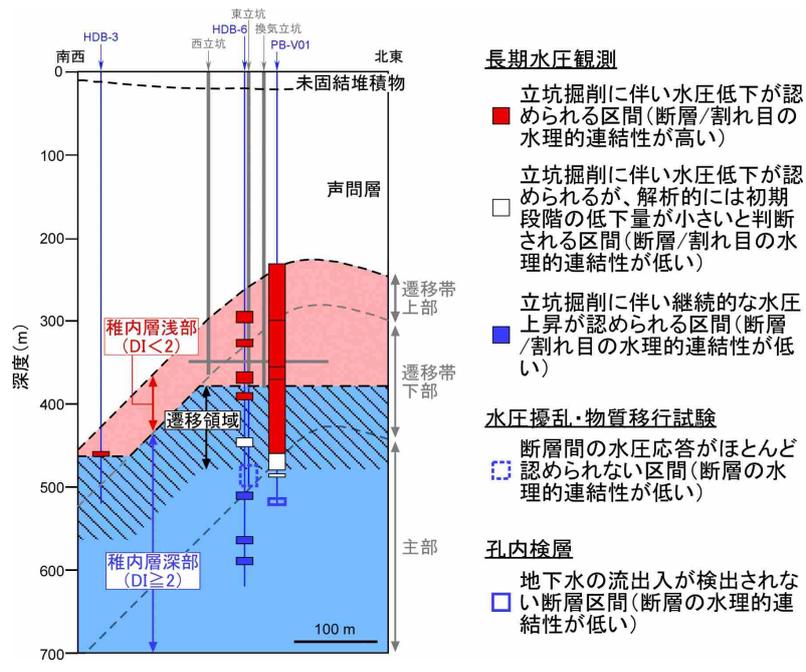


図 23 稚内層中の割れ目の水理的連結性に関する DI を指標とした領域区分とボーリング孔で得られた水理学的情報との比較

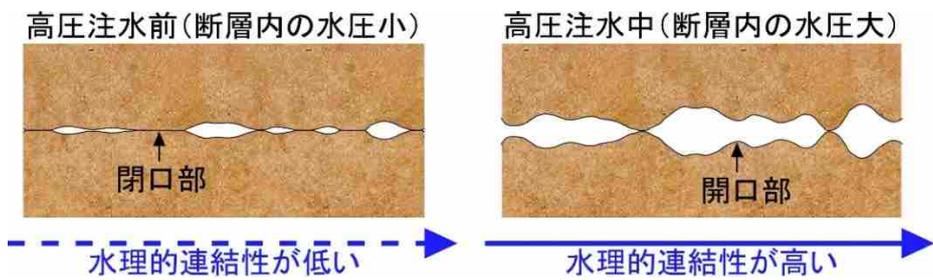


図 24 水圧上昇による断層内の開口部と水理的連結性の増加

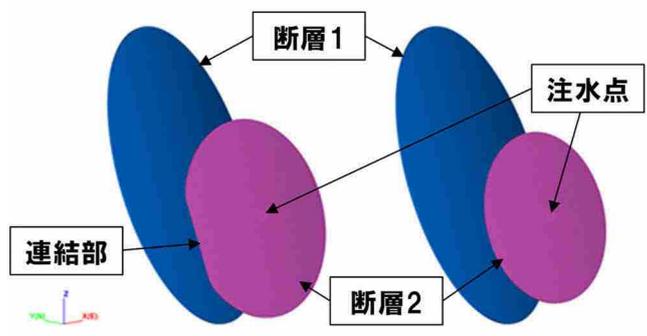


図 25 原位置試験から推定される断層の水理的連結性を複数のモデルを用いた水理解析により検証 (左図: 断層が一部で連結するモデルの例; 右図: 断層が連結しないモデルの例)

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

令和2年度以降は、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が課題であり、このような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実証を行います。具体的には、化石海水領域の三次元分布に係る調査・評価手法の検証、広域スケール(10数km×10数km)を対象とした水理・物質移行評価手法の検証(地下水滞留時間評価)のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移行解析を行います。

この研究課題で整備される技術は、処分事業のサイト選定において、地質環境に求められる要件の一つとして挙げられている「放射性物質の移行を抑制する緩慢な地下水流動の水理場であること」を評価する際に役立ちます。本研究課題においては、化石海水が存在するような地下水の動きが非常に遅い環境を調査してモデル化する技術を実証するため、具体的には、以下を実施します。

- ① 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
- ② 化石海水領域の三次元分布に係る調査・評価手法の検証
- ③ 広域スケール(10数km×10数km)を対象とした水理・物質移動評価手法の検証(地下水滞留時間評価)のための水理解析および塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析

①地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)の調査・評価技術の検証では、地上からの主要な調査である物理探査とボーリング調査を対象に、化石海水領域を把握するための調査技術としての適用性やより効率的に把握するための調査仕様や手順などを検証します。②化石海水領域の三次元分布に係る調査・評価手法の検証では、幌延地域において取得されたデータを用いて化石海水の三次元分布を推定し、化石海水を指標として地下水の流れが非常に遅い領域を推定するための一連の手法を整理します。③広域スケール(10数km×10数km)を対象とした水理・物質移動評価手法の検証(地下水滞留時間評価)のための水理解析および塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析では、地質環境中における過去から現

在までの地下水の流動や化学的状態などの移り変わり（古水理地質学的変遷）が、化石海水の三次元分布におよぼす影響について解析を通じた検討を行うとともに、化石海水領域の三次元分布の評価結果を踏まえた広域スケールの解析手法について検討します。

令和2年度は、①化石海水領域の調査・評価技術の検証については、化石海水の分布を推定するために、地下の電気の流れやすさ（比抵抗）を調査するための電磁探査を実施しました。また、化石海水の分布と地下の地層や断層の分布との関係性を調べるために、反射法地震探査も同時に実施しました。令和2年度の物理探査では、既往の物理探査よりも三次元的かつより深部への拡がりや推定可能な手法を適用しました。その結果、既往の電磁探査では、より狭い範囲の推定であり、さらに深度400～500mまでの推定が限界でしたが、令和2年度の電磁探査では、それよりも深い部分の範囲も含め三次元的な比抵抗の拡がりを推定することができました（図 26のa）。さらに、電磁探査から推定した比抵抗分布から地下水の塩濃度の分布を推定した結果、幌延深地層研究センターの周辺を境に、南西側で塩濃度が高く、また、北東側で低くなっていることが分かりました（図 26のb）。②化石海水領域の三次元分布に係る調査・評価手法の検証については、化石海水の三次元分布を効率的に理解するための地上からのボーリング調査の位置・本数を検討しました。③広域スケールを対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間評価）のための水理解析および塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析については、これまでに実施した既存の水理解析結果に基づき、深度、地質・地質構造分布、気候などの条件の違いが解析結果である地下水移行時間に与える影響を整理しました。

令和3年度は、①化石海水領域の調査・評価技術の検証については、令和2年度の電磁探査の結果から推定した塩濃度分布（図 27のa）と既往のボーリングの水質データから推定した塩濃度分布（図 27のb）を比較して誤差が大きい領域を把握するとともに、誤差が大きくなる領域の確からしさを、ボーリング調査により確認します。また、幌延町沿岸部の浅

海域において海上物理探査を産業技術総合研究所*6との共同研究として実施します。②化石海水領域の三次元分布に係る調査・評価手法の検証については、物理探査とボーリング調査を組み合わせた効率的な手法を検討するために、令和2年度に実施した物理探査データを用いて、異なる調査数量条件で化石海水の三次元分布を推定し、それらを比較することで最適な調査数量を確認します。③広域スケールを対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間評価）のための水理解析および塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析については、地下水移行時間評価や塩濃度三次元分布評価に関して、観察事実と解析結果の相違点の要因を分析し、解析方法を改良します。

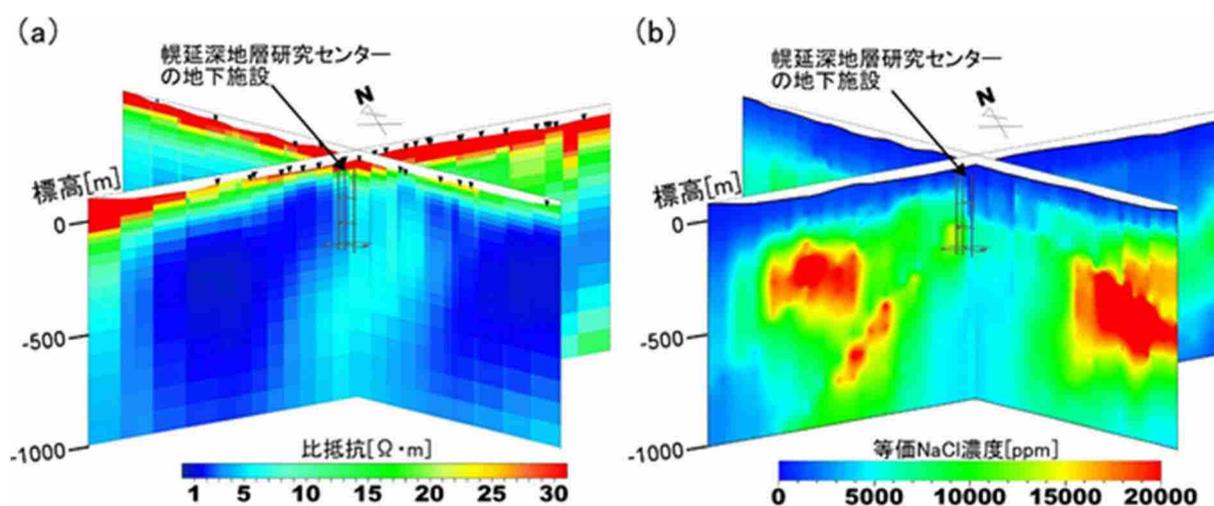


図 26 令和2年度の電磁探査の結果の一例 (a) 比抵抗の分布、 (b) 比抵抗から推定した塩濃度（等価 NaCl 濃度）の分布

*6 国立研究開発法人産業技術総合研究所は、産業技術の広い分野における様々な技術開発を総合的に行っている研究組織です。

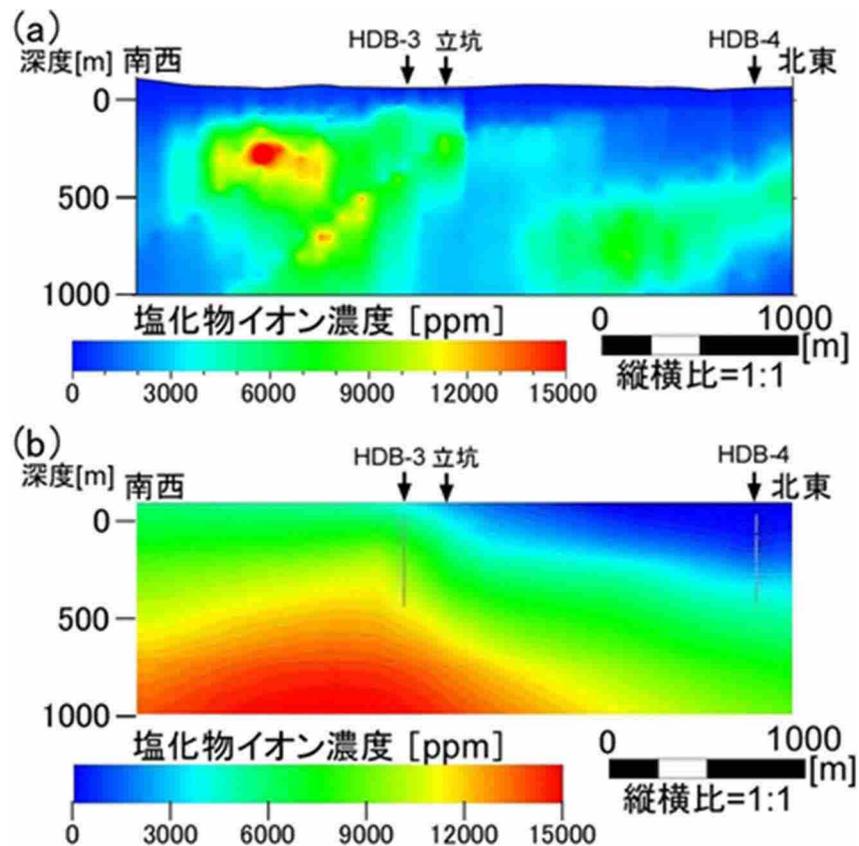


図 27 幌延深地層研究センター周辺における塩化物イオン濃度の分布
 (a) 電磁探査により得られた比抵抗分布に基づき推定した結果、(b) 既往のボーリング孔における水質データに基づき推定した結果

6.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

令和 2 年度以降は、地殻変動による緩衝材や坑道埋め戻し材の掘削損傷領域への自己治癒能力の実証が課題となります。そのため、ひび割れに対する自己治癒能力の実証を行います。具体的には、緩衝材や坑道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）に与える影響を把握する解析手法の開発を行います。

令和 2 年度は、掘削損傷領域の割れ目の開口状況を定量的に把握するために、原位置で樹脂注入を行った後に採取した割れ目試料の詳細な観察を行いました。その結果、最大で 1 mm 程度のせん断変位が割れ目沿いに発生していることが確認できる一方で、そのせん断変位量と開口幅（0.2～0.3 mm）の相関性が小さいことが分かりました（図 28）。一般に、せん断変位とともに割れ目の開口幅が増加することが既往の室内実験により知られていますが、今回の結果では、そのような傾向は認められ

ませんでした。この原因として、割れ目面に垂直に掛かる力が大きいために、せん断変位に伴う割れ目開口が抑制されている可能性が考えられます。今回の結果は、掘削損傷領域の割れ目の開口メカニズムを理解する上で重要であることから、引き続き検討を行う必要があります。

令和3年度は、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、DIを用いた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6.1.1の検討と合わせて行います。これらの結果を踏まえ、緩衝材や埋め戻し材の膨潤が掘削損傷領域の圧力状態(DI)を変化させることにより、同領域内の割れ目(ひび割れ)がどの程度閉塞し得るかを検討していく予定です。

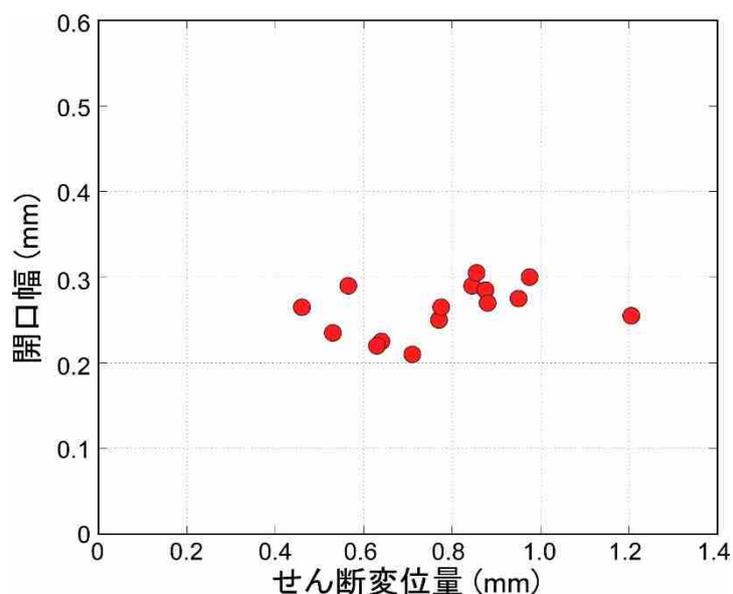


図 28 掘削損傷領域の割れ目で計測された開口幅とせん断変位量の関係

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

令和2年度以降、人工バリア性能確認試験や物質移行試験などの処分システムの設計・施工や安全評価に関わる基礎情報、例えば、岩盤の水の流れやすさや岩石の鉱物組成や化学組成、地下水のpHや酸化還元電位^{*}、化学組成等のデータの取得等については、令和2年度以降の必須の課題への対応に必要なことから、引き続き必要最低限のデータを取得し、処分システムの設計・施工や安全評価に関する研究を行う試験場所の地質環境特性を明確にし、それらの手法の評価に用いることとなります。なお、処分システムの設計・施工手法や安全評価手法の信頼性を確認するために必要となるデータが取得できているかを含めて評価することが必要であるため、計測手法の妥当性を確認し、必要に応じて調査技術・機器の改良を行います。

令和2年度におけるデータ取得例として、ここでは地下水のpHや酸化還元電位、圧力などの物理化学パラメータのモニタリング結果を示します。地下施設の建設に伴う坑道周辺の地下水の水質変化を把握するため、既存のボーリング孔を対象に地下水の採水調査を行いました。地下水のpHや酸化還元電位などの物理化学パラメータについては、大気中の酸素との接触や圧力の低下などの影響を低減させた原位置の地下水の値を取得するために、350m調査坑道に設置している水圧・水質モニタリング装置を用いて、物理化学パラメータを取得しています。人工バリア性能確認試験の試験箇所周辺のボーリング孔に設置した水圧・水質モニタリング装置から得られた結果では、pHや酸化還元電位について、令和元年度までと同様の結果が得られました。水圧については、人工バリア性能確認試験の注水量の変化に伴う水圧の変化が確認されました（図29）。