



# 深地層の研究施設計画の進捗と今後の課題 (超深地層研究所計画)

平成27年2月26日

バックエンド研究開発部門  
東濃地科学センター 地層科学研究部

# 発表内容

---

- 1. 超深地層研究所計画の概要**
- 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果**
  - ・実施項目
  - ・研究成果
- 3. 次期中長期計画への取組み**
  - ・残された必須の課題の抽出
  - ・各課題に対する取組み状況

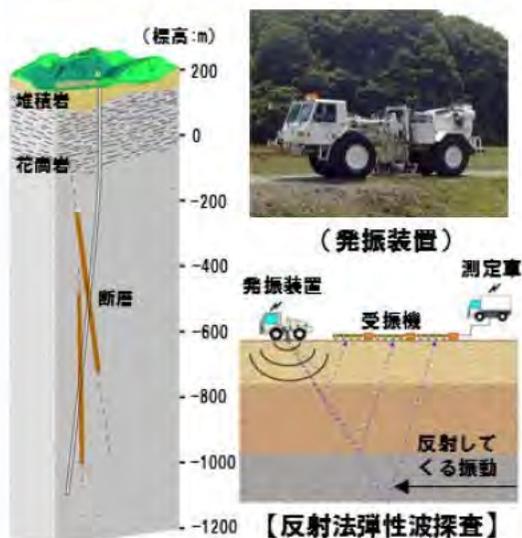
# 1. 超深地層研究所計画の概要

## ● 全体目標

- ✓ 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
- ✓ 深地層における工学技術の基盤の整備

## ● 研究段階

### 地表からの調査予測 研究段階(第1段階)



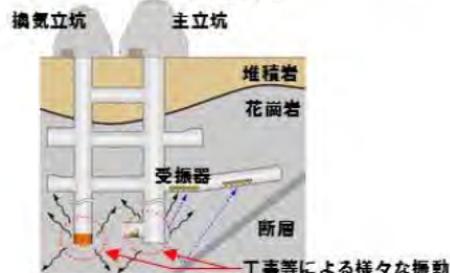
(ボーリング調査)

平成8年度開始～平成16年度終了

### 研究坑道の掘削を伴う 研究段階(第2段階)



【壁面観察】



【研究坑道内での物理探査】

平成16年度開始～平成25年度一旦終了

### 研究坑道を利用する 研究段階(第3段階)



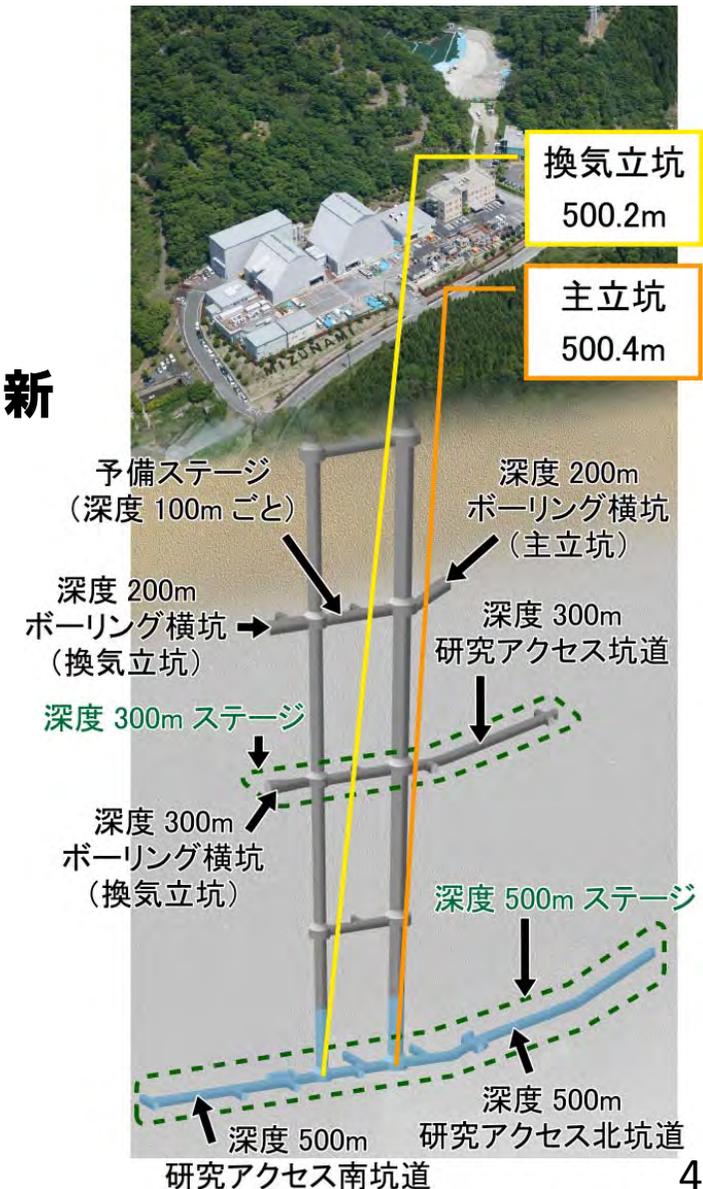
【岩盤中の物質の移動に関する調査研究】

平成22年度開始～

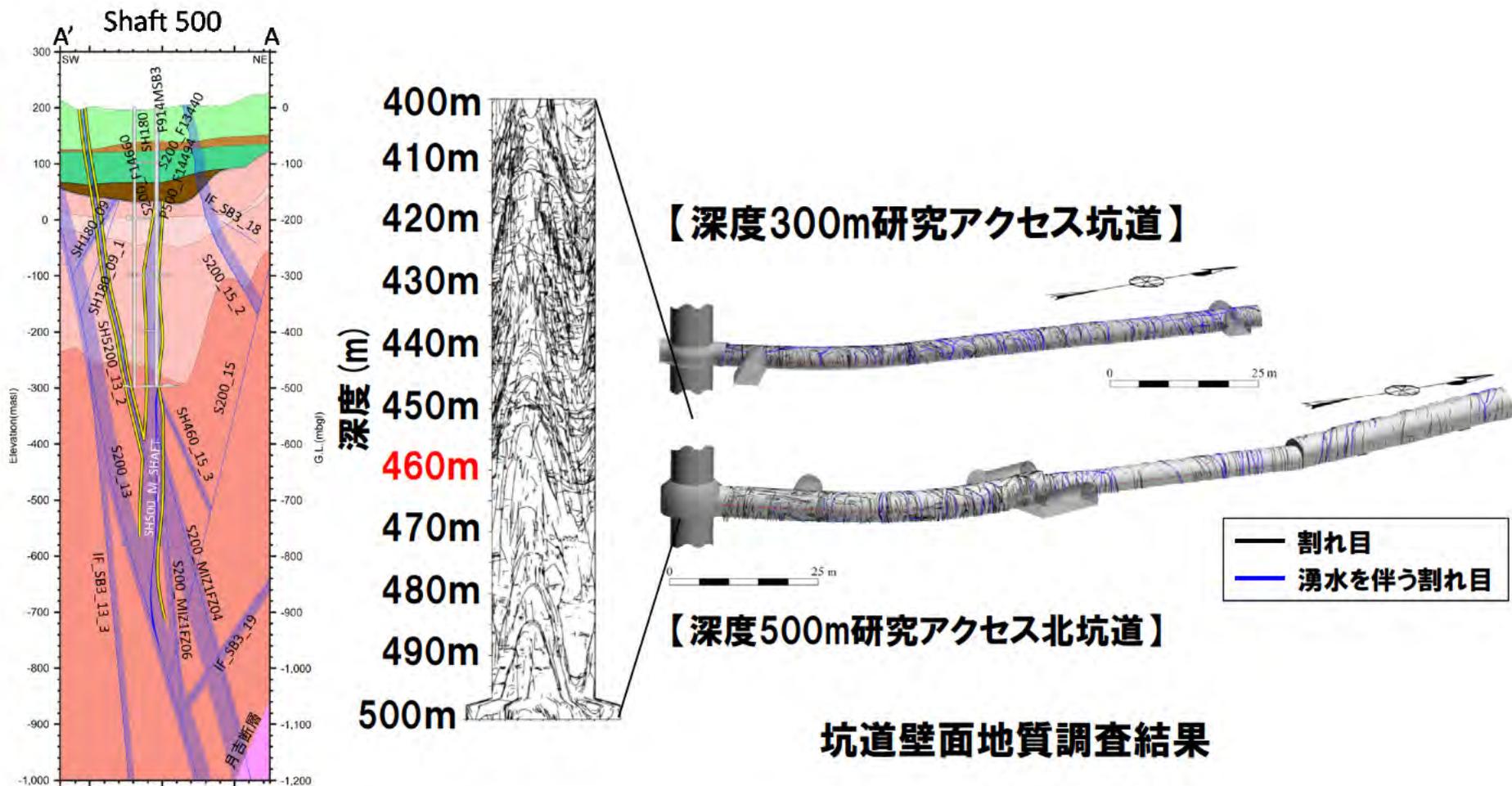
## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果

### 実施項目

- 深度500mまでの2本の立坑及び同深度の水平坑道(延長約430m)の掘削
- 研究坑道の掘削を伴う調査研究(第2段階)
  - ・壁面地質調査
  - ・ボーリング調査
  - ・坑内物理探査
  - ・各種モニタリング
  - ・地質環境モデルの評価・更新
  - ・調査・解析手法の評価
- 深度300m、500mステージの研究坑道を利用した調査研究(第3段階)
  - ・地質環境の長期変遷、物質移動
  - ・施工対策影響評価
- 研究坑道の施工・維持・管理に関わる工学技術の有効性の確認
- 今後の調査研究課題(必須の課題)の抽出

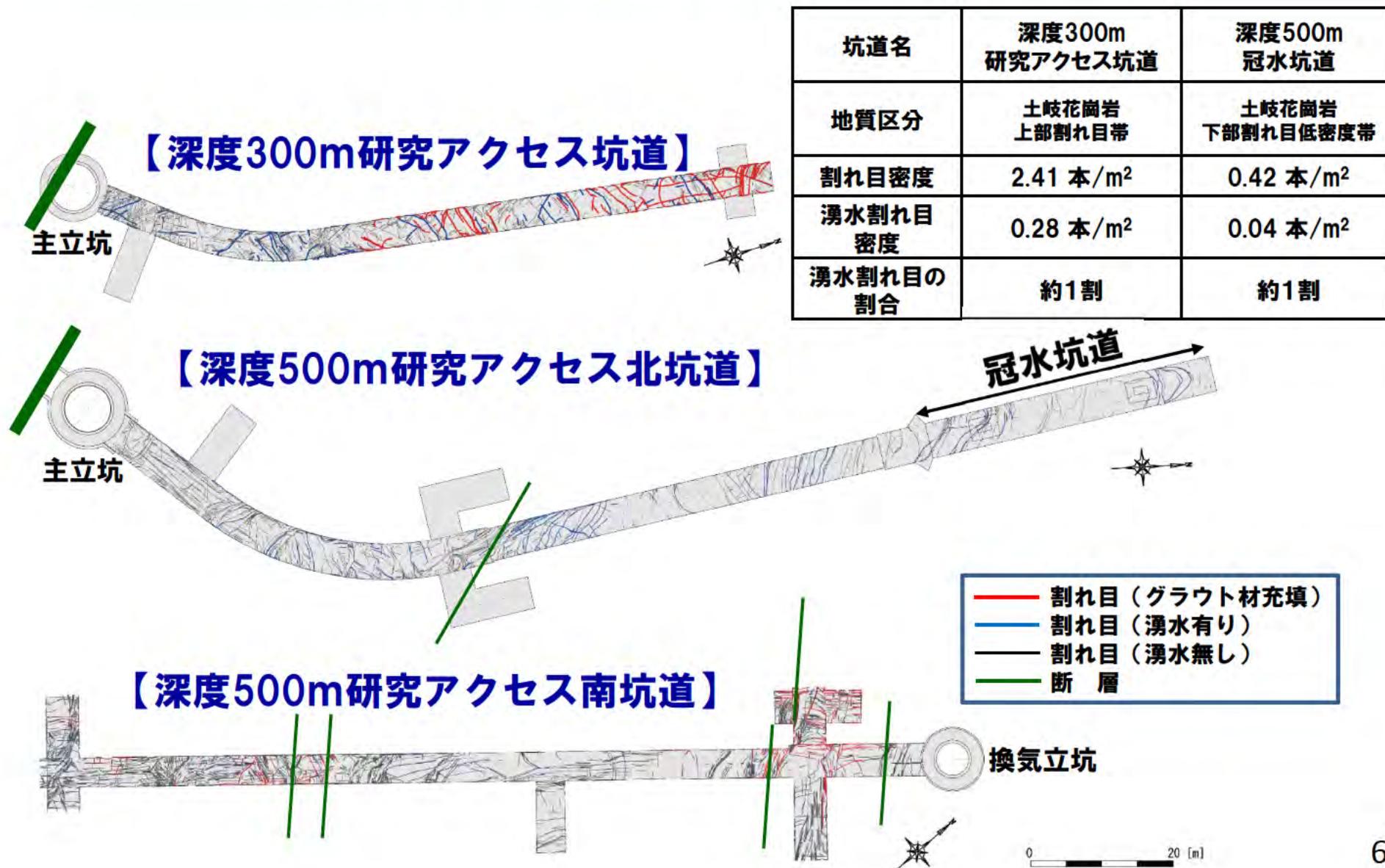


## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 - 第2段階での調査試験(坑道壁面地質調査) -

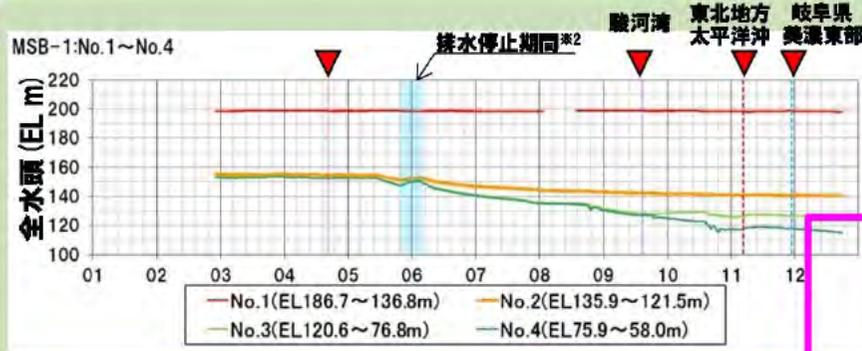


第2段階で構築した  
地質構造モデル

## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 - 第2段階での調査試験(坑道壁面地質調査) -



## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 -坑道堀削による深部地質環境の変化の把握(岩盤水理)-



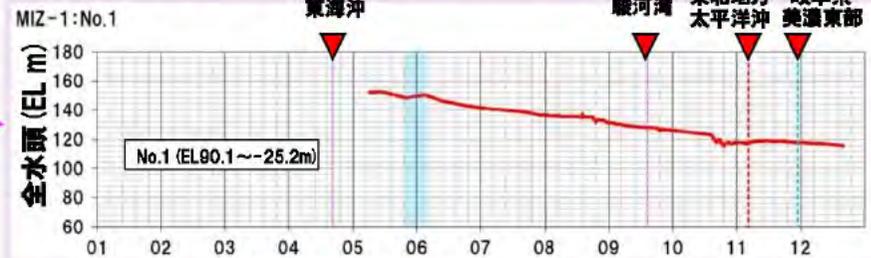
年(西暦)

※No.1(明世累層及び本郷累層), No.2(本郷累層(基礎礫岩))  
No.3(土岐夾炭累層), No.4(土岐夾炭累層(基礎礫岩))

堆積岩中における水圧変化の例

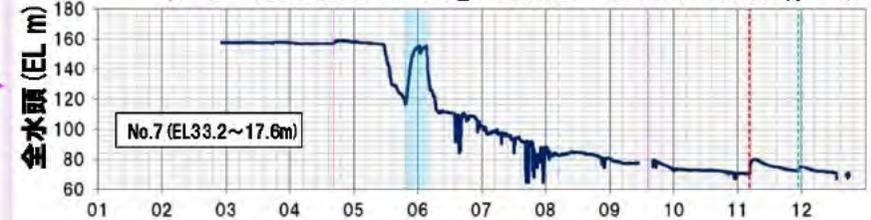


〈月吉断層と主立坑断層に挟まれた領域:A〉



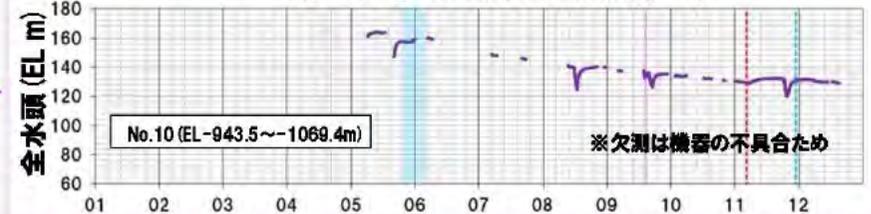
主立坑断層が分布

MSB-3: No.7 〈主立坑断層とS200\_13断層に挟まれた領域:B〉



S200\_13断層が分布

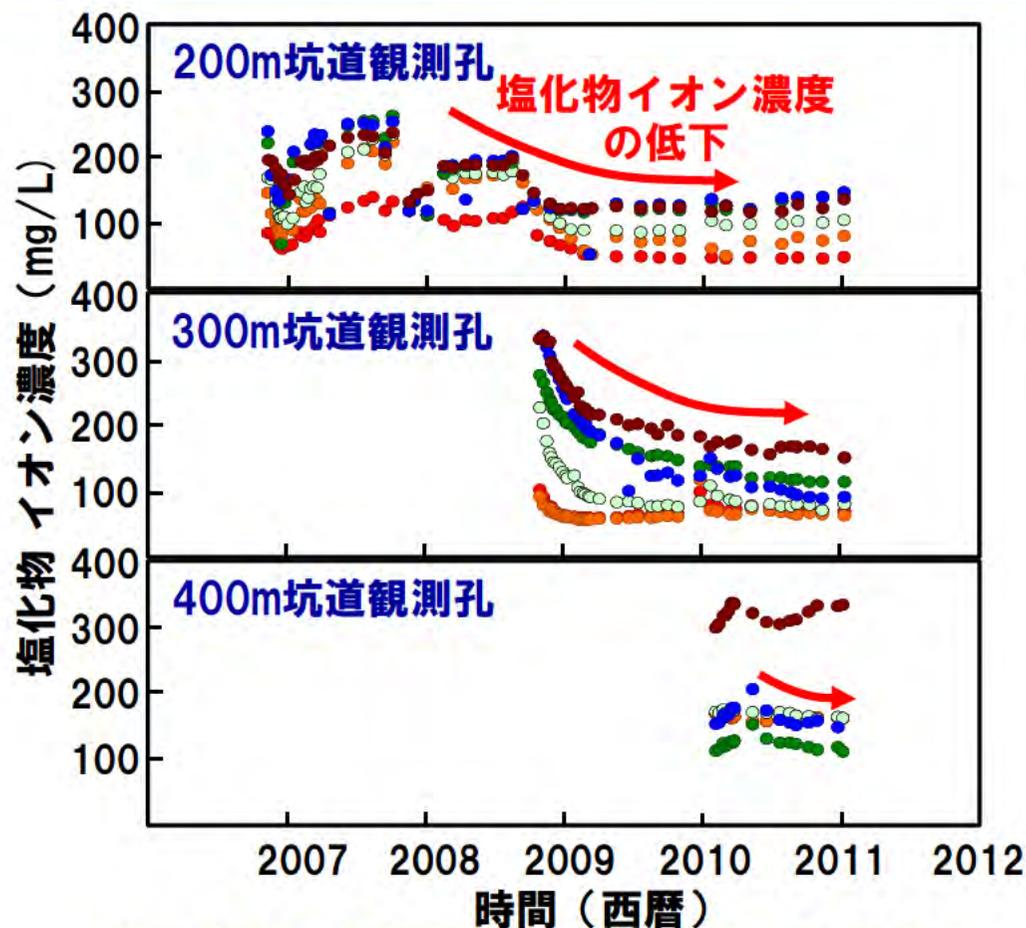
MIZ-1: No.10 〈S200\_13断層南側領域:C〉



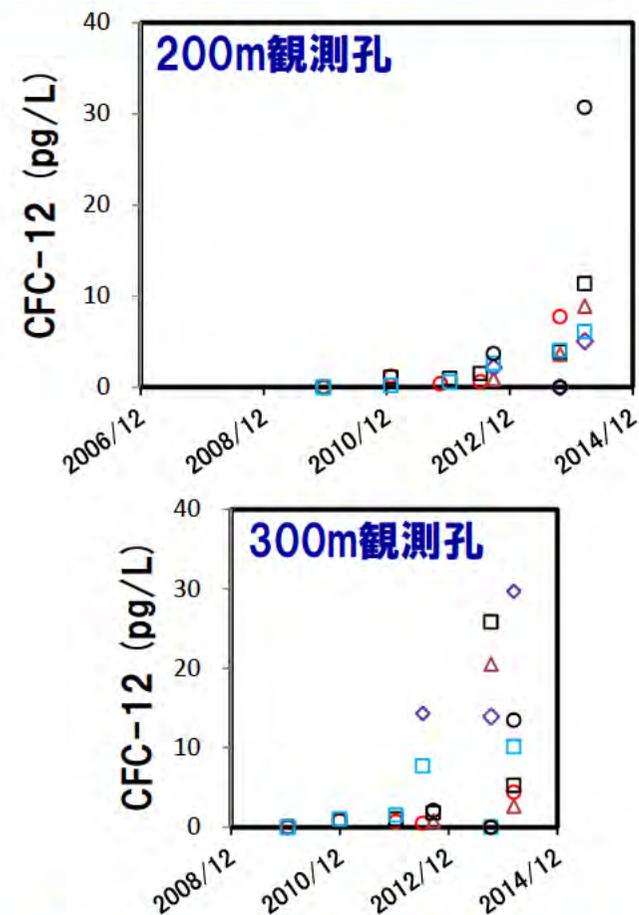
土岐花崗岩中における水圧変化の例

●低透水性の断層を境に、坑道堀削及び地震動に伴う水圧変動傾向が異なる

## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 -坑道堀削による深部地質環境の変化の把握(地下水化学)-



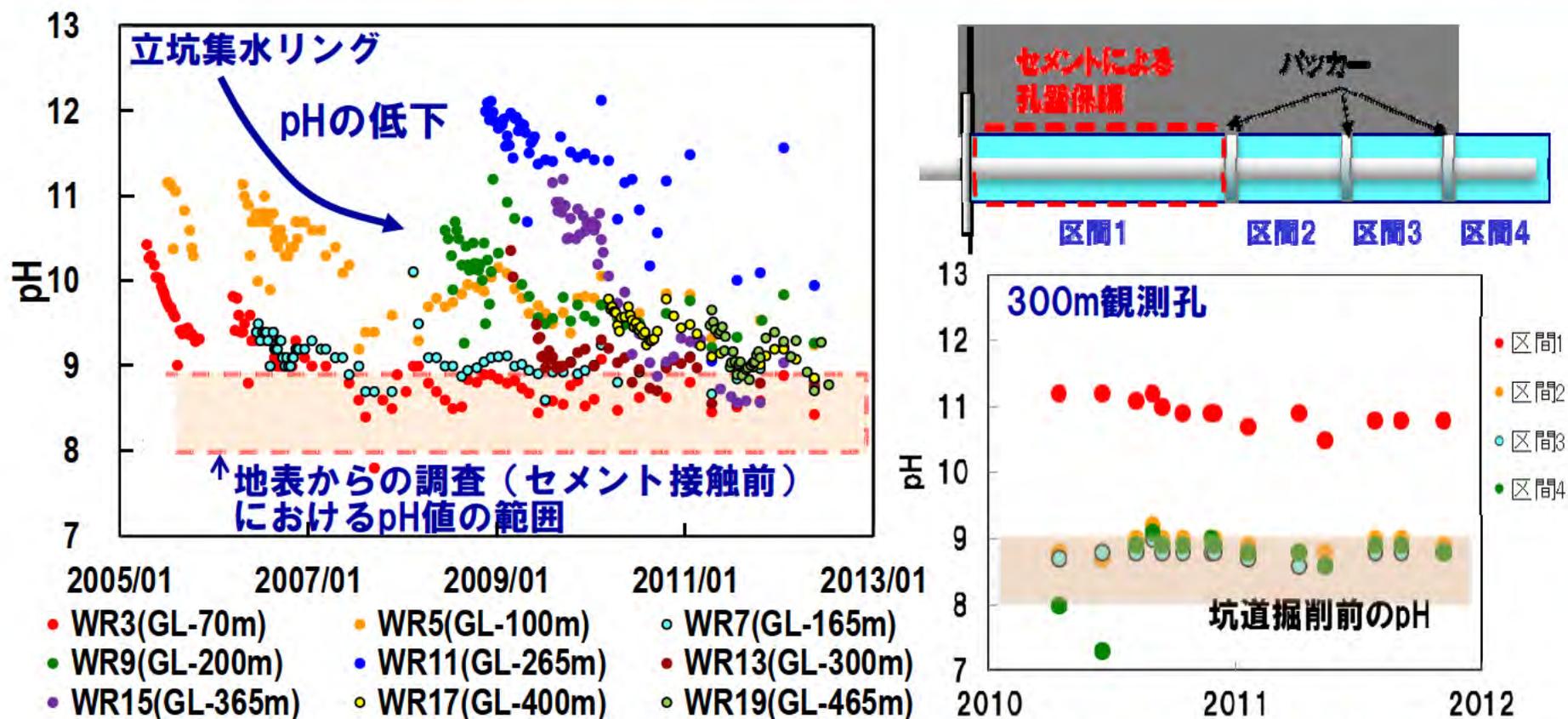
地下水中の塩化物イオン濃度の経年変化



地下水中のフロン濃度の経年変化

- 立坑堀削に伴い、当初はより深部の地下水が立坑底部に向けて上昇、立坑深度が観測点を通ると、坑道からの排水により表層水を含む地下水が地下深度まで浸透し地下水の水質も浅層地下水の組成に変化

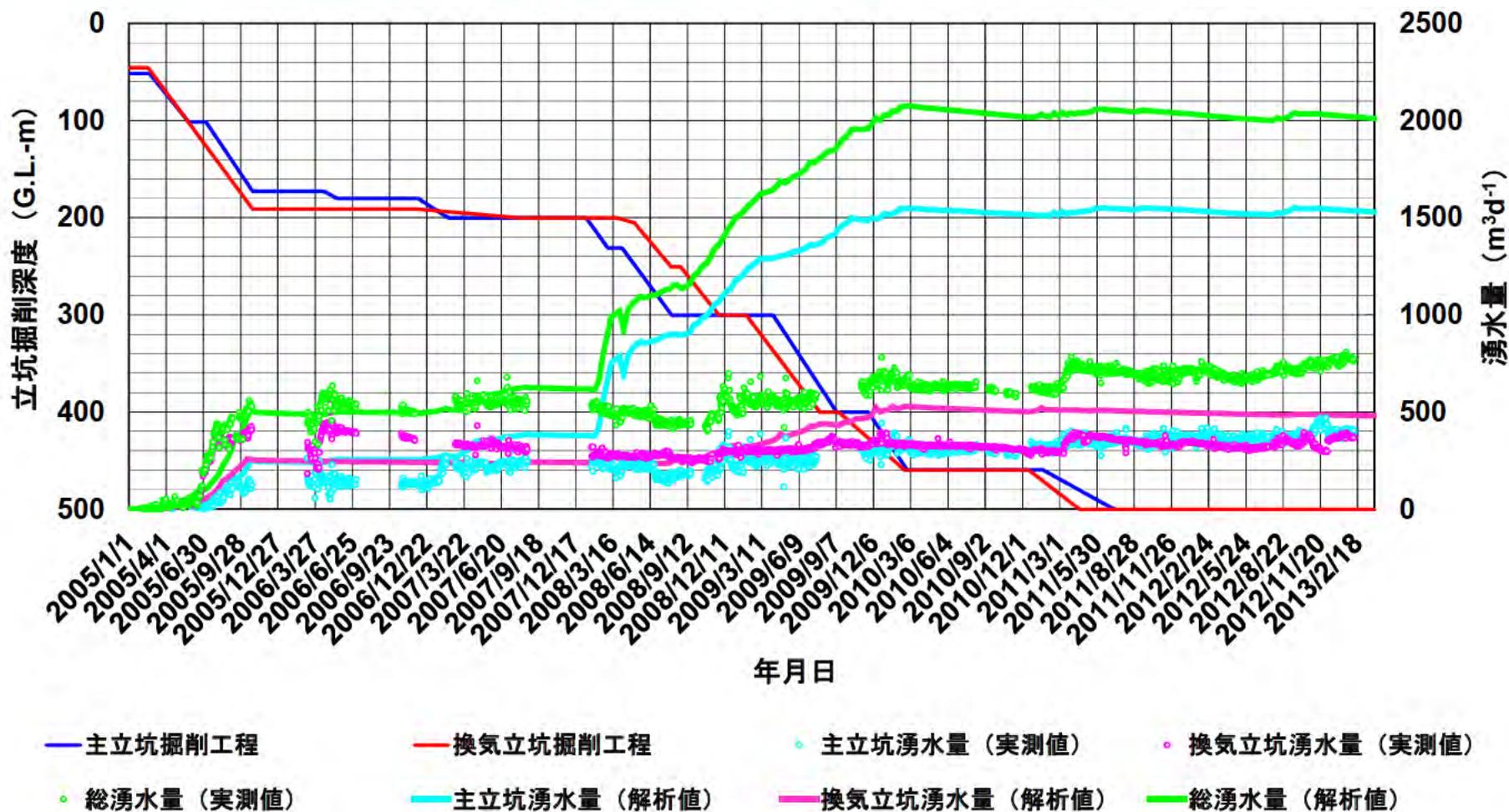
## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 -坑道堀削による深部地質環境の変化の把握(地下水化学)-



### 湧水(左)・非湧水(右)条件下でのセメントによる地下水の水質変化

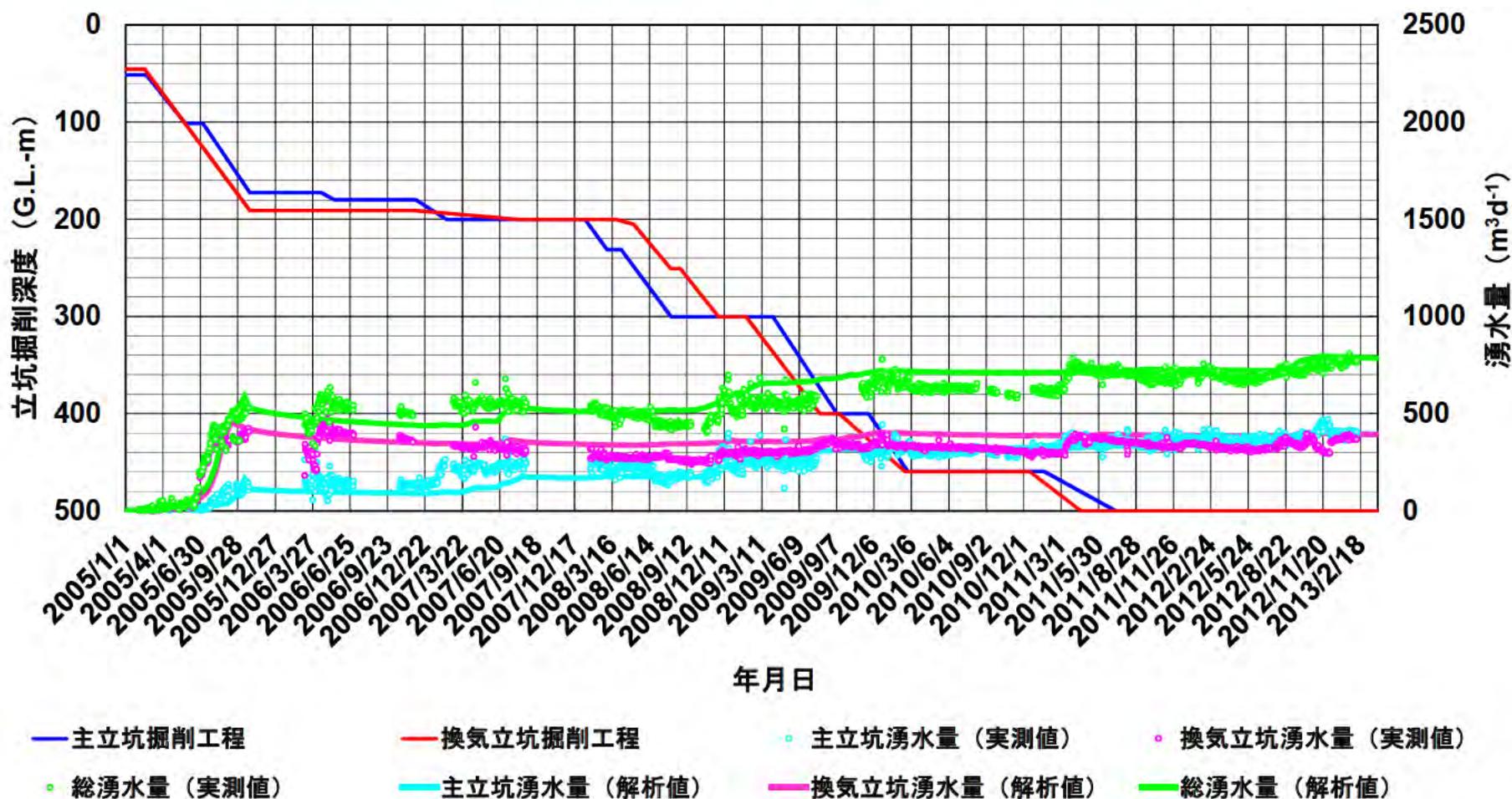
- 湧水条件下においては、地下水のpHは1~2年で強アルカリ性から弱アルカリ性へ変化
- 非湧水条件下においては、セメント材料の化学的影響(高pH値)が長期間残留

## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 -地質環境モデルの評価・更新(地下水流動)-



第1段階で構築されたモデルによる地下水流動解析結果と実測値との比較

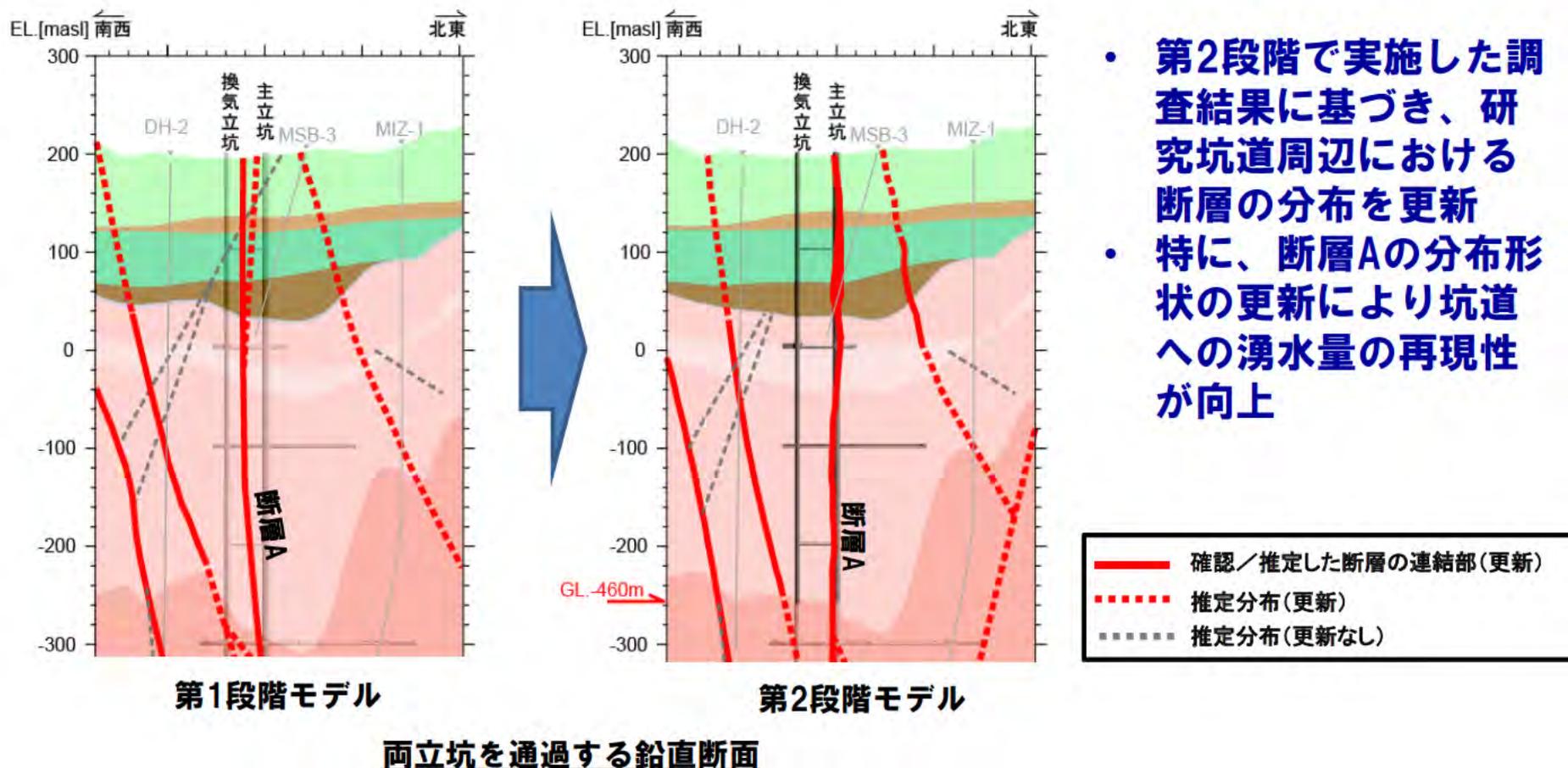
## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 -地質環境モデルの評価・更新(地下水流動)-



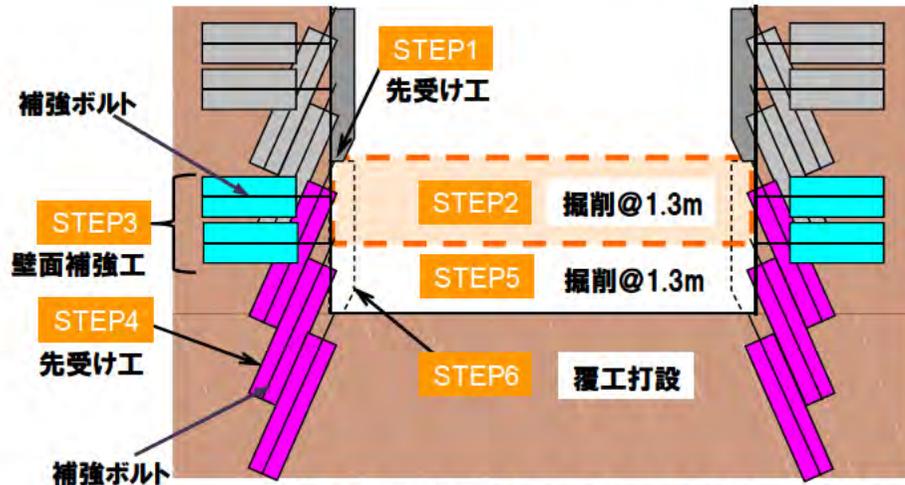
第2段階のデータにより更新されたモデルによる地下水流動解析結果と実測値との比較

## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 -地質環境モデルの評価・更新(地下水流動)-

### 第1段階と第2段階の地質構造モデルの比較



## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 - 工学技術の有効性の確認(立坑崩落対策) -



抜け落ち箇所  
(深度147m, 奥行き1.2m)

崩落性地山に対する地山安定化対策  
(ボルトによる補強とシリカレジンを注入により安定性を向上)

- 断層や割れ目が集中する岩盤の崩落対策として、ボルト補強とシリカレジンの発泡による周辺地山の縫い付け効果による安定化対策を実施  
(主立坑での施工区間: 深度152m~318m、深度394m~416m)
- 地山安定化対策を立坑掘削のショートステップ工法の掘削サイクルに組み込み実施



- 地山状況に応じた柔軟な対応が可能

## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 -工学技術の有効性の確認(湧水抑制対策)-

- グラウト材の注入量は、注入回数が増えるにつれて減少  
注入範囲の透水係数(最大 $10^{-6}$  m/sec  $\approx$  10ルジオンオーダー)は1桁減少
- 湧水量はほぼ0に減少

カルシウムシリカ系材料を使用した  
試験的ポストグラウト

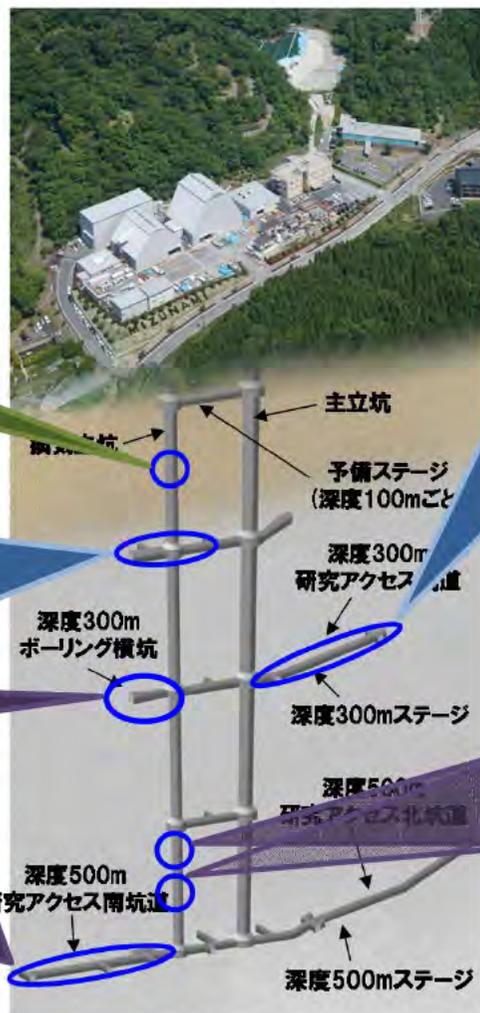
- 最大500L/minの湧水箇所(最大25ルジオン)を探り削孔で把握
- 2ルジオン以下まで岩盤を改良

普通ポルトランドセメントを使用した  
プレグラウト

ポストグラウト試験施工: 溶液型グラウト

最大500L/minの湧水箇所(最大 $10^{-5}$  m/sec  $\approx$  10<sup>2</sup>ルジオン)を  
先行ボーリングで把握  
普通セメント・超微粒子を使用した  
プレグラウト

- 0.1ルジオン程度に岩盤を改良  
超微粒子・溶液型グラウト材を使用したポストグラウト
- 0.02ルジオン程度に岩盤を改良



1,000 L/minを超える複数の湧水箇所  
(最大 $10^{-5}$  m/sec  $\approx$  10<sup>2</sup>ルジオン)を  
先行ボーリング調査で把握

- 深度300m研究アクセス坑道全体の湧水量が数百 L/min (1/10の抑制効果)
- 2ルジオン以下まで岩盤を改良

普通ポルトランドセメントを使用した  
プレグラウト

- 最大54L/minの湧水箇所(1~4ルジオン程度)を探り削孔で把握

- 0.2ルジオン程度まで岩盤を改良  
超微粒子セメントを使用した  
プレグラウト

## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 -まとめ-

---

- 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**
- 第1段階で構築した地質環境モデルと**第2段階での調査・観測データに基づき更新されたモデル間との比較による不確実性低減の程度や更新前のモデルの妥当性の評価**を通じて、第1段階で適用した**調査・モデル化手法の有効性を確認**
- 研究坑道の掘削工事・維持管理を通じて、**地下施設の建設技術・施工対策技術、地下施設の安全確保・維持管理技術の適用事例の提示及び有効性の確認**
- 地質学的時間スケールにおける**地質環境特性の長期変動幅の推測**に対して超深地層研究所計画で整備した**個別分野ごとの調査・観測技術やモデル化・解析技術の適用性を検討**

## 2. 第2期中期計画期間における主な研究成果 -地層処分事業・安全規制への貢献(CoolRepH26)-

- **地質環境の初期状態の理解(A1群)**
  - ✓ 深部地質環境特性を評価するための**調査解析技術を整備**
  - ✓ 地上からの調査段階での**地質環境モデルを構築するための方法論を調査量と不確実性との関連性に着目して体系化**
  - ✓ 異なる分野の**地質環境特性データの統合化による地質環境モデルの信頼性の向上**を例示
- **地質環境の短期変動・回復挙動の理解(A2群)**
  - ✓ 深度500mまでの坑道掘削による地質環境への影響を評価するために各種**調査解析技術**を適用し、その**有効性や適用範囲**を確認
  - ✓ **掘削影響を低減するための有効な工学技術等**について、これまでに得られた**知見**を集約・整理
- **地質環境の長期変動・回復挙動の理解(A3群)**
  - ✓ **地下施設の閉鎖後に想定される地質環境の長期的な変動の幅及び傾向**を推測するための**個別技術の適用性**を実際の地質環境条件下で確認

# 3. 次期中長期計画への取組み

## -残された必須の課題の抽出-

### 必須の課題

#### 抽出された主な課題

A1) 初期状態の確認 (サイト選定時):

➢ 地上からの調査・評価技術の研究開発は、概ね終了

A2) 地質環境の短期変化及び回復挙動の推定:

➢ 施設閉鎖後の地質環境の回復過程のモニタリング技術の研究開発・実証

- 地質環境の初期状態への回復過程の長期モニタリング技術の研究開発
- 地質環境の変化のシミュレーション (例えば、施設スケール(堀削擾乱領域)での地下水の置換、坑道スケール(掘削影響領域)での力学-水理-化学連成プロセス)
- 坑道埋戻しの観測結果に基づく適切な坑道・施設閉鎖方法・手順の提案

➢ 物質移動に関する研究開発

- 地質構造、水理特性及び物質移動特性を理解するための方法論の開発

➢ グラウト技術に関する研究開発

- ウォータタイトグラウト技術の開発(ポストグラウト技術を含む)
- セメント等の岩盤及び地下水への影響の推定

A3) 地質環境の長期変化/回復挙動の推定

➢ 長期の地質環境に関するFEPの統合による可能性のある長期シナリオの開発

➢ 地震動の地質環境への影響の評価

#### 坑道埋戻し技術の開発

- 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

#### 物質移動モデル化技術

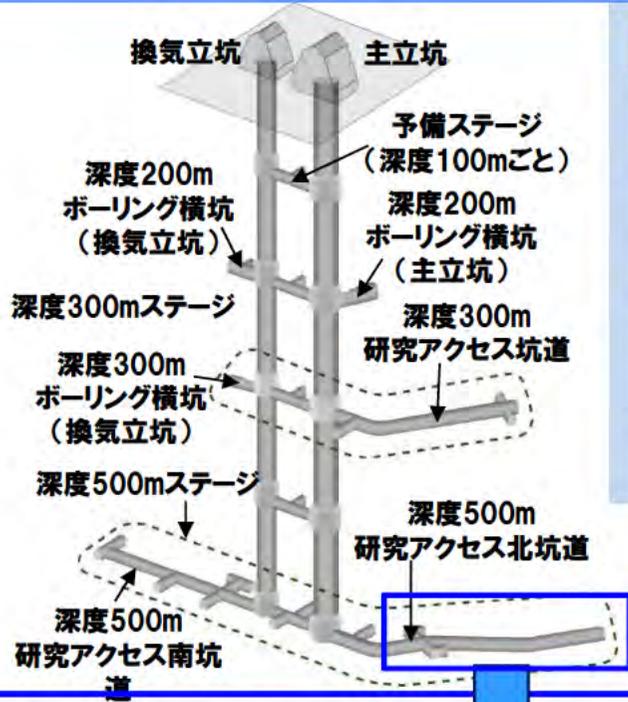
- 不均質な割れ目ネットワークのモデル化手法
- 地質環境の長期変遷に関する解析評価技術
- 深部滞留地下水の調査

#### 地下坑道における工学的対策技術の開発

- ウォータタイトグラウト技術
- 地下水管理技術

# 3. 次期中長期計画への取組み

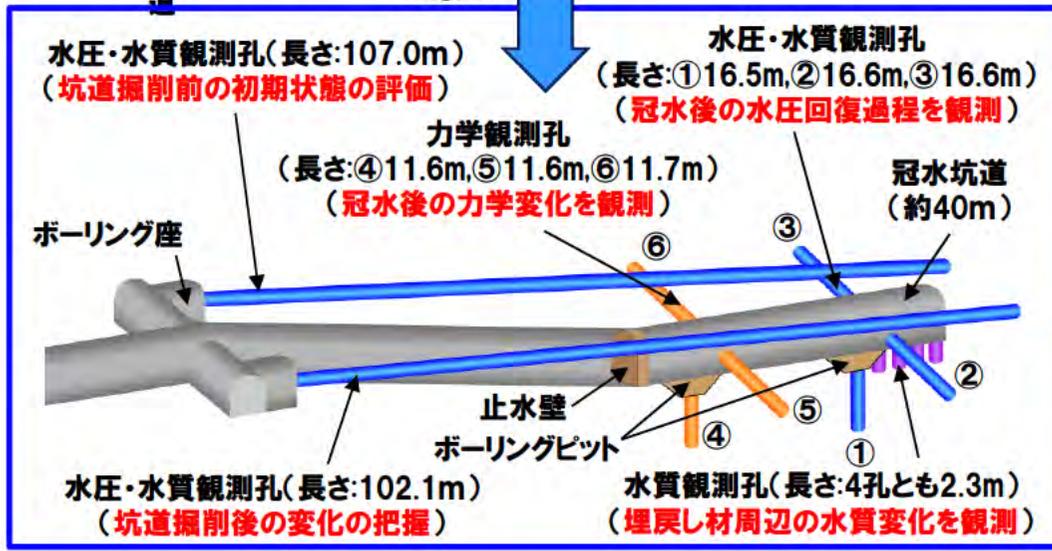
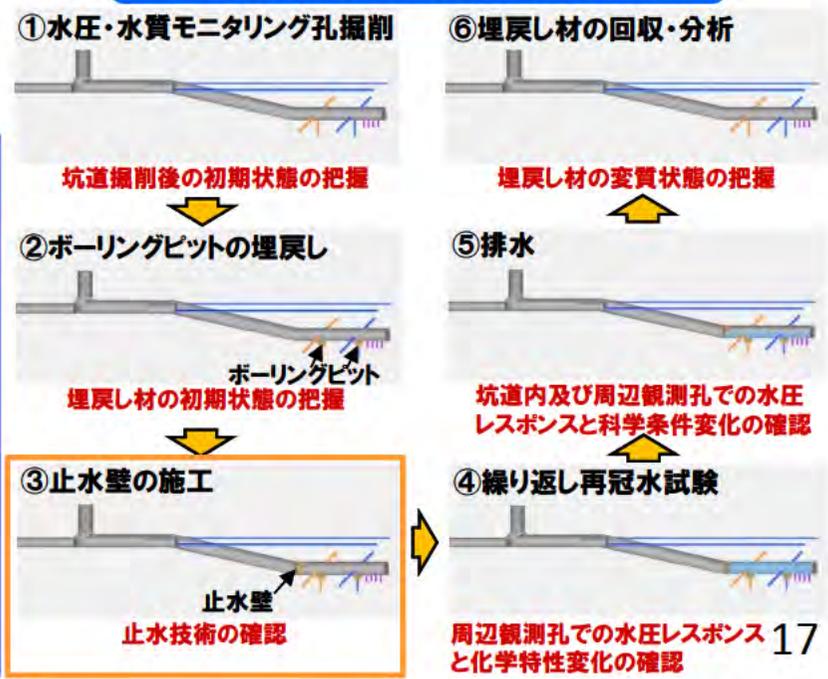
## -坑道埋戻し技術の開発-



### 【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》



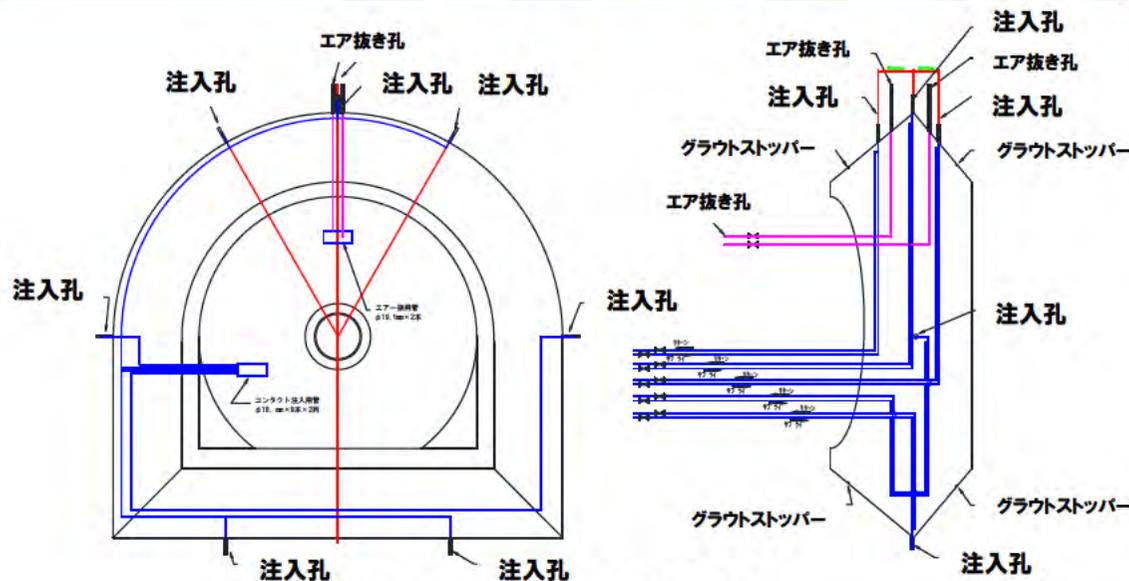
# 3. 次期中長期計画への取組み

## -冠水試験のための止水壁設置作業-

- 躯体形状：アーチ型（マンホール含）
- 躯体構造：鉄筋コンクリート造
- 施工期間：H26年11月～H27年3月
- センサー：温度計、変位計、土圧計、鉄筋計  
コンクリート応力計、継目計
- その他：クーリング用配管  
グラウト用配管（1次・2次）

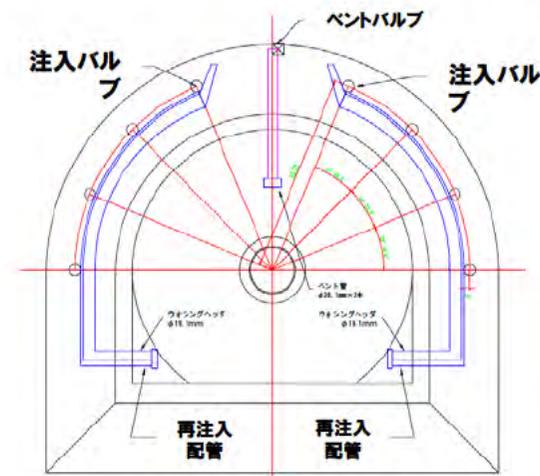


止水壁設置作業現場の状況（2/13）



グラウト用配管図(1次)

※コンクリートのブリーディングによる隙間充填



グラウト用配管図(2次)

※コンクリートの収縮による隙間充填

# 3. 次期中長期計画への取組み

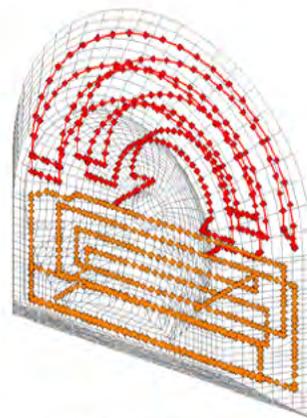
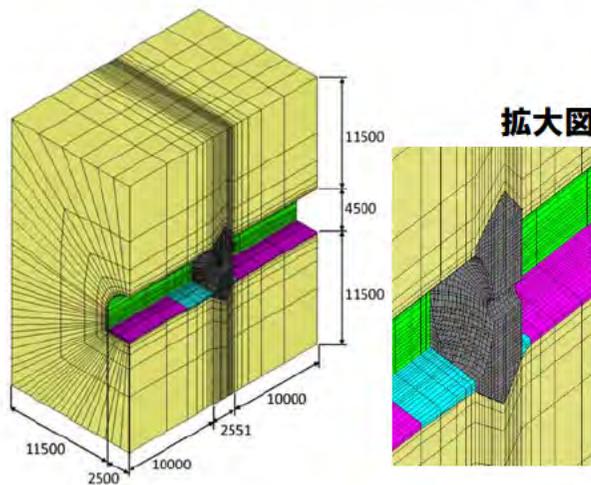
## - 止水壁設置に伴う温度応力解析 -

### 温度応力解析

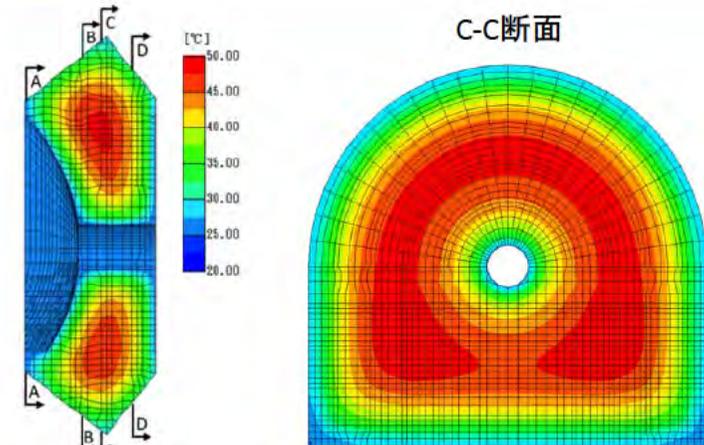
- 貫通ひび割れの防止
- クーリング計画の立案

#### 解析結果:

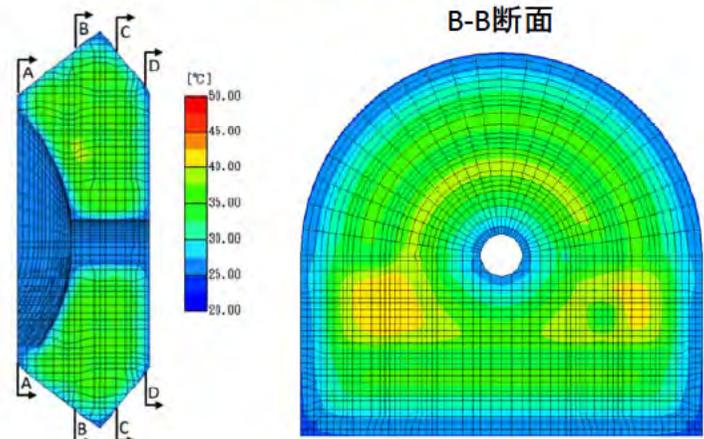
- ・コンクリート打設時から4日間のクーリングによって約7℃低下
- ・貫通ひび割れを防止(ひび割れ指数 $1.92 > 1.85$ )



解析モデル



〈最高温度分布図:クーリング無し〉



〈最高温度分布図:クーリング有り〉

温度応力解析結果

### 3. 次期中長期計画への取組み

- 止水壁の設置状況 -

---



# 3. 次期中長期計画への取組み

## -初期応力測定-

目的:冠水坑道周辺の応力状態の把握

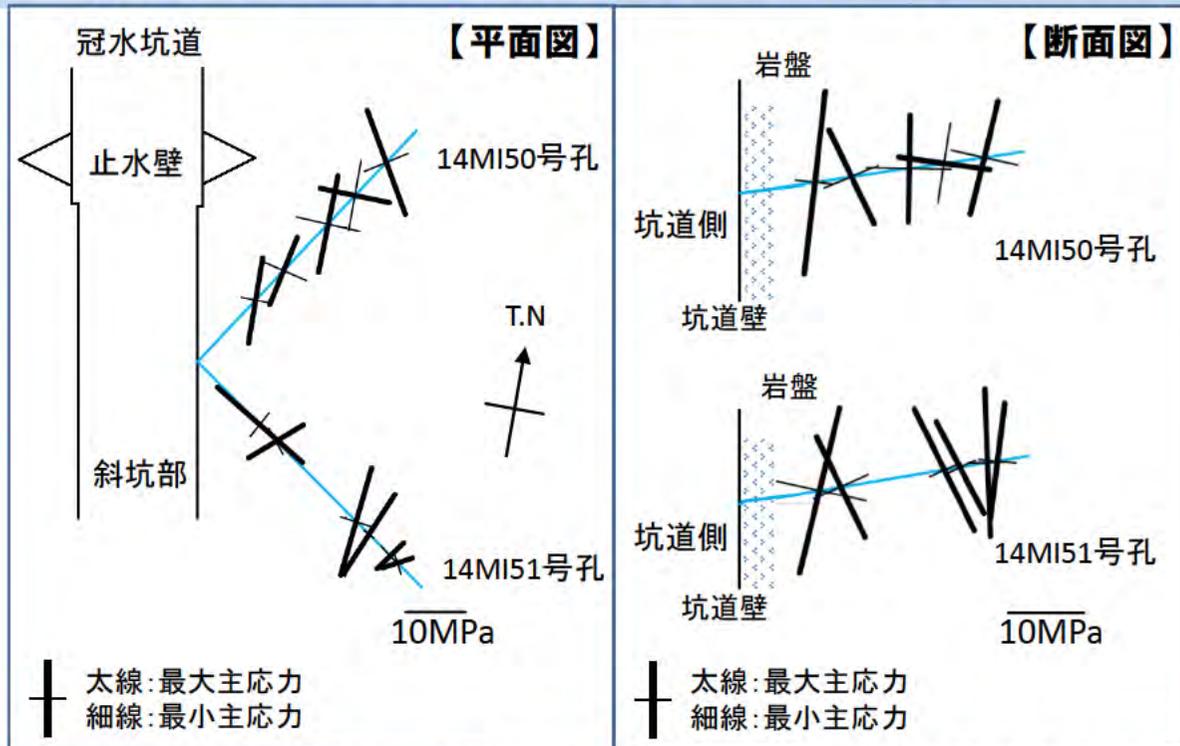
方法:円錐孔底ひずみ法

点数:12点

- ・14MI50号孔(孔長10.5m):6点

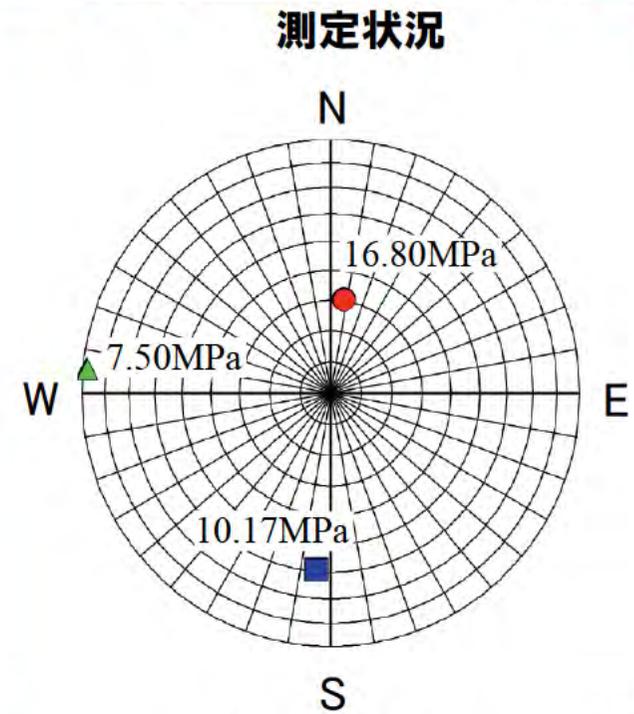
- ・14MI51号孔(孔長10.5m):6点

作業期間:H26年9月22日~10月23日



水平面内の応力分布

坑道の横断面内の応力分布



全データの平均

# 3. 次期中長期計画への取組み

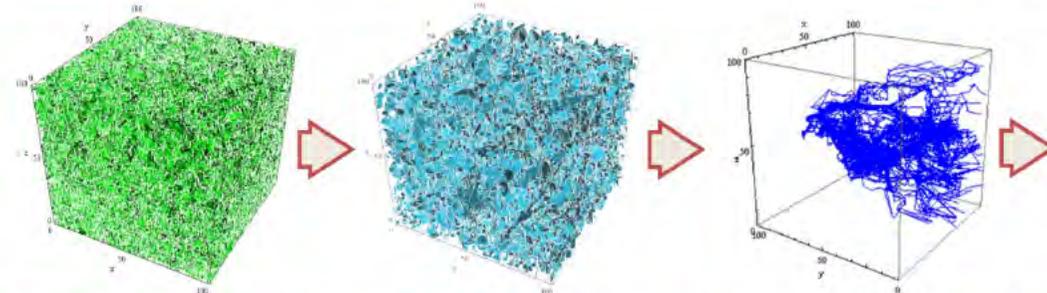
## -物質移動モデル化技術の開発-

**目標:**  
**不均質な割れ目ネットワークのモデル化手法の開発**

- ✓ 実際の割れ目の性状を考慮した割れ目ネットワークのモデル化手法の整備
- ✓ 物質移動に対する割れ目の充填鉱物や変質の影響の理解
- ✓ 物質移動におけるコロイド、有機物、微生物の影響因子の評価等

### 物質移動に関する調査研究

#### ● 割れ目の透水性と地質学的特徴との関係



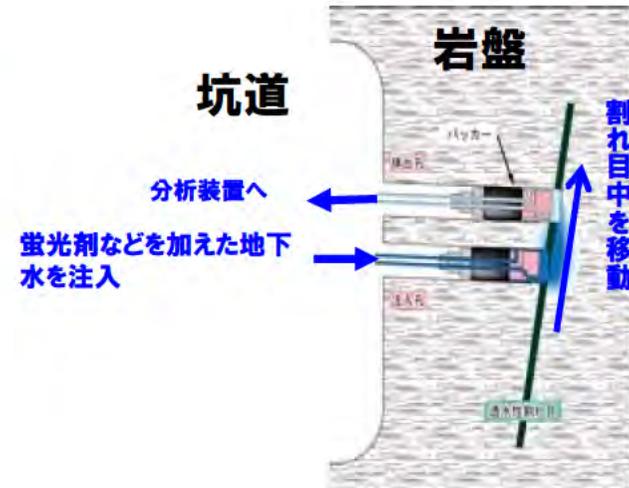
割れ目ネットワークモデル

水理地質構造モデル

パーティクルトラッキング解析

ブロックスケールの各モデルとパーティクルトラッキング解析結果の一例

- ◆ 物質移動試験のための水理地質学的特性調査・解析
- ◆ 物質移動試験
- ◆ 地下水中的コロイド、有機物、微生物の特性調査 等



# 3. 次期中長期計画への取組み

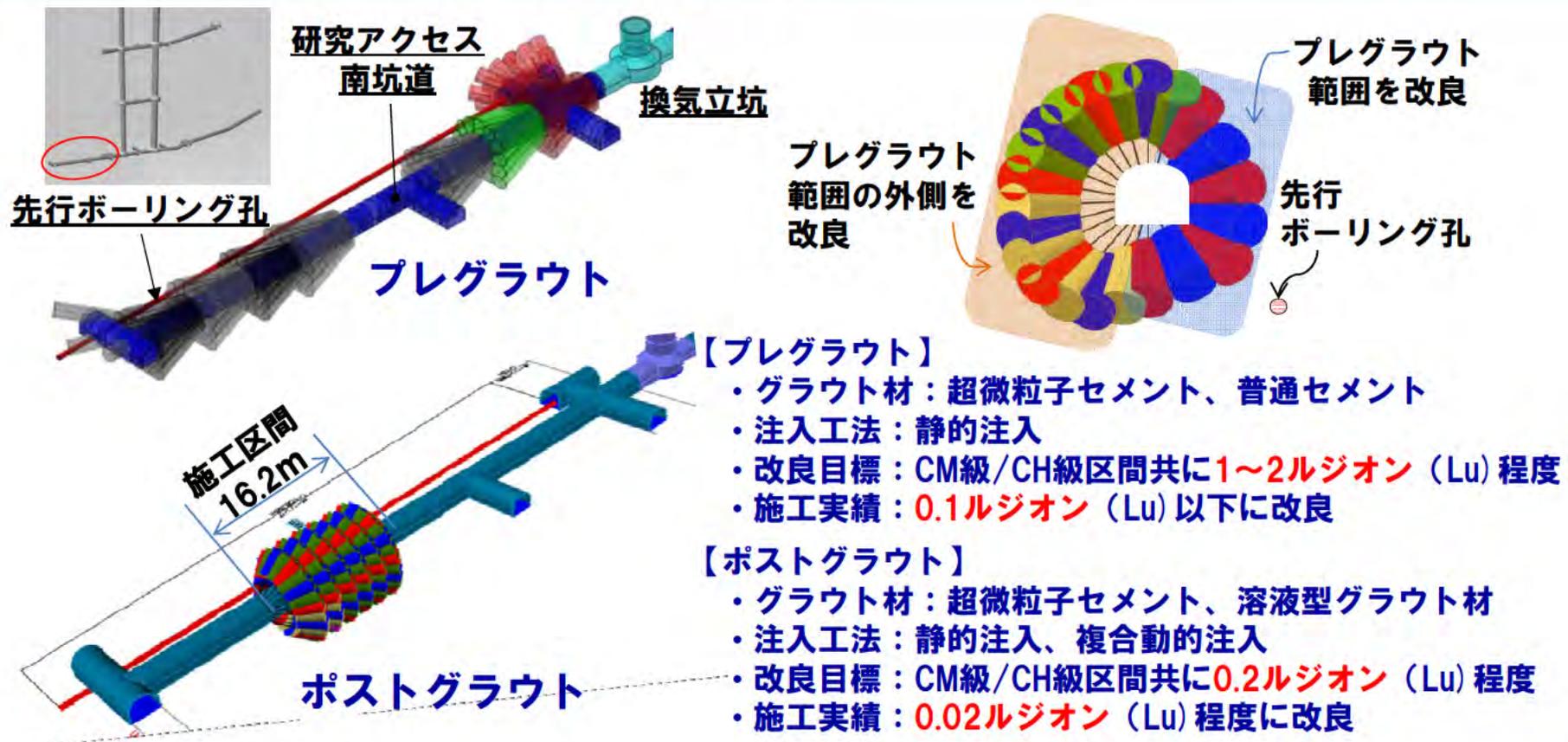
## -地下坑道における工学的対策技術の開発-

**目的：**ウォータータイトグラウト技術の実証  
 地下水浸透理論に基づく解析による湧水抑制の評価手法の構築

**施工内容：**ポストグラウト（超微粒子セメントと溶液型グラウト材）

**施工対象：**深度500m研究アクセス南坑道の割れ目帯部分（約16m）

**施工期間：**H26年7月14日～9月26日



## CoolRepH26:

<http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/index.html>

ご清聴ありがとうございました

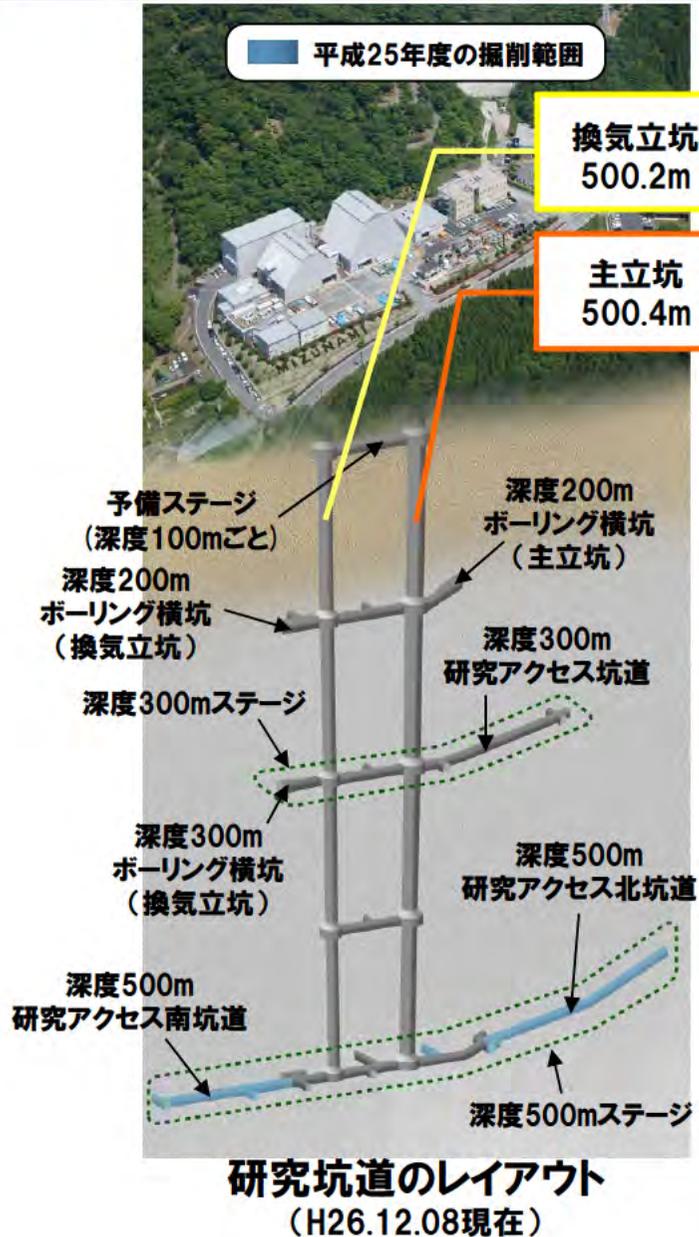


深度500m研究アクセス南坑道

---

# 參考資料

# 平成26年度の進捗(研究坑道の工事状況)

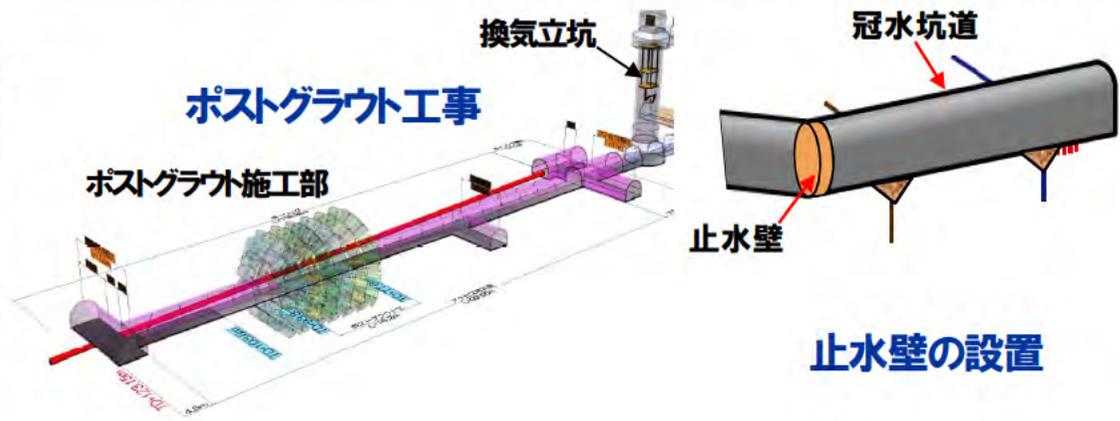


深度500m研究アクセス北坑道(冠水坑道)



深度500m研究アクセス南坑道

H25年度の研究坑道掘削工事	H26年度の研究坑道の工事
<p>【深度500mステージ】(完了)</p> <p>《研究アクセス北坑道》 掘削長: 120.25m</p> <p>《研究アクセス南坑道》 掘削長: 125.15m</p>	<p>【深度500mステージ】</p> <p>《研究アクセス北坑道》 冠水坑道への止水壁の設置</p> <p>《研究アクセス南坑道》 湧水抑制対策(ポストグラウト)</p>

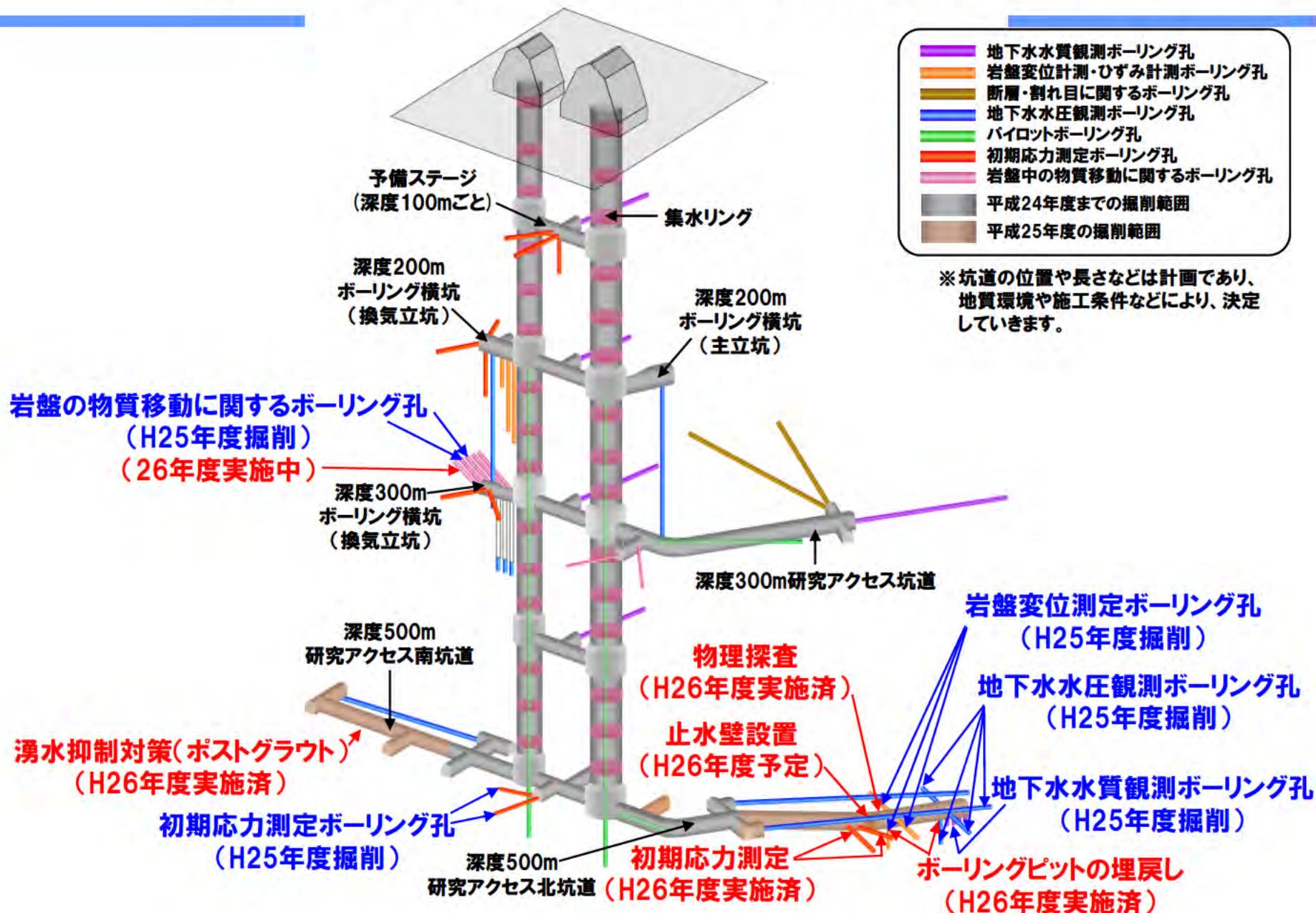


# 調査研究のH25年度実績とH26年度計画

項目	H25年度	H26年度(実施中)
研究段階	第2段階・第3段階継続	第3段階継続
研究坑道 おける 調査研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>①壁面調査</li> <li>②物理探査(自然電位測定)</li> <li>③地下水の水圧や水質の観測(モニタリング)</li> <li>④初期応力の測定               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリング孔の掘削(2本)</li> </ul> </li> <li>⑤再冠水試験               <ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水水圧観測ボーリング孔の掘削(4本)</li> <li>・岩盤変位計測ボーリング孔の掘削(3本)</li> <li>・地下水水質観測ボーリング孔の掘削(4本)</li> <li>・上記ボーリング孔を用いた観測を開始</li> <li>・物理探査</li> </ul> </li> <li>⑥物質移動試験(室内試験/モデル化・解析) [電力中央研究所との共同研究]               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリング孔の掘削(2本)</li> </ul> </li> <li>⑦施工対策影響評価試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①物理探査(自然電位測定)</li> <li>②地下水の水圧や水質の観測(モニタリング)</li> <li>③初期応力の測定               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリング孔の掘削(2本)</li> </ul> </li> <li>④再冠水試験               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリング孔を用いた観測 (地下水の水圧・水質/岩盤変位等)</li> <li>・物理探査</li> <li>・ボーリングピットの埋戻しおよび埋戻し材の 水理・化学的な変化の観測</li> <li>・試験環境整備</li> </ul> </li> <li>⑤物質移動試験(室内試験/モデル化・解析) [電力中央研究所との共同研究]               <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリング孔の掘削(1本)</li> </ul> </li> <li>⑥施工対策影響評価試験</li> </ul>
地上における 調査研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>①表層水理定数観測 (気象観測/地下水位観測/土壌水分量観測等)</li> <li>②地上の既存ボーリング孔を用いた地下水の水圧や 水質の長期観測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①表層水理定数観測 (気象観測/地下水位観測/土壌水分量観測等)</li> <li>②地上の既存ボーリング孔を用いた地下水の水圧や 水質の長期観測</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>①地質環境のモデル化(解析・更新)</li> <li>②工学技術に関する研究</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①地質環境のモデル化(解析・更新)</li> <li>②工学技術に関する研究</li> </ul>

※調査研究の内容や場所については、これまでの研究成果や研究坑道の工事状況等を踏まえて検討

# 研究坑道内における主な調査位置



- 地下水水質観測ボーリング孔
- 岩盤変位計測・ひずみ計測ボーリング孔
- 断層・割れ目に関するボーリング孔
- 地下水水圧観測ボーリング孔
- パイロットボーリング孔
- 初期応力測定ボーリング孔
- 岩盤中の物質移動に関するボーリング孔
- 平成24年度までの掘削範囲
- 平成25年度の掘削範囲

※坑道の位置や長さなどは計画であり、地質環境や施工条件などにより、決定してまいります。