

平成27年度における個別研究開発の現状および今後の予定

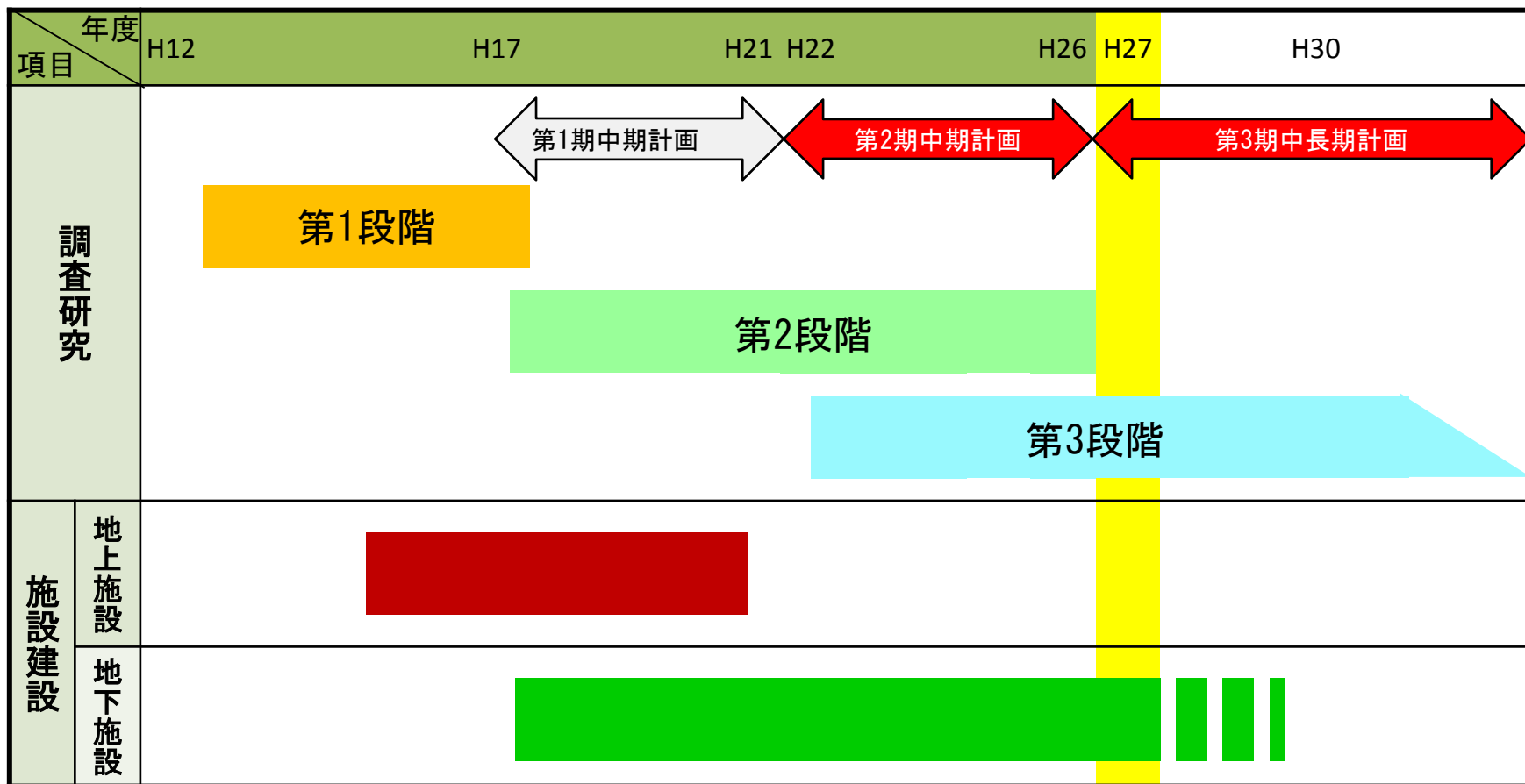
① 深地層の研究施設計画

b) 幌延深地層研究計画

平成28年3月14日

日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター

幌延深地層研究計画スケジュール



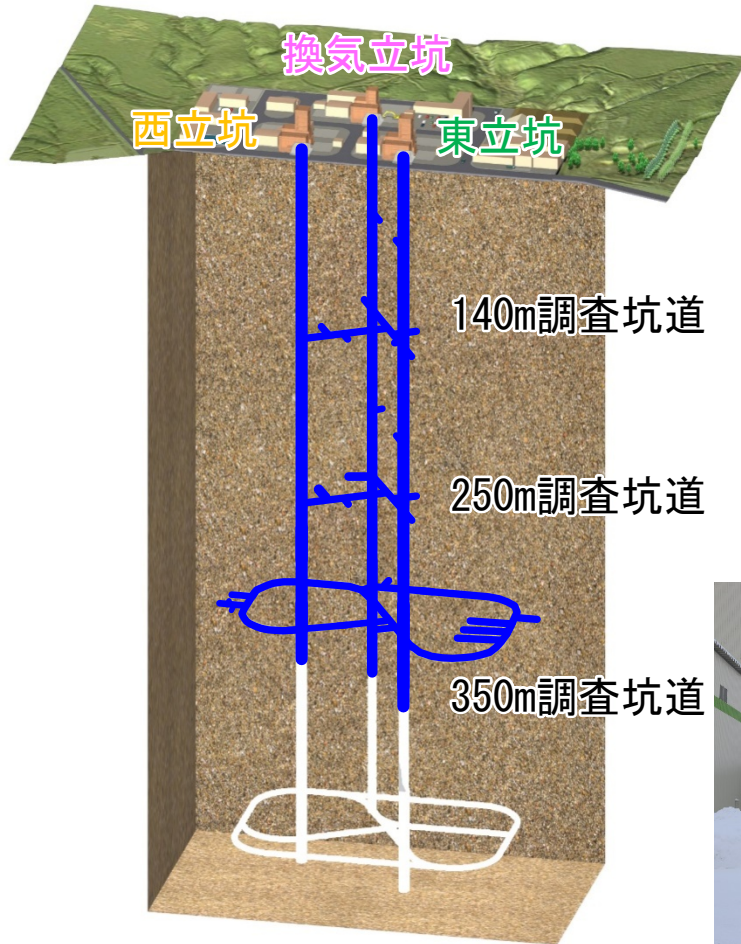
第1段階： 地上からの調査研究段階

第2段階： 坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階

第3段階： 地下施設での調査研究段階

地下施設の状況

350m調査坑道の整備は平成26年6月に完了しました。



【立坑掘削状況】

東立坑	掘削深度	380 m
換気立坑	掘削深度	380 m
西立坑	掘削深度	365 m

【調査坑道掘削状況】

深度140m調査坑道	掘削長	186.1 m
深度250m調査坑道	掘削長	190.6 m
深度350m調査坑道	掘削長	757.1 m



東立坑建屋北側
(平成28年1月12日撮影)



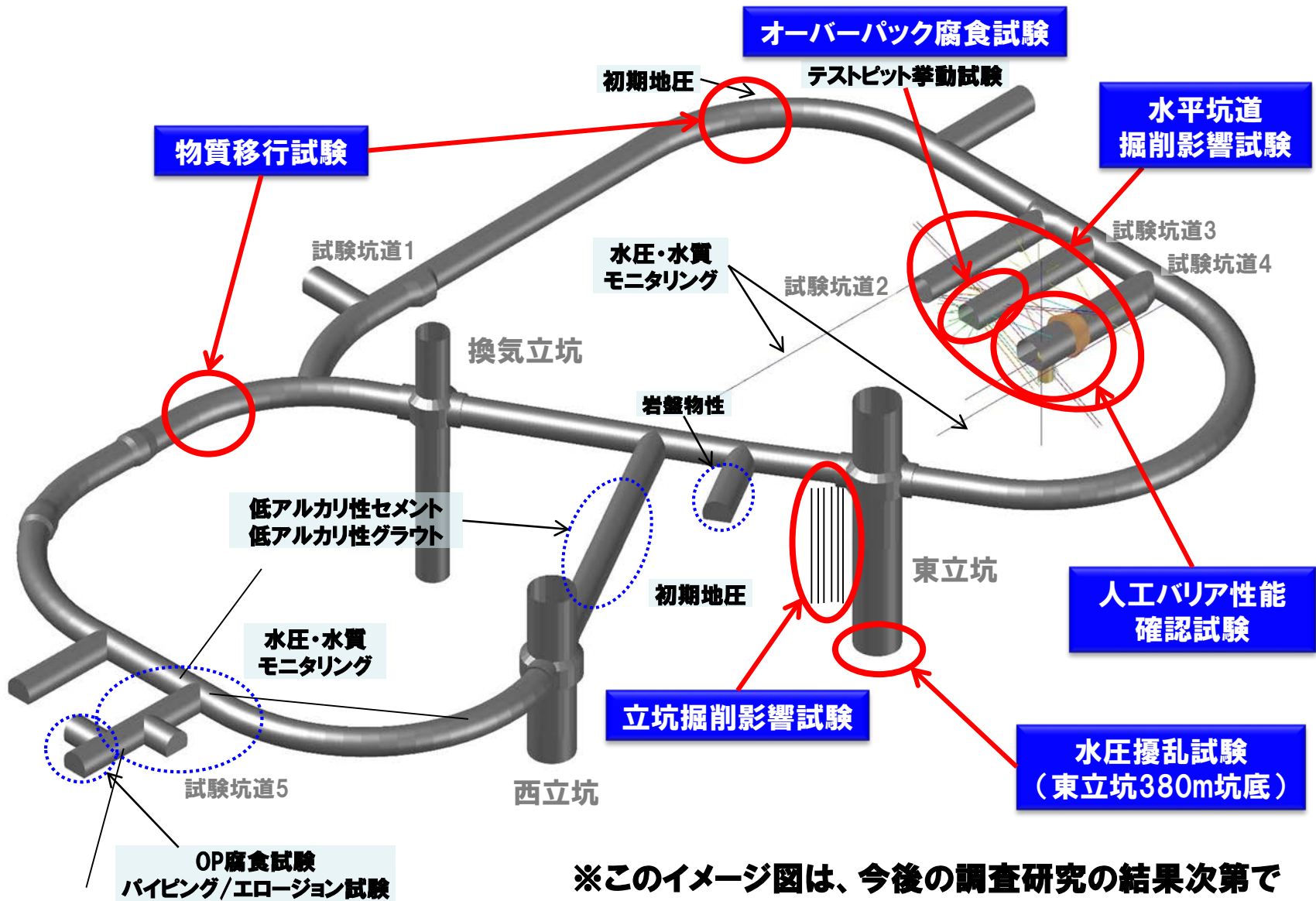
350m東周回坑道
(平成28年1月28日撮影)

※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。

平成27年度の主な調査計画

平成27年度の主な調査計画	
地質構造	<ul style="list-style-type: none"> 壁面観察データを解析 地表での地質観察および採取した岩石の顕微鏡観察や分析などを継続 坑道周辺の地質環境モデルの妥当性確認、モデルの詳細化
岩盤水理	<ul style="list-style-type: none"> 既存のボーリング孔における地下水の圧力や水質の観測を継続 「地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証」について、通常よりも高い注入圧を用いた透水試験（水圧擾乱試験）を実施 坑道周辺の水理地質構造モデルを更新
地球化学	<ul style="list-style-type: none"> 坑道壁面やボーリング孔から採取した地下水・岩石を対象にした地球化学特性に関するデータ取得を継続 坑道掘削に伴う地下水水質の変化に関する評価を継続 水質の分布や水質の形成について検討し、地球化学環境の時間的变化に関わる地球化学モデルを更新
岩盤力学	<ul style="list-style-type: none"> 初期地圧測定結果に基づき、坑道周辺の地圧の空間的な分布を評価し、地下施設の設計上必要な岩盤物性値の設定方法を検証 坑道掘削時に生じる周辺岩盤の変形や応力の変化の予測解析手法の適用性確認を継続
調査技術・機器開発	<ul style="list-style-type: none"> 各調査坑道でのモニタリングを継続し、長期的な性能確認を継続 微生物を調査するための試験装置の開発を行い、各調査坑道でのデータ取得を実施 光ファイバー式地中変位計の長期モニタリング性能を確認するための観測を継続 地表と坑道内の高精度傾斜計等を用いて岩盤の微小な変形の観測を継続 各調査坑道と東立坑の坑道掘削後の長期的な変化を確認するための弾性波トモグラフィ調査を継続
工学技術の基礎の開発	<ul style="list-style-type: none"> 地下施設の設計の妥当性を検証 地下施設の安全性をさらに向上させるための方策の検討を継続 湧水対策のための技術開発としてグラウト材料の岩盤中への浸透範囲を評価するための解析手法を高度化
地層処分研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 「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、350m坑道での人工バリア性能確認試験、オーバーバック腐食試験の継続および350m坑道での物質移行試験の実施 「処分概念オブションの実証」について、人工バリアの定置・品質確認などの実証計画の検討を開始 地層処分実規模設備施設運営等事業への協力

深度350m調査坑道における原位置試験



※このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

必須の課題への取り組み状況

① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 平成26年度より開始したオーバーパック腐食試験を継続中。
- 平成26年度より開始した人工バリア性能確認試験について、注水・加熱を継続中。
- 健岩部および単一割れ目を対象とした物質移行試験を実施。割れ目帯を対象とした物質移行試験のためのボーリング孔の掘削を開始(下記の水圧擾乱試験を併せて実施)。

② 処分概念オプションの実証

- 原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究で実施する、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についての検討を開始。

③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 東立坑坑底(380m)より、通常よりも高い注入圧を用いた透水試験(水圧擾乱試験)を実施するためのボーリング孔の掘削を開始。

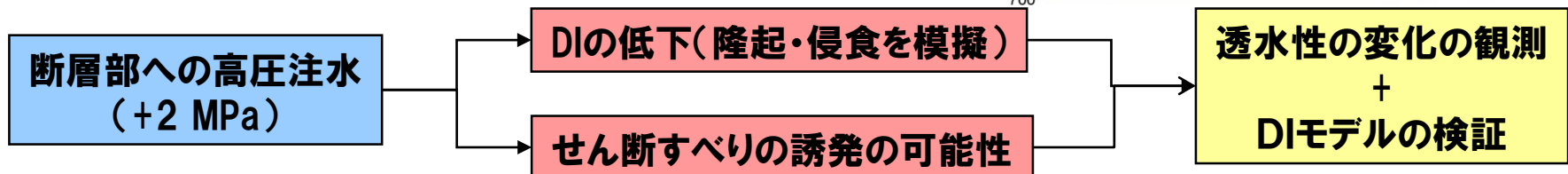
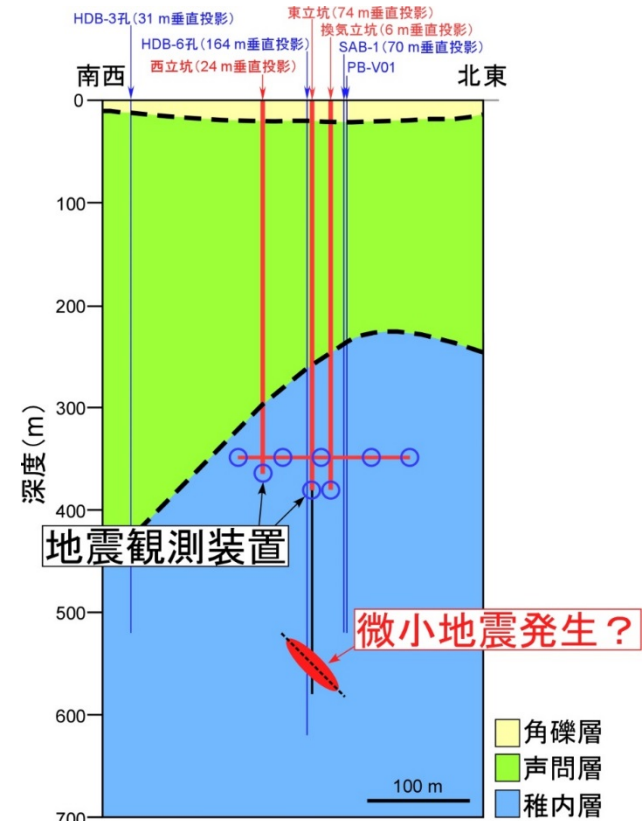
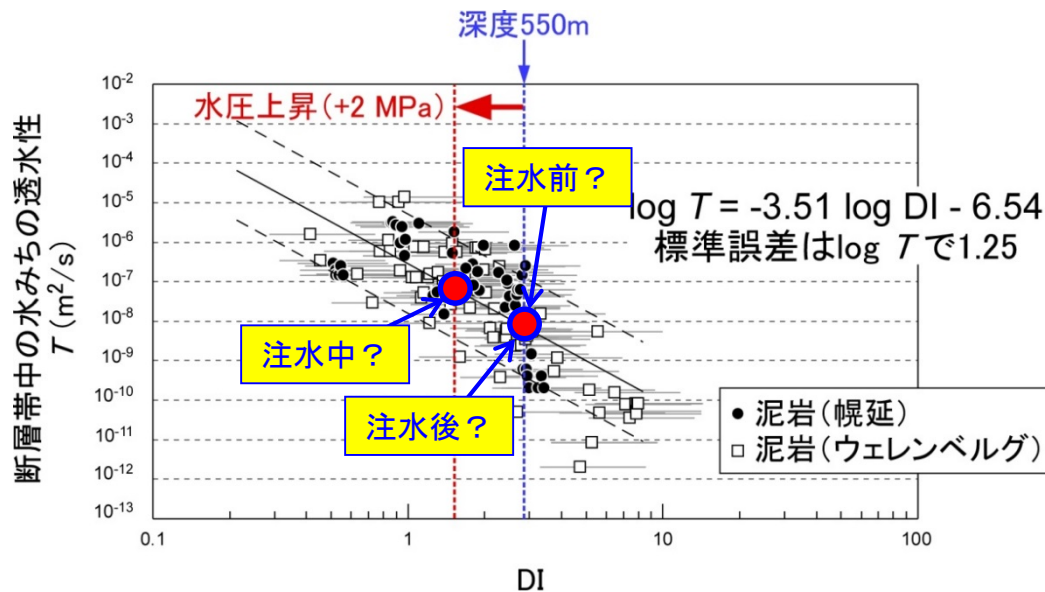
地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 概要

- ◆ 断層中の水みちの透水量係数は岩盤のDuctility Index (DI)に依存(Ishii, 2015, JGR)
- ◆ DIは平均有効応力と引張強度より定義され($= \sigma'_m / \sigma_t$)、時空間分布の予測が可能

DIモデルの用途

- 概要調査段階における高透水断層の潜在領域の特定
- 変動シナリオにおける断層の透水性の合理的な設定

- ◆ 断層を対象とした水圧擾乱試験によるDIモデルの検証

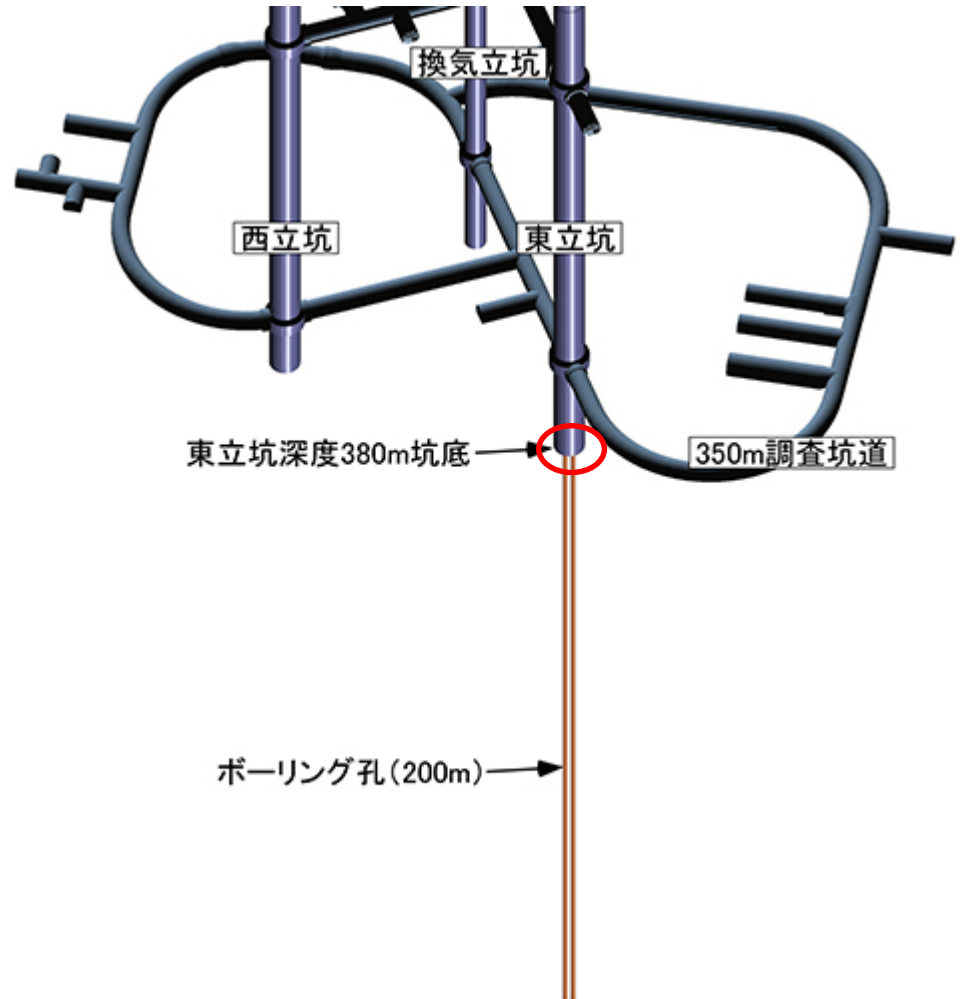


地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 水圧擾乱試験

350m調査坑道からの調査研究として、水圧擾乱試験(通常よりも高い注入圧を用い一時的な水圧上昇が割れ目の水理特性に与える影響を確認する試験)を行うためのボーリング孔の掘削を開始。



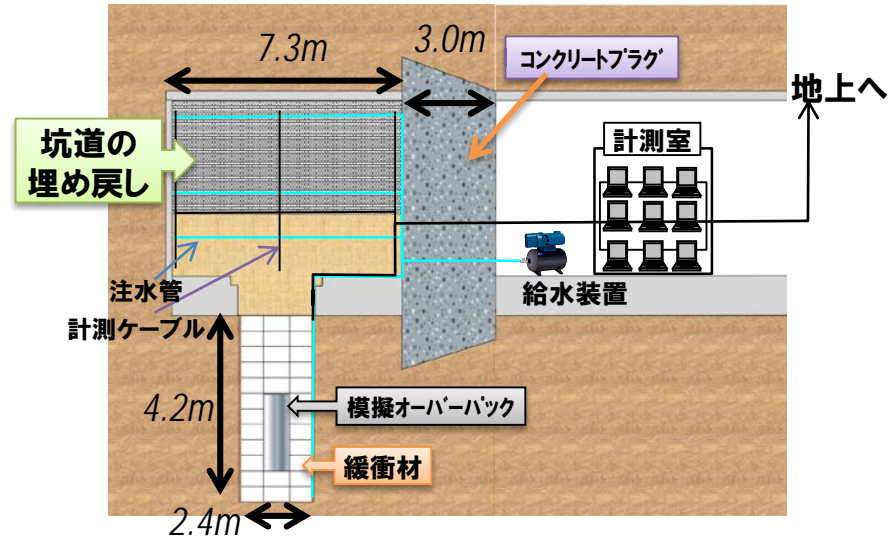
ボーリング孔掘削の状況
(東立坑坑底(380m))



人工バリア性能確認試験 — 概要 —

【目的】

- 「第2次取りまとめ」で示した処分概念が**実際の地下環境で構築できることの実証**
処分孔(模擬)の掘削方法、緩衝材ブロックの定置方法、オーバーパック(模擬)の定置方法、埋め戻し材施工方法、プラグ施工方法の例示、等
- 幌延を事例とした**設計手法の提示**
緩衝材の設計手法、設計手法、コンクリートプラグの設計手法、等
- 熱-水-応力-化学連成現象を評価するための**検証データの取得**(再冠水までの過渡期を対象)
緩衝材:膨潤挙動、膨出挙動、浸潤挙動、含水比分布、温度分布、埋め戻し材:浸潤挙動、含水比分布、オーバーパック(模擬):腐食挙動、等

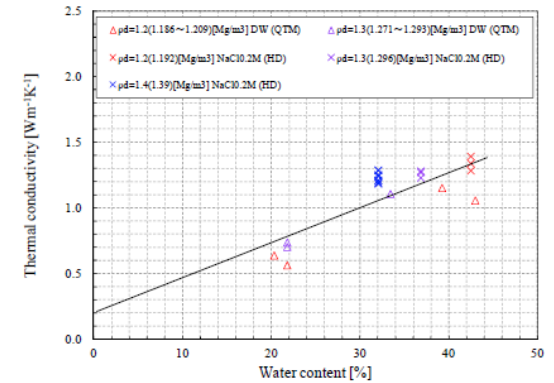


- 坑道:三心円馬蹄形
- 模擬オーバーパック:炭素鋼(温度制御可能)
- 緩衝材:**ブロック定置方式**
- ピット:裸孔
- 埋め戻し材:**掘削土(ズリ)を使用**
:転圧締め固め, ブロックの併用
- 坑道支保:**低アルカリ性セメント**
- プラグ:**低アルカリ性セメント**
- 地下水:原位置の地下水(塩水系)

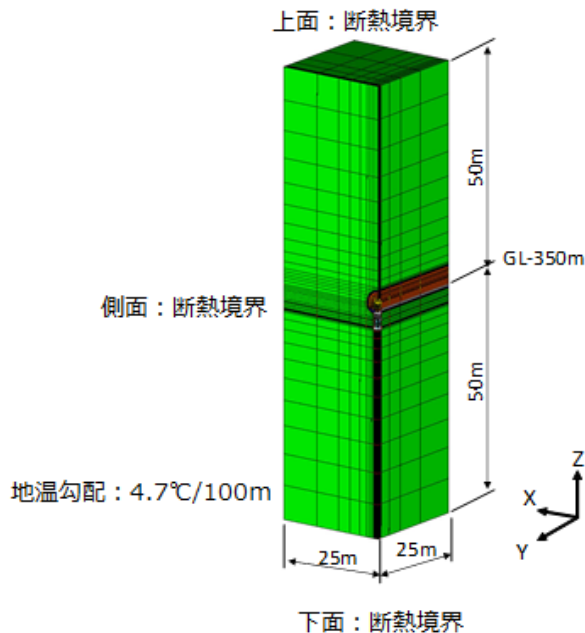
人工バリア性能確認試験の予察解析条件

■ 解析条件

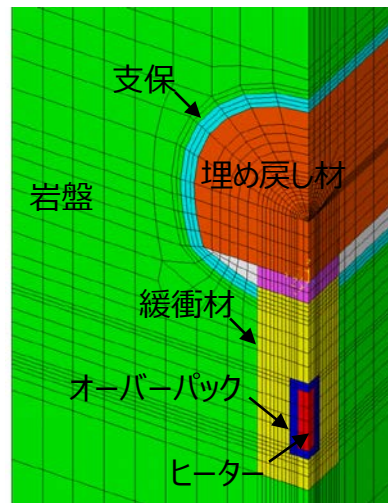
- THAMESによる熱-水連成解析
- 地下水位は、全水頭50mH₂O
- 緩衝材底面で、1.0MPaの加圧注水を考慮
- 初期温度は、人工バリア20℃、岩盤は4.7℃/100mの地温勾配で地表面15℃
- オーバパック表面は、90℃の温度固定境界
- 廃棄体部分は、1週間で90℃に上昇
- 埋め戻し材の仕様は、1.3Mg/m³、透水係数1.0×10⁻¹¹m/s



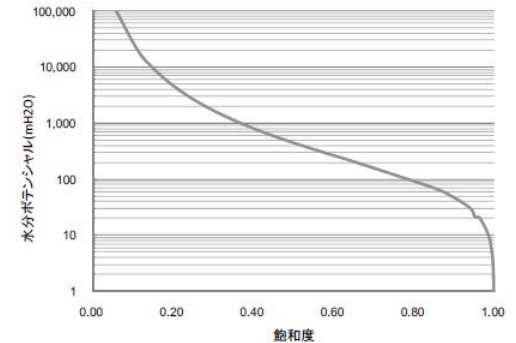
埋め戻し材の熱伝導率測定結果



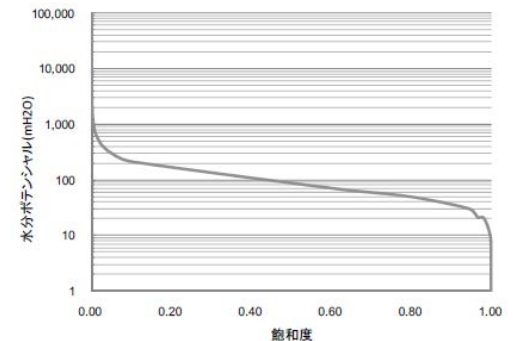
解析モデル



ヒーター温度は7日間で90℃に上昇

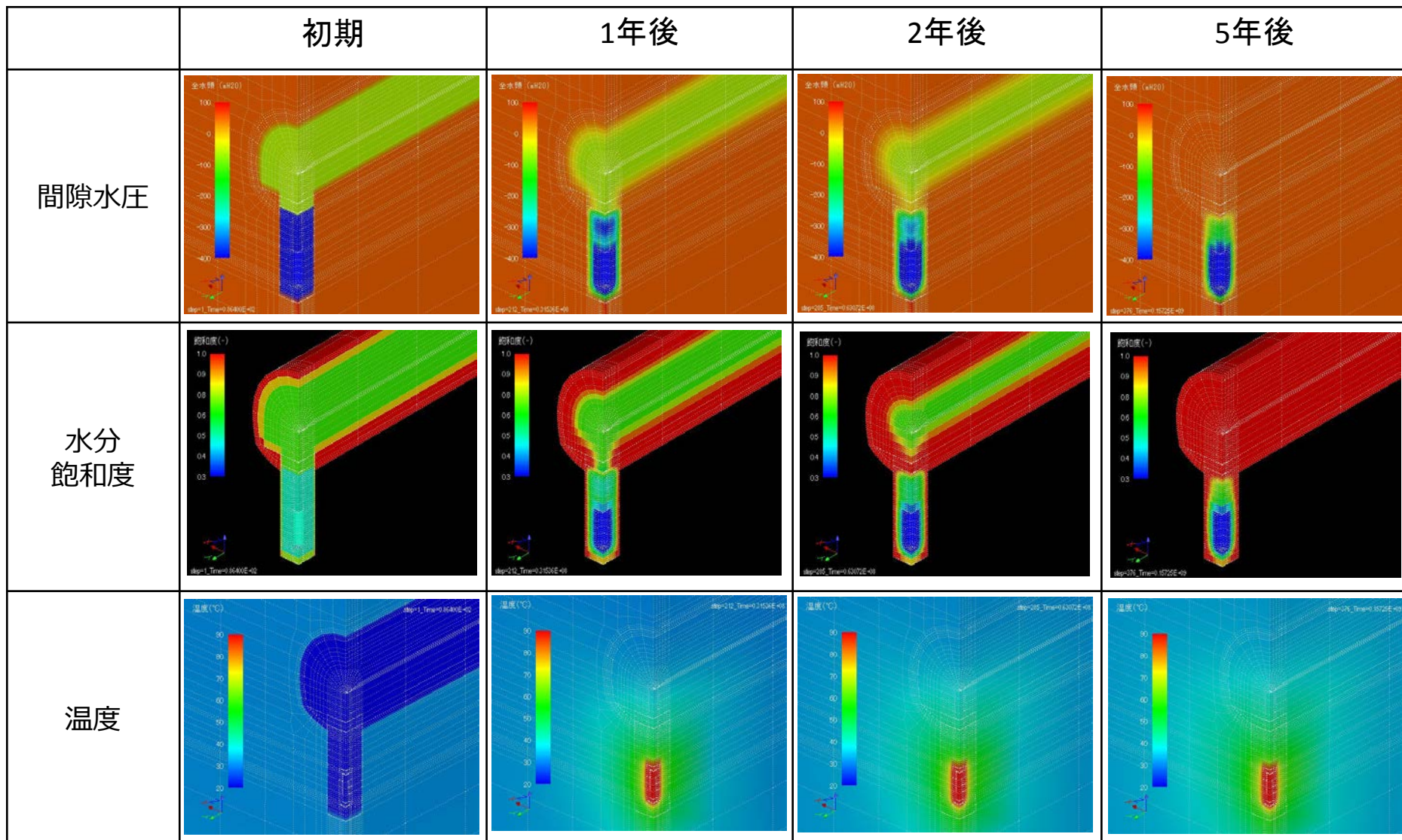


緩衝材の水分特性曲線



埋め戻し材の水分特性曲線

人工バリア性能確認試験の予察解析結果の概要



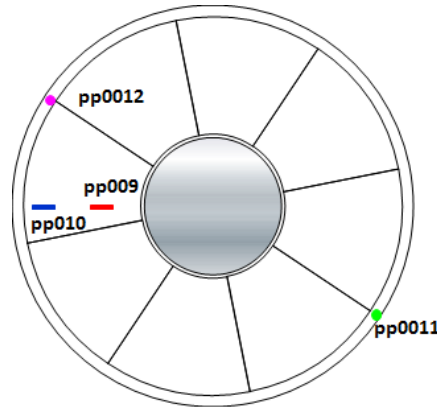
人工バリア性能確認試験における計測結果の一例

珪砂部分(PP011,PP012)

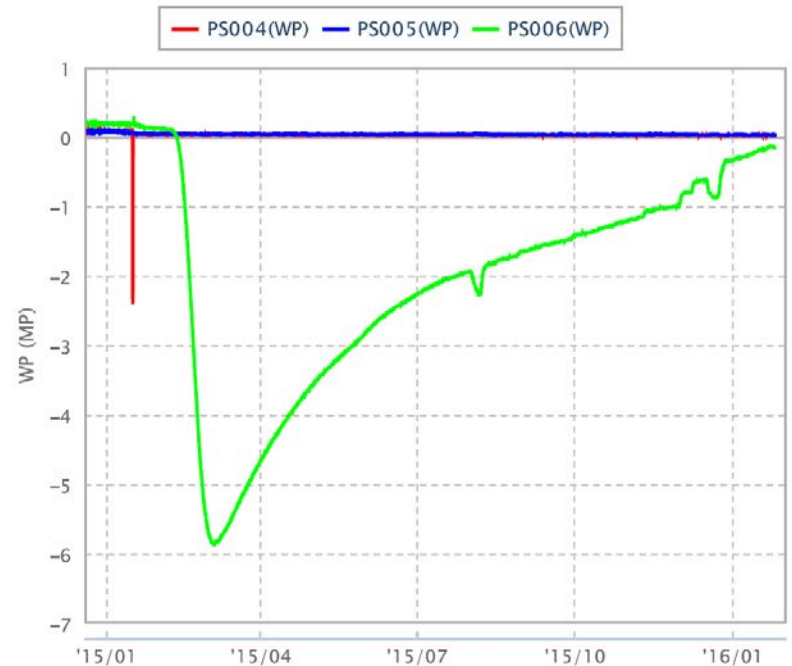
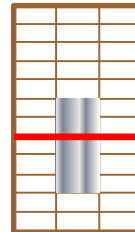
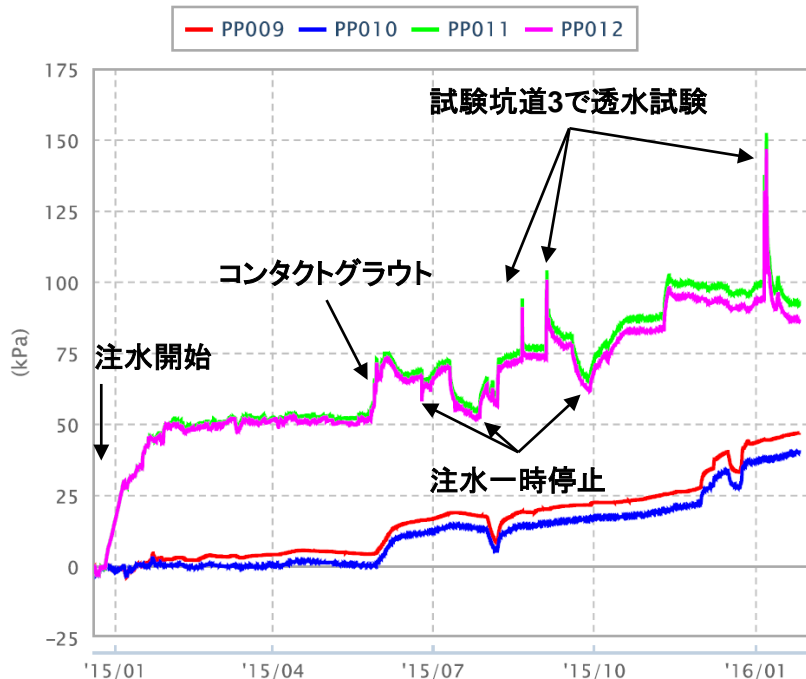
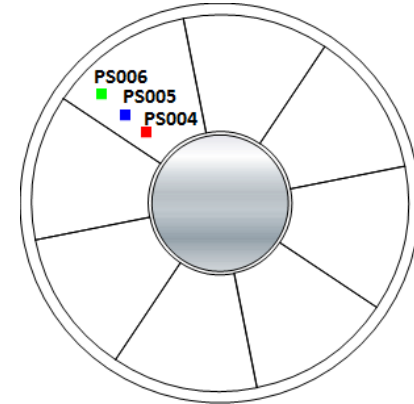
- ・加熱・注水開始及びコンタクトグラウトにより間隙水圧上昇。

緩衝材部分(PP009,PP010)

- ・ケイ砂と比較して数値は小さい(飽和していない)。



- ・外周部の水ポテンシャルが負になっていることから、水が浸透してきていると予想(不飽和状態)。
- ・飽和状態に近づくにつれて0になる。
- ・内側の値の0は水分が少ないことにより、計測機器の測定範囲外であると予想。

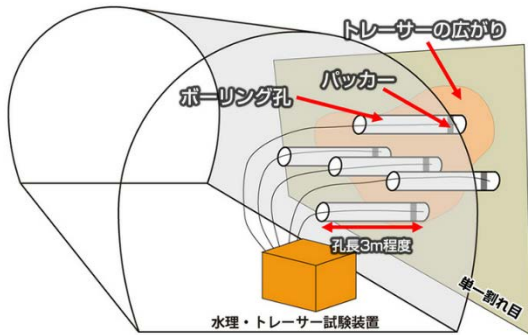


間隙水圧の計測結果 (5段目)

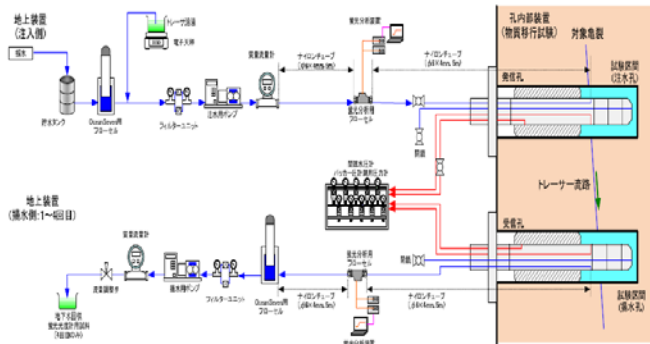
サイクロメータの計測結果 (5段目)

単一割れ目を対象とした物質移行試験

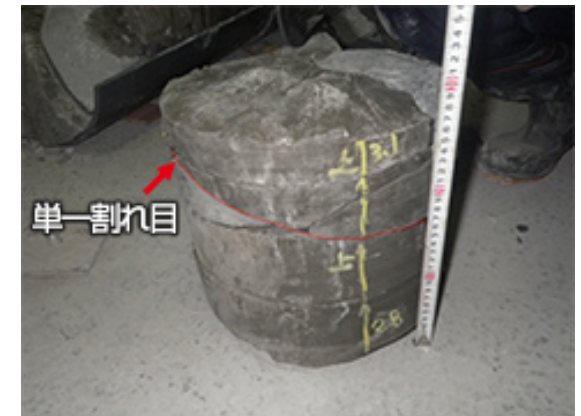
- 堆積岩中の割れ目内の物質移行特性を把握することを目的にトレーサー試験を実施。
- 非収着性トレーサー(蛍光染料:ウラン)を用いて、複数の試験区間、試験条件下でのトレーサー試験を実施し、割れ目内の物質の移行経路に関する情報を取得。
- 非収着性トレーサー試験結果を踏まえ、収着性トレーサー(Cs, Ni, Eu, 等)を用いたトレーサー試験を実施し、**割れ目内の収着・拡散特性を評価。**



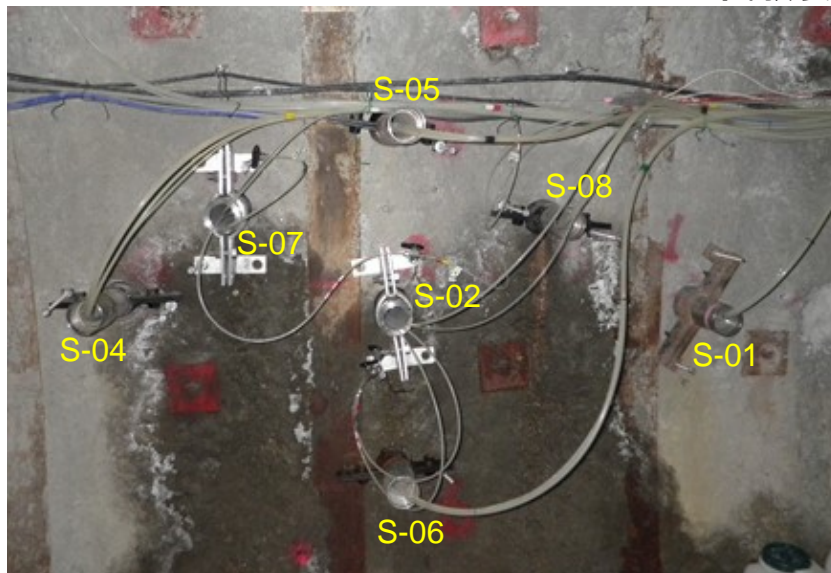
原位置トレーサー試験の概念図



試験装置概要



サンプリング後の岩石試料



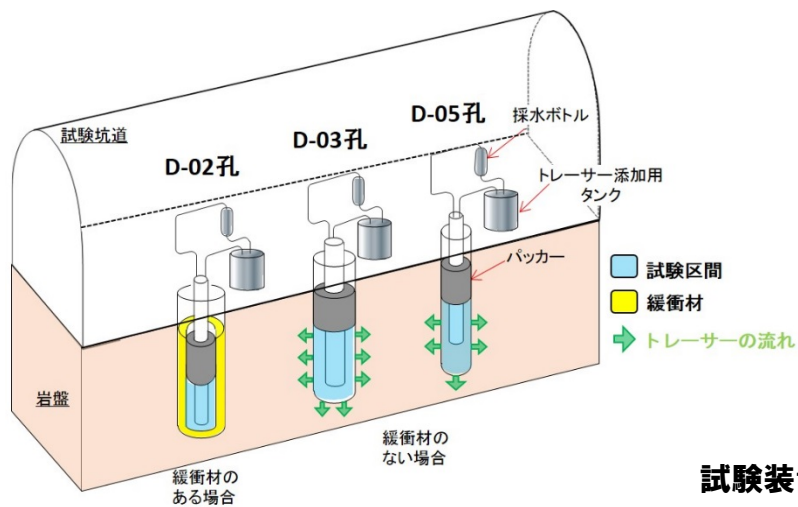
トレーサー試験装置の設置



単一割れ目内の状態

健岩部を対象とした物質移行試験

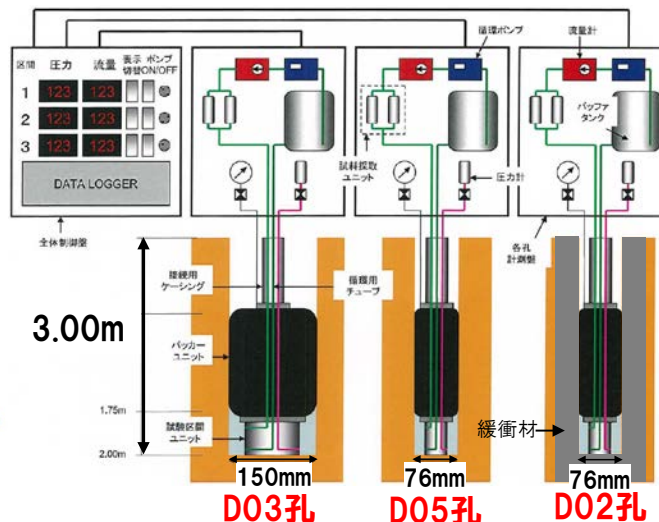
- 堆積岩中の岩盤マトリクス及び人工バリア中の物質移行特性を把握することを目的にトレーサー試験(拡散試験)を実施。
- 非吸着性トレーサー(ウラン、ナフチオン酸ナトリウム、重水等)及び吸着性トレーサー(Cs、Sr、Ni等)を用いた**拡散試験(期間は1年程度)**を実施。
- 拡散試験終了後、コア試料を取得し、室内試験にて**マトリクス拡散の程度**を評価。



物質移行試験イメージ



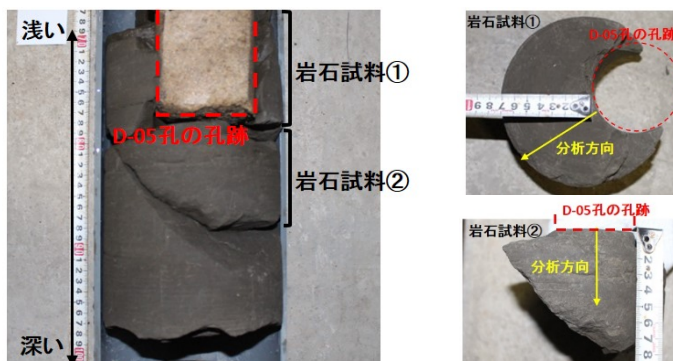
サンプリング試料



試験装置概要(緩衝材の有無、孔径の違いによる岩盤への拡散挙動の違いを評価)



緩衝材設置状況

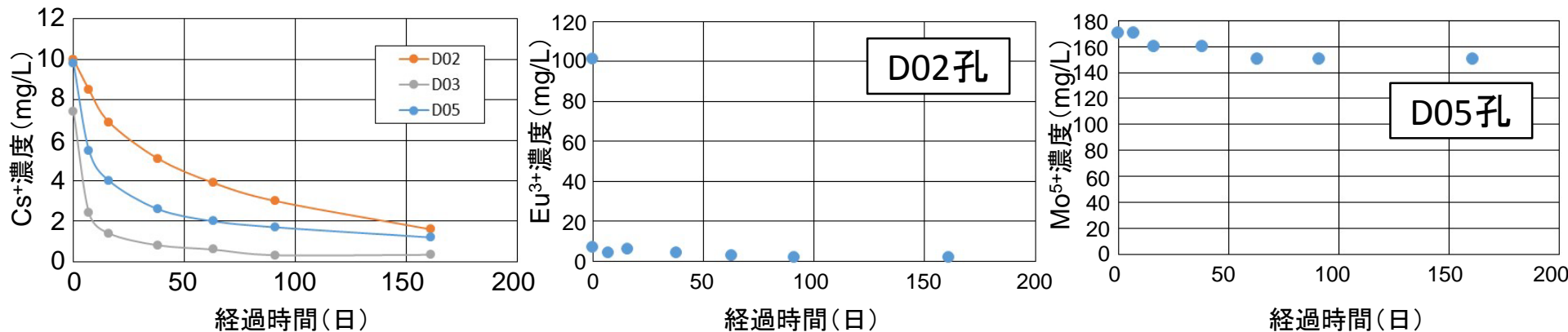


※D-05孔の孔跡には樹脂が充填されています

サンプリング状況

健岩部を対象とした物質移行試験

－試験結果－



- **D02孔(緩衝材有り)に比べ、D05孔(緩衝材無し)におけるCs⁺濃度減衰が大きい**
→岩盤と緩衝材とのCsの拡散・収着の程度の違いを確認
- **強収着性を有するEu³⁺はトレーサー投入初期段階で大きく濃度が減衰**
→装置系内(配管チューブ等)もしくは岩盤表面への吸着、試験区間内での沈殿の可能性
- **Mo⁵⁺についてはトレーサー投入初期からほぼ一定濃度で推移**
→他の収着性トレーサー(SrやEuなど)の岩盤表面への収着が進み、Moの収着が進行しなかった可能性

今後の予定

① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- オーバーパック腐食試験の継続。
- 人工バリア性能確認試験について、注水・加熱を継続。
- 割れ目帯を対象とした物質移行試験の準備を継続。

② 処分概念オプションの実証

- 原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究で実施する、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の具体化。

③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 水圧擾乱試験の実施。

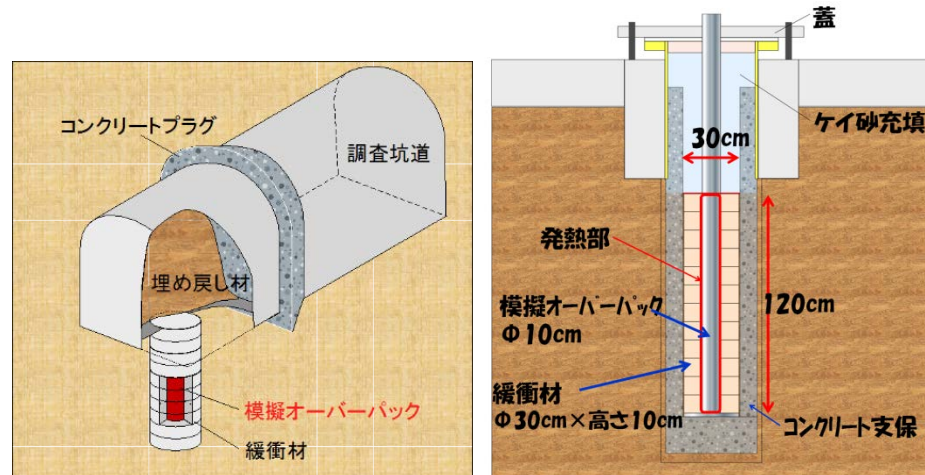
參考資料

必須の課題

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

平成26年度から深度350m調査坑道で実施している人工バリア性能確認試験、オーバーパック腐食試験、物質移行試験を通して、実際の地質環境において、人工バリアや周辺岩盤中での熱-水-応力-化学連成挙動や物質移行現象などを計測・評価する技術の適用性を確認し、「精密調査後半」に必要となる実証試験の技術基盤を確立する。

- 人工バリア性能確認試験
- オーバーパック腐食試験
- 物質移行試験



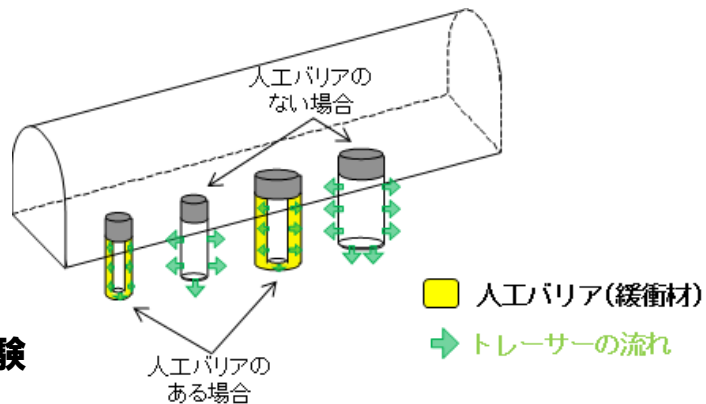
人工バリア性能確認試験

オーバーパック腐食試験

②処分概念オプションの実証

人工バリア設置環境の深度依存性を考慮し、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。

- 処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験
- 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
- 高温(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



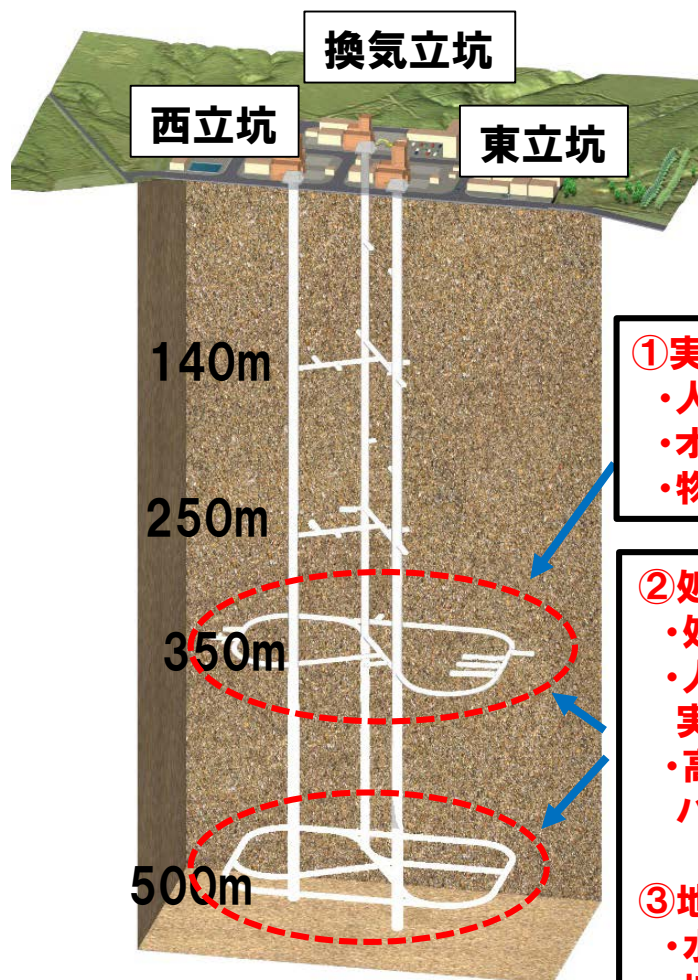
物質移行試験

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

地震・断層活動等の地殻変動に対する力学的・水理学的な緩衝能力を定量的に検証し、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。

- 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

必須の課題の研究実施場所



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
- ・オーバーバック腐食試験
- ・物質移行試験

②処分概念オプションの実証

- ・処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験
- ・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
- ・高温(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

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
- ・地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

深度500mの坑道展開については、
必須の課題の実施に必要な最小限
のレイアウトにしていく。

今後の取組

抽出された必須の課題のうち、「**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、人工バリアやその周辺の地質環境に関する基盤的な計測・評価技術の確立を目指して、平成26年度に開始した深度350m調査坑道における人工バリア性能確認試験、オーバーパック腐食試験及び物質移行試験を着実に進める。

深度500mレベルでの研究内容については、深度350mでの調査研究の成果や地層処分に関する国の方針などを踏まえて検討する。また、研究終了までの工程やその後の埋め戻しについては、平成31年度末までに決定することとする。