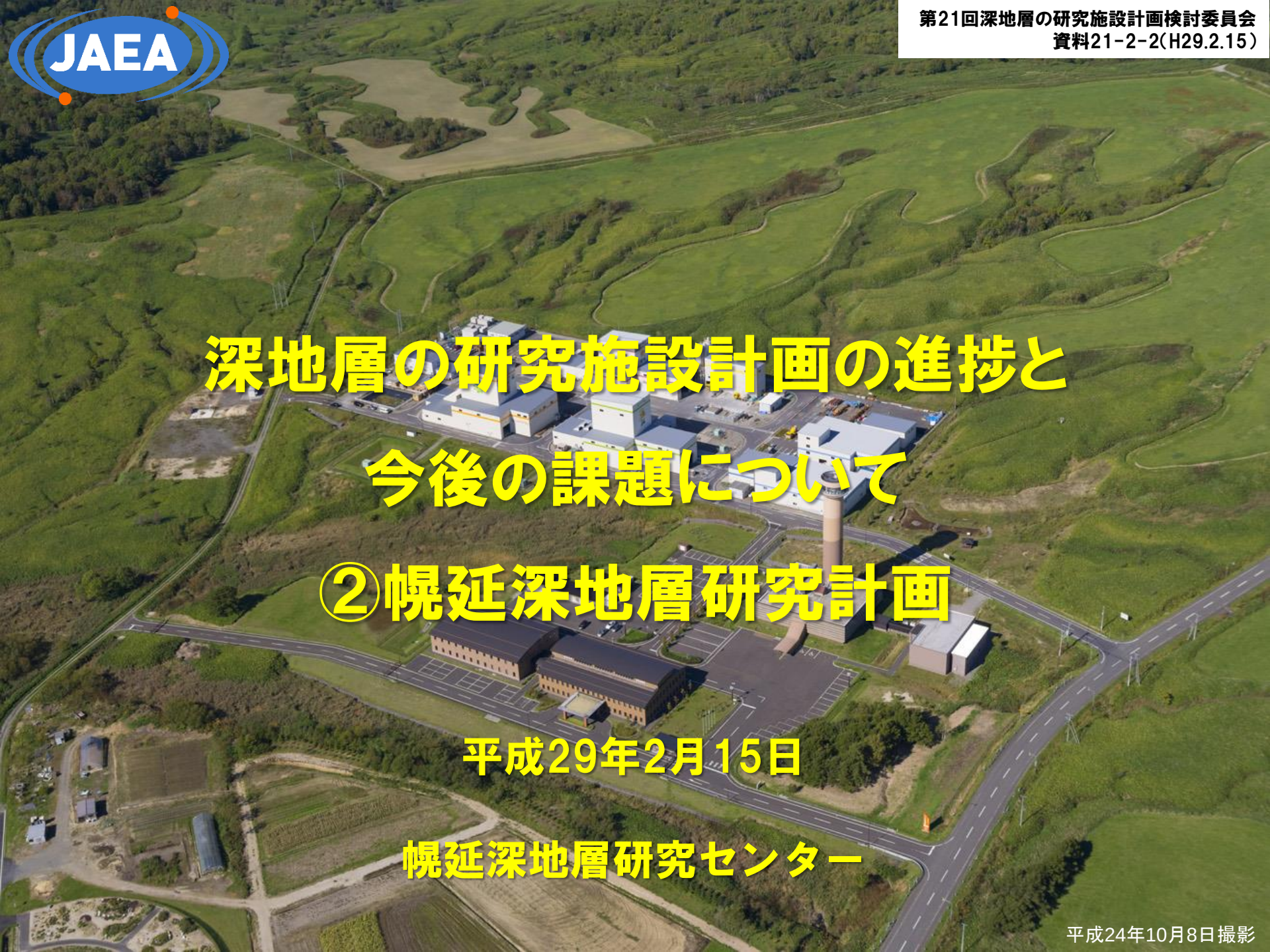
第21回深地層の研究施設計画検討委員会
資料21-2-2(H29.2.15)



深地層の研究施設計画の進捗と今後の課題について

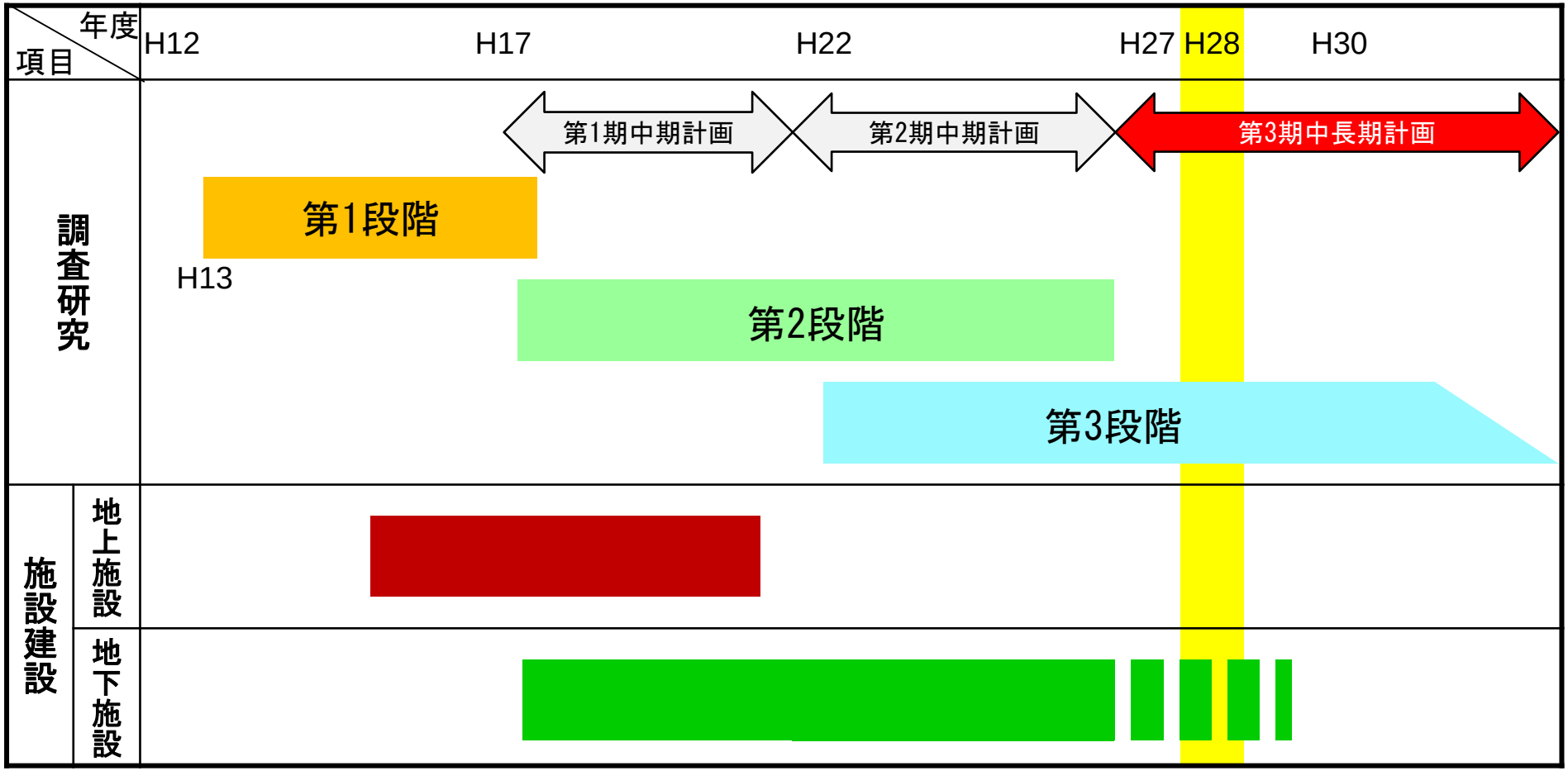
②幌延深地層研究計画

平成29年2月15日

幌延深地層研究センター

平成24年10月8日撮影

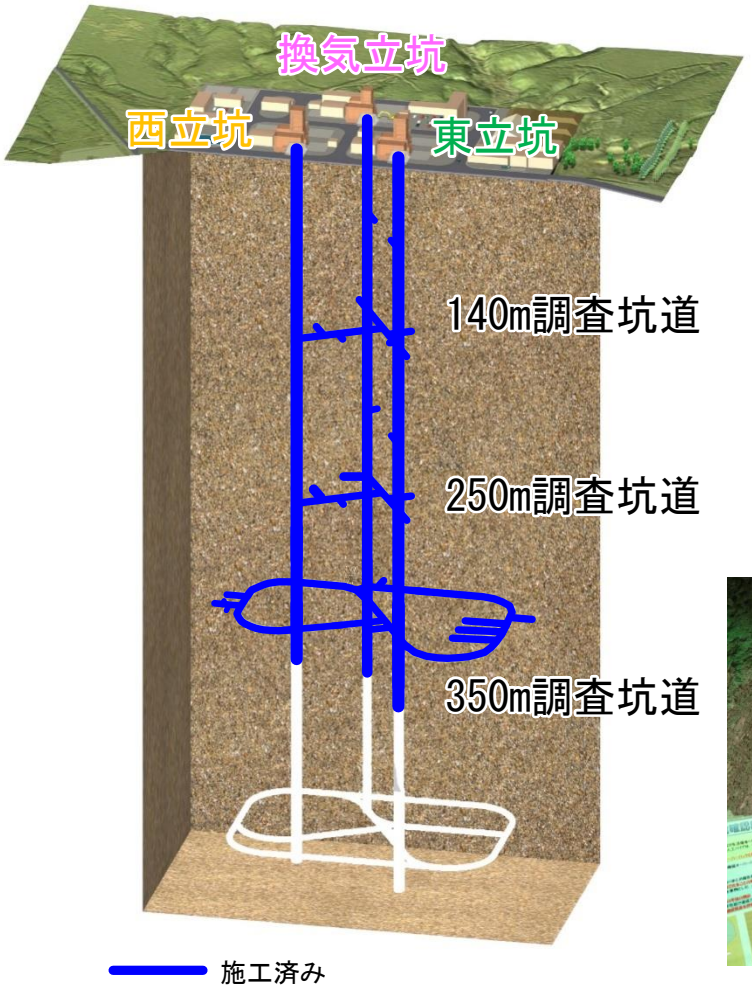
幌延深地層研究計画スケジュール



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
※平成31年度末までに研究終了までの工程やその後の埋め戻しについて決定する。

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。



※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。

【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

350m試験坑道4
（平成28年11月1日撮影）

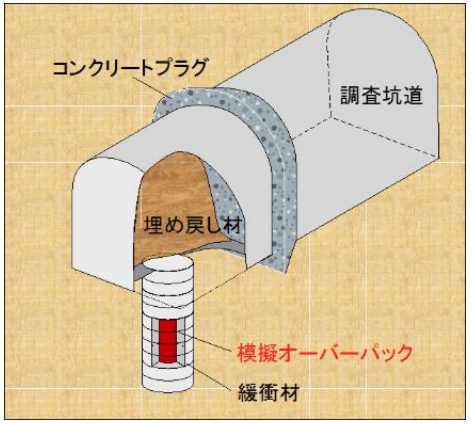
350m東周回坑道
（平成28年10月12日撮影）

必須の課題

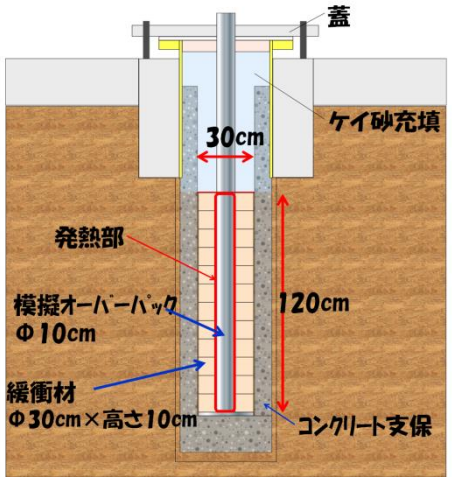
①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

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

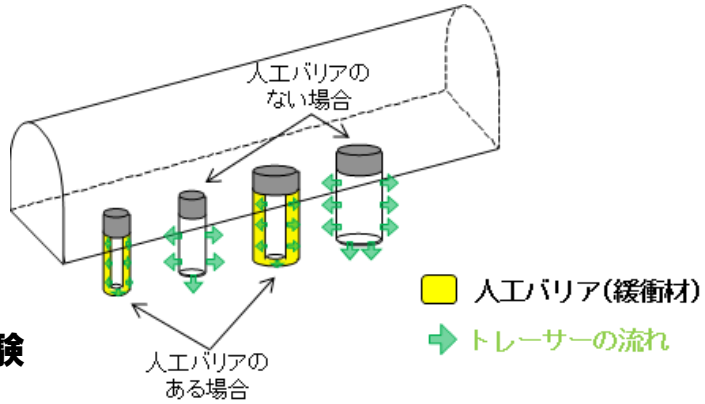


オーバーパック腐食試験

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



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

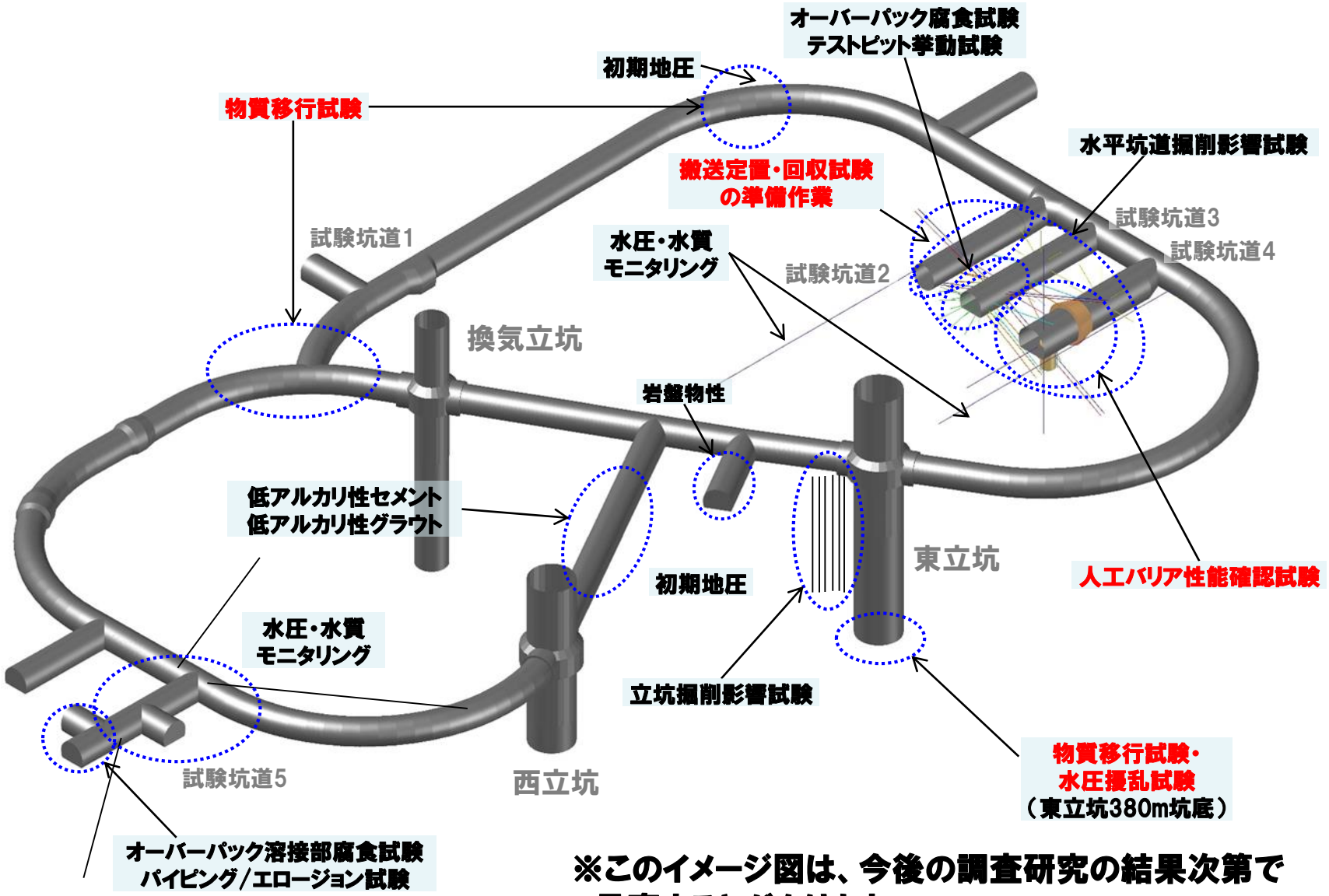
地震・断層活動等の地殻変動に対する力学的・水理学的な緩衝能力を定量的に検証し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する。

- 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

平成28年度の主な調査計画

	平成28年度の主な調査計画
地質構造	・壁面観察データを解析 ・地質環境モデルの詳細化 ・地下施設や地表で採取した岩石の顕微鏡観察や分析などを継続
岩盤水理	・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 ・水理地質構造モデルを更新
地球化学	・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分析や試験を継続 ・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変化に関わる地球化学モデルを更新
岩盤力学	・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	・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 ・微生物等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 ・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 ・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 ・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 ・水圧擾乱試験のための透水試験方法を整備
工学技術の基礎の開発	・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	・「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、オーバーパ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 ・「処分概念オプションの実証」について、人工バリアの搬送定置・回収技術の実証試験の準備作業を開始 ・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。

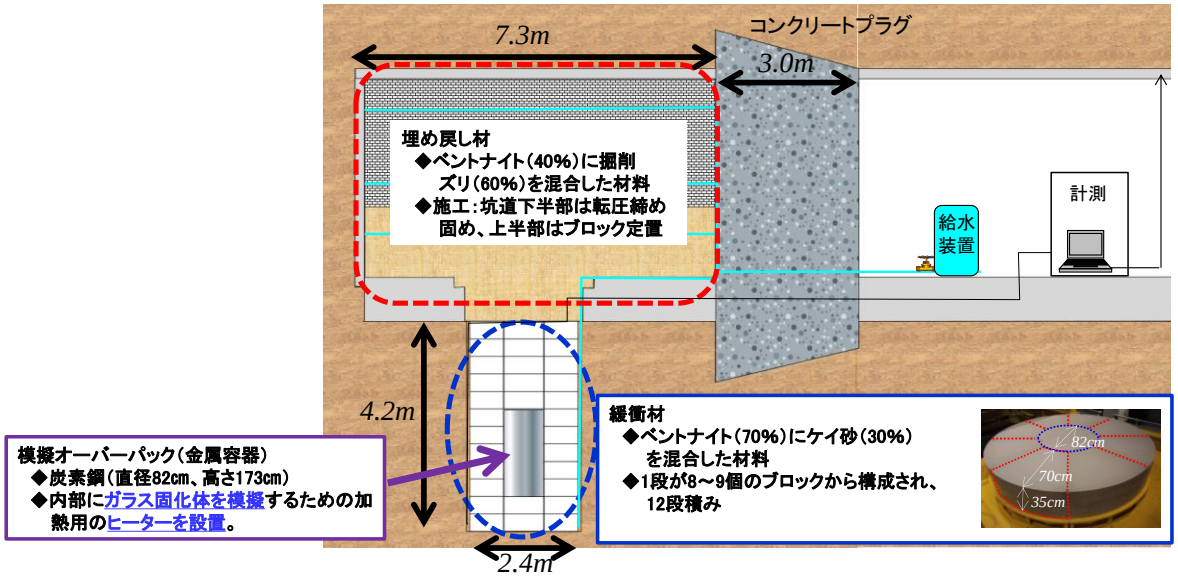
実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
－人工バリア性能確認試験－

【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、埋め戻し材の設計手法、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



人工バリア性能試験の概念図

【試験の状況】

○地下水の注水

350m調査坑道に掘削したボーリング孔から給水装置を通じて直接注水。

＜注水状況＞

段階的に注水量を増やして水圧を上昇させている。

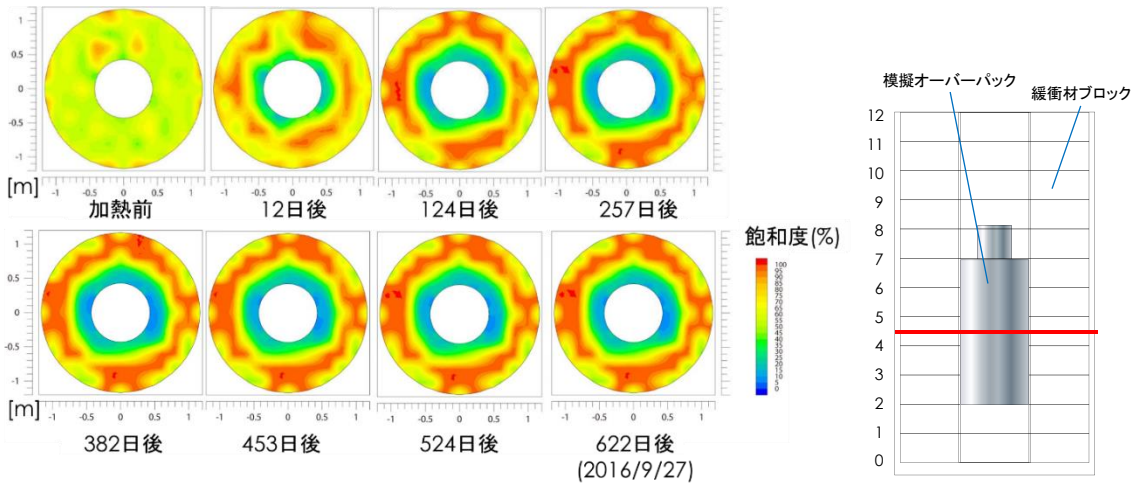
・緩衝材：試験孔底面から、1.0L/min（約0.3MPa）

・埋め戻し材：試験坑道壁面から、300mL/min（約0.1MPa）

○ヒーターによる加熱

模擬オーバーパック内（下部）に設置したヒーターの温度を100℃に制御。

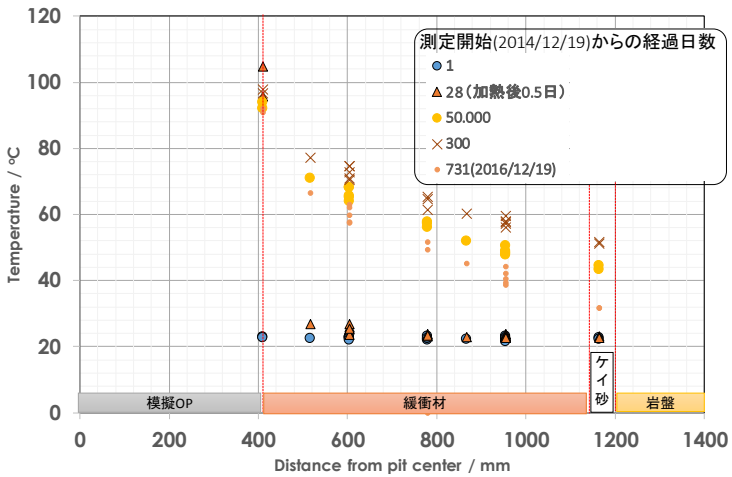
実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
－人工バリア性能確認試験の進捗状況－



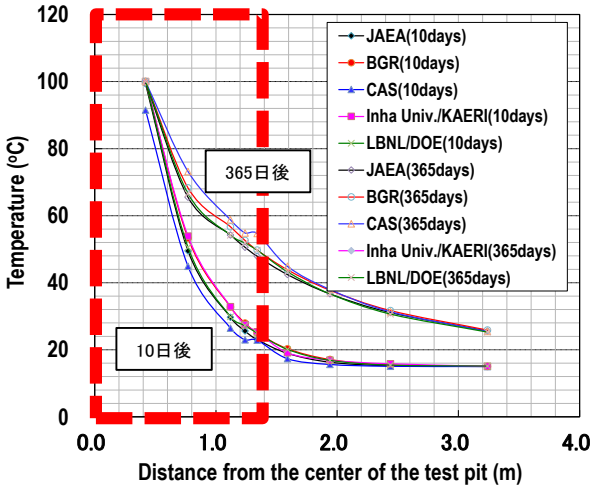
※加熱開始(2015/1/15からの経過日数)

比抵抗トモグラフィを用いて測定した緩衝材の水分飽和度

比抵抗トモグラフィを用いて測定した緩衝材の水分飽和度から、緩衝材の中央付近まで地下水が浸潤している傾向が見られるが、より詳細な浸潤状況を把握するため、間隙水圧計や水分計などのデータをもとに再確認中。



緩衝材中の温度の経時変化(断面5)



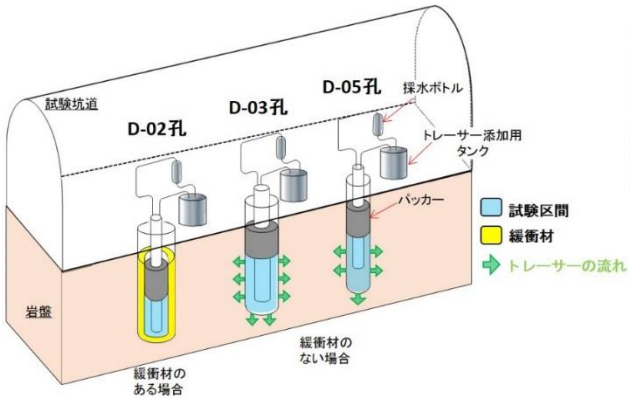
温度の解析結果(断面5)の例*

*DECOVALEX-2015 project
Task B2 Final report

模擬オーバーパック中央付近における温度分布の経時変化について、温度分布の傾向は、平成27年のDECOVALEX-2015プロジェクトにおける参加機関による解析の結果とほぼ同様な傾向を示す。

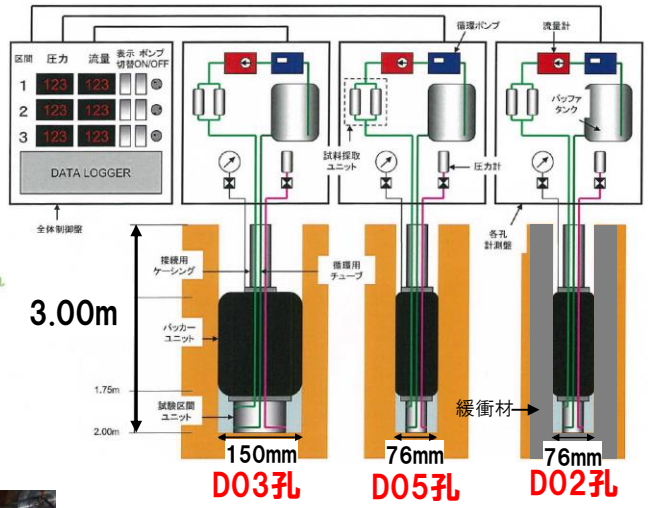
実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
－健岩部を対象とした物質移行試験（H27年度に実施した試験）－

- 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。
- 平成27年度に非収着性トレーサー（ウラニン、ナフチオン酸ナトリウム、重水、Mo等）及び収着性トレーサー（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**。

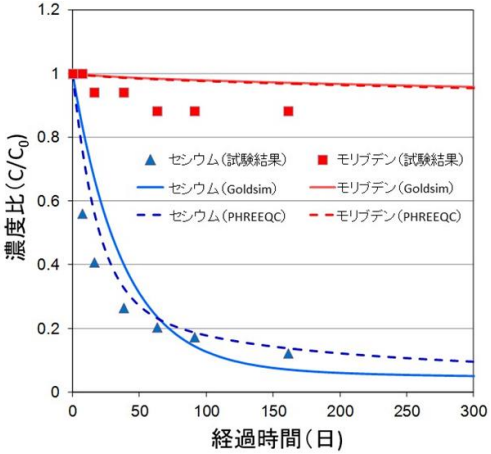


物質移行試験イメージ

ボーリング孔の掘削状況



試験装置の概念図



D-05孔におけるセシウムとモリブデンの減衰曲線

シンボルは原位置試験の試験結果、実線および破線は解析結果を示しています。

実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
－健岩部を対象とした物質移行試験（H28年度の試験概要）－

目的

原位置環境下における泥岩基質部の拡散特性（拡散係数、分配係数）を把握する

第1回目（H27年度）：試験孔の孔径や緩衝材の有無による拡散特性の違いを確認

第2回目（H28年度）：塩濃度の異なる環境下における拡散特性の違いを確認

試験フロー

①試験孔掘削、コア観察

②単孔水理試験

③塩濃度調整

④拡散試験

塩濃度初期条件

約10%、約4%（海水相当）、

1%未満（原位置相当）

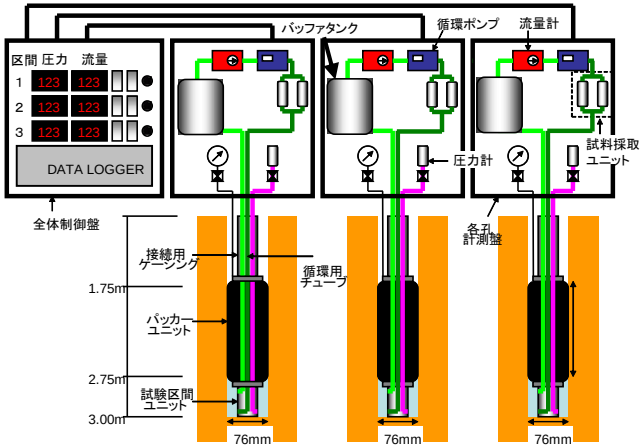
トレーサー：ウラニン、ヨウ素、重水、

Mo、Cs、Sr、Ni、Co、Eu

トレーサー投入：2017.1.16

→ 定期的に採水（約6ヶ月間を予定）

⑤オーバーコアリング

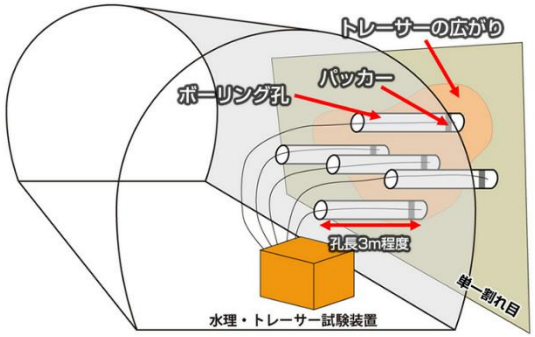


試験装置の概念図

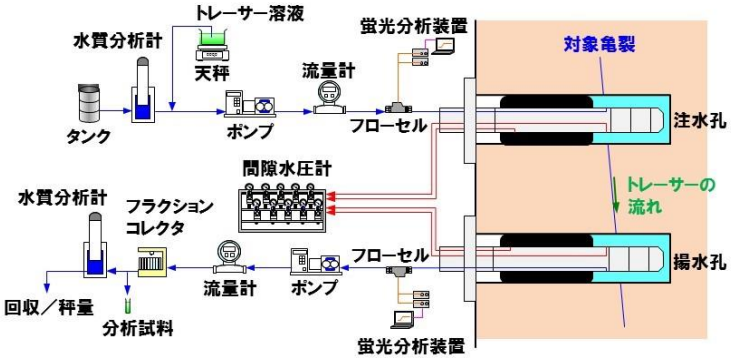
試験装置の全景

実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
－単一割れ目を対象とした物質移行試験（H27年度に実施した試験）　－

- 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：ウラニン）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**。

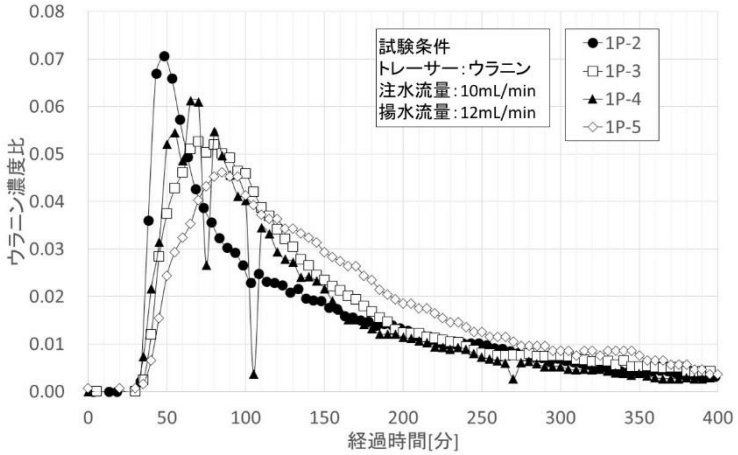


原位置トレーサー試験の概念図

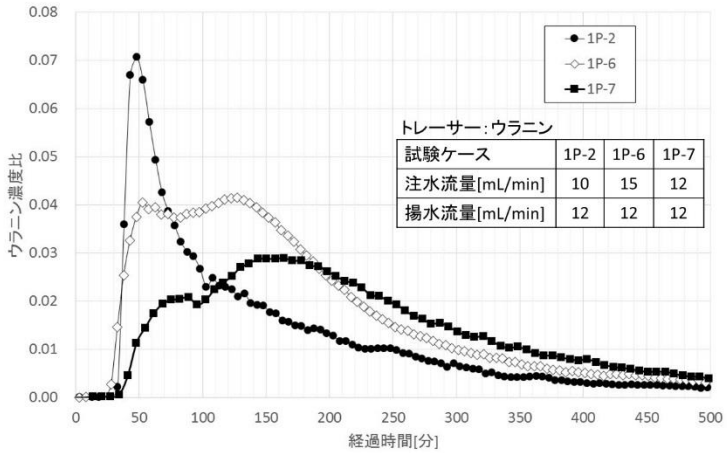


試験装置概要

サンプリング後の岩石試料



ダイポール比が同じ条件でのトレーサー試験結果



ダイポール比を変化させた場合のトレーサー試験結果

処分概念オプションの実証
－搬送定置・回収技術の実証試験－

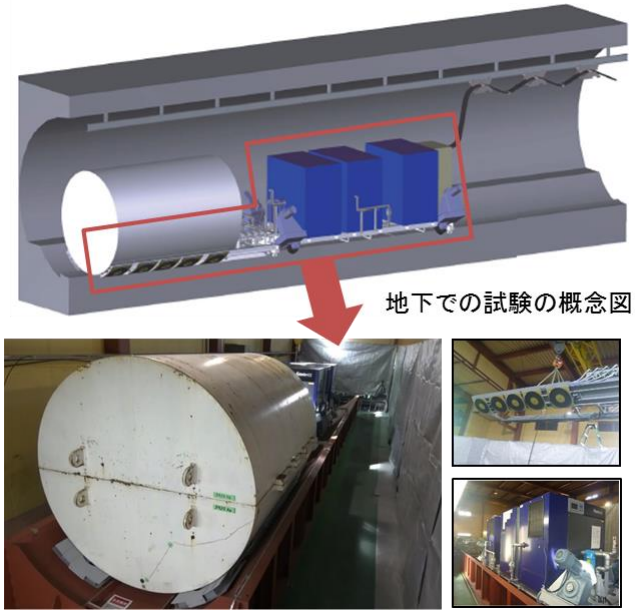
試験坑道2を整備し、横置きPEM(Prefabricated Engineered Barrier System Module)方式の実証試験を実施(原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究)

試験レイアウトイメージ

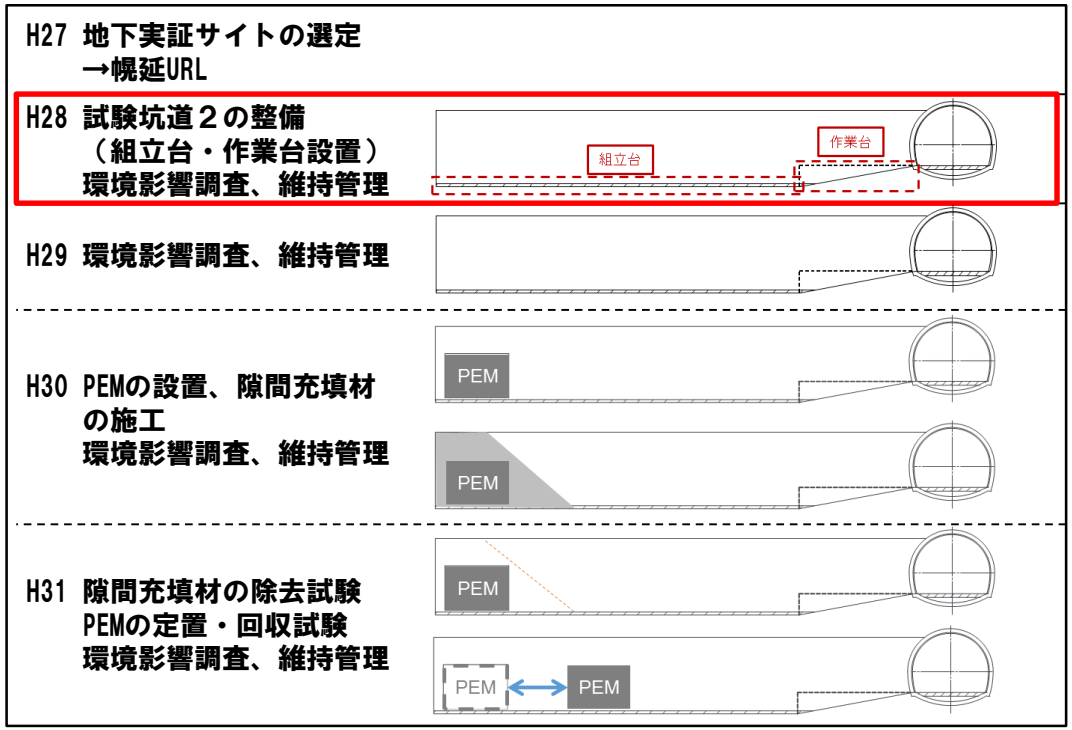
模擬PEM設置に伴う影響評価計画

力学影響	鋼製支保工応力計測 組立台コンクリート応力計測 内空変位計測、地中変位計測
水理影響	間隙水圧計測(既存) 比抵抗トモグラフィ計測 *間隙水圧計測(新規)、透水試験*

青字:今回設置、灰字斜体:計画中



参考)搬送・定置装置の設計・製作
(原環センターにて実施)



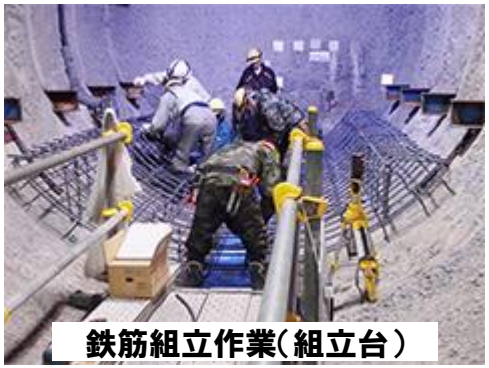
概略スケジュール

処分概念オプションの実証

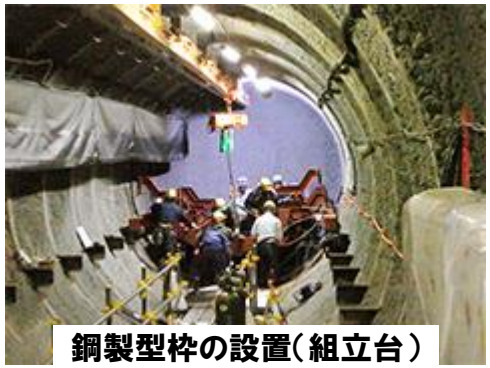
－搬送定置・回収技術の実証試験のための試験坑道の整備－

平成28年度は、深度350m調査坑道の試験坑道2を活用した実証試験に向け、当該試験坑道の整備および計測器の設置作業を実施。

試験坑道2（坑道整備前）

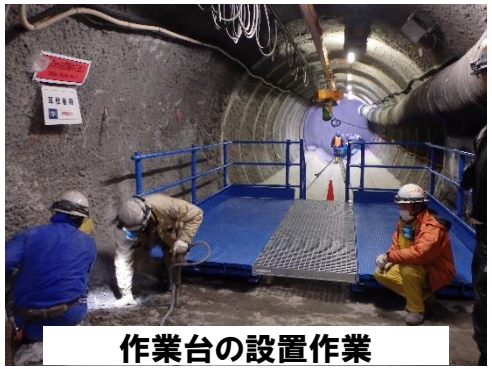

鉄筋組立作業（組立台）

計測器の設置作業（組立台）


鋼製型枠の設置（組立台）

コンクリート打設（組立台）

コンクリート台座の設置作業（組立台）


作業台の設置作業

試験坑道2（坑道整備後）

（試験坑道奥から）

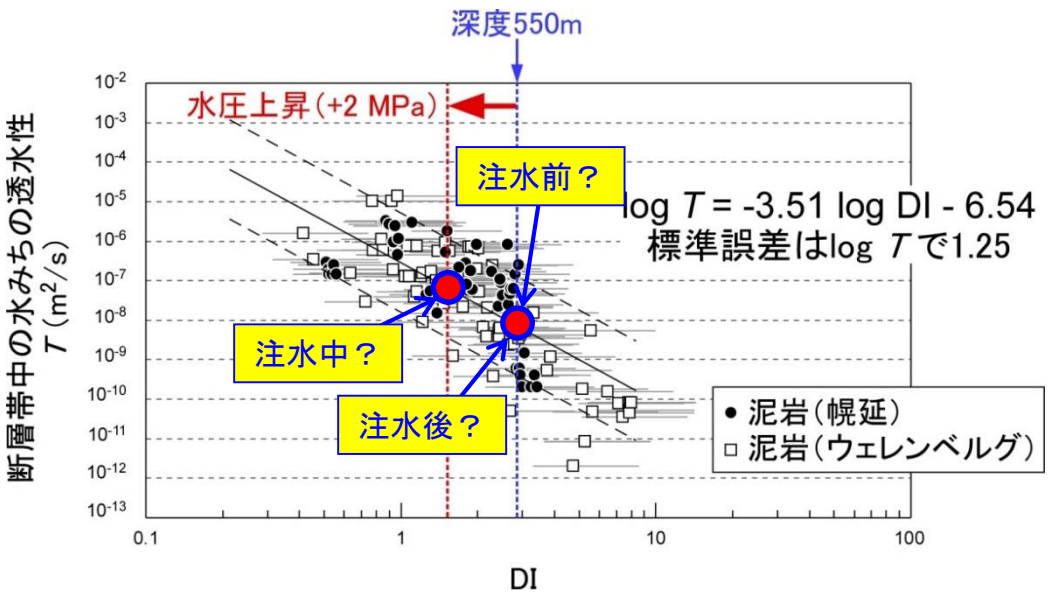
地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

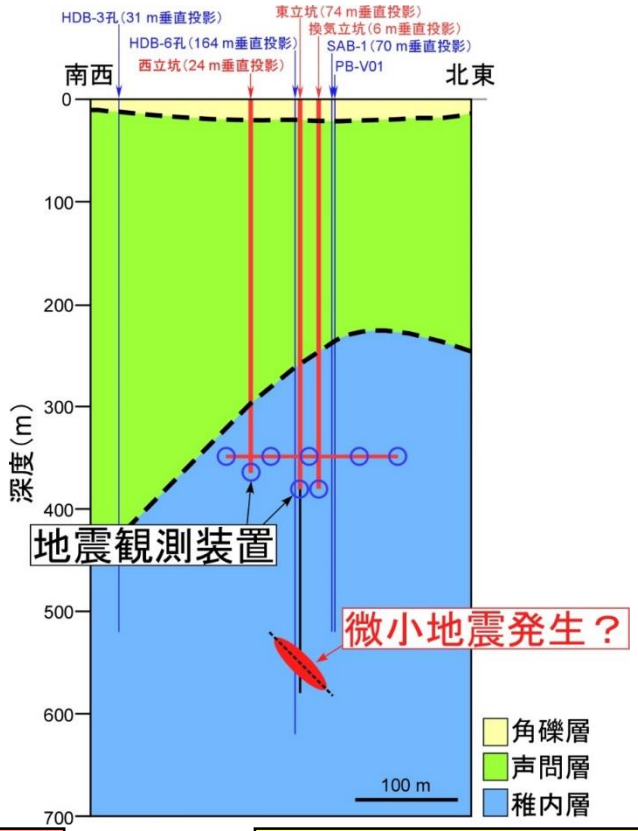
- ◆ 断層中の水みちの透水量係数は岩盤のDuctility Index（DI）に依存（Ishii, 2015, JGR）
- ◆ DIは平均有効応力（σ'_m）と引張強度（σ_t）より定義され（$= \sigma'_m / \sigma_t$）、時空間分布の予測が可能

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





断層部への高圧注水（+2 MPa）

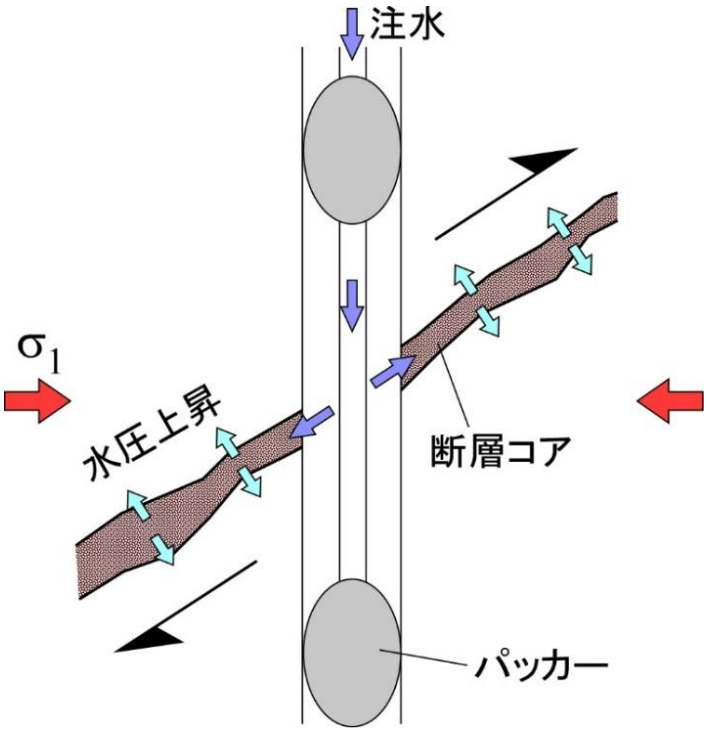
→ **DIの低下（隆起・侵食を模擬）**

→ **せん断すべりの誘発の可能性**

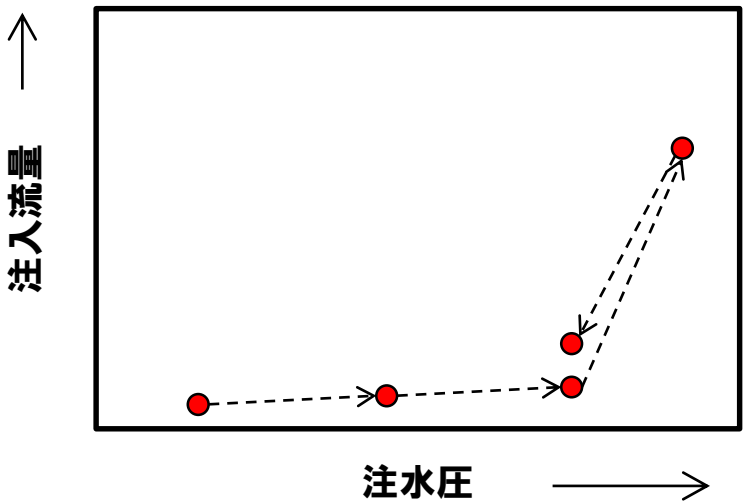
→ **透水性の変化の観測 + DIモデルの検証**

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－

［水圧擾乱試験］
通常よりも高い注入圧を用いて断層内にせん断破壊を誘発させ、そのせん断破壊が岩盤の透水性に与える影響や、その後の岩盤の復元力（緩衝能力）を確認する試験



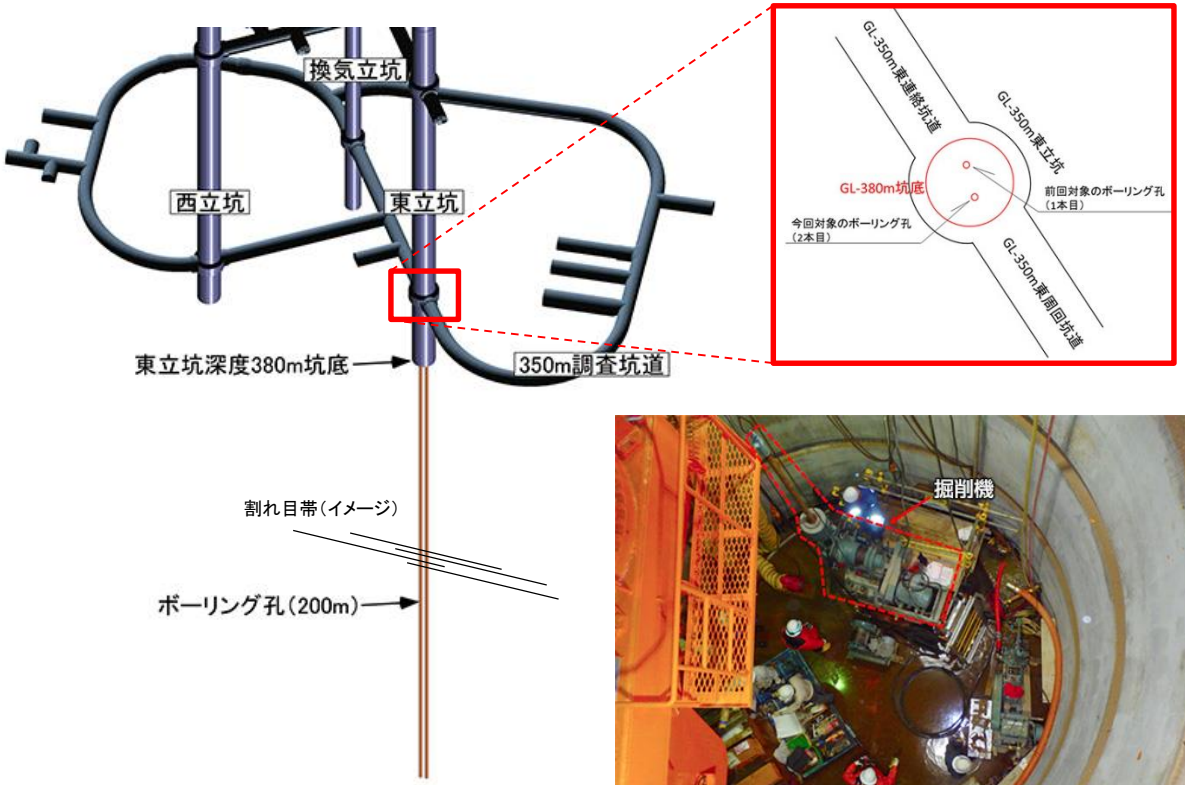
水圧擾乱試験の概念図



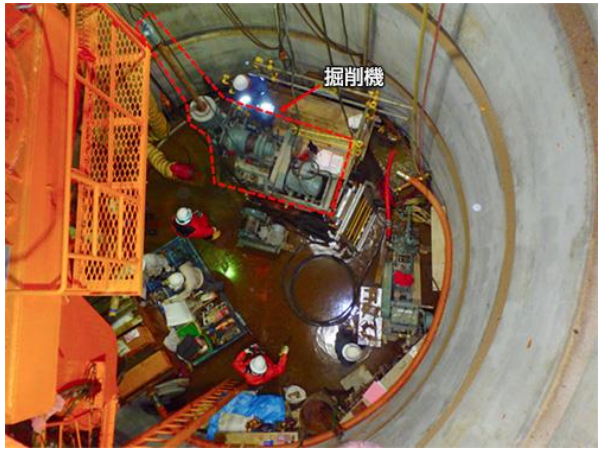
水圧擾乱試験における注水圧と注入流量の関係
（イメージ）

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－

- 東立坑の坑底（深度380m）において、**水圧擾乱試験**および**割れ目帯を対象とした物質移行試験**（孔間トレーサー試験）に使用するボーリング孔の掘削を実施。2/1現在、2孔目のボーリング孔を掘削中。
- 1孔目のボーリング孔において、水圧擾乱試験（予備試験）を実施。



ボーリング孔の掘削レイアウト



ボーリング孔の掘削の様子

スカフォード（吊り足場）から見たボーリング孔の掘削の様子

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（予備試験）の試験内容と試験結果－

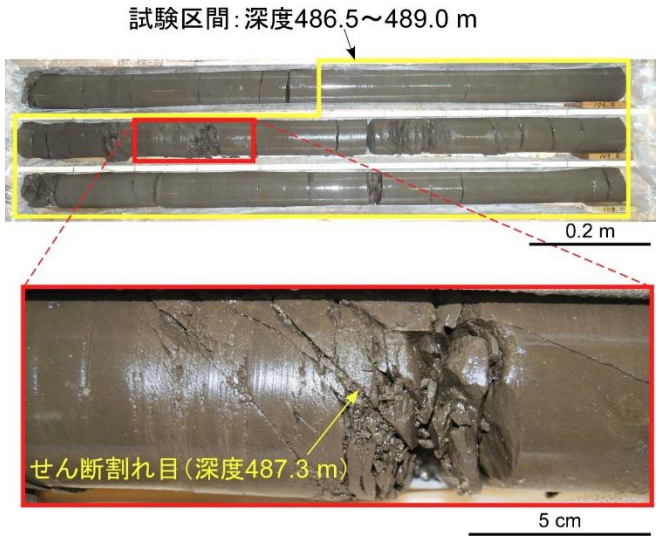
断層帯を対象とした水圧擾乱試験に先駆け、予備試験として小規模なせん断割れ目（深度487.3m）を対象とした水圧擾乱試験をシングルパッカーで実施

試験内容

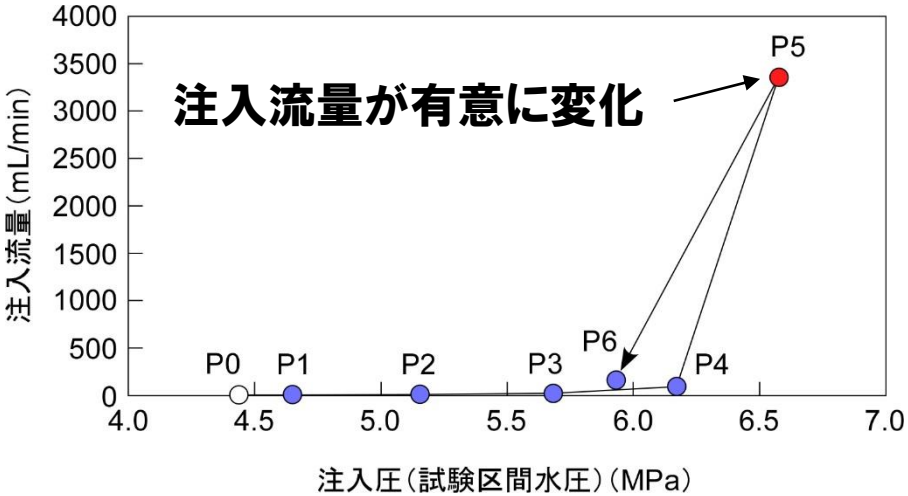
数段階の水圧条件（P0→P6）で定圧注水試験を行い、定常式を用いて透水性を算出。

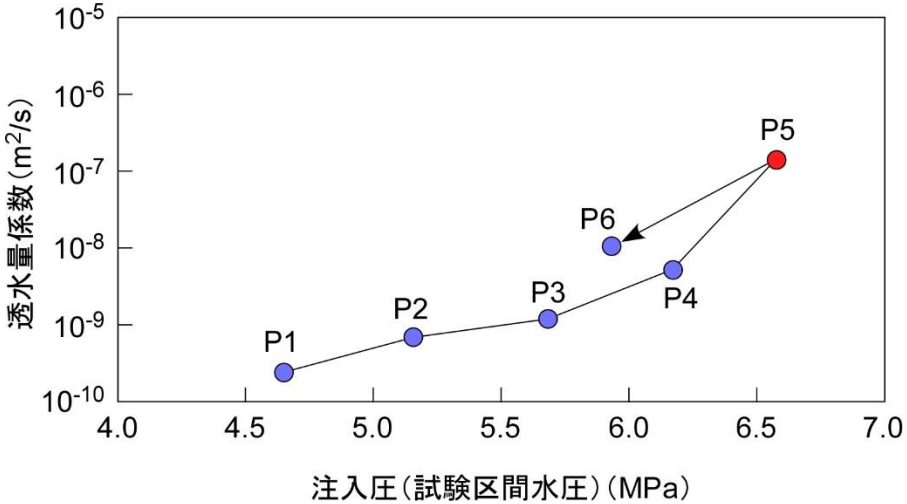
試験結果

水圧が6.5 MPa程度になると注水流量が有意に増加し、透水性も増加することを確認。



試験区間付近のコア試料

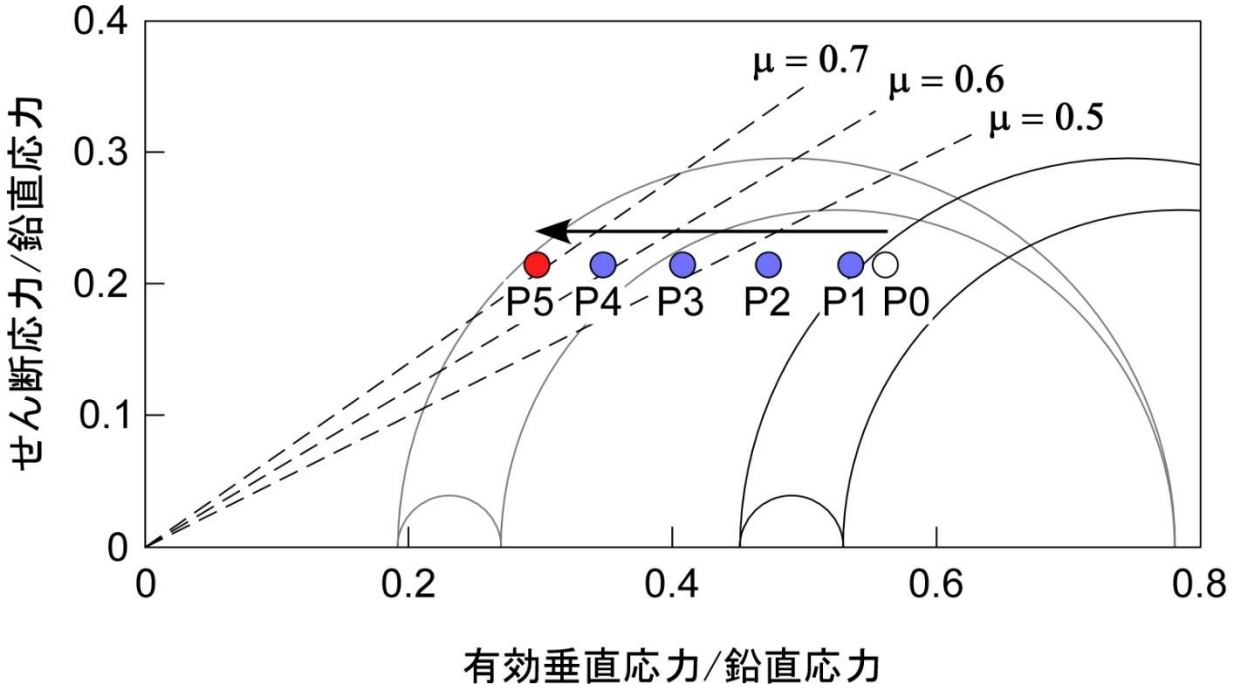




水圧擾乱試験（予備試験）の結果

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（予備試験）の試験結果－

注入流量の有意な上昇の要因

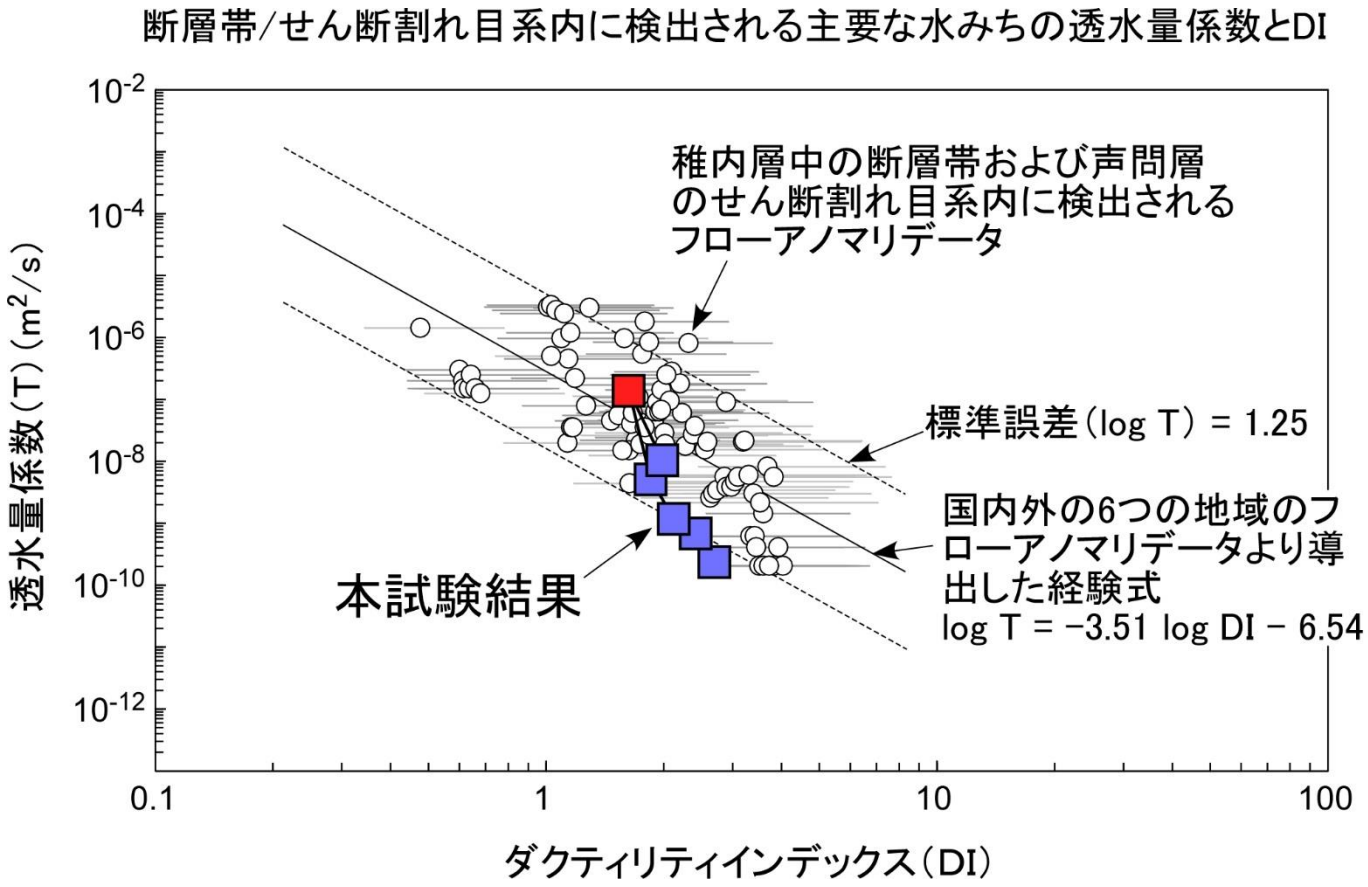


本試験区間に最も近い初期応力試験（HDB-6孔深度529.5m水圧破砕試験）の結果に基づくと、P4～P5程度の水圧条件であれば試験区間のせん断割れ目（深度487.3m）は十分に再動可能

⇒せん断破壊に伴う局所的な亀裂開口が注入流量の有意な上昇の要因

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（予備試験）の試験結果－

DIモデルとの比較



再動によりせん断割れ目の透水性は上昇し得るが、その透水性の上昇幅は既存の経験式（DIモデル）の範囲に収まることを確認
⇒地殻変動を考慮した安全評価における状態設定に反映可能

情報発信と理解醸成に向けた取り組み

ホームページでの情報発信

- 地下施設整備や調査研究の状況を毎週更新
- メタンガス濃度、排水量等の地下施設の管理状況を毎日更新

計画説明会・成果報告会、地下施設見学会などの開催

「平成28年度計画説明」
（国際交流施設　平成28年5月24日）

「平成27年度成果報告」
（国際交流施設　平成28年8月3日）

「札幌報告会2016」
（札幌市教育文化会館　平成28年8月25日）

地下施設見学会
（350m調査坑道での見学の様子）
平成26年度：1,097名
平成27年度：1,021名
平成28年度：1,226名（H29.1月末現在）