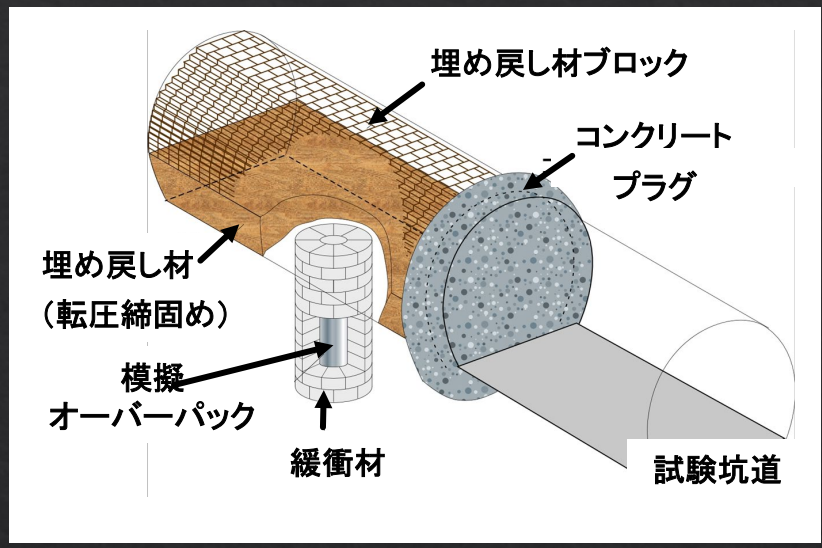
幌延深地層研究計画

令和2年度調査研究成果報告
令和3年度調査研究計画説明

日本原子力研究開発機構　幌延深地層研究センター

目次



Ⅰ 令和2年度以降の必須の課題および必須の課題への対応に必要なデータ取得

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
4. 必須の課題への対応に必要なデータ取得

Ⅱ 環境・安全管理について

5. 地下施設の管理
6. 環境調査
7. 安全確保の取組み
8. 開かれた研究

Ⅲ その他

・処分場の選定プロセスと幌延深地層研究センターの関係
・幌延町における深地層の研究に関する協定書（抜粋）

Ⅰ 令和2年度以降の必須の課題および必須の課題への対応に必要なデータ取得

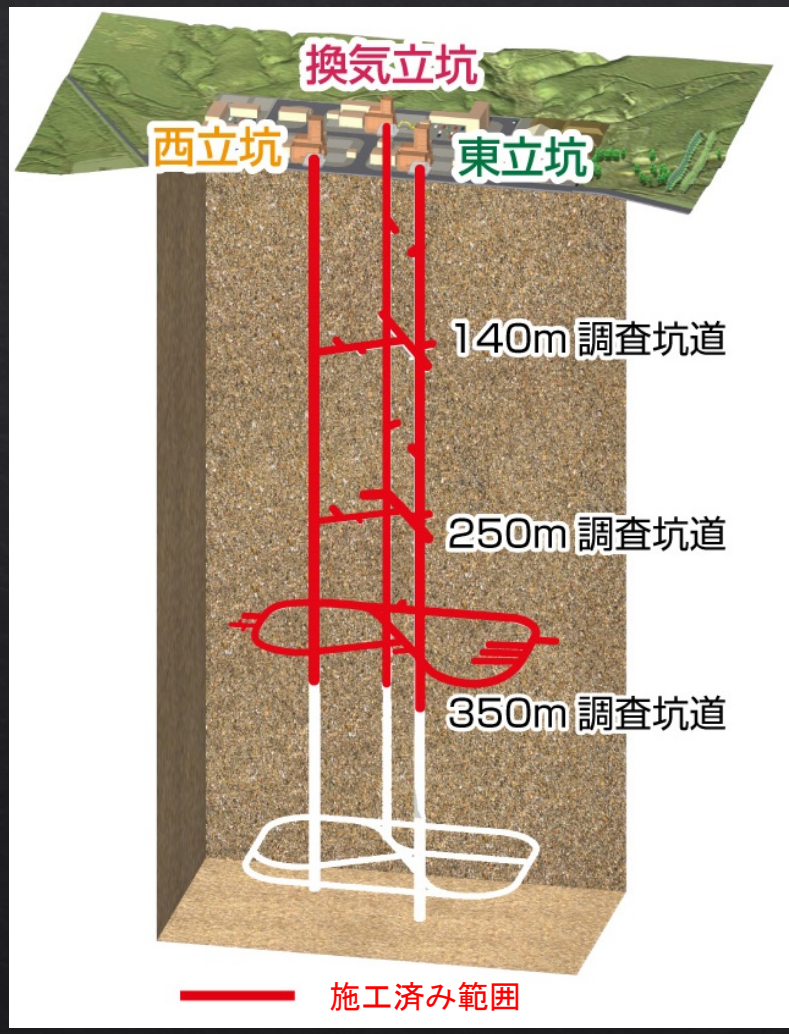
1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
2. 処分概念オプションの実証
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
4. 必須の課題への対応に必要なデータ取得

Ⅱ 環境・安全管理について

5. 地下施設の管理
6. 環境調査
7. 安全確保の取組み
8. 開かれた研究

Ⅲ その他

・処分場の選定プロセスと幌延深地層研究センターの関係
・幌延町における深地層の研究に関する協定書（抜粋）



※このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。

令和2年度以降の研究課題

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

人工バリア性能確認試験の解体調査のイメージ

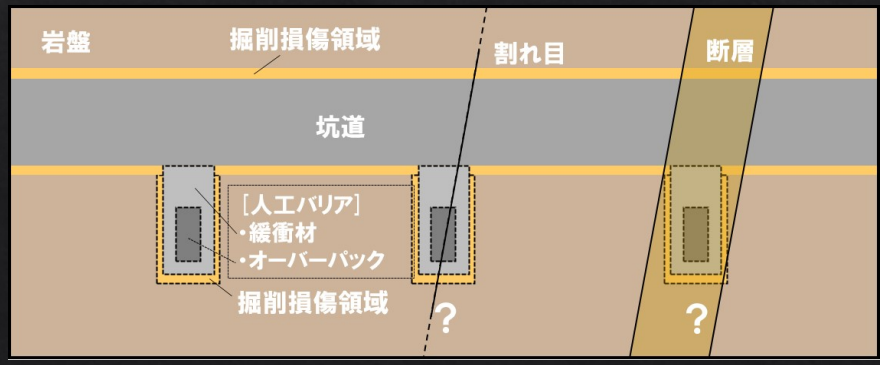
2. 処分概念オプションの実証

- 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
- 100℃以上の限界的条件下で人工バリアの性能を確認

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を整理

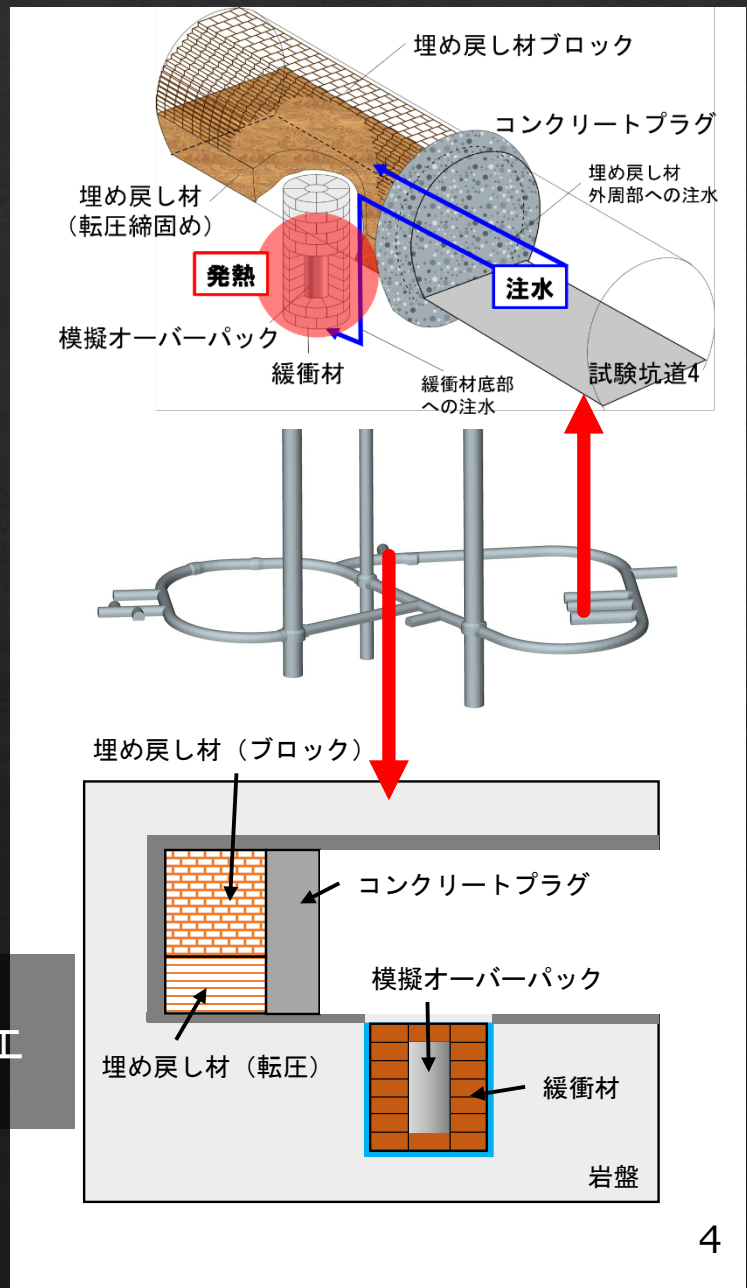
1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

(1)人工バリアの性能確認試験1

【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

人工バリア周辺で起こる現象を理解すること

- ➢緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータをもとに熱ー水ー応力ー化学連成評価手法を整備
- ➢人工バリアを解体し、緩衝材の飽和度を確認



人工バリア性能試験の一部を模擬した試験施工イメージ図(断面図)

報ーP15

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

（1）人工バリアの性能確認試験2

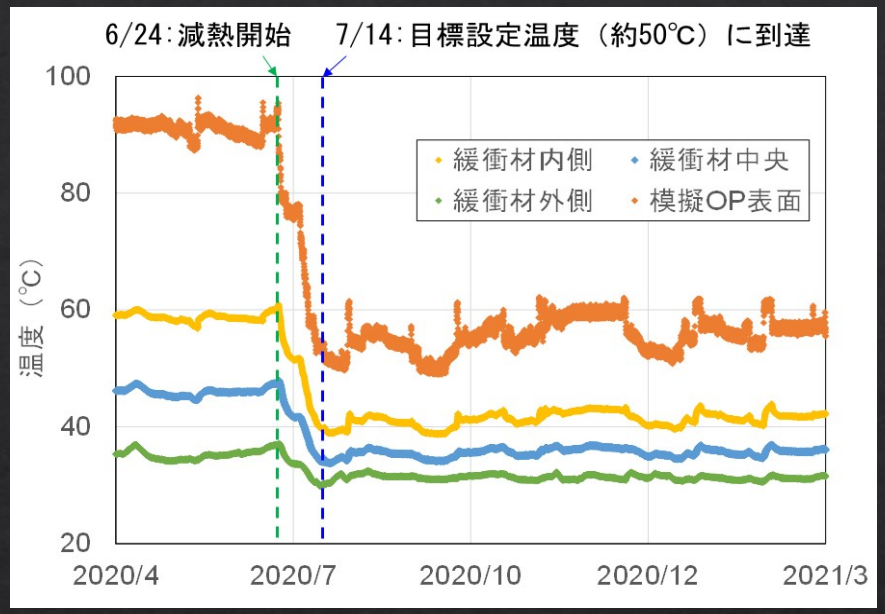
【令和2年度の実施内容と成果1】

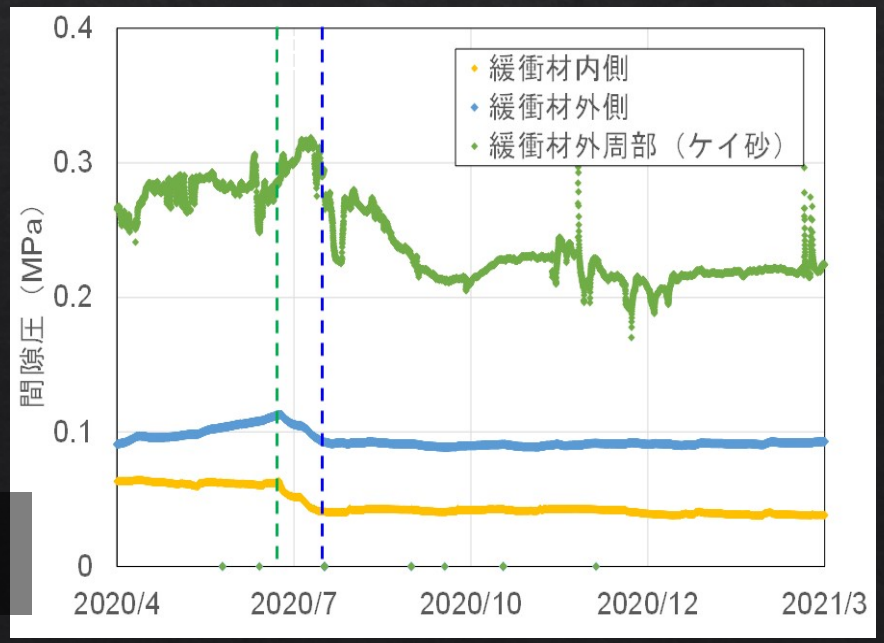
●廃棄体が冷めるとどうなるのか

模擬オーバーパックの温度を90℃から50℃に下げて、緩衝材中の温度変化や間隙水圧変化を観測

その結果－

緩衝材中の温度が下がり、衝材中の間隙圧も低下した。これは緩衝材中の空気の圧力が下がったため





人工バリア性能試験で取得した計測データの一例

報－P15～17

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

（1）人工バリアの性能確認試験3

【令和2年度の実施内容と成果2】

人工バリアの解体方法を確認

このため別坑道に予備検討用の埋め戻し材、プラグ、試験孔、模擬オーバーパック、 緩衝材を設置

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・
コンクリート支保打設

緩衝材ブロック
設置

模擬オーバーパック
の設置

施行完了

施工の様子

報ーP18～19

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

（1）人工バリアの性能確認試験4

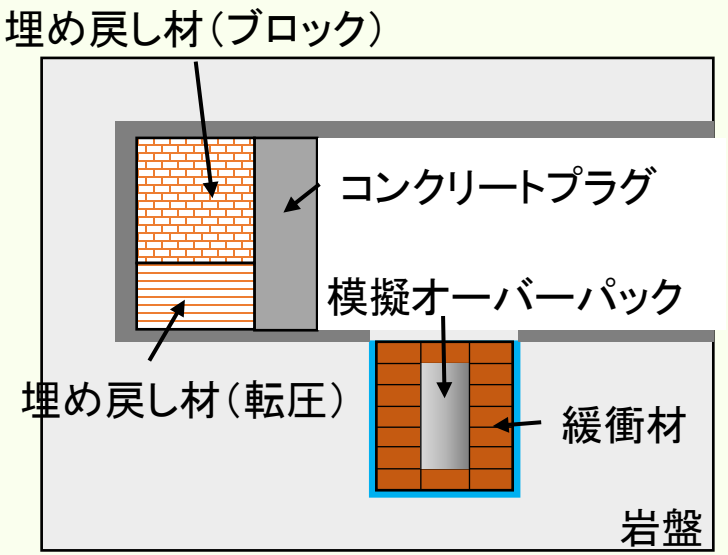
報－P18～19

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

（1）人工バリアの性能確認試験5

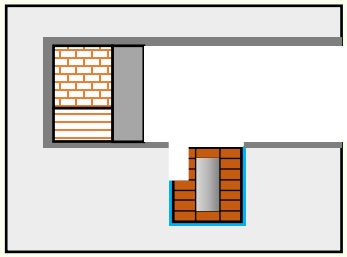
【令和3年度の計画】

- 模擬オーバーパックのヒーターを停止　熱による影響を無くした条件での試験に移行
- 国際共同研究（DECOVALEX）を継続　令和2年度に定めた解析条件で共同解析し、比較検証
  また、空気を考慮した熱－水－応力連成挙動に関する室内試験を開始
- 人工バリアの解体方法の予備検討として試験体を解体　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、センサー類などのサンプリング方法を確認

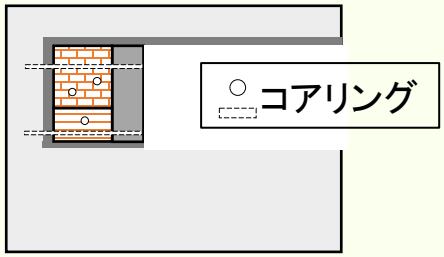


人工バリア性能試験の一部を模擬した試験施工　イメージ図（断面図）

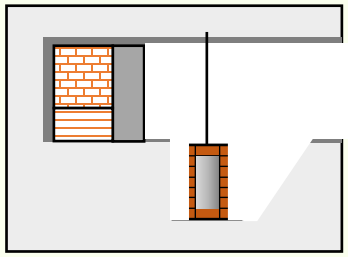
解体調査

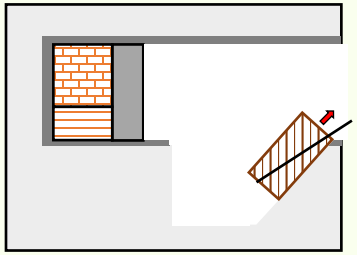


緩衝材、センサーのサンプリング



埋め戻し材、プラグ、岩盤のサンプリング（一体化コアサンプリング）





模擬オーバーパックの一体取り出し

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1

【研究開発の目的と令和10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を整備

(A)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

(B)有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験

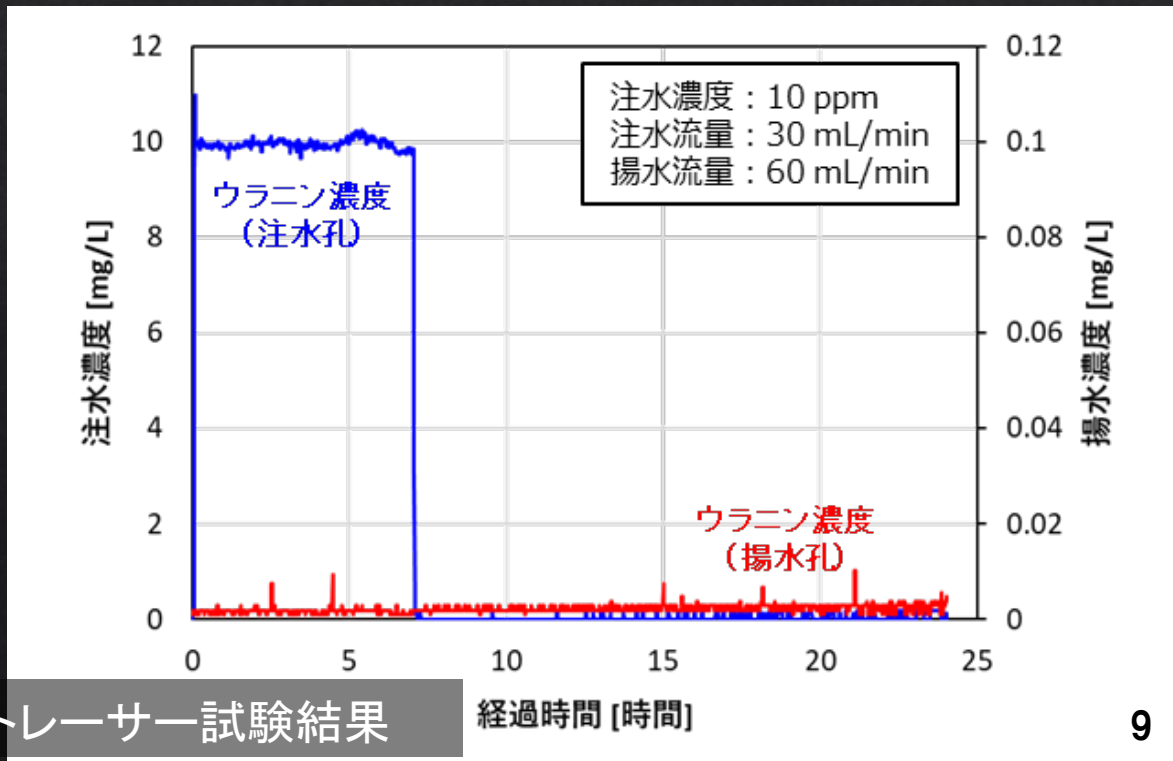
(C)掘削損傷領域、岩盤中の割れ目を含むブロックスケール（数m～100m規模）の物質移行評価手法を整備

【令和2年度の実施内容と成果】

(A)は試験における濃度設定に関する情報を取得

(B)は次のページで説明

(C)は準備作業を完了



掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験結果

報ーP20～22

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2

【研究開発の目的と令和10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を整備

（A）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

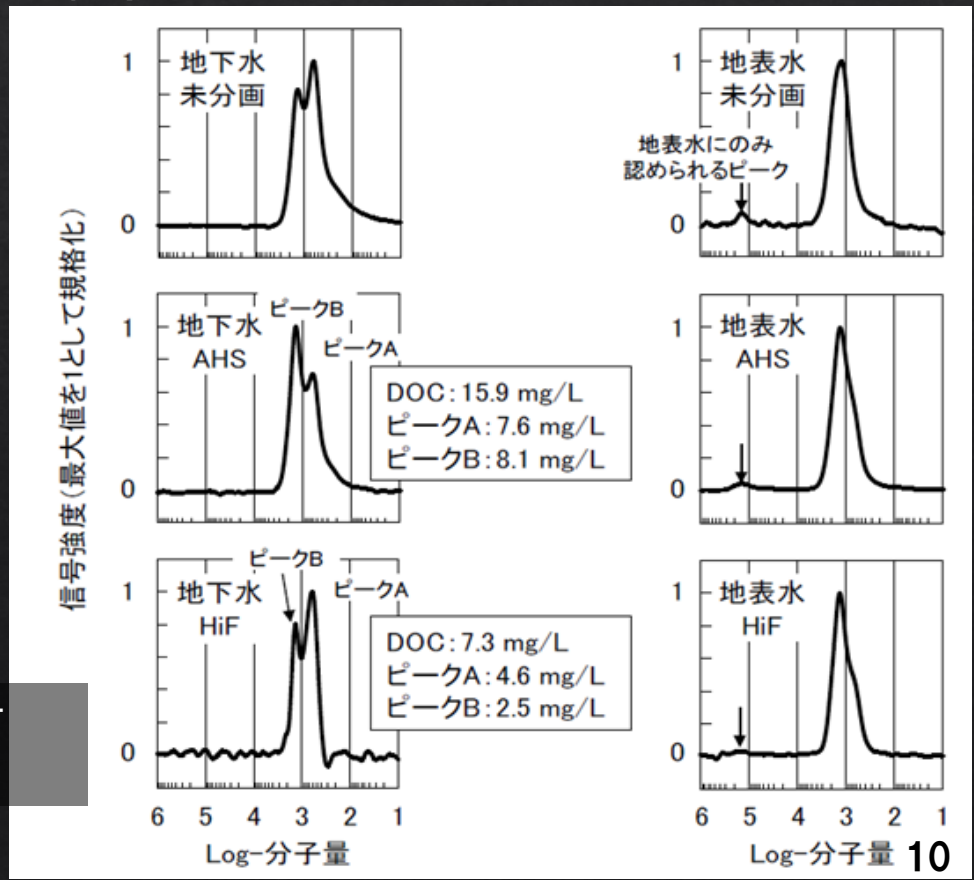
（B）有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験

（C）掘削損傷領域、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
移行評価手法を整備

【令和2年度の実施内容と成果】

（A、C）は説明済

（B）は地下水中の有機物データである濃度、サイズ分布、構成を取得した（右図）



深度140mの地下水と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）

報ーP23～25

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

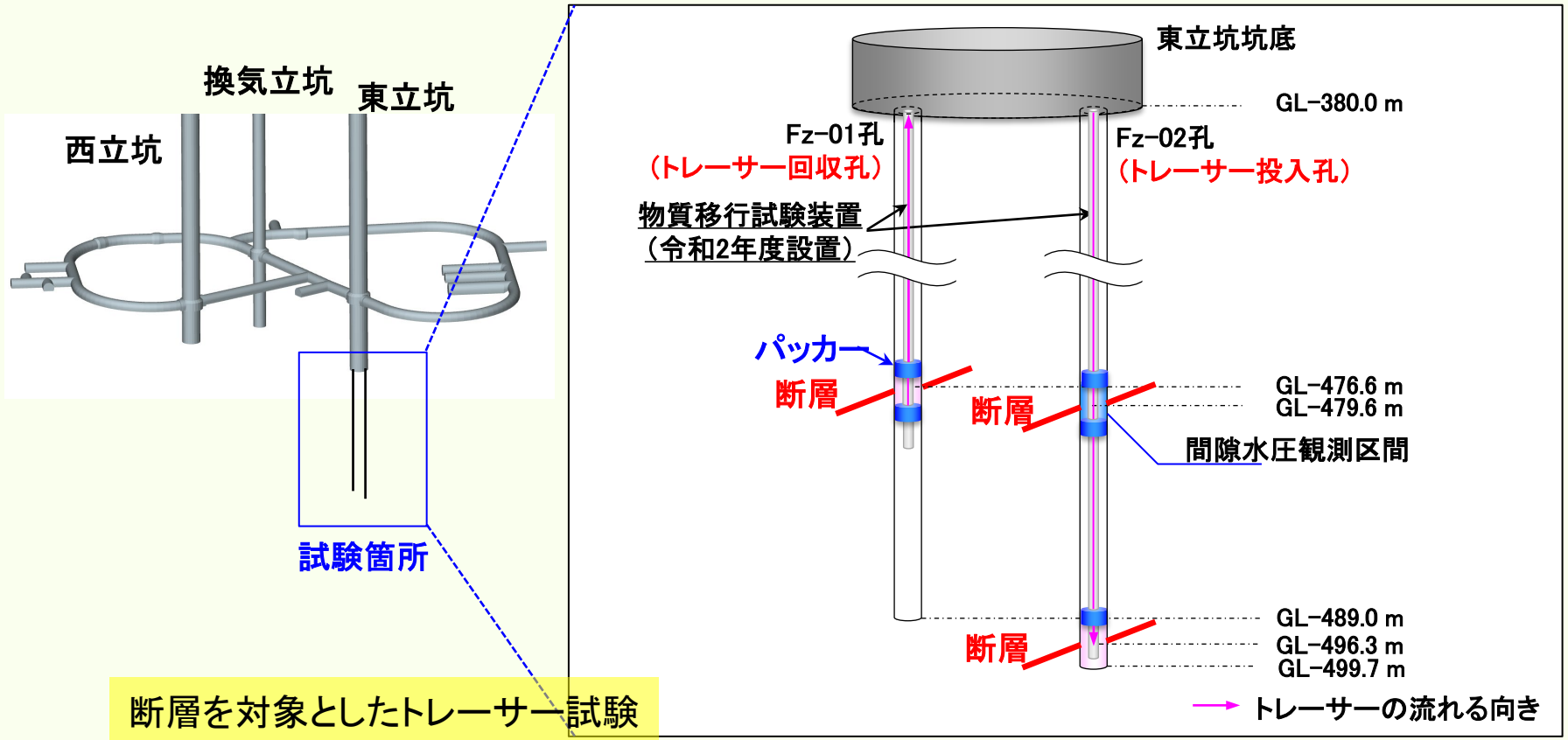
（2）物質移行試験3

【令和3年度の計画】

(A) 掘削損傷領域でのトレーサー試験の評価、水理・物質移行に関するデータ取得を継続

(B) 微生物・有機物・コロイドが核種移行に及ぼす影響を確認する原位置試験を開始

(C) ブロックスケールを対象としたトレーサー試験を実施



断層を対象としたトレーサー試験

2. 処分概念オプションの実証

（1）人工バリアの定置・品質管理などの方法論に関する実証試験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1

【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

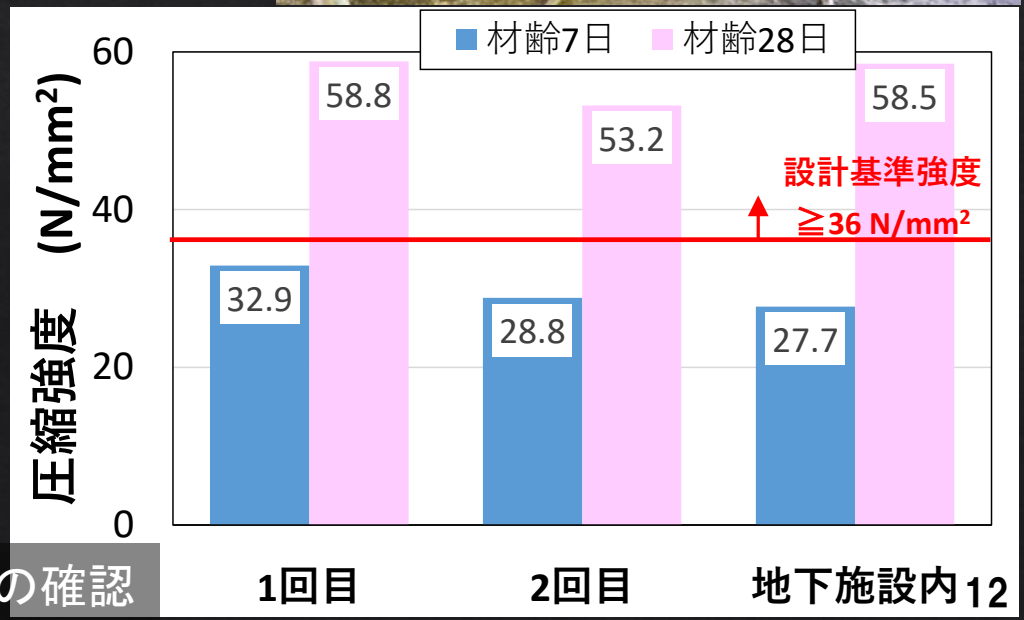
坑道の閉鎖技術や閉鎖システムの性能を担保する設計・施工技術の選択肢を整理

- 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の品質保証の仕組みや考え方を体系的に整理

吹付けコンクリート施工状況

【令和2年度の実施内容と成果】

- コンクリート支保の経年変化を調査する曝露試験の準備として、地下坑道の吹付けコンクリートと同等の力学特性や成分をもつ試験体を作製し、地下坑道と同じ大気と湿潤条件下に置いた



試験体の圧縮強度の確認

報ーP30～32

2. 処分概念オプションの実証

(1)人工バリアの定置・品質管理などの方法論に関する実証試験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2

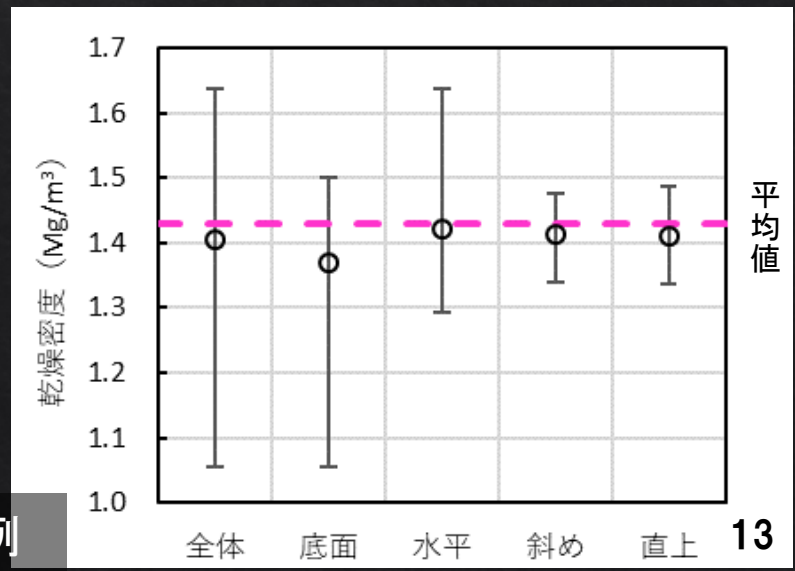
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

坑道の閉鎖技術や閉鎖システムの性能を担保するための設計・施工技術の選択肢を整理

【令和2年度の実施内容と成果】

- 埋め戻し材やプラグ等の設計・施工・性能評価技術を向上させるために、止水プラグに用いるベントナイトの吹付け施工試験を実施し、材料の種類、配合の違いによる品質の違いを整理

吹付け試験の様子例



吹付け試験結果の例

報ーP46～52

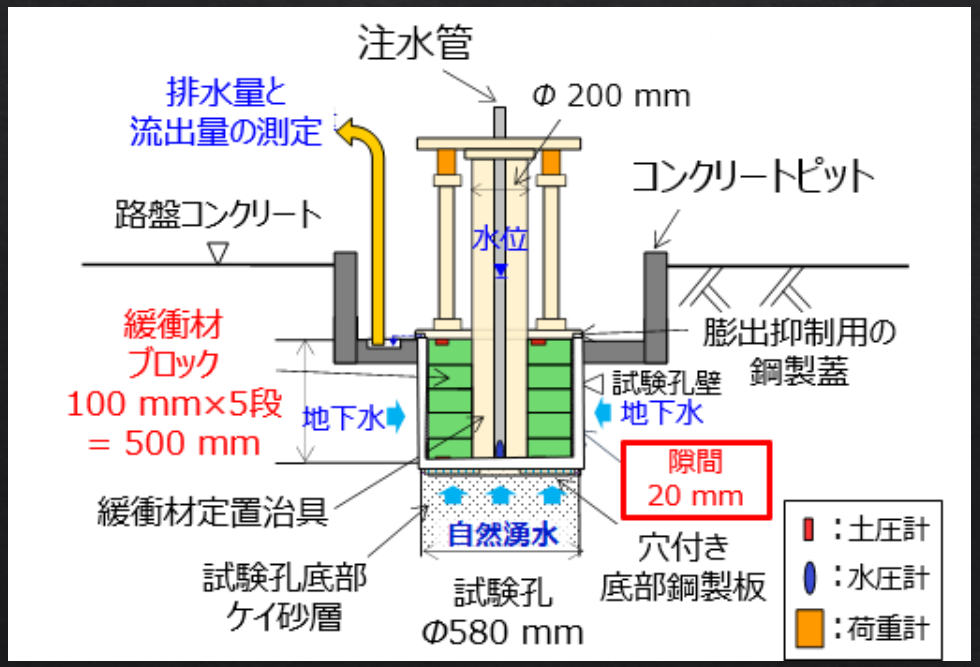
2. 処分概念オプションの実証

（1）人工バリアの定置・品質管理などの方法論に関する実証試験3

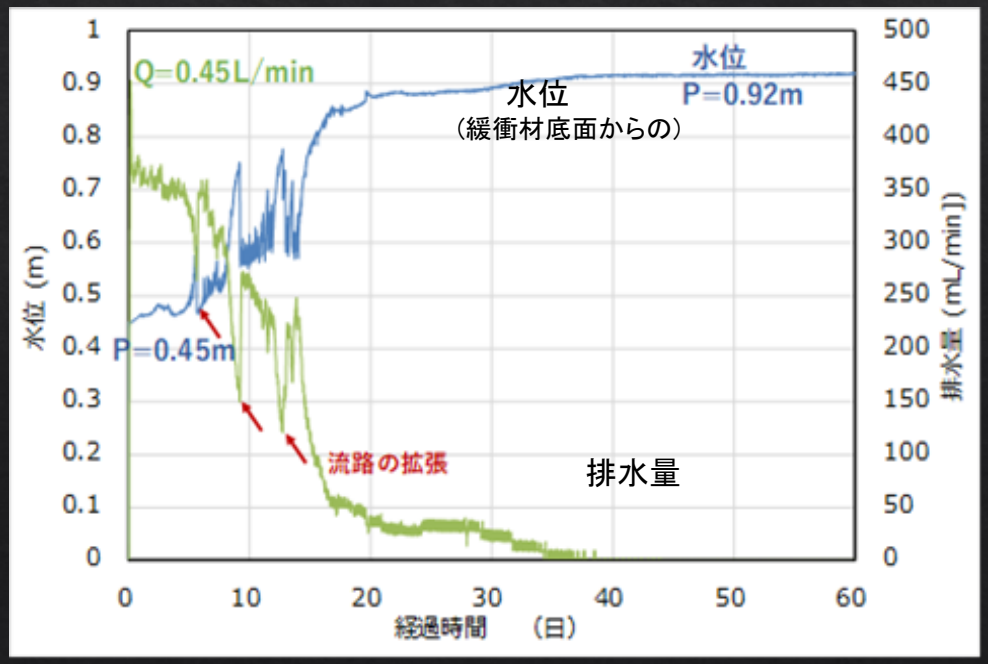
操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証3

【令和2年度の実施内容と成果】 自然湧水がある場合、緩衝材は初期に少し流れ出すが、その後は緩衝材が膨らんで隙間を埋めるため、流出は止まる

緩衝材への水の浸潤挙動を把握するための試験を実施し、上記を確認



緩衝材流出試験の概念



緩衝材流出試験期間中の排水量と水位

報ーP64～66

原子力環境整備促進・資金管理センターと共同で実施

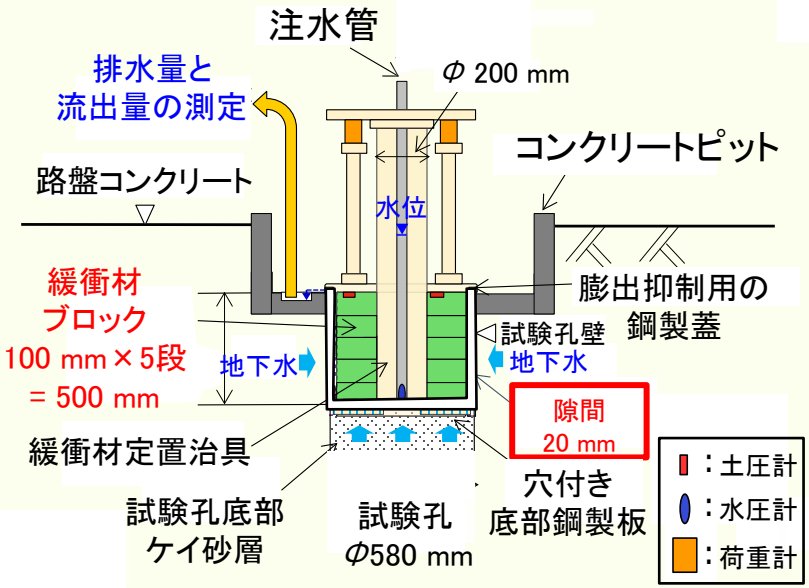
2. 処分概念オプションの実証

(1)人工バリアの定置・品質管理などの方法論に関する実証試験4

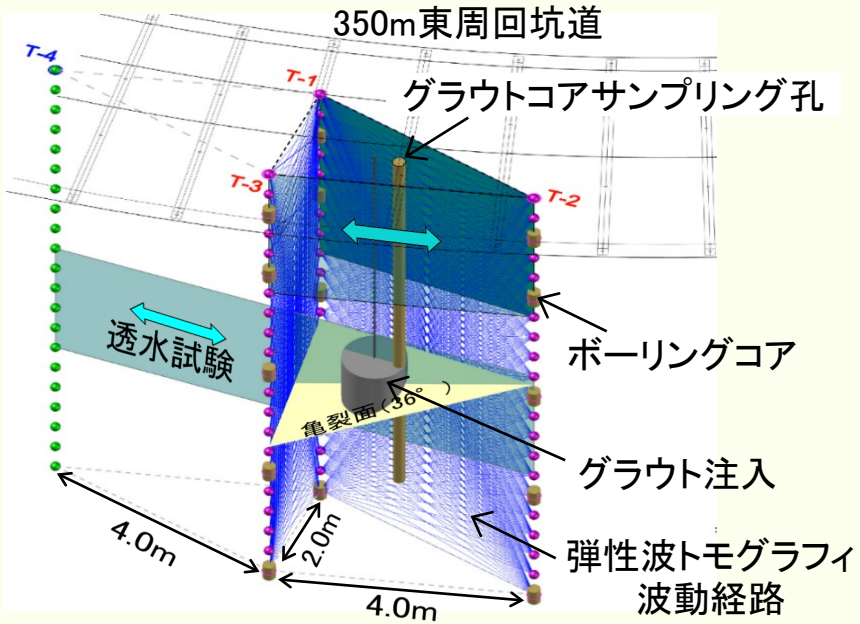
操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証4

【令和3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、坑道で生じる現象の整理を継続
- 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(場の状況に応じた施工技術、基本性能とその長期挙動)の整備を目的とした解析、室内試験、工学規模試験および掘削損傷領域の調査技術の確認を継続
- 緩衝材への水の浸潤挙動を把握する試験を継続



令和2年度に実施した試験から、湧水量を変化させた条件で試験を行い、湧水量に対しての施工方法の適用範囲を確認します。



グラウト注入後のトモグラフィ調査のイメージ

グラウト注入後の透水試験、トモグラフィ調査を行い、令和2年度(グラウト無し)と比較し、掘削損傷領域の調査技術を確認します。

2. 処分概念オプションの実証

(2)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1

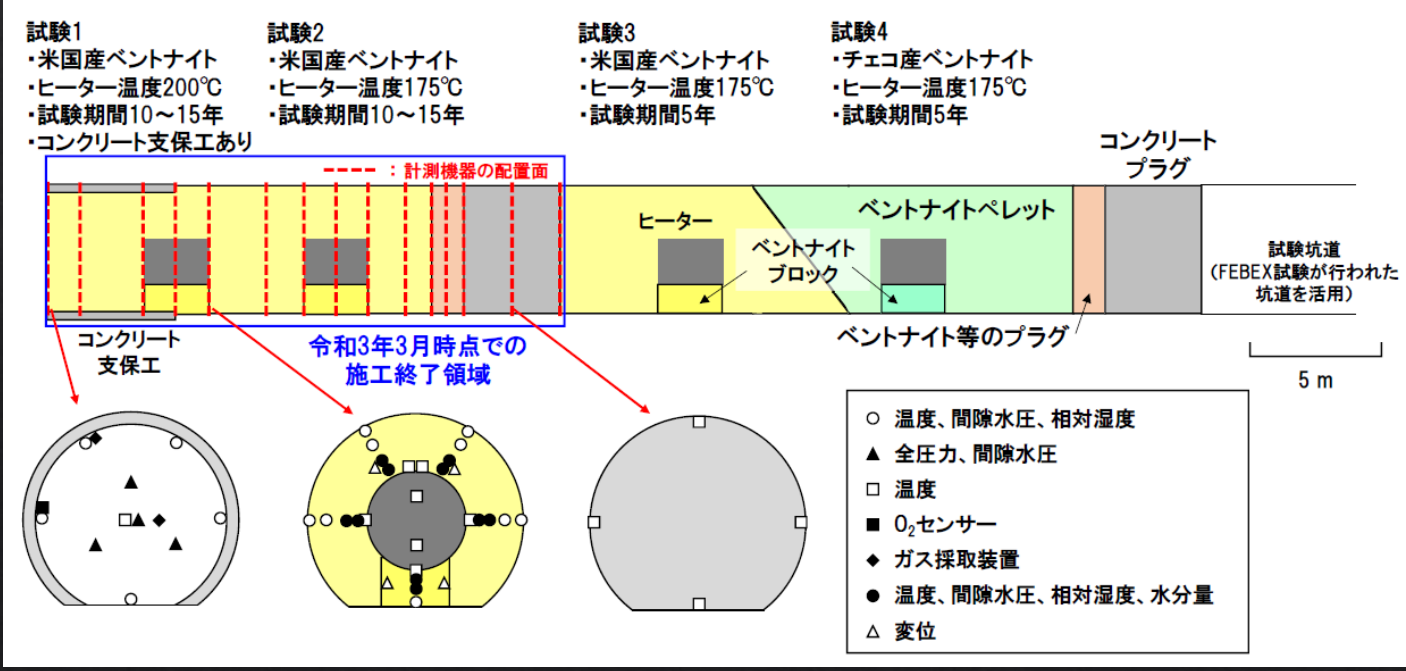
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

想定外の要因により緩衝材温度が100℃を超えた場合、どうなるのか

➢その際に人工バリアとその周辺岩盤で発生する現象を整理し、上限温度設定の考え方を提示

【令和2年度の実施内容と成果】

- 上記のシナリオを検討した結果、緩衝材の挙動には蒸発による水分移動と物質移行の特性が影響を与える
- 海外機関が実施している100℃超の状態を模擬する原位置試験を対象として、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収集、整理



海外での研究事例（施工状況ならびに計測機器の配置図と断面図）

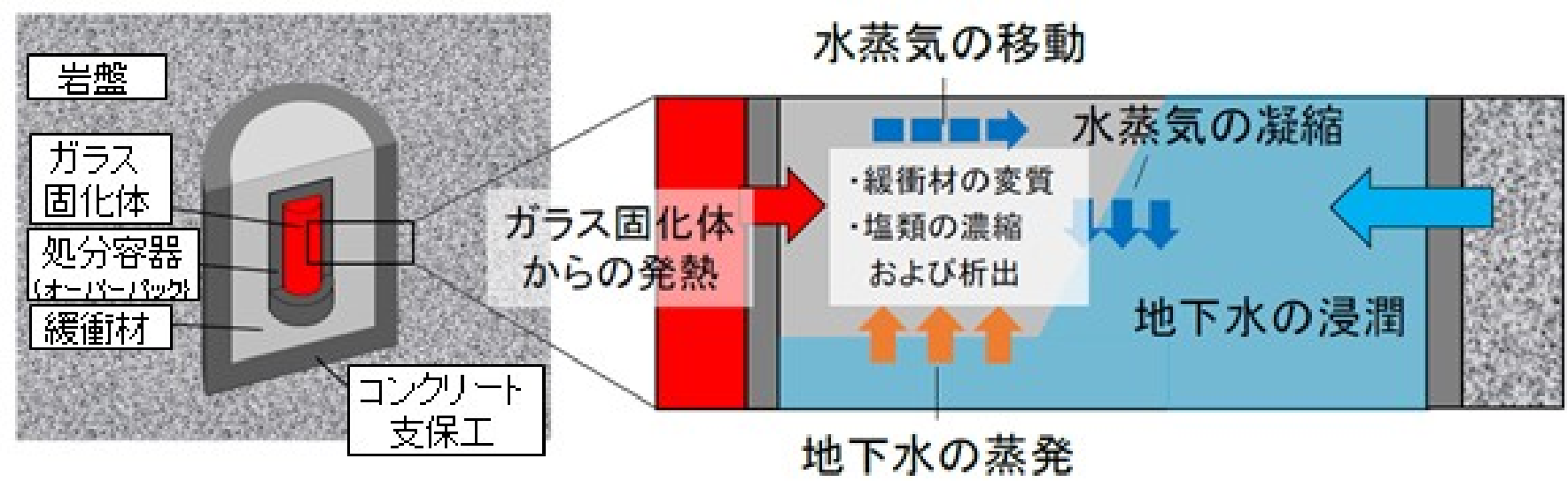
報ーP69～73

2. 処分概念オプションの実証

(2)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2

【令和3年度の計画】

- 海外知見の情報収集を継続
- 100℃超の状態での人工バリア周辺の挙動や特性の変化に着目した文献の調査



人工バリア周辺に生じると想定される現象の概念図

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

地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握1

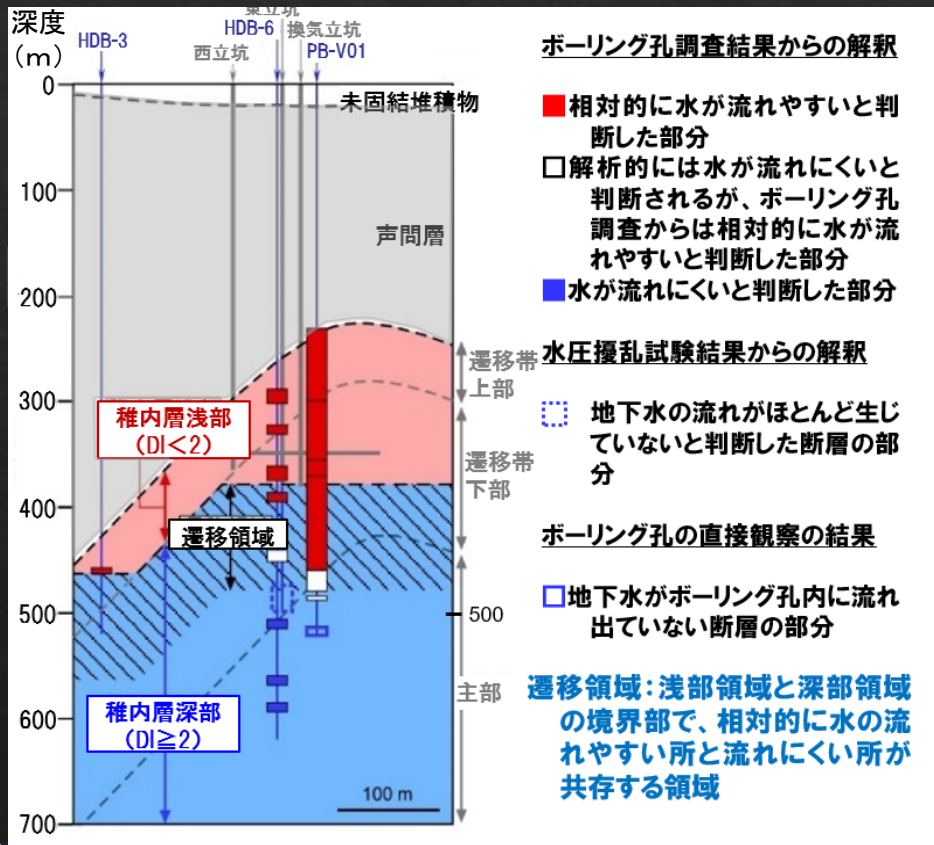
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

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

- ➢ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験
- ➢断層、割れ目の長期的な透水性の評価手法を構築

【令和2年度の実施内容と成果】

- ●稚内層における割れ目の水理的連結性に関する既存データを再解析し、水理的連結性の遷移領域があることが判明
- ●遷移領域は深度500m程度まで達し、それ以深は水理的連結性が低い領域であることを解明
- ●幅数十cmの大型の断層を対象とした水圧擾乱試験を実施し、観測データを取得



稚内層中の割れ目の水理的連結性に関する領域区分とボーリング孔で得られた水理学的情報

DI:岩石の強度・応力状態を示すために定義した指標。
この値が高いほど、岩盤は見かけ上やわらかくなる。

報ーP74～78

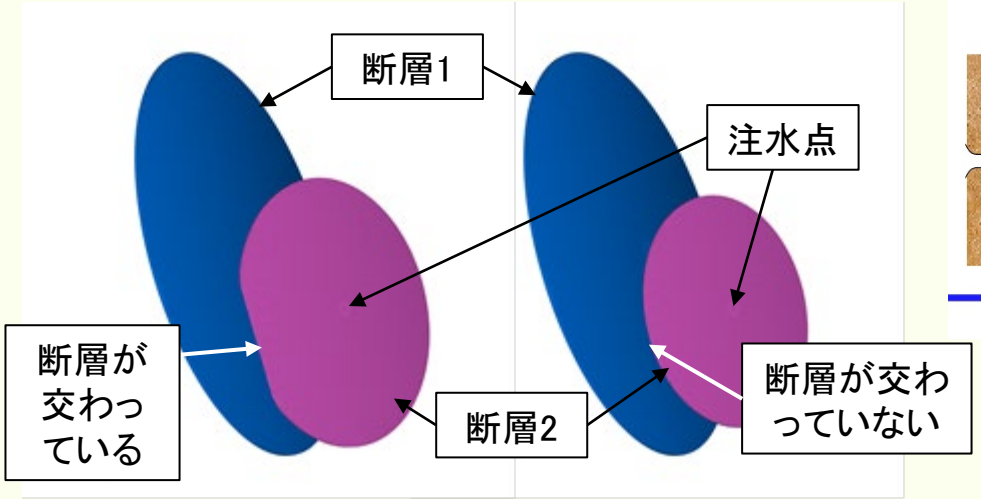
３．地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

（１）水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化２

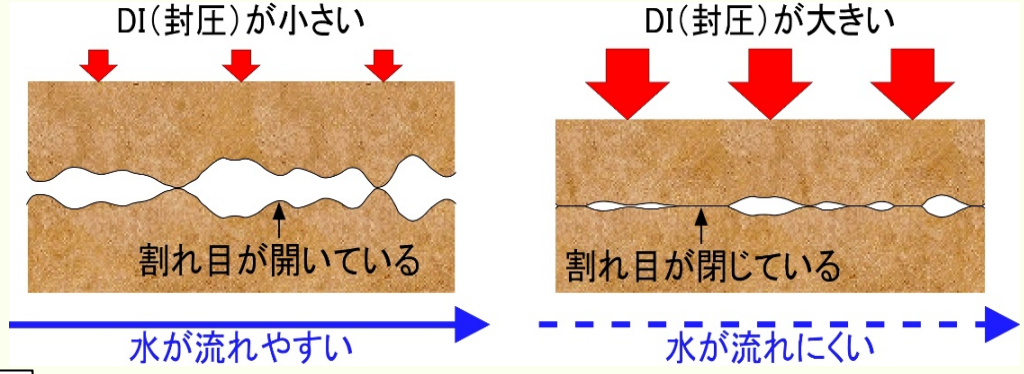
地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握２

【令和3年度の計画】

- 令和2年度に実施した水圧擾乱試験結果を解析
- 稚内層中の断層／割れ目が水理学的に連結しているかどうかを解析で明らかにする方法の検討を継続
- 既存の室内試験結果や水圧擾乱試験結果を用いて断層、割れ目の長期的な透水性評価手法を検討



原位置試験から推定される断層の水理的連結性のモデル化（左図：断層が一部で交わるモデルの例；右図：断層が交わらないモデルの例）



既存の室内試験結果や水圧擾乱試験結果を用いて、割れ目の透水性と力学条件との関係性をより定量的に解明

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

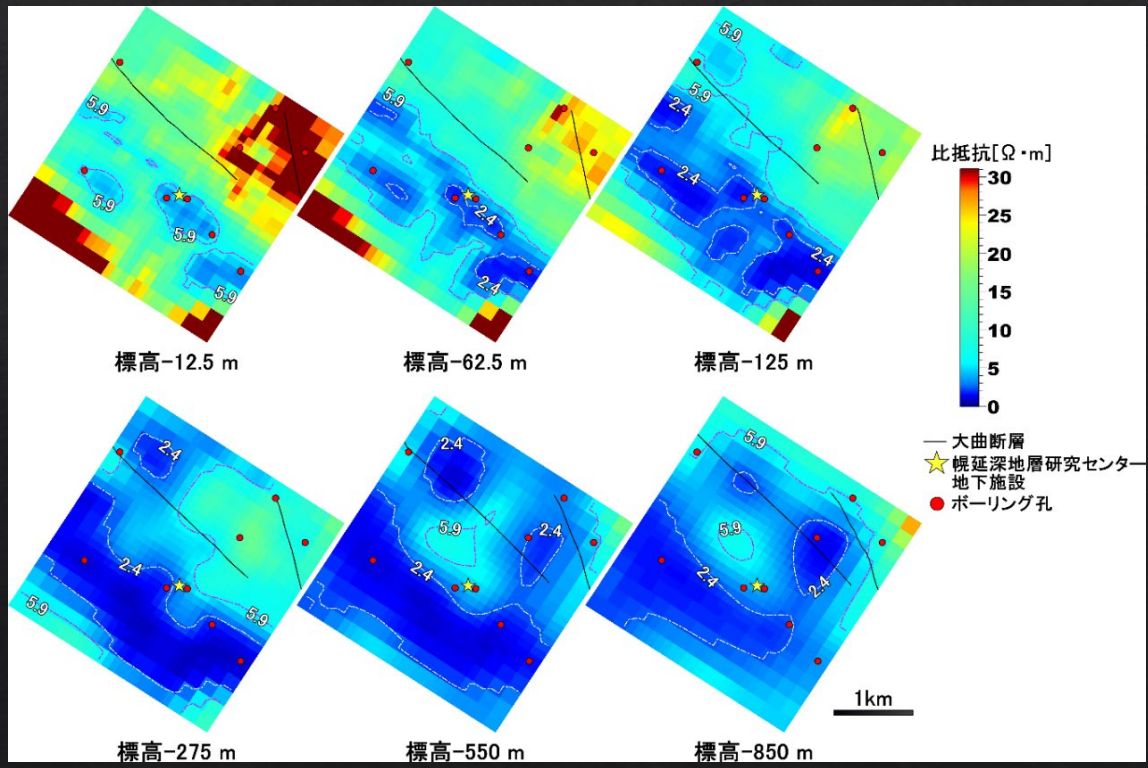
地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化1

【研究開発の目的と令和10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理解するための技術を構築

【令和2年度の実施内容と成果】

- **化石海水の分布と地質構造を把握するために物理探査**
- 既往の物理探査より三次元的でより深い拡がりを推定できる手法を適用し、**深度400～500mよりも深い領域の推定結果を向上**
- 電磁探査データ(比抵抗)から地下水の塩濃度を推定した結果、**幌延深地層研究センターの周辺を境に、南西側で塩分濃度が高く北東側で高く塩分濃度が低くなっている**ことがわかった



電磁探査から推定した比抵抗分布の水平断面図

報－P84～86

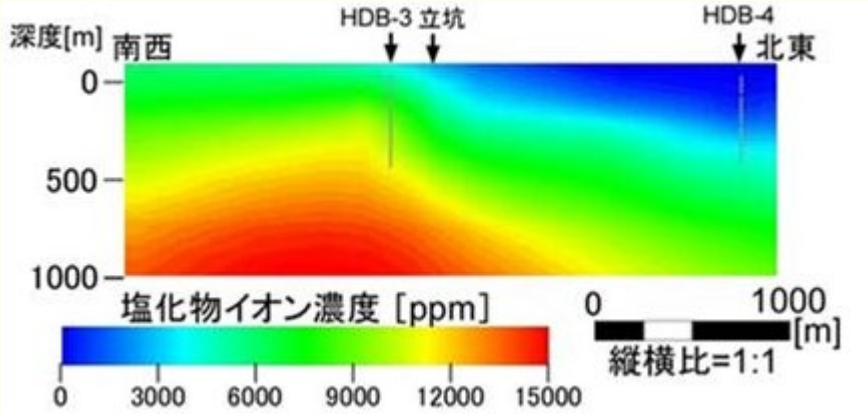
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

(1)水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化4

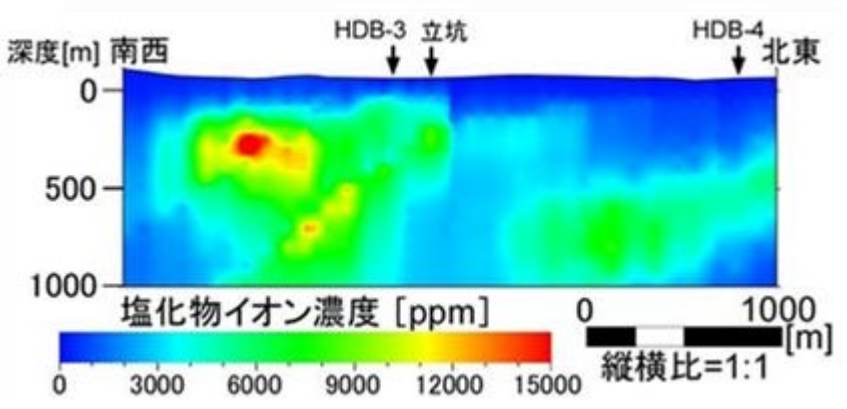
地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化2

【令和3年度の計画】

- 令和2年度の物理探査の結果から推定した塩濃度分布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を比較して誤差が大きい領域を把握し、誤差が大きくなる原因を予測
- 予測結果を確認するためのボーリング調査を行い、予測方法が有効であるかどうかを確認
- 幌延町沿岸部で、産業技術総合研究所との共同研究として水文データ取得などを計画



ボーリング孔の水質データを用いて
クリギングにより推定した塩化物イオン濃度の分布



電磁探査により取得した比抵抗分布
から推定した塩化物イオン濃度の分布

両者を比較して誤差が大きい領域を抽出し、ボーリング調査により地下水の流れが
非常に遅い領域を調査・評価する技術の確からしさを確認

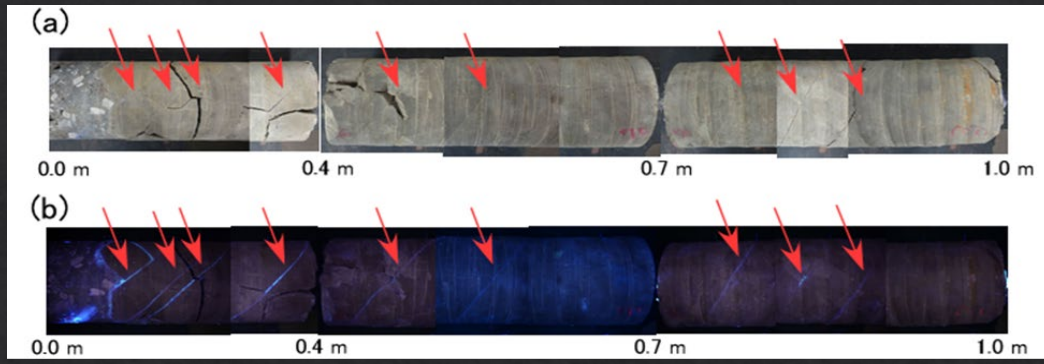
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

(2)地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

坑道閉鎖後の緩衝材や埋め戻し材の膨らみを踏まえて、坑道周りの掘削損傷領域の透水性を推測する手法を構築

- 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開発
- 坑道近傍の力学条件に基づいて掘削損傷領域の透水性を予測する方法を構築
- 坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を予測する方法を構築



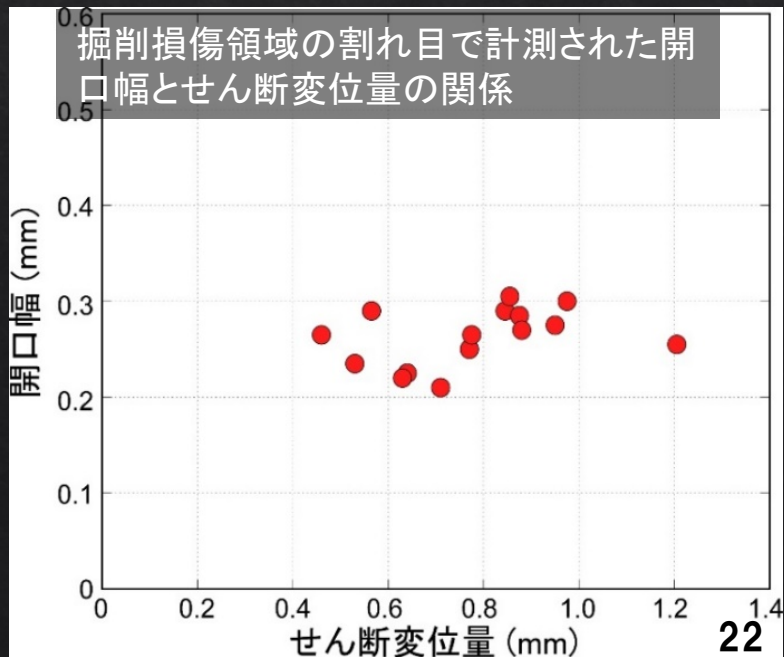
坑道からの距離

樹脂注入後に採取したコアの例（a）自然光で撮影、（b）紫外線照射したで撮影、矢印は樹脂が注入された割れ目

【令和2年度の実施内容と成果】

掘削損傷領域に樹脂を注入し、詳細観察を行い、割れ目のせん断変位量と開口幅との相関が乏しいことを確認。深度350mの地圧では割れ目面に垂直にかかる力が大きいため、割れ目の開口が抑えられることが分かった

報ーP89～91



【令和3年度の計画】

- 掘削損傷領域のひび割れの閉まり方に、緩衝材や埋め戻し材の膨潤が与える影響を解析

4. 必須の課題への対応に必要なデータ取得

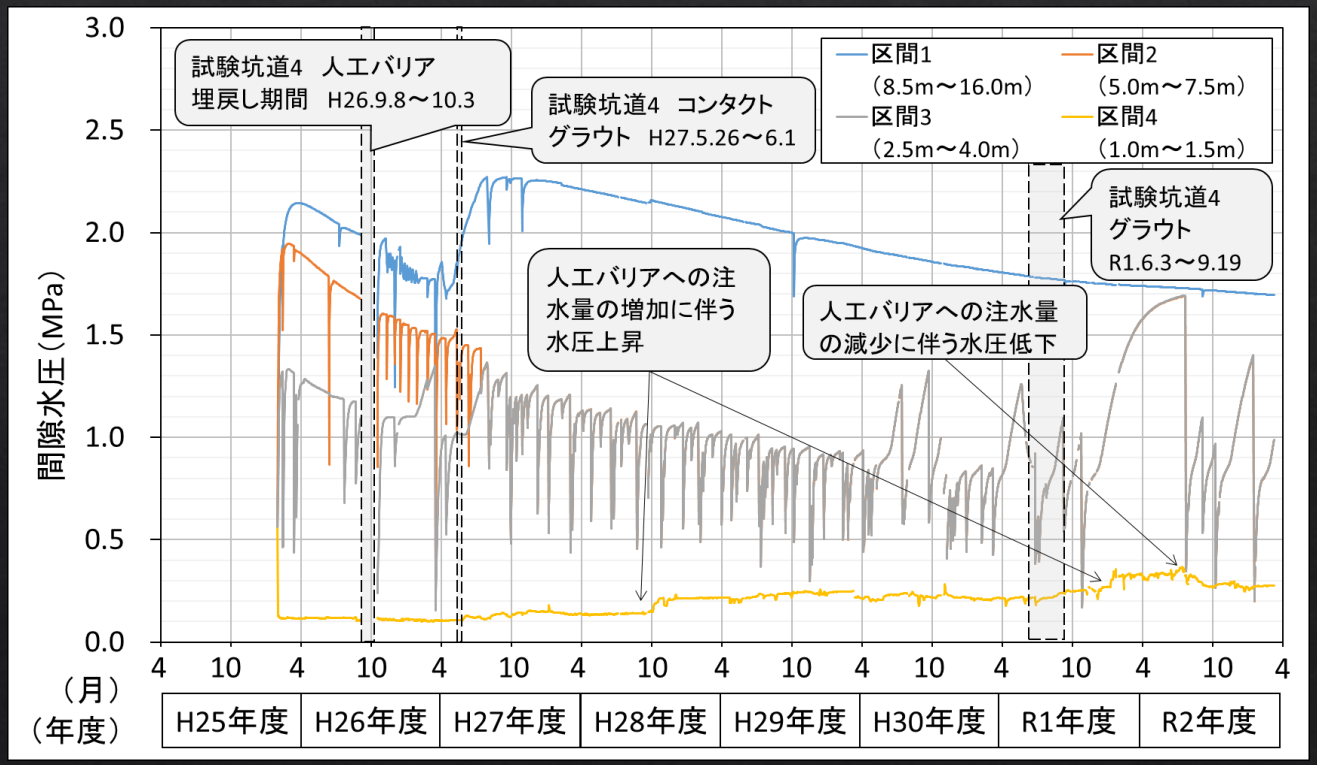
【令和10年度までの実施内容】

- 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を取得

【令和2年度の実施内容と成果】

一例として、

- 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において、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を確認



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おける水圧の経時変化

報ーP97～101

Ⅰ 令和2年度以降の必須の課題および
必須の課題への対応に必要なデータ取得

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
4. 必須の課題への対応に必要なデータ取得

Ⅱ 環境・安全管理について

5. 地下施設の管理
6. 環境調査
7. 安全確保の取組み
8. 開かれた研究

Ⅲ その他

・処分場の選定プロセスと幌延深地層研究センターの関係
・幌延町における深地層の研究に関する協定書（抜粋）

5. 地下施設の管理

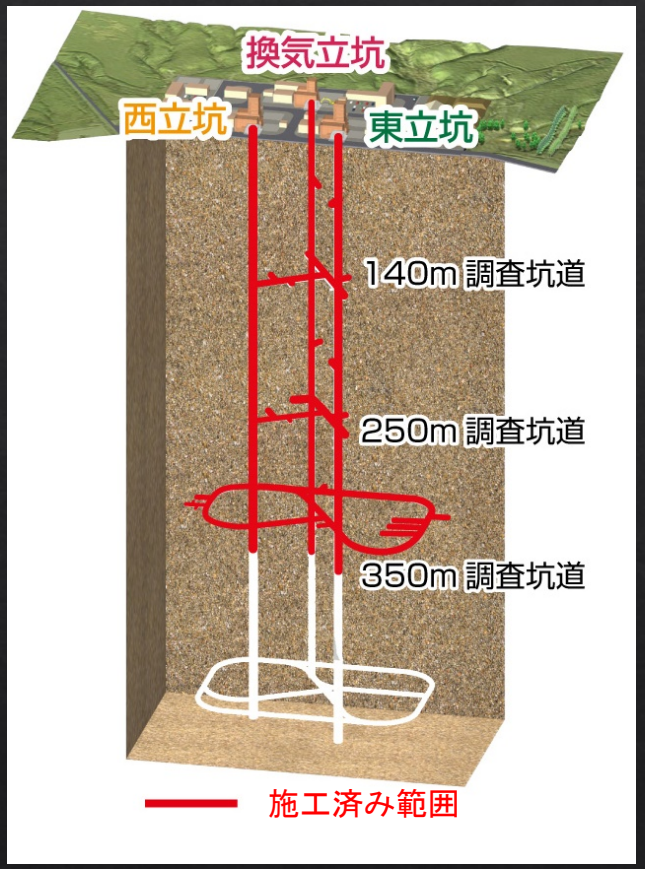
令和2年度は試験坑道1において、人工バリア性能確認試験の解体調査のための試験施工で使用するプラグおよび試験体の設置を行いました。

また、令和元年度に引き続き地下施設の機械設備や電気設備の点検保守・修繕等（維持管理）を継続し、地下施設の安全性確保に努めました。

令和3年度も引き続き、試験施工に係る工事や地下施設の維持管理を継続します。

試験施工で使用する試験体の設置状況

地下施設の維持管理状況
（スカフォード巻上機の点検）



※このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。

報－P119～121

6. 環境調査

令和2年度については、以下の環境調査を実施し、問題がないことを確認しました。令和3年度も引き続き調査を実施します。

○排水量及び水質調査
(1)天塩川への排水量
(2)地下施設からの排水の水質調査
(3)天塩川の水質調査
(4)掘削土(ズリ)置場周辺の地下水の水質調査
(5)清水川及び掘削土(ズリ)置場雨水調整池の水質調査

○研究所用地周辺の環境影響調査
(1)清水川の水質調査
(2)魚類の調査

天塩川の採水状況

生息魚類調査(清水川流域、年3回)

報－122～135

7. 安全確保の取り組み

各種の安全活動に積極的に取り組むとともに、「安全推進協議会」を組織し、センター一丸となって安全活動を推進・実施しました。令和3年度も引き続き安全確保に取り組み研究計画を推進します。

安全大会

○各種安全行事や事例情報の周知等による意識高揚
○定期的な安全パトロールの実施
○作業計画書による作業前の安全対策・リスクアセスメントの確認
○新規配属者・請負業者に対する安全教育の実施
○事故対応訓練（年2回）、通報連絡訓練（毎月）
○安全関係規則類の見直し改定
○安全推進協議会活動

安全パトロール（月例）

事故対応訓練

安全推進協議会

8. 開かれた研究

◆国内機関との研究協力

- 東京大学：堆積軟岩の力学挙動評価の開発に関する研究
- 名古屋大学：コンクリーション化による地下空洞掘削影響領域および水みち割れ目の自己シーリングに関する研究
- 京都大学、東北大学：地下水中の微量元素と有機物を対象とした地球化学研究
- 京都大学：堆積岩を対象としたEDZの透水性変化計測に関する研究
- 幌延地圏環境研究所：堆積岩を対象とした岩盤力学や微生物などに関する研究
- 産業技術総合研究所：海陸連続三次元地質環境モデルの妥当性の検証に向けたデータ取得方法の高度化
- 電力中央研究所：地下施設建設時の坑道掘削影響領域の調査技術に関する研究、実地下水中のコロイドへの核種の収脱着メカニズムに関する研究
- 国立環境研究所：地下水中の溶存有機物の特性評価に関する研究
- 深田地質研究所、東京大学：断層中のメタンガス高精度検出に関する共同研究
- 株式会社安藤・間：ボアホールジャッキ試験による岩盤の初期応力測定手法の適用性に関する研究

◆国外機関との研究協力

- Clay club：様々な粘土質媒体の特性の比較、粘土の物性や挙動および地下施設で実施される試験に関する情報交換など
- Mont Terri project：スイスオパリナス粘土層の摩擦特性試験など
- DECOVALEX：人工バリア性能確認試験を対象とした共同解析の実施

報－P137～143

Ⅰ 令和2年度以降の必須の課題および
必須の課題への対応に必要なデータ取得

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
4. 必須の課題への対応に必要なデータ取得

Ⅱ 環境・安全管理について

5. 地下施設の管理
6. 環境調査
7. 安全確保の取組み
8. 開かれた研究

Ⅲ その他

・処分場の選定プロセスと幌延深地層研究センターの関係
・幌延町における深地層の研究に関する協定書（抜粋）

Ⅲ　その他

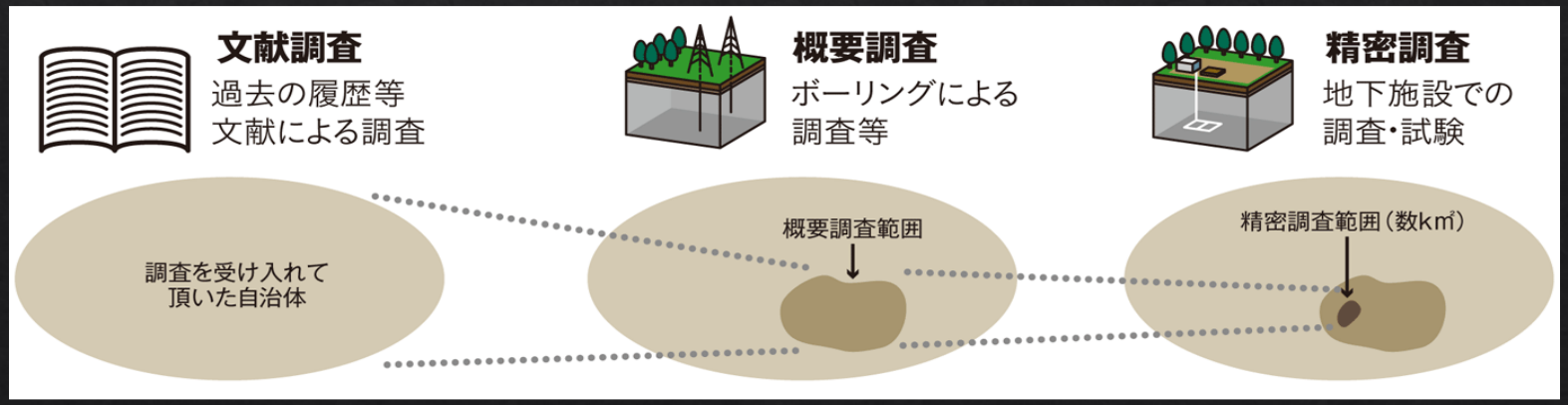
処分場の選定プロセスと幌延深地層研究センターの関係

処分場の選定プロセスは「法律」によって定められています。

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（平成12年法律第117号）」

　幌延深地層研究センターでは、処分場の選定プロセスとは独立して、処分事業に係る技術について更なる信頼性の向上を図るという目的のために研究を行っています。

　「幌延深地層研究センターがなし崩し的に処分場になるのではないか」という懸念や不安のご意見がありますが、法律に基づくプロセスを経ずに処分場とすることはできません。また、処分場としないことを定めた三者協定を道および町と締結しています。



処分場の選定プロセス

資源エネルギー庁HP：https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/final_disposal.html#topic04

III その他

幌延町における深地層の研究に関する協定書（抜粋）

平成12年11月：科学技術庁原子力局長立会いの下、サイクル機構と北海道及び幌延町との間で「幌延町における深地層の研究に関する協定（三者協定）」を締結

- 第2条：丙は、研究実施区域に、研究期間中はもとより研究終了後においても、放射性廃棄物を持ち込むことや使用することはしない。
- 第3条：丙は、深地層の研究所を放射性廃棄物の最終処分を行う実施主体へ譲渡し、又は貸与しない。
- 第4条：丙は、深地層の研究終了後は、地上の研究施設を閉鎖し、地下施設を埋め戻すものとする。
- 第5条：丙は、当該研究実施区域を将来とも放射性廃棄物の最終処分場とせず、幌延町に放射性廃棄物の中間貯蔵施設を将来とも設置しない。
- 第6条：丙は、積極的に情報公開に努めるものとする。
- 第7条：丙は、計画の内容を変更する場合には、事前に甲及び乙と協議するものとする。

※丙：日本原子力研究開発機構（締結当時は、核燃料サイクル開発機構）

ご清聴いただきありがとうございました。