



深地層の研究施設計画検討委員会（第9回）

幌延深地層研究計画

平成22年度の進捗と今後の展開

平成22年11月15日

**日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門
幌延深地層研究ユニット**

報告内容と議論のポイント

- URLの建設と調査研究成果を広く世の中に示すことで、地層処分の“実現性”（大規模地下施設の建設実現性、処分技術の信頼性、安全評価シナリオの有効性などに由来する安心感）を国民に提供する。
- 地層処分技術に関する基盤情報を実施主体と国へ提供することで、事業の推進と安全規制の策定に寄与する。

➤ 地下施設の進捗状況

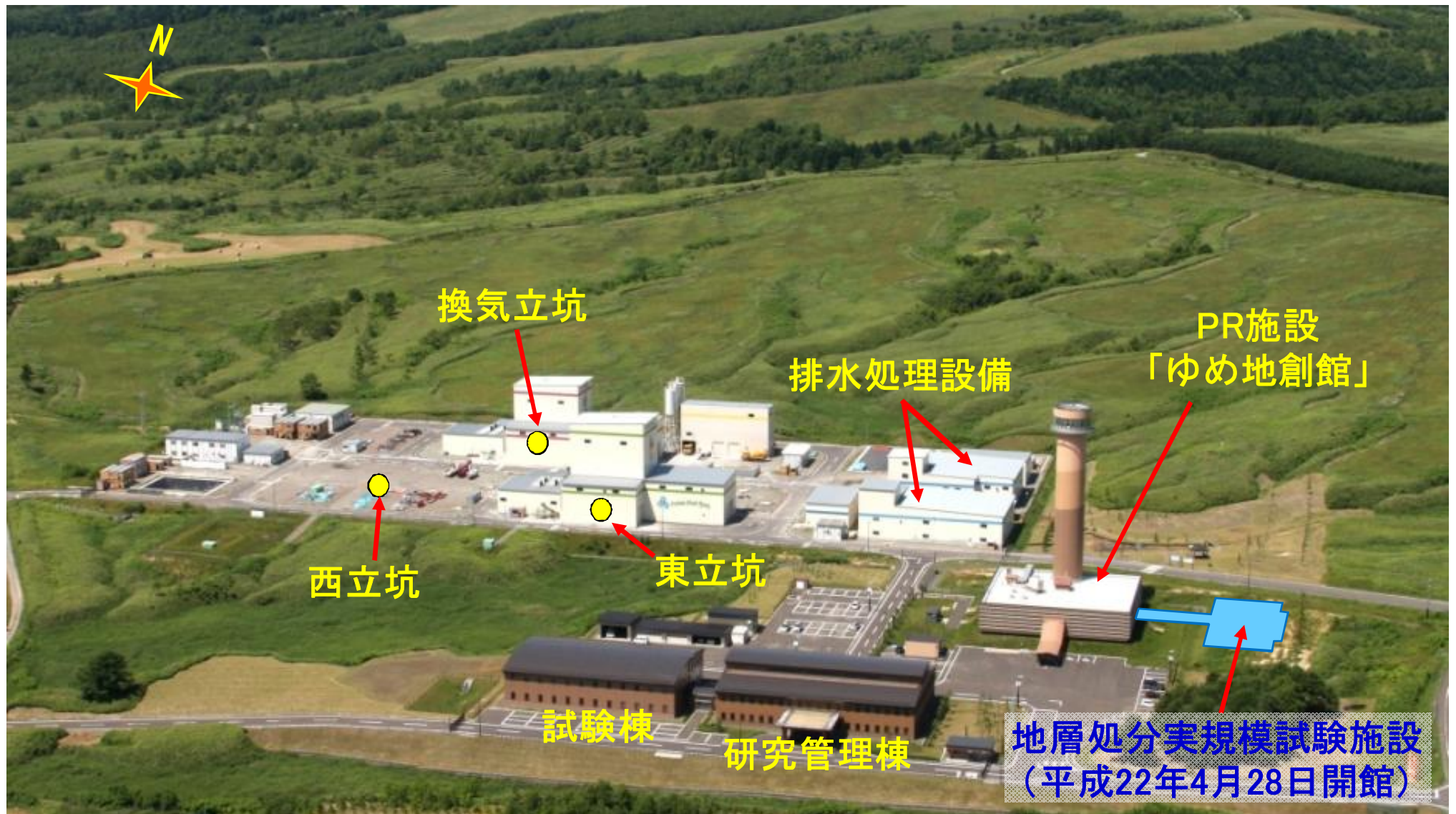
➤ これまでの実施内容と主な成果

ポイント： 第1段階の調査研究の妥当性評価と更新

➤ 第3段階の調査研究計画（深度350mまで）と今後の展開

ポイント： 第3段階の調査研究の実施内容と反映点

施設の配置

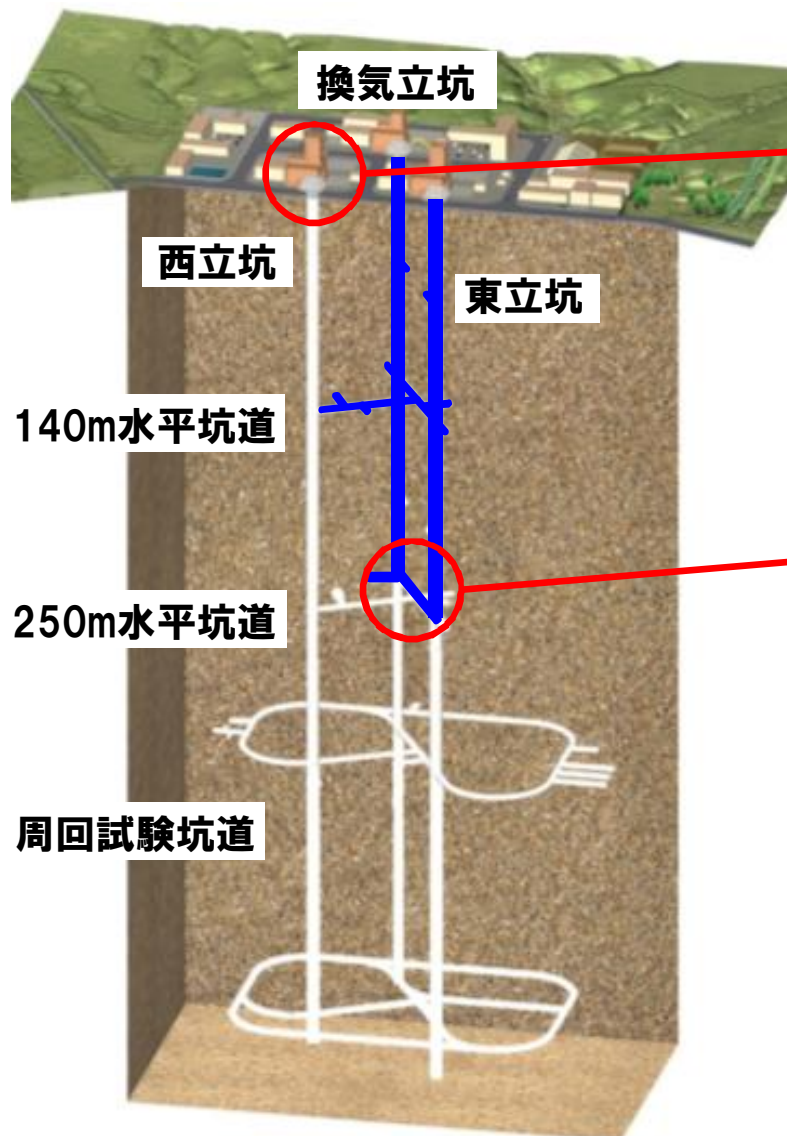


平成21年7月12日撮影

- 西立坑掘削準備_坑口止水連壁工事
- 地層処分実規模試験施設開館 (H22年4月28日)_原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究

地下施設の進捗状況_地下施設

地下施設のレイアウト



* 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。



西立坑坑口止水連壁工事
(平成22年10月14日)



東立坑と換気立坑間の深度250m水平坑道の貫通
(平成22年6月23日)

【立坑(平成22年11月15日現在)】

東立坑(維持管理): **掘削深度 250.5m**

換気立坑(維持管理): **掘削深度 250.5m**

【水平坑道(平成22年11月15日現在)】

深度140m水平坑道(維持管理): **掘削長 183.5m**

深度250m水平坑道(維持管理): **掘削長 90.5m**

【西立坑】

掘削予定地の周辺15m四方に深さ約30mの止水連壁を構築

地下施設の進捗状況_掘削土(ズリ)置場

【基本的な考え方】

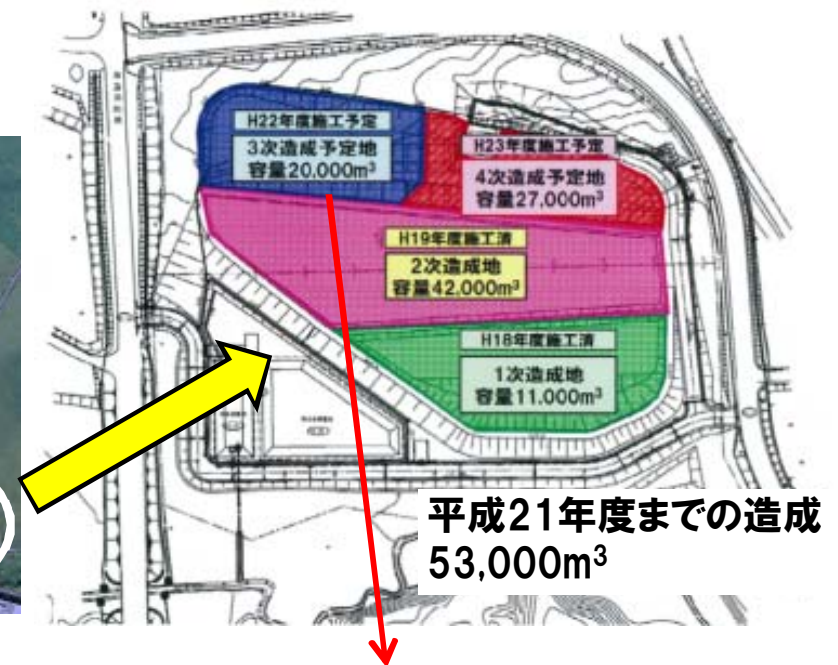
研究終了までの間、「土壌汚染対策法」、「水質汚濁防止法」などの法律に従い、環境に配慮した管理を実施

【仕様】

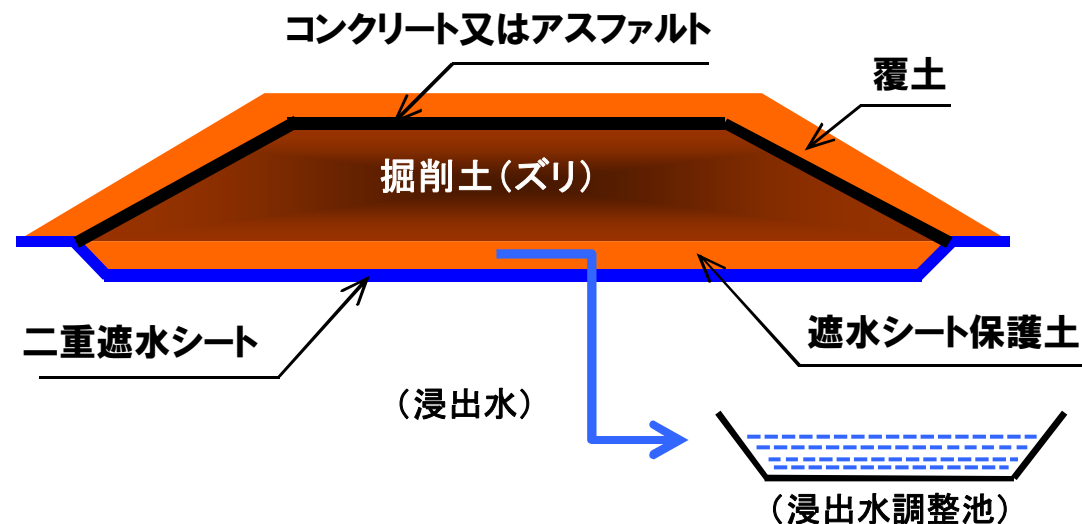
- ・ 土壌汚染対策法の遮水工封じ込め型を採用
- ・ 地下施設掘削の進捗に合わせて段階的に整備

→ 73,000m³分を整備

掘削土(ズリ)置場の整備

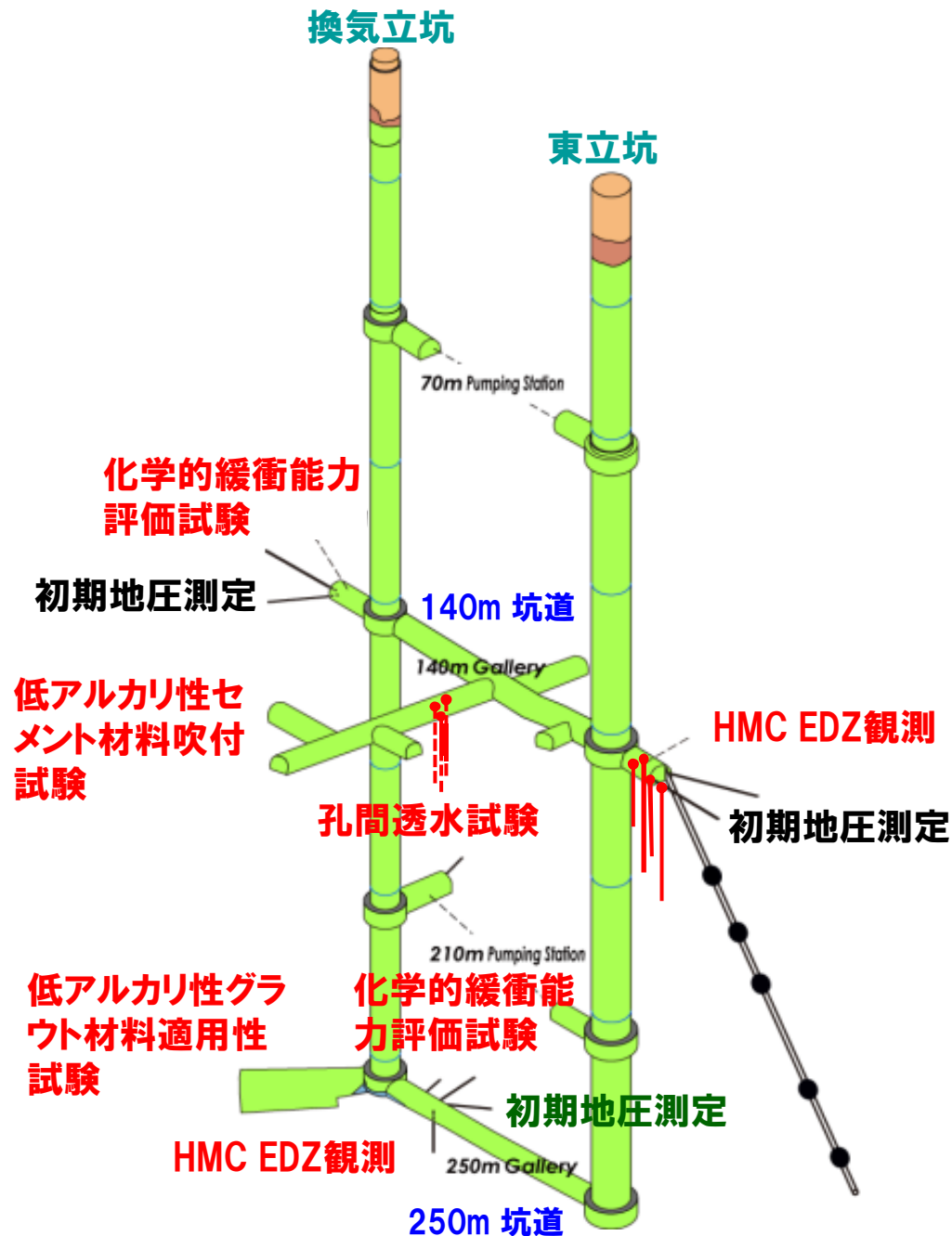


掘削土(ズリ)置場のイメージ



掘削土(ズリ)置場整備工事
(平成22年9月27日)

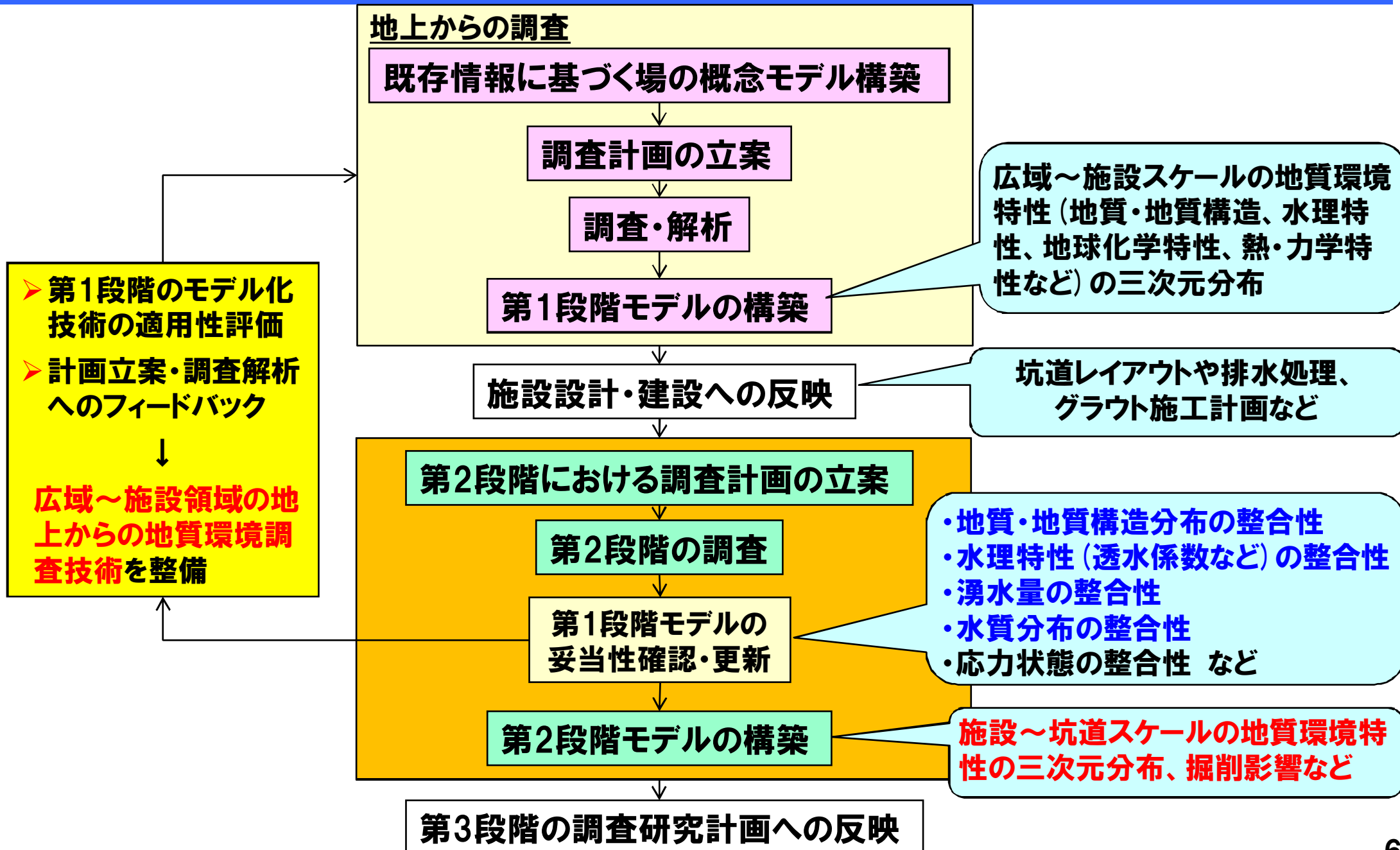
これまでの実施内容と主な成果



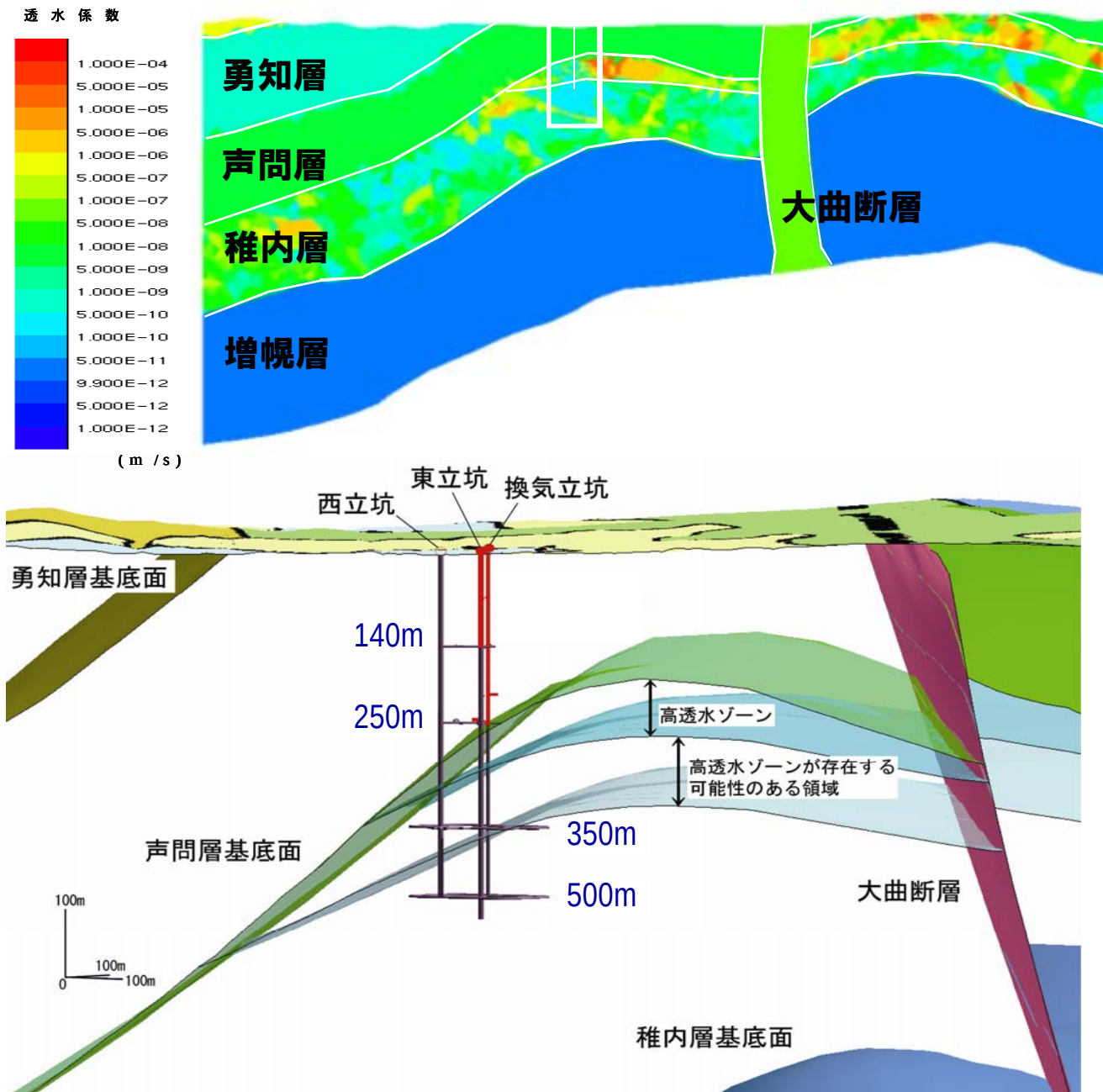
精密調査段階（前半）に用いる調査解析技術、工学技術及び処分技術の整備（建設時に行うべき調査項目の明確化、調査解析技術の構築、設計・施工技術、処分技術の適用性確認）

- 第1段階の調査解析技術、モデル化手法の適用性確認（反省点の整理とフィードバック）。モデルの更新と未掘削領域の地質環境の予測
- 大規模坑道建設に伴う地質環境（THMCB条件）の変化を理解するための調査技術、概念・数値モデル化手法の開発
- 地下施設の設計手法の適用性確認と合理化
- 地下施設建設時の処分技術の実証（低アルカリ性セメント材料、緩衝材の定置、坑道閉鎖など）

第1段階の技術の確認とフィードバックの考え方



第1段階の地質環境モデルの構築と地上・地下施設設計



➤ 透水性地質構造の分布と可燃性ガス(メタン)の存在

➔ 250m以深に分布する高透水性構造を避けるため、第2連絡坑道の深度を当初設計の深度(280m)から250mに設計変更

➔ 可燃性ガスに対する安全対策として3本の立坑を設け、通気網解析で安全性を確認

➤ 排水基準を超えるホウ素、アンモニウムイオンの存在

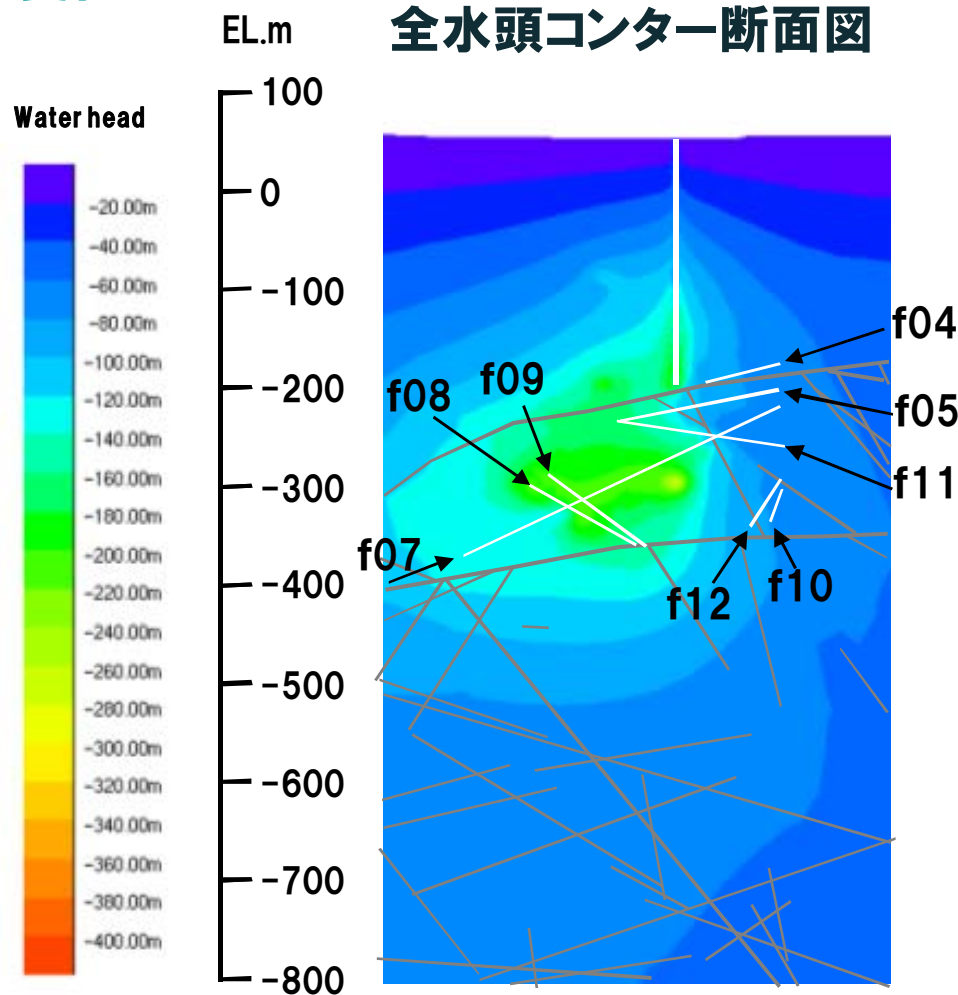
➔ 排水処理施設の設計・設置

□ 設計変更の履歴、事由の情報管理とノウハウの蓄積

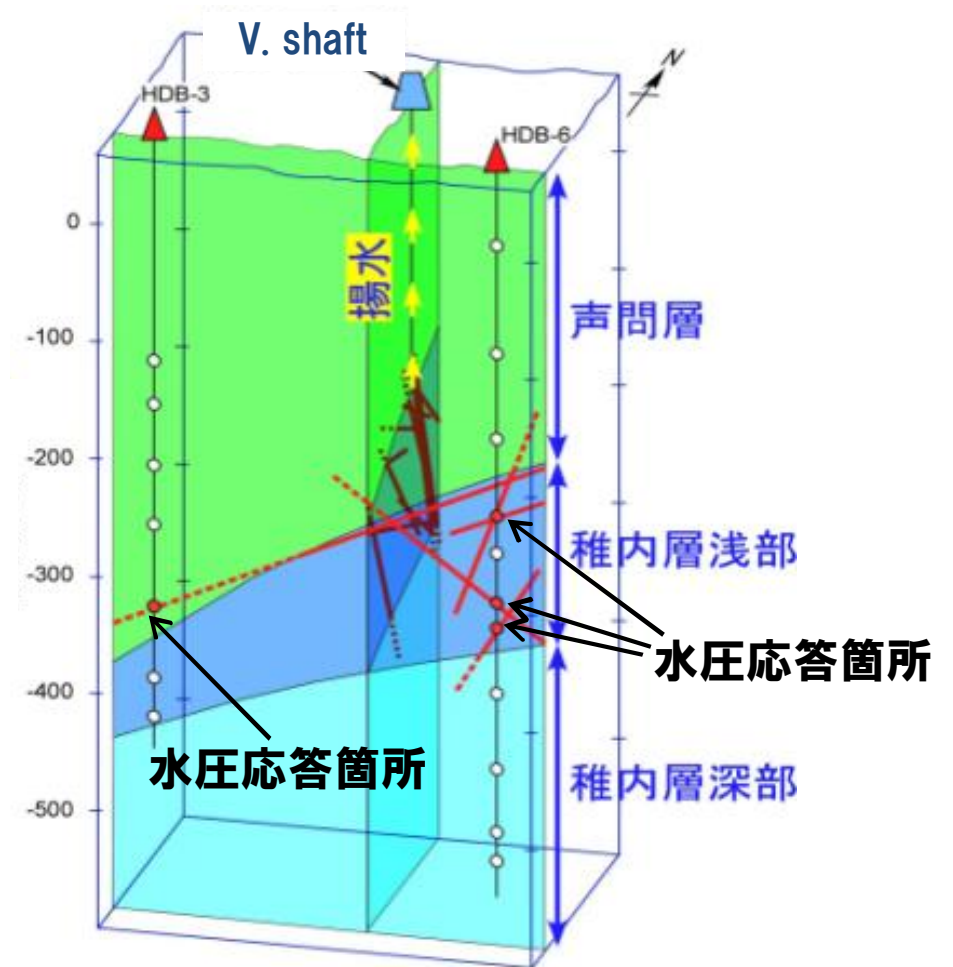
□ 想定外事象に対する経験の知識化
例) 掘削土(ズリ)からの溶出水の排水管理

第1段階のモデル化手法の妥当性確認とモデル更新

深度250m以深の坑道掘削に伴う水圧（全水頭）
分布変化



地質構造と水圧応答

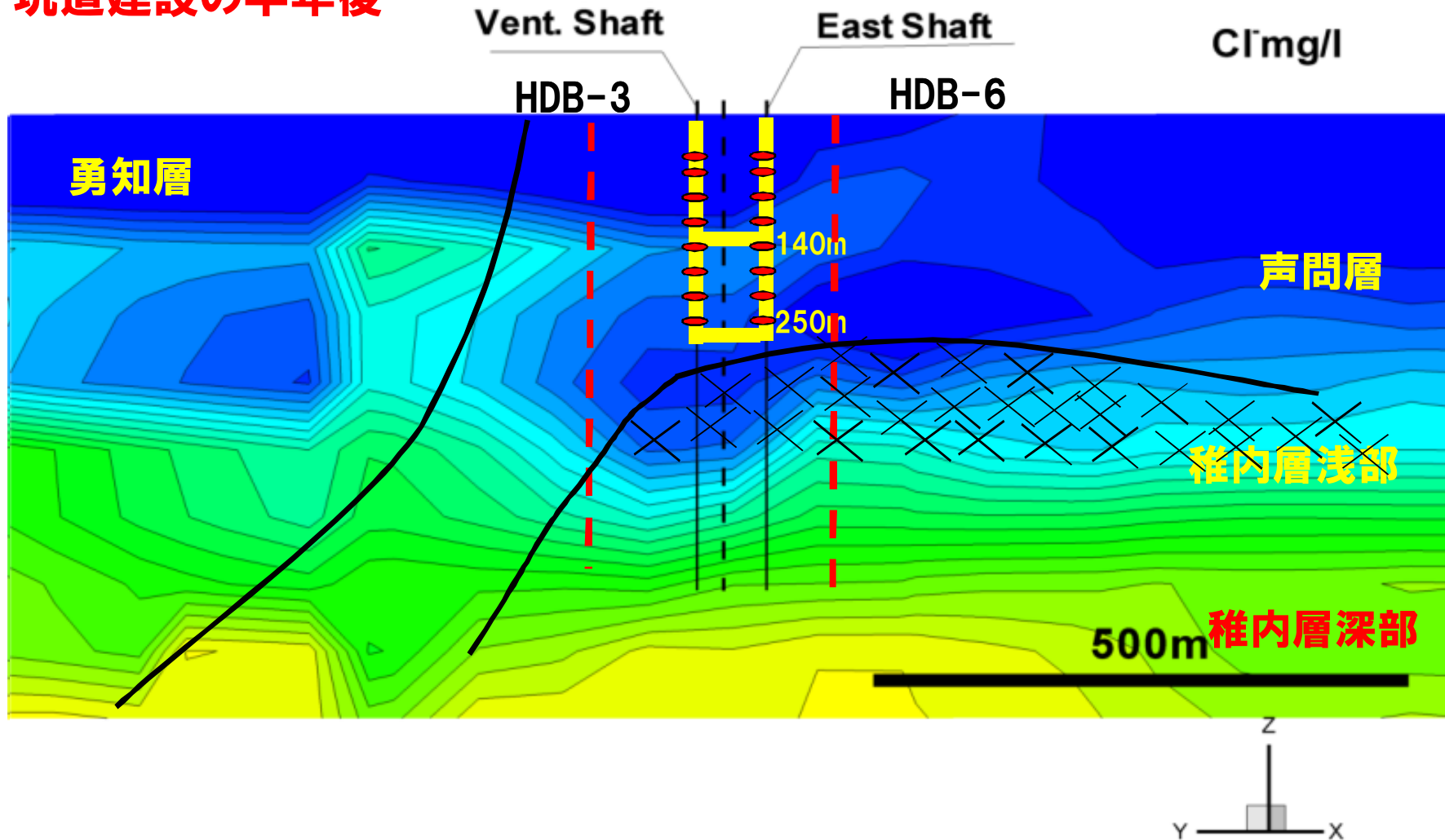


地下施設周辺のボーリング孔の水圧応答

- 地下施設周辺の建設影響領域（数100m～数km）の評価手法を整備
- ➡ 露頭調査とボーリング調査により透水性断層（推定半径数10m以上）の三次元分布を推定する技術
- 次段階の建設工事とその過程の観測（壁面観察、水圧応答）により評価手法を更新、最適化

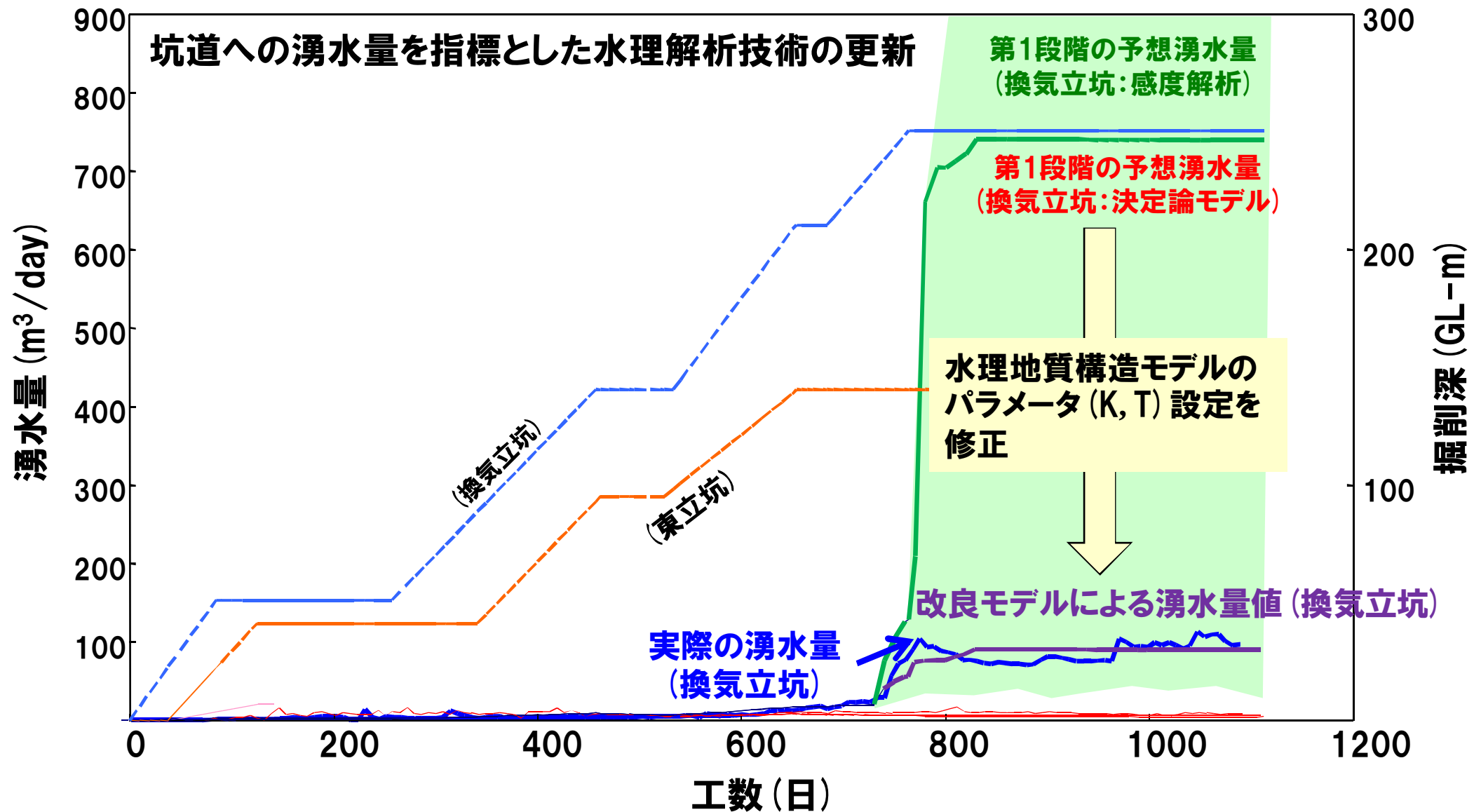
第1段階のモデル化手法の妥当性確認とモデル更新

坑道建設の半年後



- データ量と予測値の不確実性の関係を整理して、必要な調査数量を明確化
- 異なる研究分野間（地下水流動と地球化学）の相互補完方法を手順化

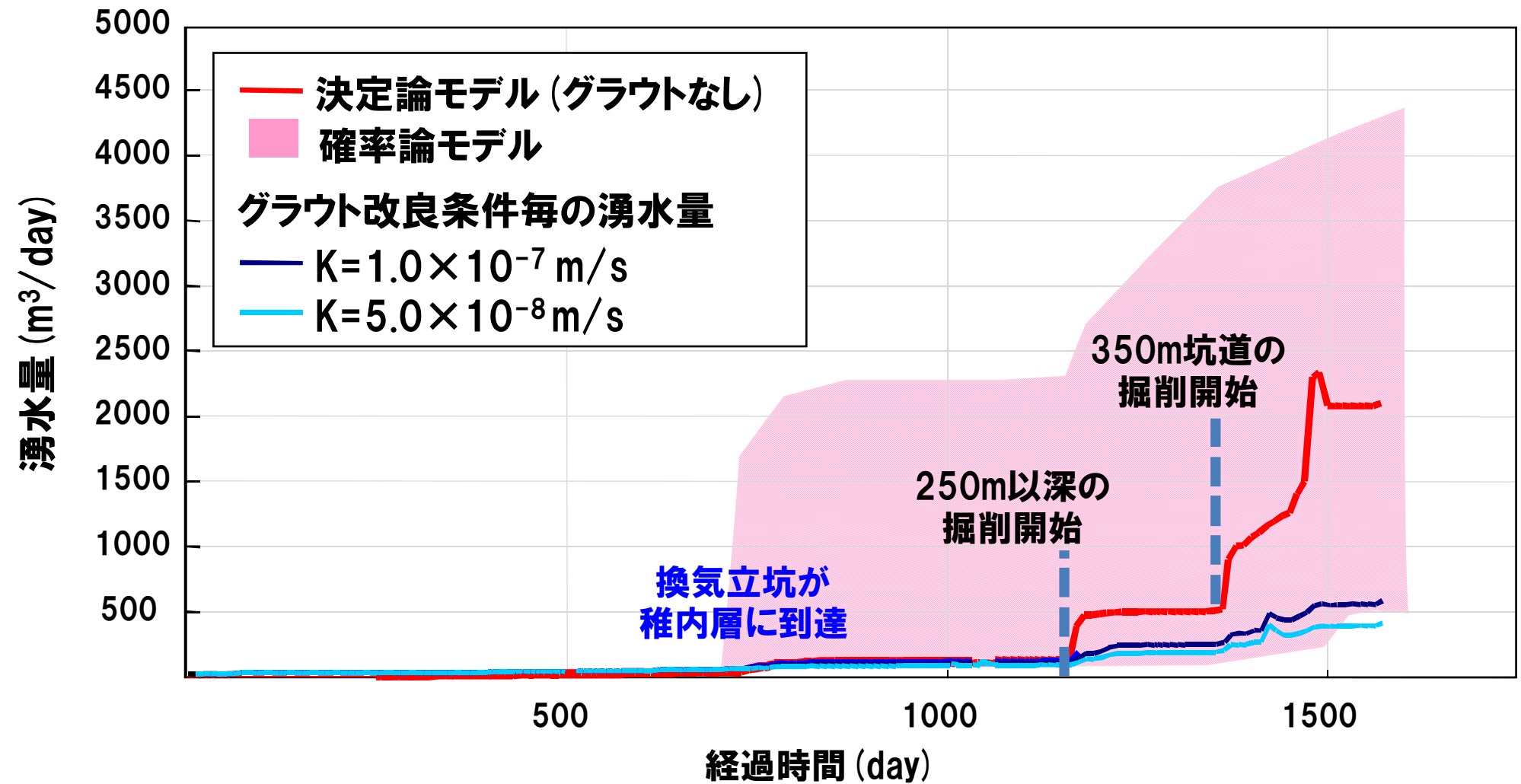
第1段階のモデル化手法の妥当性確認とモデル更新



➤ 施設建設時のプロジェクト管理において、湧水量予測の不確実性の取り扱い方を経験的に整理

➡ 断層の水理データに地質・地質構造情報を考慮して水理パラメータを設定することでほぼ一致 10

今後の湧水量の予測とプロジェクト管理（湧水抑制対策・排水量）



深度250m以深の坑道展開における湧水抑制対策（グラウト施工計画）の目標改良値や改良幅などに解析結果を反映

建設・操業～閉鎖後のプロセス・メカニズムに関わる課題

処分場建設前

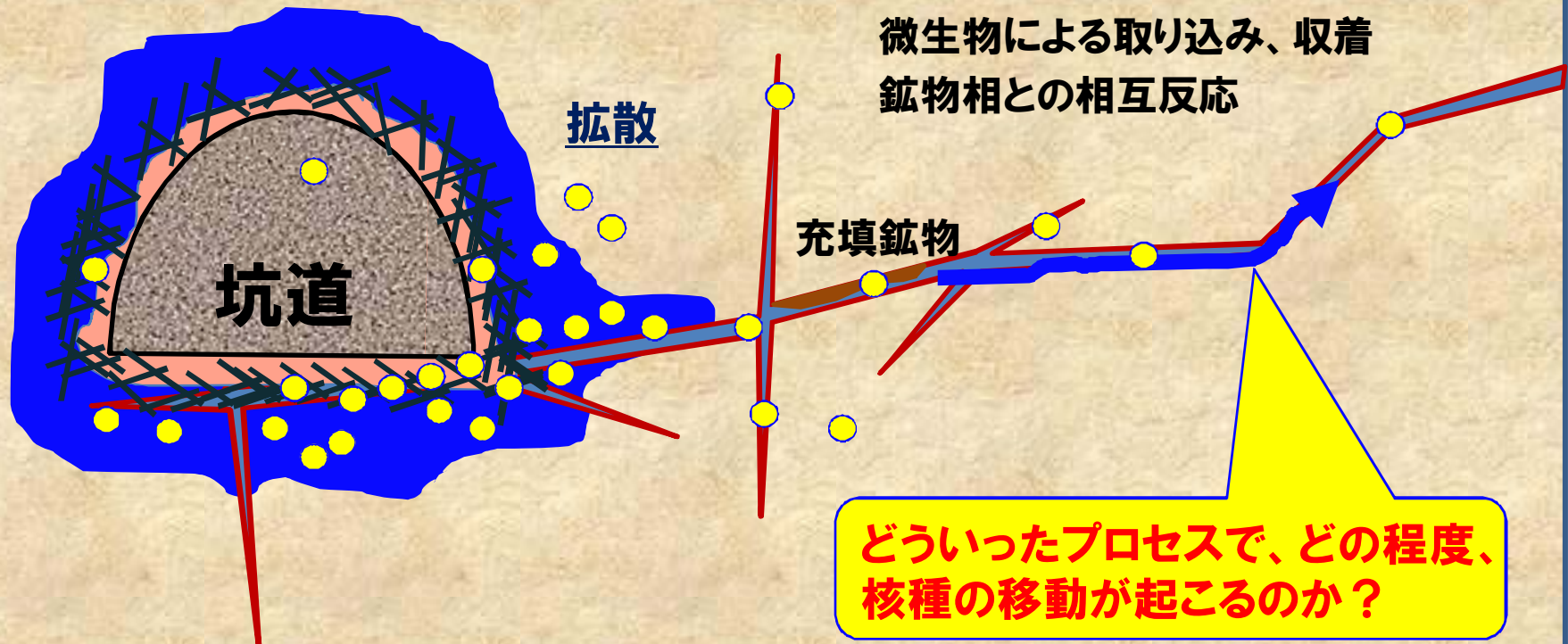
→建設・操業中

→閉鎖～1000年後

→1000年後～

天然バリア:再構成されたシステムにおいて、核種の移動が起こる。

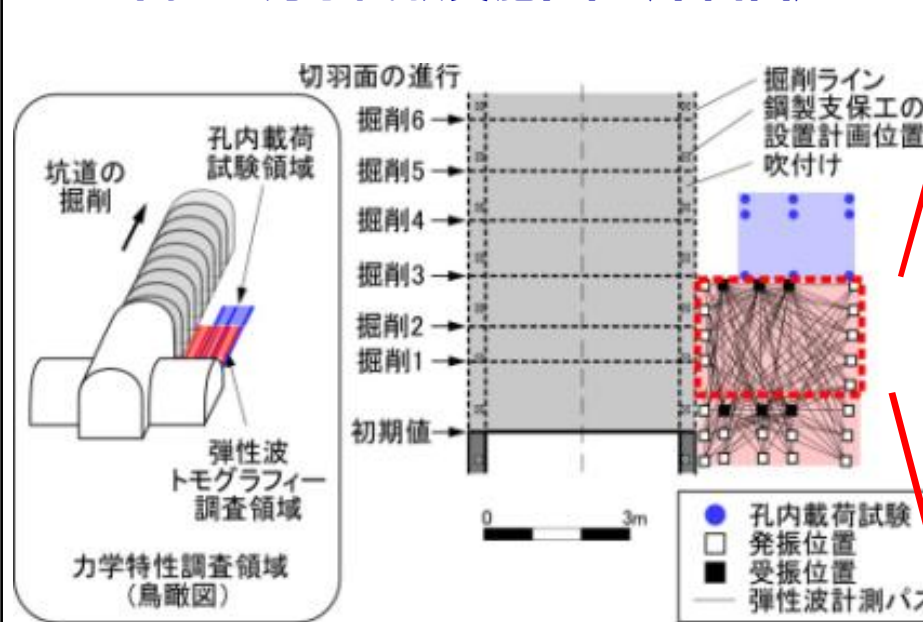
放射性核種の放出・移動



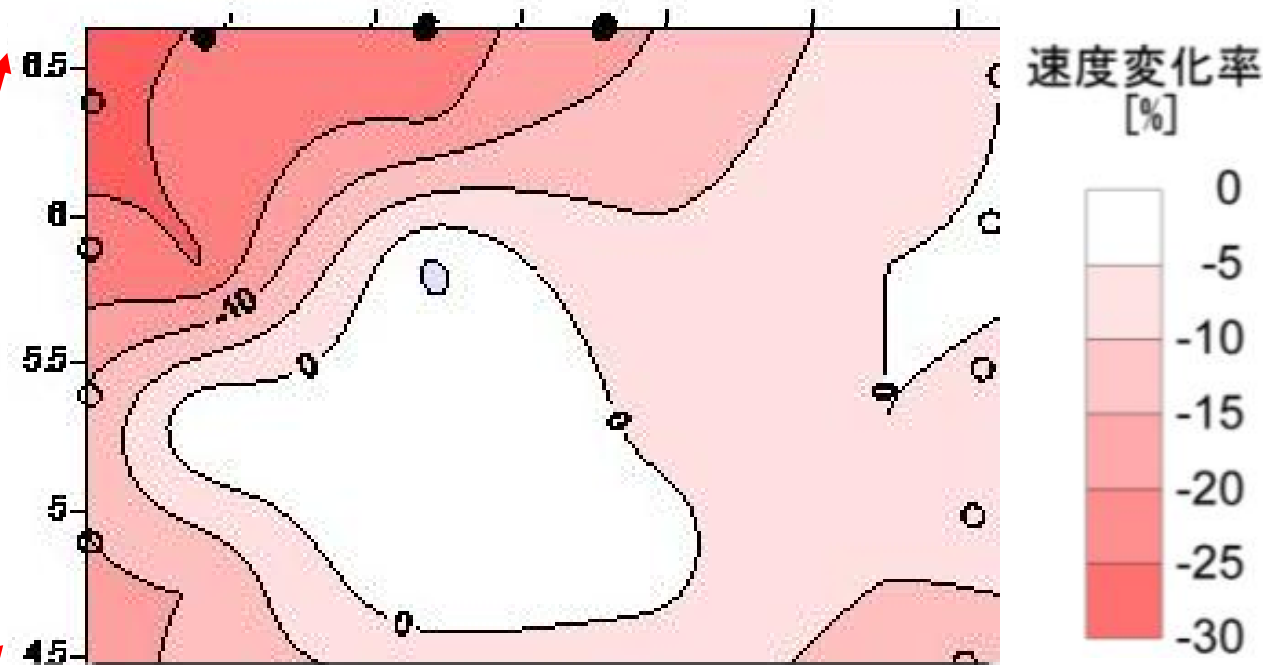
坑道周辺の地質環境変化の観測・解析技術の開発

坑道周辺の掘削影響領域評価技術 (弾性波トモグラフィ)

140m東側調査坑道掘削影響領域に関する力学試験実施位置 (平面図)



掘削前後での弾性波速度の変化率の分布



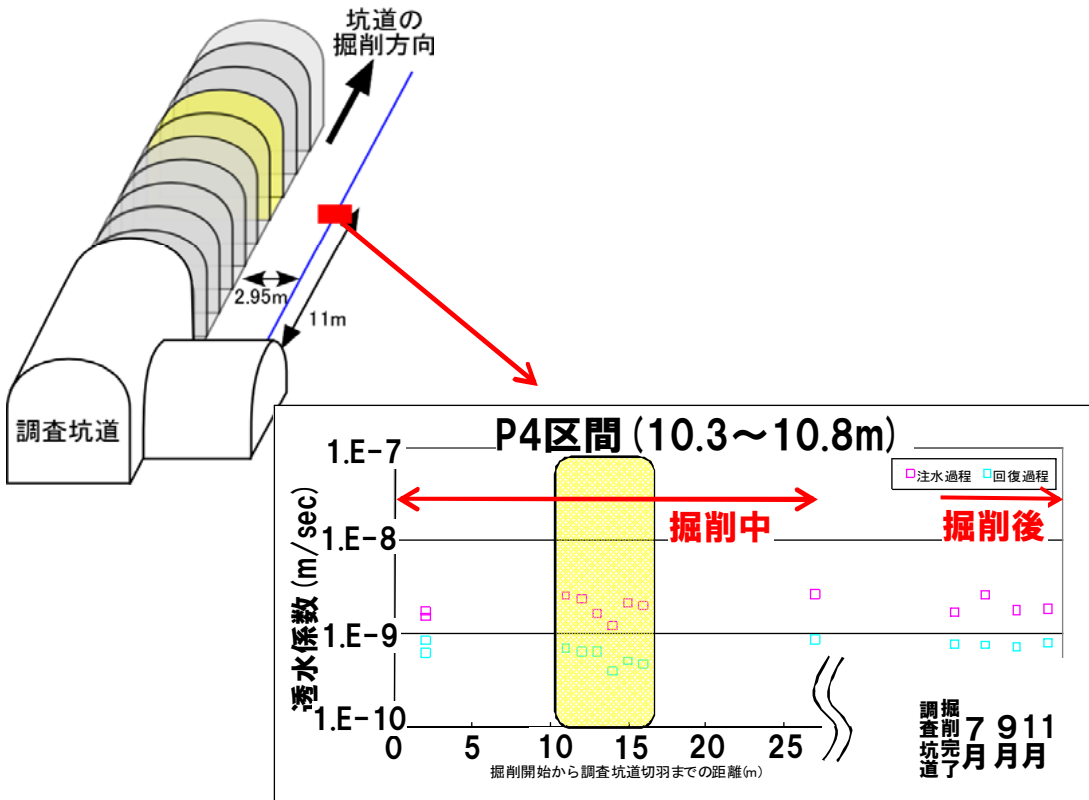
505日後

- 非破壊で掘削影響領域の拡大過程を評価するための観測技術を開発
- 調査試験の配置や期間など、坑道で実施すべき調査の計画立案に関わる情報を整理
- ➡ プラグ (止水壁) の設計や安全評価における掘削影響領域とその程度の設定に反映

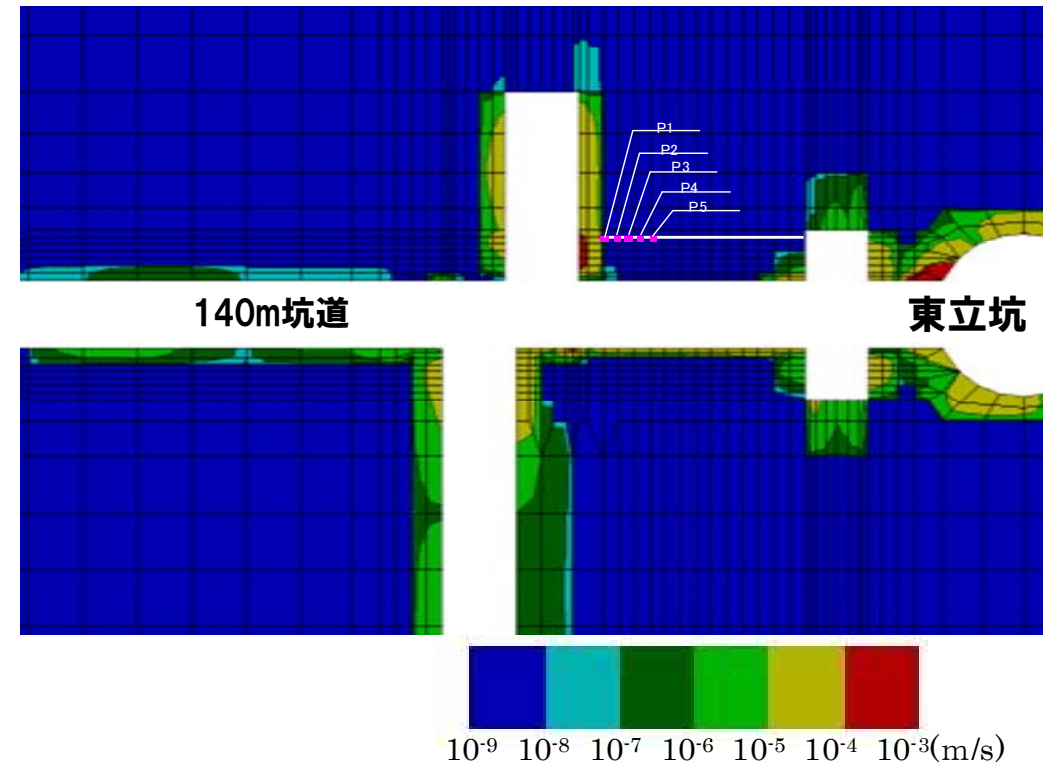
坑道周辺の地質環境変化の観測・解析技術の開発

坑道掘削影響領域に関する水理試験（透水試験）

透水試験（定圧注入試験）結果



数値解析による坑道掘削後の透水係数分布



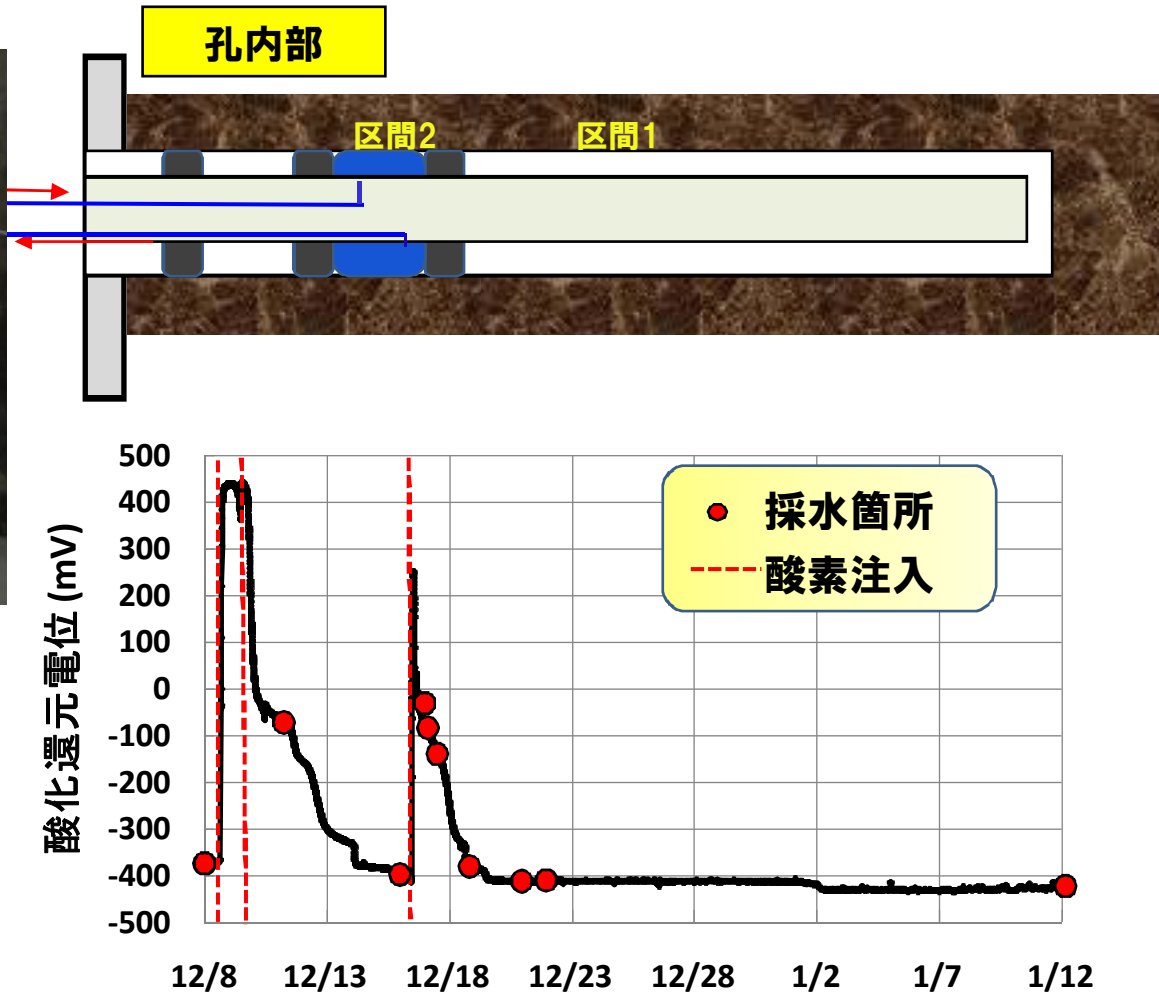
- 坑道周辺の水理学的影響領域を評価する手法を開発
- 力学-水理の複合現象として掘削影響領域の経時変化を連成解析する手法を開発
- ➡ プラグ（止水壁）の設計や安全評価における掘削影響領域での止水性や物質移動解析に反映

坑道周辺の地質環境変化の観測・解析技術の開発

坑道掘削影響領域に関する化学的緩衝能力評価試験 (REX試験)



岩盤に酸化した地下水を注入・循環させる試験を行った結果、酸化環境は数日で還元環境に回復すること、微生物による生物化学的反応（水-鉱物-微生物相互作用）が重要な役割を果たしていることを確認



- 建設・操業中の化学的インパクトとその回復過程を調査するための試験機器を開発
- 第3段階の坑道閉鎖試験に関わるノウハウを蓄積

第3段階の調査研究計画 (深度350mまで) と今後の展開

第3段階の調査研究（その1）の目標

PFI利用による**深度350m**までの**地下施設**を利用して下記の技術開発を行う。

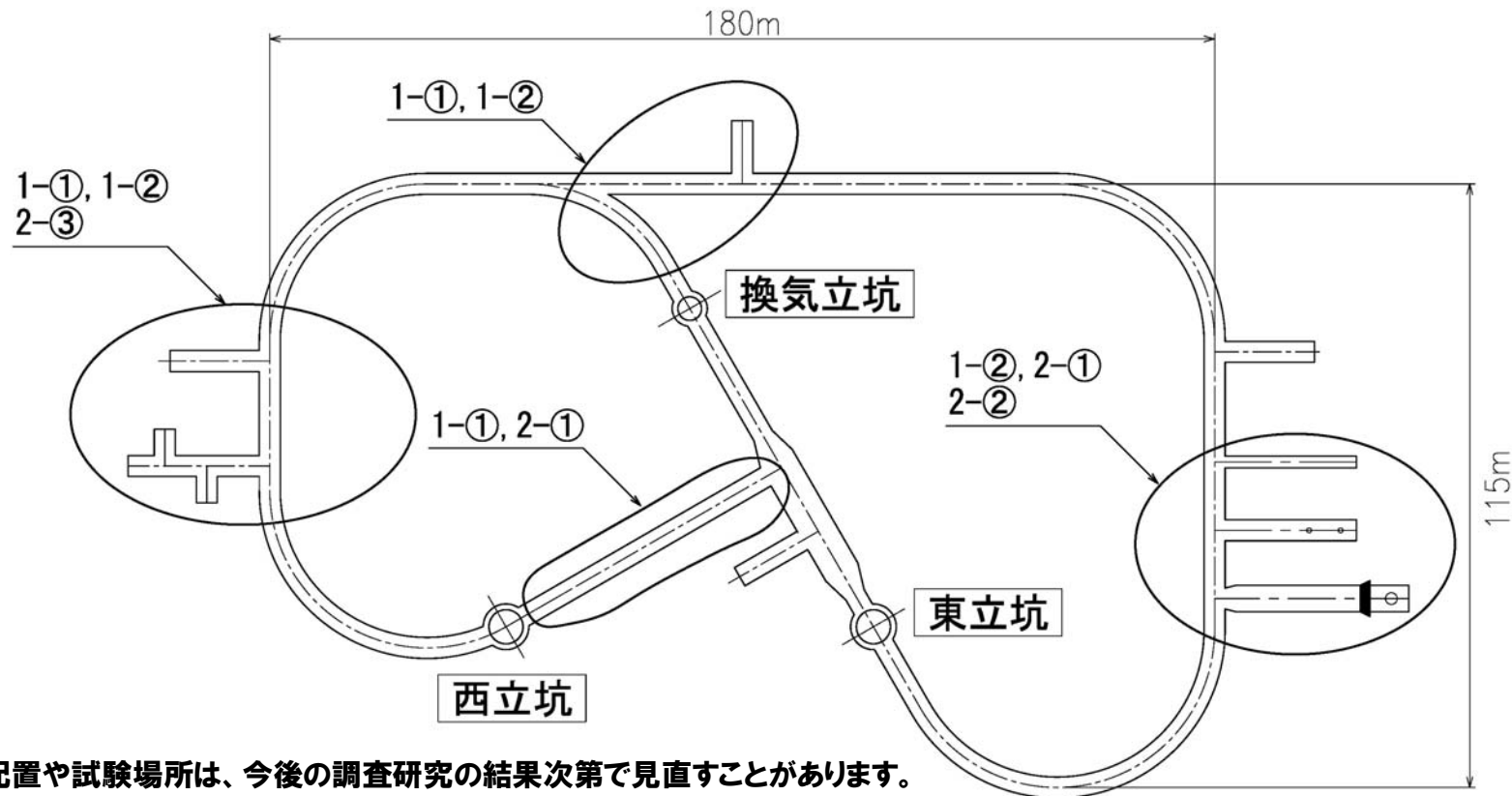
地層科学研究

- ①地上からのボーリング孔を利用した調査研究では取得することが難しい地質環境特性（物質移動特性や坑道周辺の力学・水理・地球化学特性など）を取得するための**地質環境調査技術**
- ②坑道を対象とした**工学的技術**、地下施設とその周辺影響領域を包含する地質環境特性の**長期変遷評価技術**

地層処分研究開発

- ①堆積岩環境における処分場の設計・施工や操業・閉鎖に関わる**処分技術**
- ②**安全評価手法**などに関わる技術

350m調査坑道における調査・試験の概要



※坑道の配置や試験場所は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

地層科学研究

- 1-① **地質環境調査技術**開発 (地質調査、水理試験、採水調査、岩盤を対象とした物質移動試験)
- 1-② **地質環境調査技術**開発 (坑道掘削影響・回復試験)

地層処分研究開発

- 2-① **処分技術**の信頼性向上 (低アルカリ性セメント材料の施工・影響評価試験)
- 2-② **処分技術**の信頼性向上 (人工バリア性能試験)
- 2-③ **安全評価手法**の高度化 (人工バリアやその周辺岩盤を対象とした物質移行試験)

地層科学研究の実施項目

(1) 地質環境調査技術開発

①地上からの調査技術の適用性確認と地質環境モデルの構築・更新

- 地質・地質構造の調査評価技術
- 地下水流動の調査評価技術
- 地球化学特性の調査評価技術
- 物質移動特性の調査評価技術
- 岩盤の熱・力学特性の調査評価技術

②地下施設建設に伴う地質環境変化の調査評価技術の開発

- 施設建設が広域領域に与える影響評価技術の開発
- 施設建設が施設領域、坑道周辺に与える影響評価技術の開発

(2) 深地層における工学的技術の基礎の開発

①地下施設建設における実施設計の適用性確認・更新

②地下施設の耐震設計の適用性確認

③地下施設の通気挙動評価技術

(3) 地質環境の長期変遷評価技術の開発

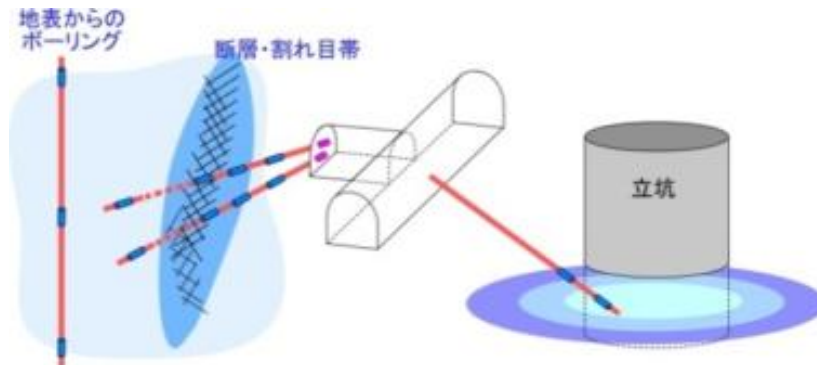
①施設スケールを対象とした地質環境の長期変遷評価技術

②地質環境の長期変遷に関する数値解析技術

③現在から将来にわたる地質環境の長期変遷を記述するための方法論

地上からの調査技術の適用性確認と地質環境モデルの構築・更新

物質移動試験 (割れ目帯・単一割れ目)



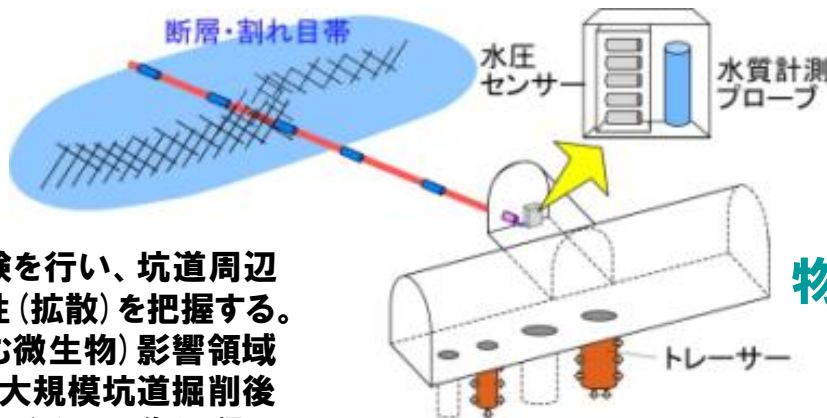
水理観測

西立坑の掘削前後を対象として立坑周辺の間隙水圧の変化の程度と平面的な影響範囲を把握する。

大規模坑道掘削による坑道周辺 (外側領域) の間隙水圧の変化を把握する。
また、割れ目帯・単一割れ目の物質移動遅延特性の把握を目的に、物質移動試験 (主に移流・分散現象を対象) を実施する。

地球化学観測

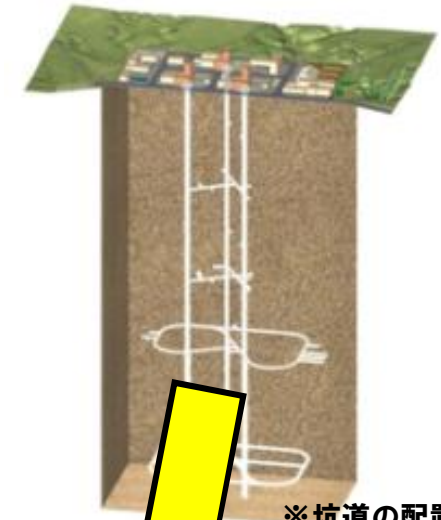
水理・物質移動試験を行い、坑道周辺の水理・物質移動特性 (拡散) を把握する。
また、地球化学 (含む微生物) 影響領域のモニタリングとして、大規模坑道掘削後の地球化学的影響及びその回復過程を長期観測し、地質構造毎に定常状態に達するまでのプロセスを理解する。



物質移動試験 (健岩部)

健岩部の物質移動遅延特性の把握を目的に、長期間の物質移動試験 (主に拡散現象を対象) を実施する。

水理・地球化学観測及び水理・物質移動試験

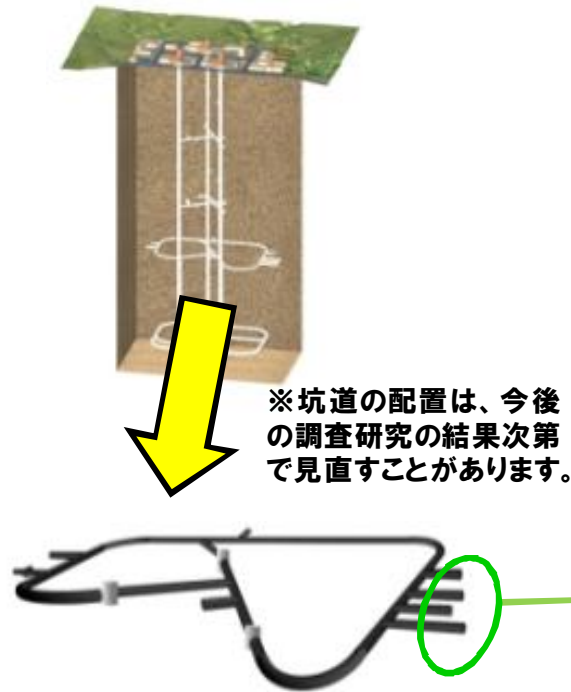


※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。



健岩部や単一割れ目中の物質移行に関わる個別データの取得とそれらの複合系での予測解析を東海と連携して実施し、物質移動モデルと予測解析技術を検証

地下施設建設に伴う地質環境変化の調査評価技術の開発

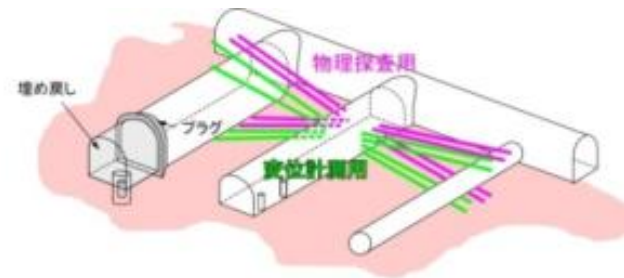


※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

力学・水理学・地球化学（含む微生物）の観点から掘削影響領域のモニタリングを行うことにより、坑道の掘削から埋め戻し・閉鎖以降の環境回復過程を長期観測し、定常状態に達するまでの**連成プロセス**を理解する。

また、異なる断面形状・断面径の水平坑道を対象として計測を行うことにより、**坑道形状の違い**による変化の違いについても評価する。

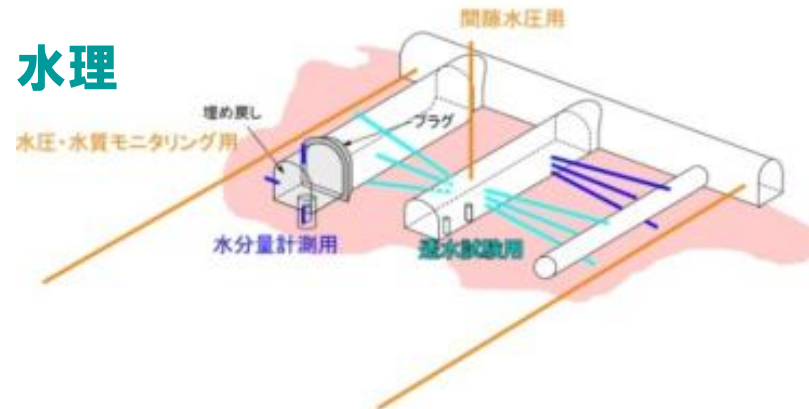
力学



【力学】

物理探査および岩盤の変位計測を行う。物理探査は繰り返し計測し、坑道掘削による掘削影響領域の発生・その経時変化（回復挙動）を力学の観点から把握する。

水理



【水理】

透水試験、水分量計測、間隙水圧計測を行う。透水試験は繰り返し計測し、坑道掘削による掘削影響領域の発生・その経時変化（回復挙動）を水理学の観点から把握する。

地球化学



【地球化学】

水質モニタリングを行う。定期的なサンプリングにより、坑道掘削による掘削影響領域の発生・その経時変化（回復挙動）を地球化学の観点から把握する。

水平坑道掘削影響試験

安全評価を行う際の影響領域（水理・力学・地球化学）の設定方法と回復挙動予測技術の検証

(2) 深地層における工学的技術の基礎の開発

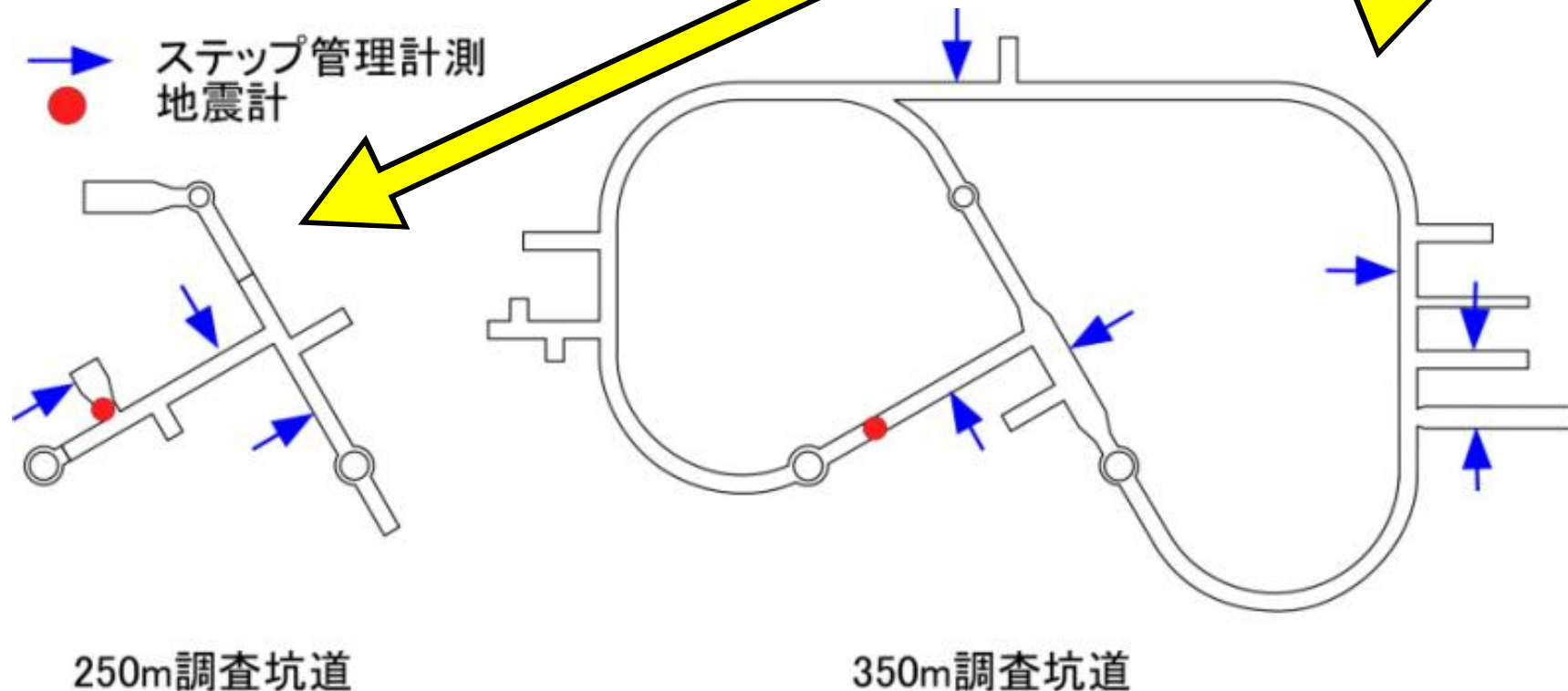
地下施設建設における実施設計の適用性確認・更新

ステップ管理計測（下図→断面）において、坑道の変形、支保に発生する応力、岩盤内の変位に関するデータを取得し、その計測値が設計許容値範囲内であることを確認する。

また、設計許容値と実測値の関係から、必要に応じて後続の地下施設設計を更新する。

地下施設の耐震設計の適用性確認

深度ごとに設置する地震計（下図●印）により、各深度における地震波を計測する。取得した地震波から設定した波を入力値として、地下施設を事例とした耐震設計の適用性確認を行う。



地層処分研究の実施項目

(1) 処分技術の信頼性向上

- ① 処分施設の設計・施工技術の開発
 - 低アルカリ性セメント材料の開発
 - 処分施設の設計・施工管理技術の開発
- ② 坑道閉鎖技術
- ③ 処分システムの施工技術開発・品質確認
 - ガス移行挙動評価
 - テストピット挙動評価
 - 人工バリア性能試験 (THMC連成現象評価)
 - オーバーパック腐食挙動評価
 - 緩衝材の回収 (除去) 技術

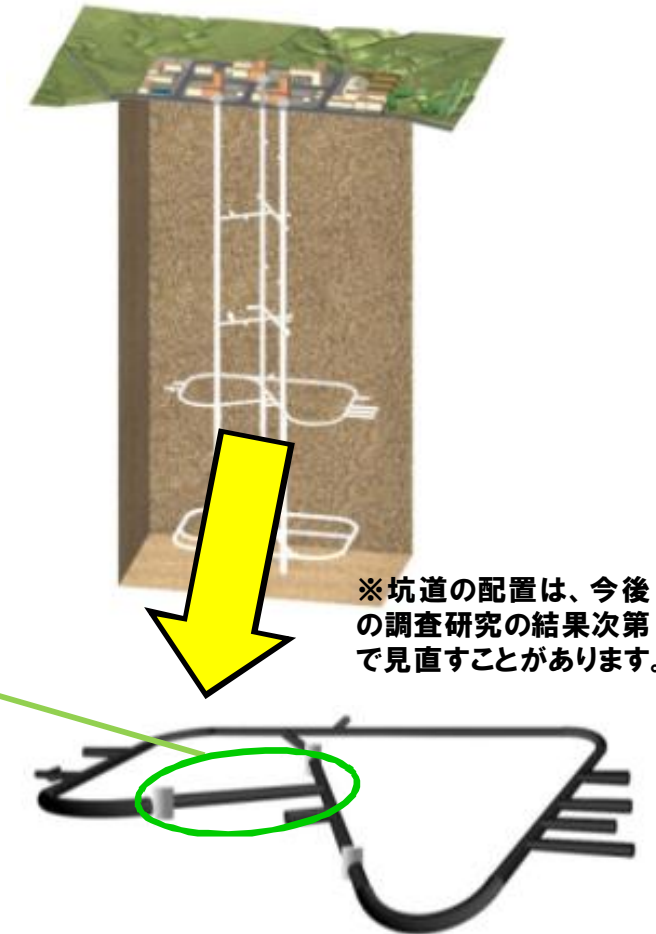
(2) 安全評価手法に高度化

- ① 人工バリアおよびその周辺岩盤を対象とした物質移行挙動評価
- ② 安全評価手法の適用性確認

処分施設の設計・施工技術の開発

低アルカリ性セメント材料の開発

低アルカリ性セメントの施工性（支保工（吹付けコンクリート、覆工コンクリート）、グラウトとしての適用性）、周辺岩盤及び地下水への影響（化学的影響）を把握する。

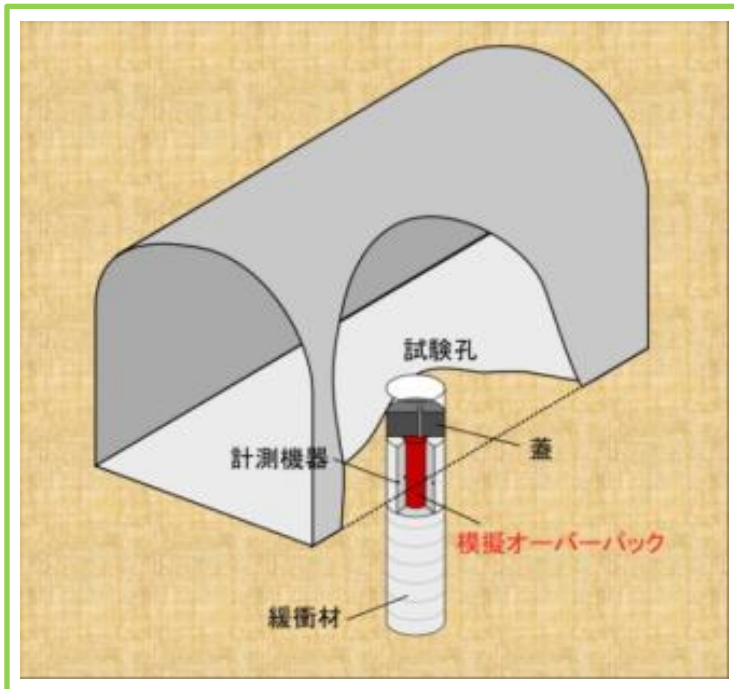


周辺岩盤及び地下水への化学的影響については東海と連携して、変質速度、二次鉱物生成などの熱力学計算と比較検討し、長期的解析技術を検証

処分システムの施工技術開発・品質確認

オーバーパック腐食挙動評価

飽和した緩衝材中で発熱している廃棄体（ヒーターで温度環境を再現）が接触している環境を再現し、オーバーパックの腐食挙動を把握する。試験終了後に解体し、腐食速度や腐食生成物を分析評価する。



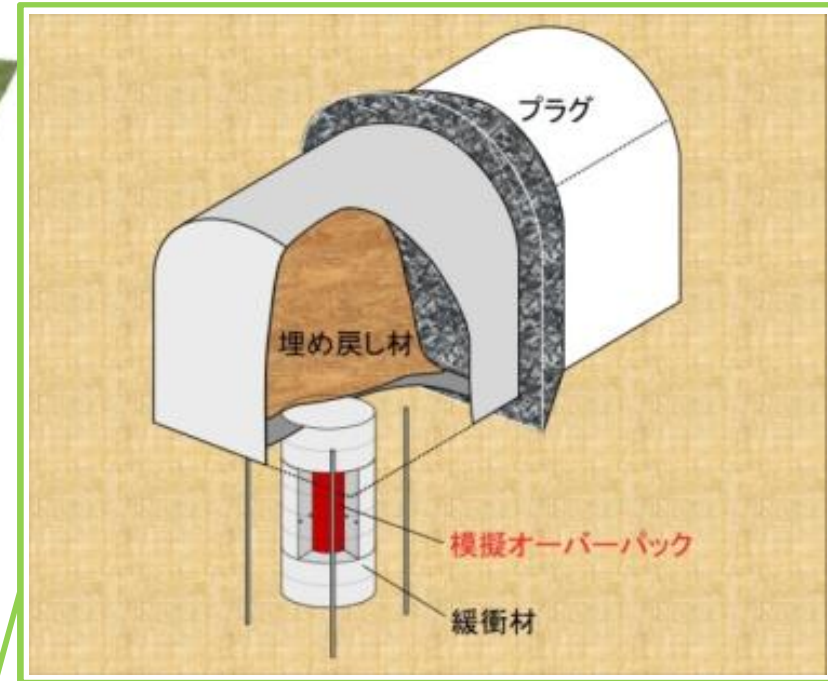
オーバーパック材料の腐食挙動モデルやシミュレーション技術の検証



※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。



- THMC連成解析手法の検証
- オーバーパック材料の過渡期での腐食挙動の確認
- 緩衝材/埋め戻し材性能、プラグ性能の確認



人工バリア性能試験

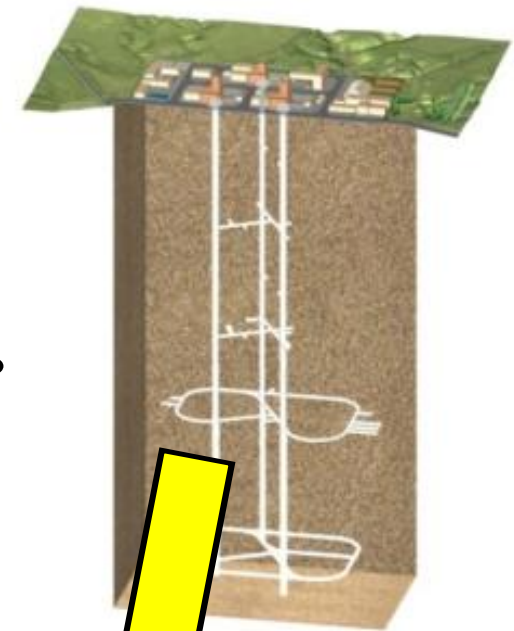
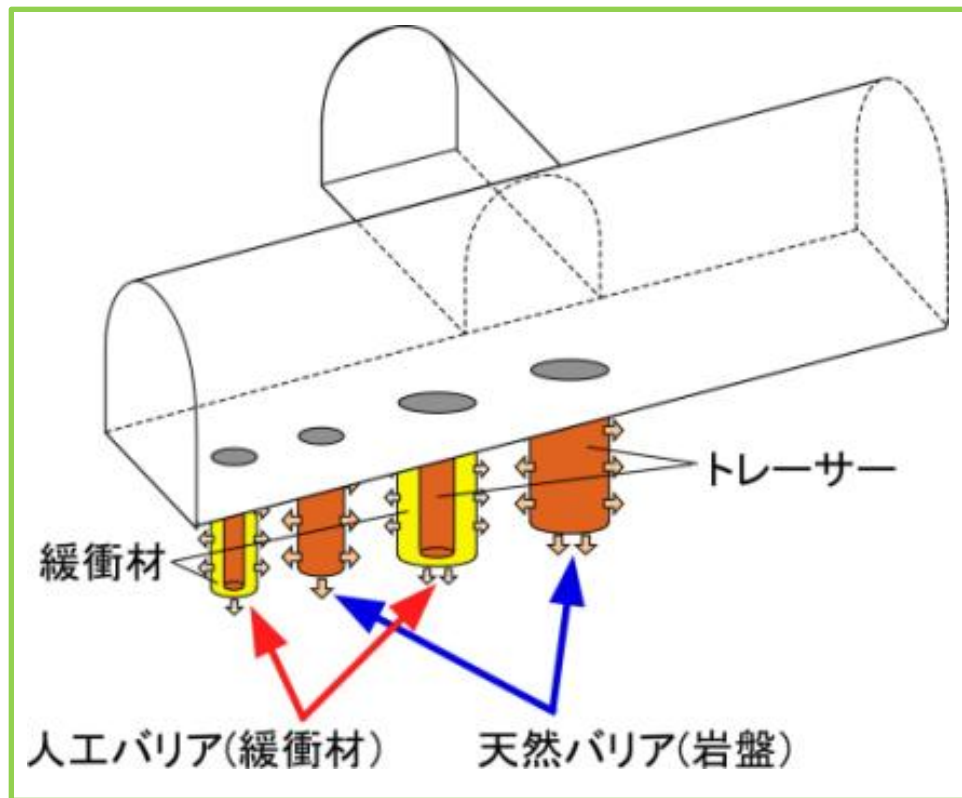
坑道の埋め戻し（プラグの施工を含む）までを考慮した実規模の人工バリア（廃棄体はオーバーパック中心にヒーターを挿入することで再現）を構築し、幌延を事例とした地質環境条件下のニアフィールドで起こる、緩衝材が飽和に至る過渡期での熱-水-応力-化学連成挙動を把握する。

人工バリアおよびその周辺岩盤を対象とした物質移行挙動評価

物質移行試験

人工バリアを構成する緩衝材の物質移行遅延機能を評価するため、緩衝材を挿入したボーリング孔を用いて、緩衝材を対象とした物質移行試験を行う。

また、岩盤（天然バリア）を対象とした物質移行試験との比較により、人工バリアと天然バリアの機能の比較・評価を行う。



※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。



緩衝材や岩石中の物質移行（拡散）について、個別データの取得とそれらの複合系での予測解析を東海と連携して実施し、物質移行モデルと予測解析技術を検証



おわり