



地層処分技術に関する研究開発報告会 -第2次とりまとめ以降の研究開発の進展と今後の展開-

深地層の研究施設計画

平成27年7月14日

**国立研究開発法人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
深地層研究部 部長
伊藤 洋昭**

- **深地層の研究施設計画の概要**
- **第2次とりまとめ以降の研究開発成果**
- **必須の課題と研究開発の現状**
- **今後の取り組み**

深地層の研究施設計画の概要

2つの深地層の研究施設計画

① 地層処分技術を実際の地質環境に適用して確認

② わが国固有の地質環境の理解

③ 深地層を体験・理解する場の整備

結晶質岩

堆積岩

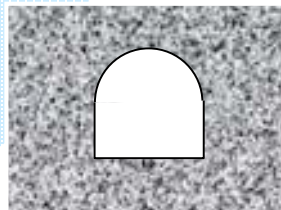
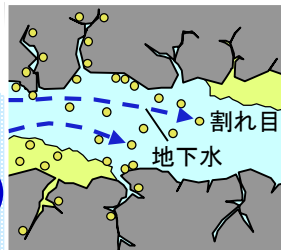
瑞浪超深地層研究所

(岐阜県瑞浪市)

花崗岩
(結晶質岩)

淡水系

硬岩



(イメージ図)

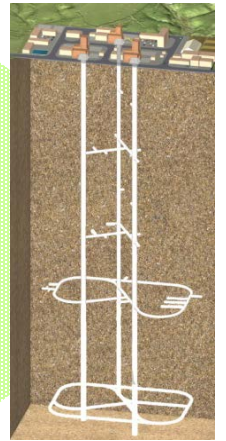
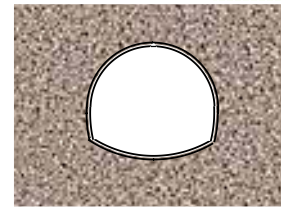
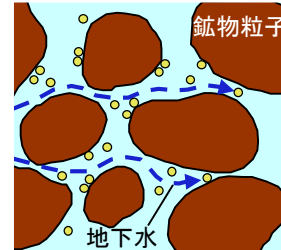
幌延深地層研究所

(北海道幌延町)

泥岩
(堆積岩)

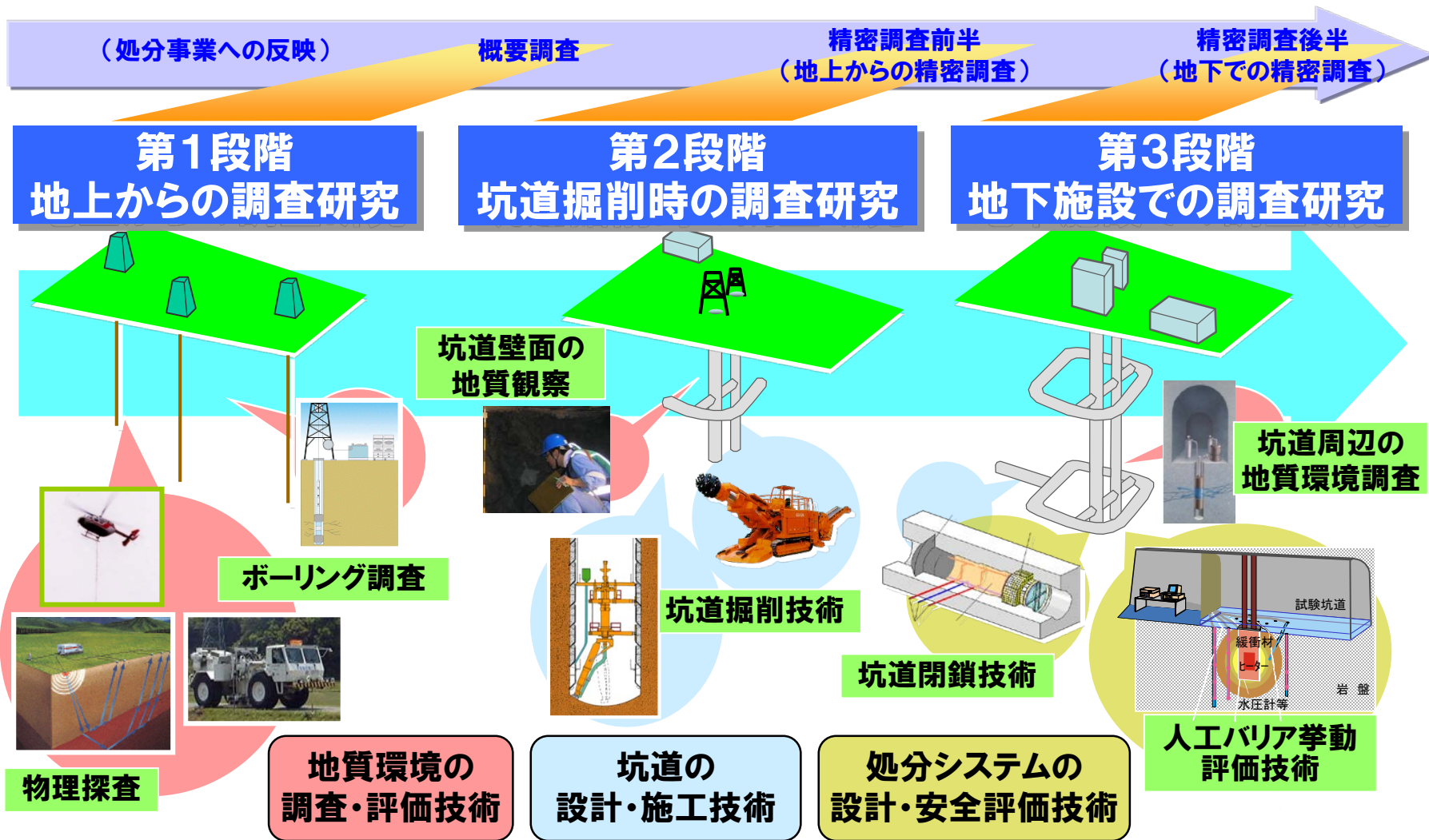
塩水系

軟岩



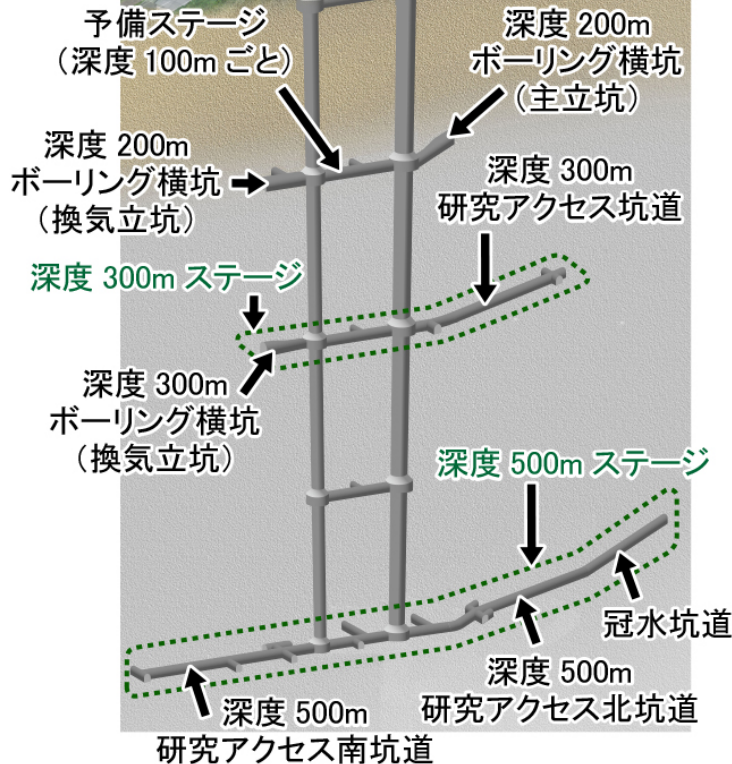
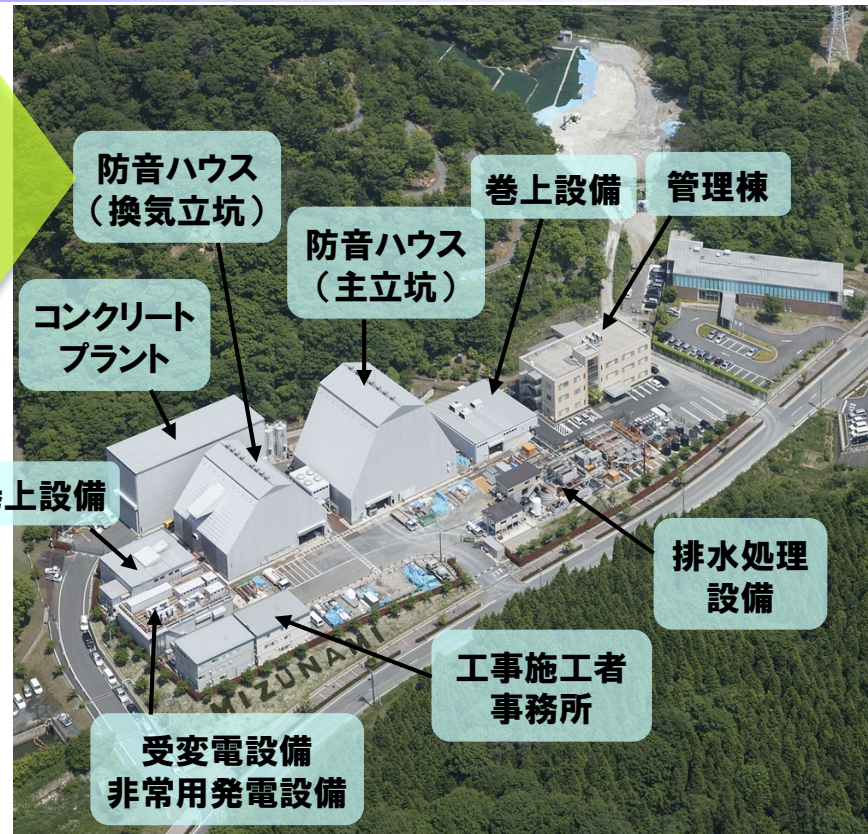
(イメージ図)

深地層の研究施設設計画の進め方



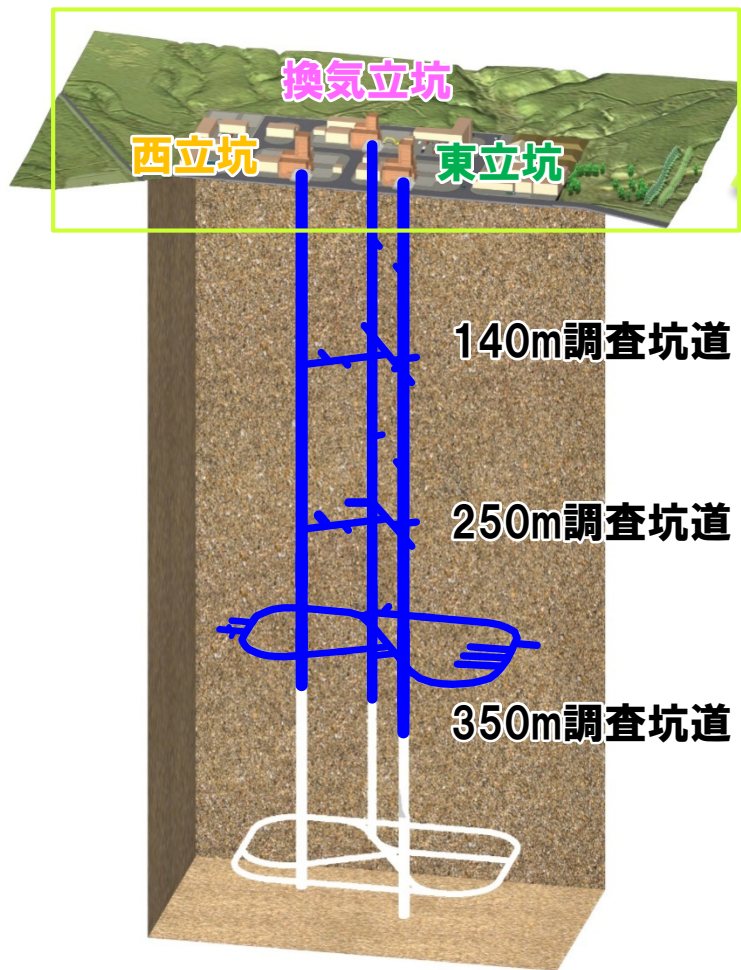
図はイメージ。幌延深地層研究計画では、堆積岩における地層処分研究開発も実施。

深地層の研究施設の概要(瑞浪超深地層研究所)



協定書締結:平成7年12月
土地賃貸借契約締結:平成14年1月
造成工事着工:平成14年7月
掘削工事着工:平成15年7月
深度500m研究坑道掘削完了:平成26年2月

深地層の研究施設の概要（幌延深地層研究所）



協定書締結:平成12年11月
研究所設置地区の選定:平成14年7月
造成工事着工:平成15年7月
掘削工事着工:平成17年11月
350m調査坑道全域貫通:平成25年10月

※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。

第2次取りまとめ以降の 研究開発成果

2つの異なる地質環境での調査技術開発

瑞浪超深地層研究所

(岐阜県瑞浪市)

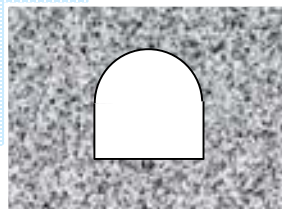
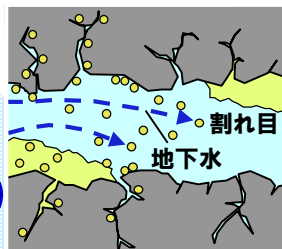


(イメージ図)

花崗岩
(結晶質岩)

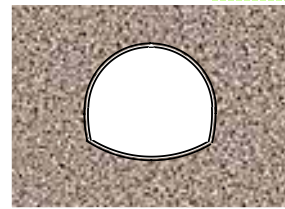
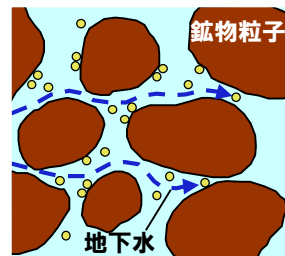
淡水系

硬岩



幌延深地層研究所

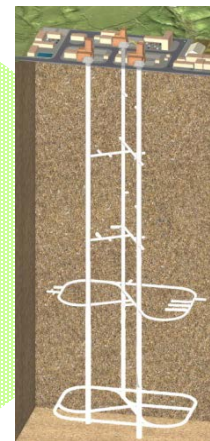
(北海道幌延町)



泥岩
(堆積岩)

塩水系

軟岩

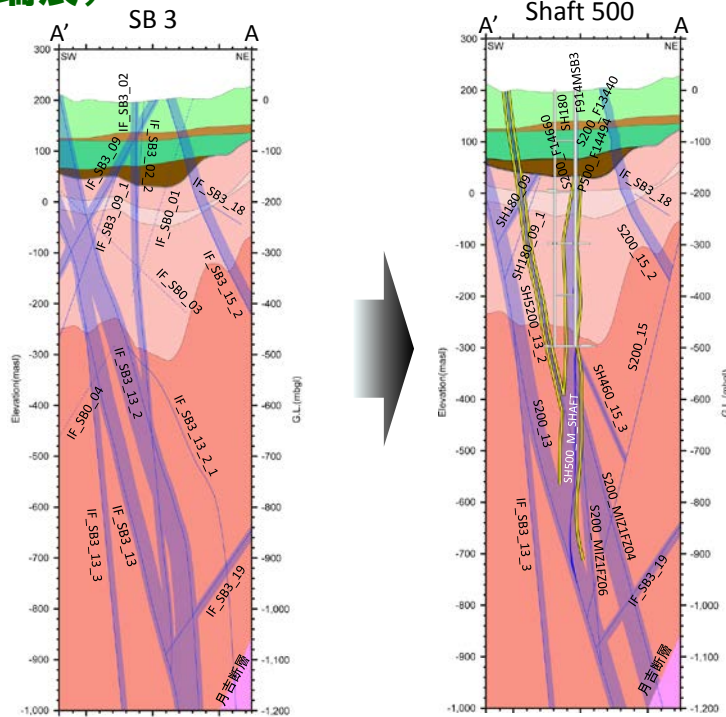


(イメージ図)



- 地質環境特性の調査・評価技術の開発
- 深地層における工学技術の基礎の開発
- 処分技術および安全評価手法の実際の地質環境への適用性の確認 (幌延のみ)

(瑞浪)

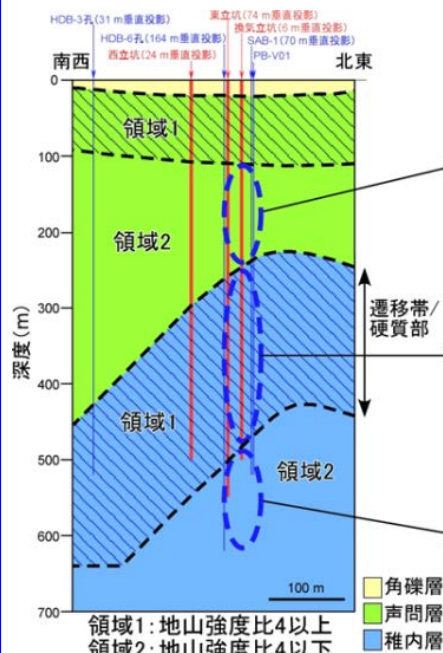


地上からの調査結果を統合して作成した地質構造モデル
立坑深度500mまでの調査結果を統合して作成した地質構造モデル

赤色で示される領域が割れ目の少ない花崗岩

- 地質・地質構造の分布・形状について、地表地質調査、地上の物理探査、地上からのボーリング調査を適切に組み合わせることによって概ね把握できることを例示

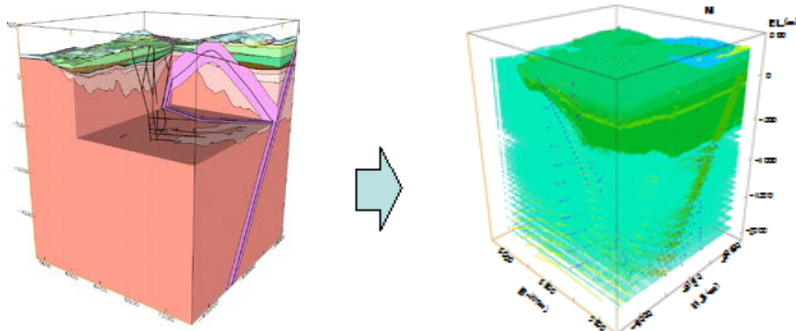
(幌延)



亀裂の性状と透水性	
【ボーリングコア観察】	・引張亀裂が発達しないことを確認
【原位置透水試験および流体電気伝導度検層】	・亀裂の透水性は $10^{-10} \sim 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$ の範囲内と推定
【ボーリングコア観察】	・引張亀裂が発達することを確認
【坑内での壁面・底盤観察】	・断層沿いに引張亀裂が発達することを確認
【原位置透水試験および流体電気伝導度検層】	・断層の透水性は $10^{-10} \sim 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ の範囲内と推定
【ボーリングコア観察】	・引張亀裂が発達しないことを確認
【原位置透水試験】	・断層の透水性は $10^{-11} \sim 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$ の範囲内と推定

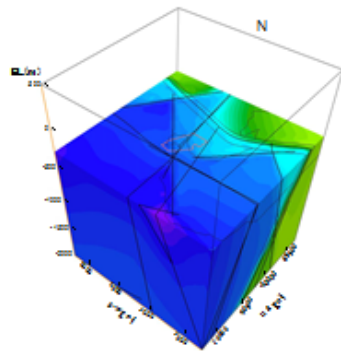
- 引張割れ目が発達する領域はダクティリティが低い領域に限定される

(瑞浪)



地質構造モデル

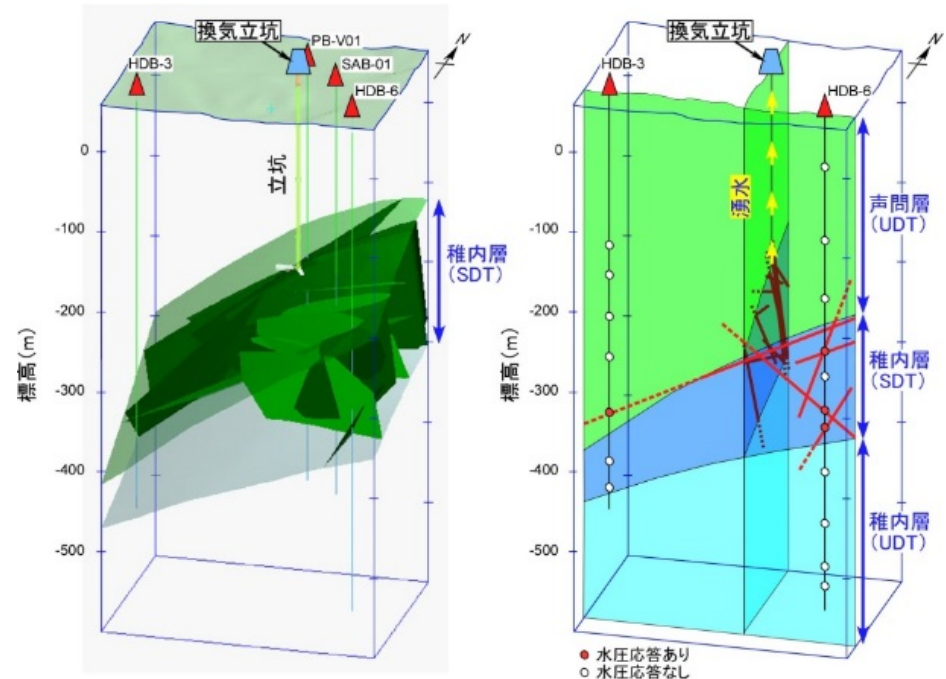
水理地質構造モデル



地下水流動解析結果

- 情報量の増加等に伴うモデルの修正や解析の実行を短期間で行うことが可能な地質環境モデル構築支援ツールを開発

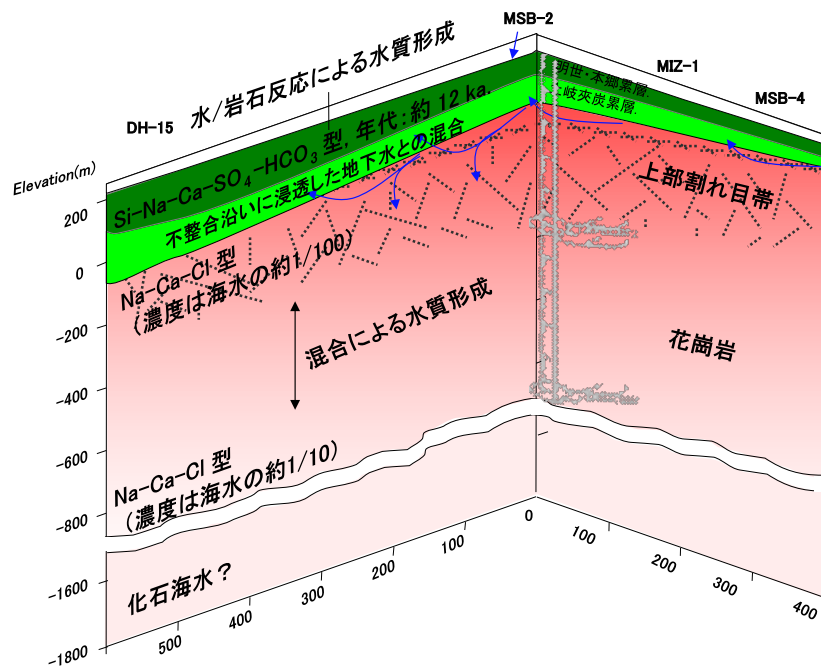
(幌延)



換気立坑湧水に伴う水圧応答と水理地質構造モデル

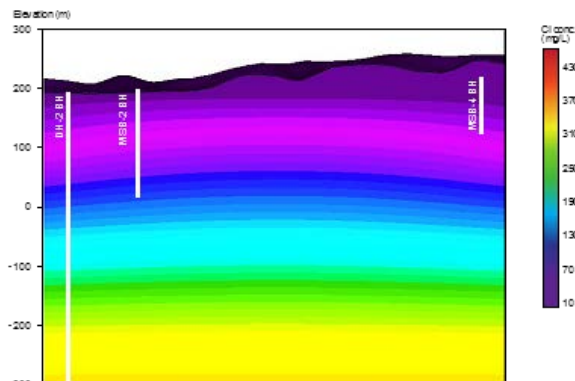
- 地下水流動特性を適切に理解するために必要な個別技術を構築するとともに、それらの組み合わせた調査・解析・評価技術を構築
- 施設建設・操業時の地下水流動特性の変化を合理的かつ精度よく把握するためのモニタリング手法や、調査・解析・評価技術

(瑞浪)

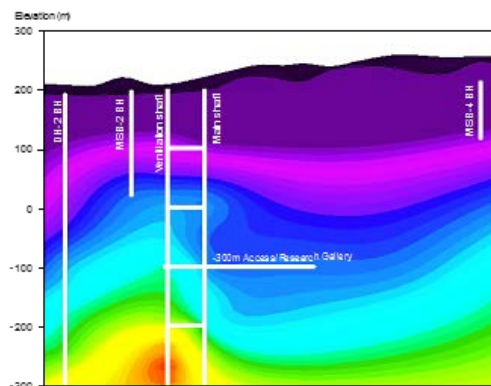


第1段階における地球化学調査により得られたデータに基づき構築された地球化学概念モデル

(a) Chlorine distribution prior to shaft excavation



(b) Chlorine distribution at Mar. 2011

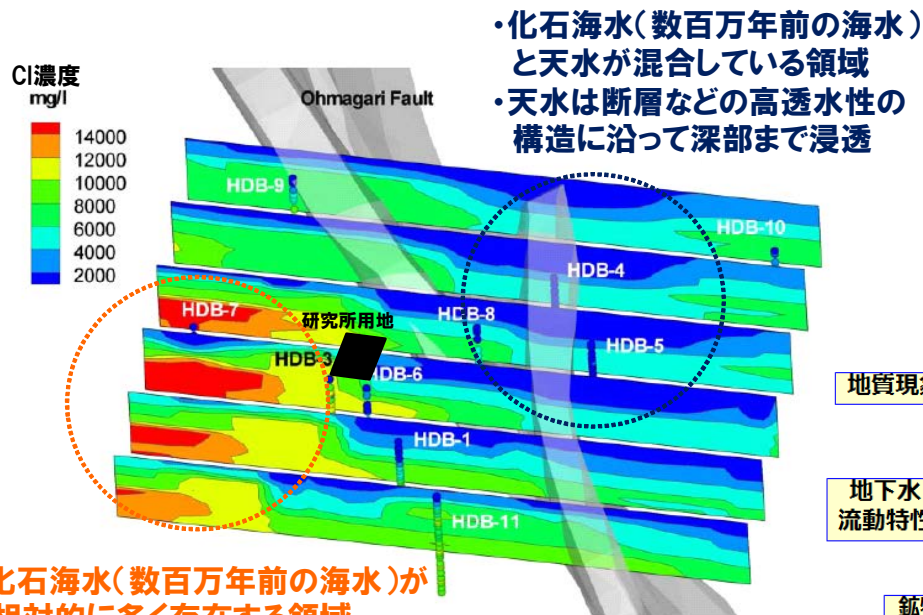


第2段階における地球化学調査により得られた塩化物イオン濃度のコンター図

- 地球化学特性の分布とその形成プロセスを理解するための調査技術, 解析・モデル化技術を整備
- 施設建設・操業時の地球化学擾乱や緩衝プロセスの観測・解析技術(含事例)を提示

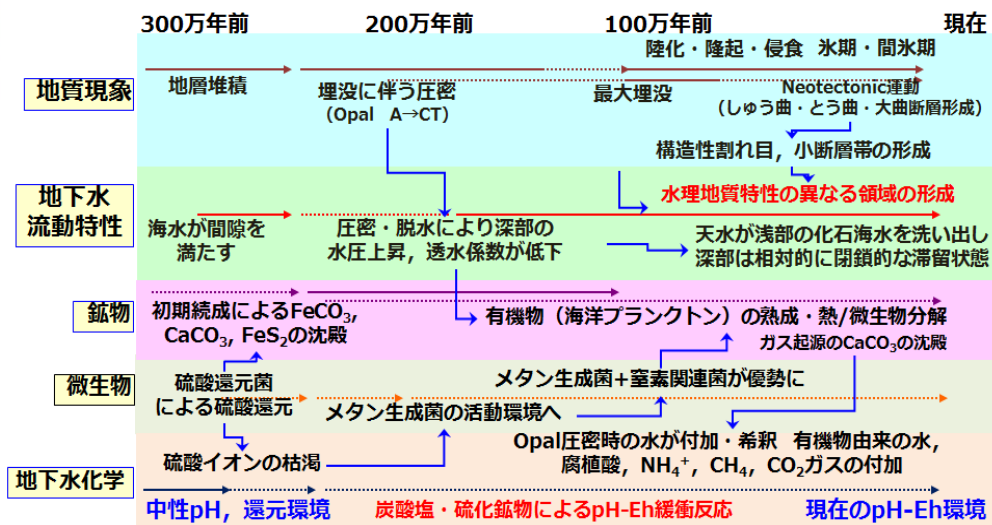
地下水の地球化学 (2)

(幌延)



- ・化石海水(数百万年前の海水)と天水が混合している領域
- ・天水は断層などの高透水性の構造に沿って深部まで浸透

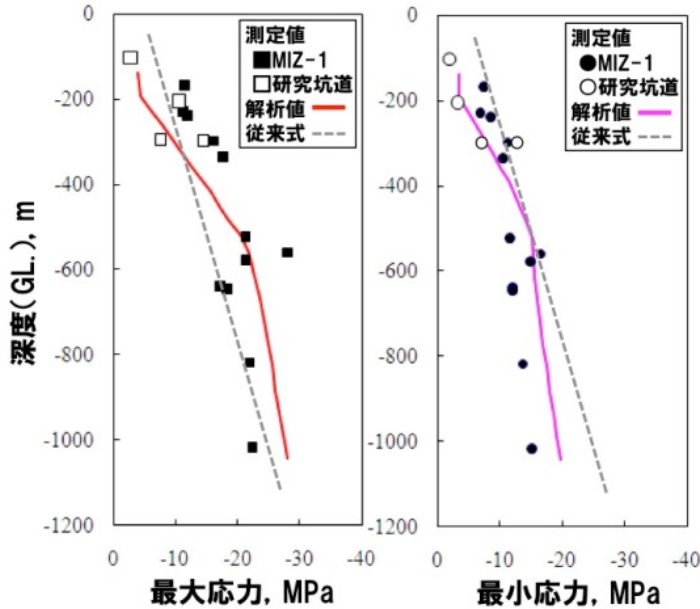
- ・化石海水(数百万年前の海水)が相対的に多く存在する領域
- ・地下水は地層堆積時に取り込まれた後、長期間にわたり滞留



幌延地域における地下水化学に関わる地質現象シナリオ

- 地球化学特性の分布とその形成プロセスを理解するための調査技術、解析・モデル化技術を整備
- 施設建設・操業時の地球化学擾乱や緩衝プロセスの観測・解析技術(含事例)を提示

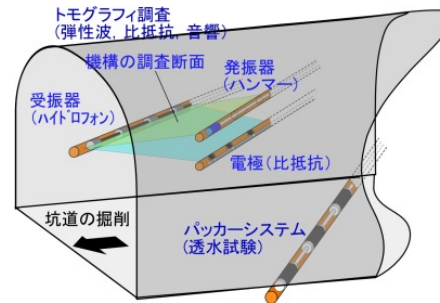
(瑞浪)



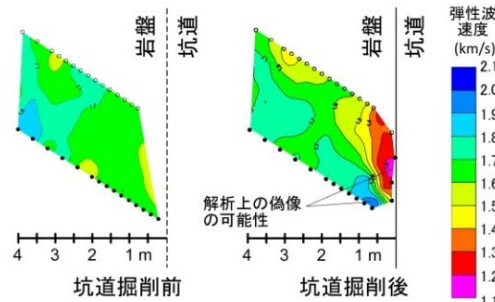
実測値と解析結果の比較

- 地上からのボーリング孔を用いた原位置応力測定 (水圧破碎法), コアを用いた応力測定(DSCA法など)の適用により, 坑道の設計や掘削影響領域の推定に必要なレベルで地下深部の初期応力状態を推定可能

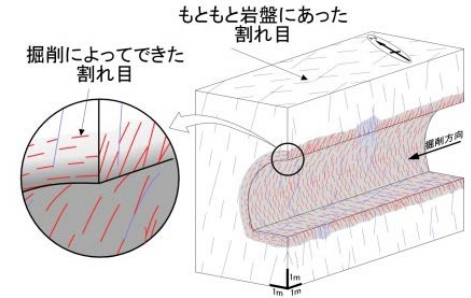
(幌延)



坑道での掘削影響領域調査



弾性波トモグラフィ結果

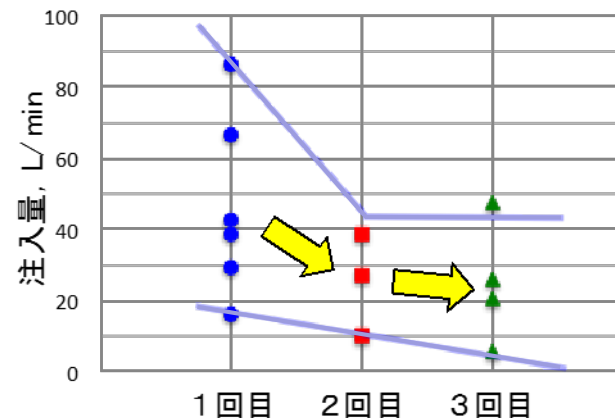
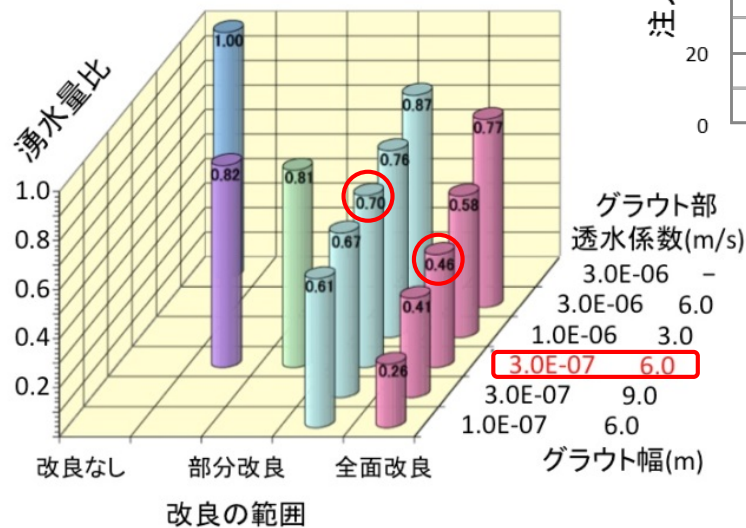
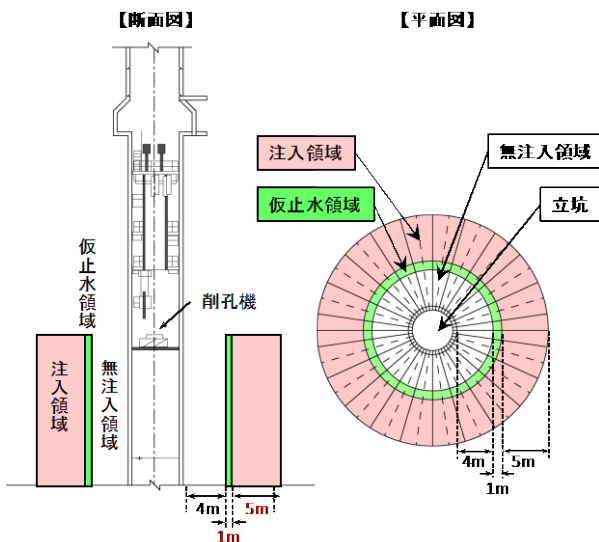


坑道周辺の割れ目分布の概念モデル

- 掘削影響領域の評価においては, もともと岩盤中に分布する天然割れ目とともにEDZ割れ目を調査することが重要
- 掘削影響領域の掘削後の経時変動はほとんどない

- 地上から初期応力状態及び岩盤力学特性を把握するための調査・モデル化・解析事例を提示
- 施設建設・操業時のEDZ(掘削損傷領域・応力再配分領域)を推定する調査・解析の事例を提示

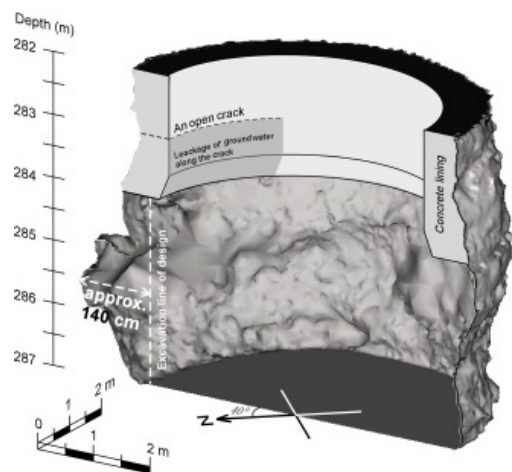
(瑞浪)



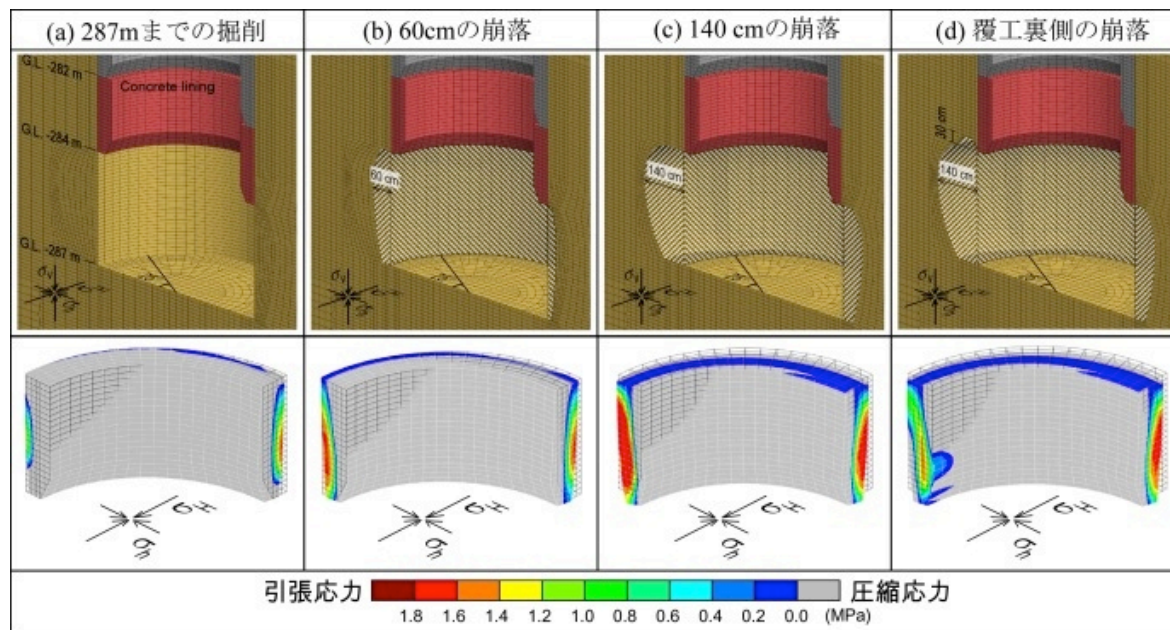
- 大量湧水に対応する技術を適用してその有効性を評価するとともに対策技術の高度化を図り、安全に掘削する実例を提示

- 地上からの調査で得られた情報に基づく坑道の設計手法の適用事例の提示
- 坑道の建設技術の適用事例の提示
- 坑道掘削時の施工対策技術の適用事例の提示

(幌延)



坑壁崩落の計測結果
(換気立坑深度286m付近)



坑壁崩落に伴う覆工コンクリート応力の変化

- 坑壁崩落に伴う覆工コンクリートの応力分布の変化を分析。その結果に基づいて、掘削時の坑壁崩落量に基づいた支保選定フローを構築し、立坑の施工に適用

- 地上からの調査で得られた情報に基づく坑道の設計手法の適用事例の提示
- 坑道の建設技術の適用事例の提示
- 坑道掘削時の施工対策技術の適用事例の提示

- 地表からの調査による深部地質環境を把握するための調査解析評価技術の構築
- 地表からの調査に適用した調査・モデル化手法の有効性を確認
 - ➡ 概要調査に必要な基盤技術を整備
- 坑道掘削による深部地質環境の変化の程度や現象の理解及び必要な調査技術の整備
- 坑道の掘削工事・維持管理を通じて、掘削技術・施工対策技術、安全確保・維持管理技術の適用事例の提示及び有効性の確認
 - ➡ 精密調査前半に必要な基盤技術を整備

必須の課題と研究開発の現状

必須の課題(瑞浪)

①地下坑道における工学的対策技術の開発

◆大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術

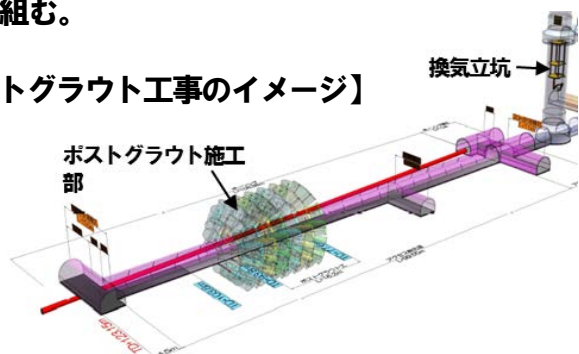
◆地下水管理技術

【概要】

深度500mの研究坑道において、坑道への湧水量をプレグラウトとポストグラウトの組合せによって制御可能とするウォータータイトグラウト施工技術を実証する。

また、地下水排水処理技術等の地下水管理技術の高度化にも取り組む。

【ポストグラウト工事のイメージ】



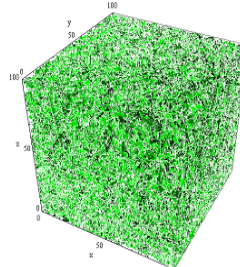
②物質移動モデル化技術の開発

◆長期的な変遷を含めた地下深部におけるわが国固有の亀裂ネットワーク中の地下水流動・物質移動に関する試験及びモデル化技術

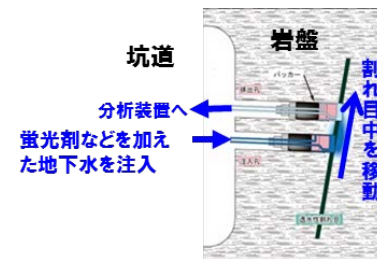
【概要】

深度500mの研究坑道において、花崗岩中の割れ目での物質の移動現象を理解し、モデル化するための調査解析を実施する。

また、割れ目の透水性及び地下水の流動・水質の長期的変化や地下水流動の緩慢さを明らかにするための調査を実施する。



【割れ目分布モデル】



【研究坑道内での物質移動試験の例】

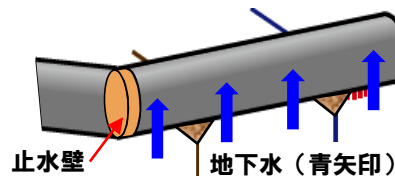
③坑道埋め戻し技術の開発

◆坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術

◆長期モニタリング技術など

【概要】

深度500mの研究坑道において、坑道の一部を埋め戻し、地下水を自然に冠水させることによって、地下水の水圧・水質及び坑道周辺岩盤の化学的・力学的変化を観察し、地質環境の回復能力等を評価すると共に、地質環境に応じた埋め戻し技術の構築を目指す。また、長期の観測に必要なモニタリング技術の開発も実施する。

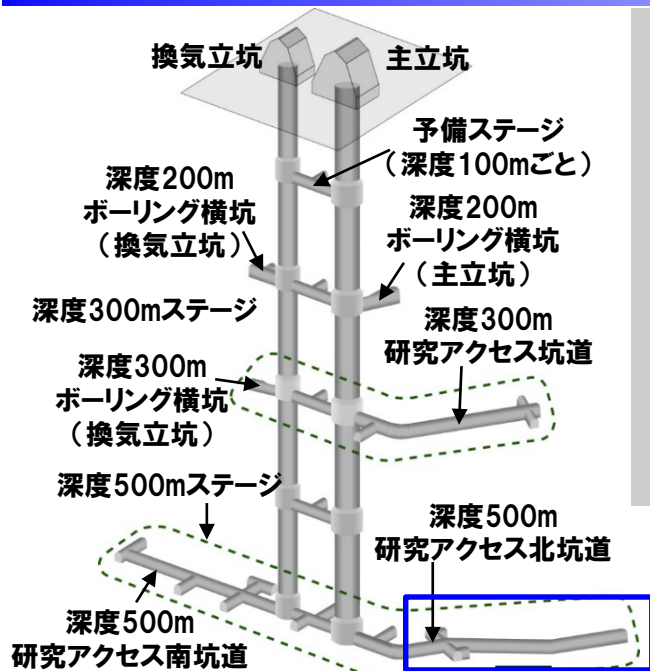


【再冠水試験のイメージ】



【モニタリング装置】

坑道埋め戻し技術の開発

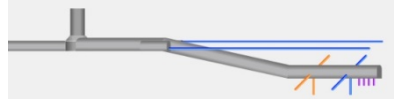


【目的】

- 地層処分の長期安全性に関わる不確実性低減に向け、
- 坑道掘削・閉鎖に伴う地質環境の変遷等の現象理解及び予測技術の構築
- 坑道周辺の地質環境調査技術(特にモニタリング技術)の整備
- 地質環境の回復に有効な坑道閉鎖手順・工法等の坑道閉鎖技術の整備

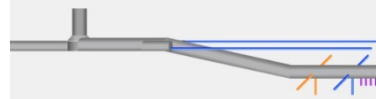
《再冠水試験の手順》

① 水圧・水質モニタリング孔掘削



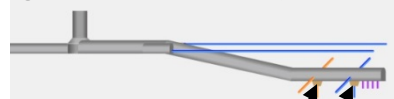
坑道掘削後の初期状態の把握

⑥ 埋戻し材の回収・分析



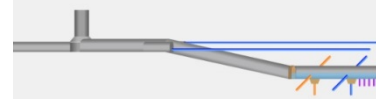
埋戻し材の変質状態の把握

② ボーリングピットの埋戻し



埋戻し材の初期状態の把握

⑤ 排水



坑道内及び周辺観測孔での水圧レスポンスと化学条件変化の確認

③ 止水壁の施工

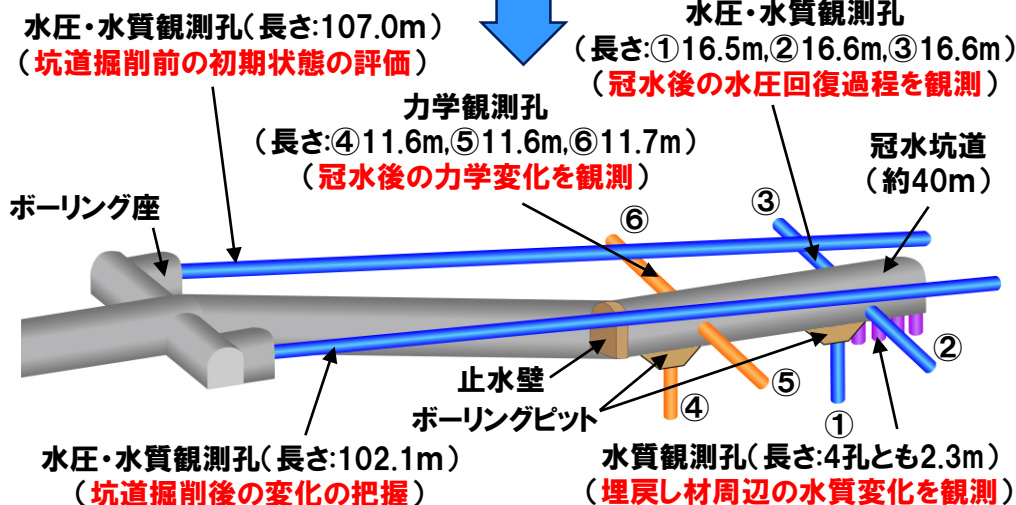


止水技術の確認

④ 繰り返し再冠水試験



周辺観測孔での水圧レスポンスと化学特性変化の確認



再冠水試験 止水壁の設置状況



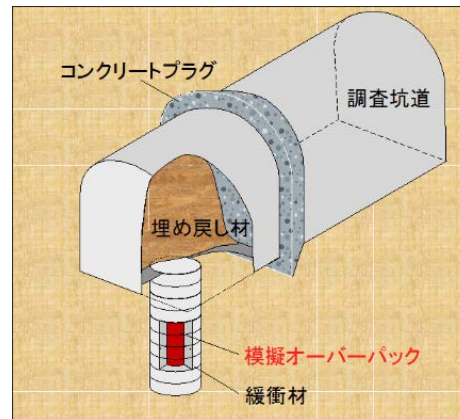
(動画)

必須の課題(幌延)

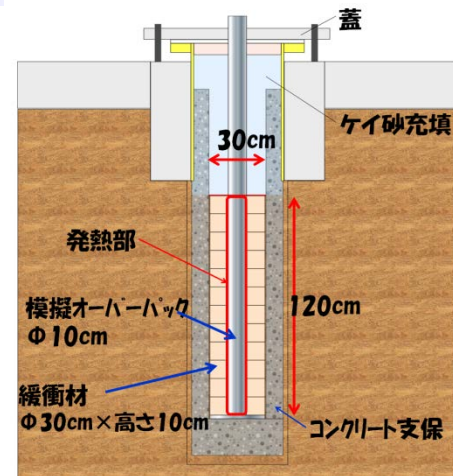
①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

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

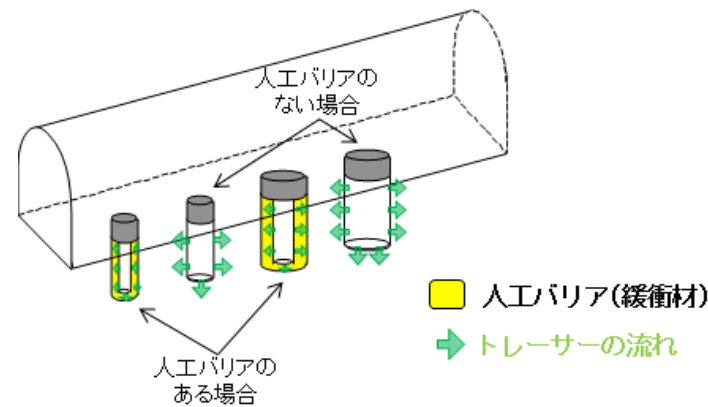


オーバーパック腐食試験

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

人工バリア性能確認試験の目的

【施工】

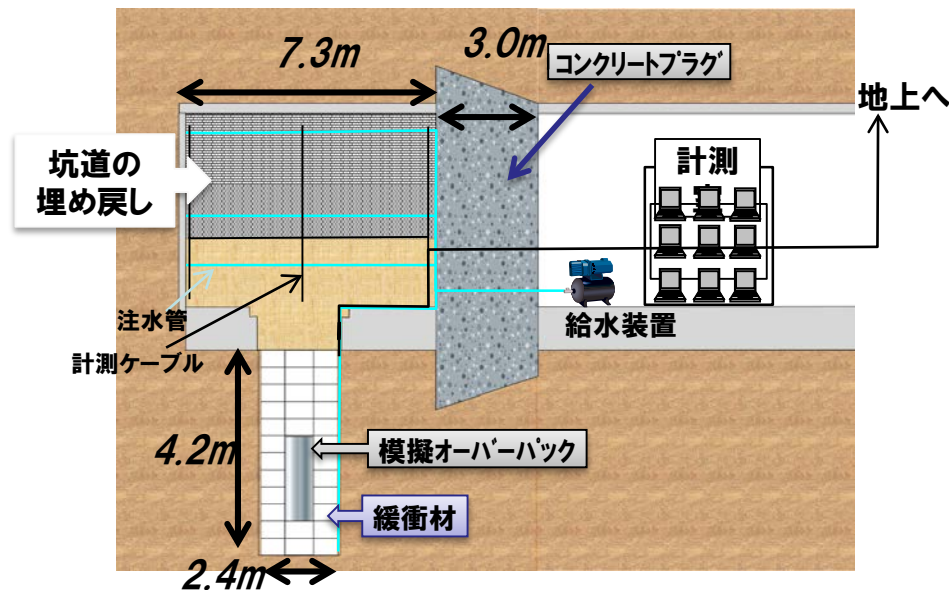
- 「第2次取りまとめ」で示した処分概念が**実際の地下環境で構築できることの実証**
 - ✓ 処分孔(模擬)の掘削方法の例示
 - ✓ 緩衝材ブロックの定置方法の例示
 - ✓ オーバーパック(模擬)の定置方法の例示
 - ✓ 埋め戻し材施工方法の例示
 - ✓ プラグ施工方法の例示, など

【設計】

- 幌延を事例とした**設計手法の提示**
 - ✓ 緩衝材の設計手法の適用性の確認
 - ✓ 掘削土(ズリ)を用いた埋め戻し材の特性データの取得, 設計手法の例示
 - ✓ コンクリートプラグの設計手法の例示, など

【計測】

- 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, など
 - ✓ 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, など



緩衝材ブロック定置

緩衝材ブロック

(動画)

今後の取り組み

- **必須の課題への取り組みを着実に進める。**
 - **瑞浪：地下坑道における工学的対策技術の開発
物質移動モデル化技術の開発
坑道埋め戻し技術の開発**
 - **幌延：実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
処分概念オプションの実証
地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証**
- **研究開発の進捗状況等については、平成31年度末を目途に外部専門家による評価等により確認する。**
- **平成31年度までにその後の計画を決定する。**