

# 深地層の研究施設計画の進捗と 今後の課題について

## ①超深地層研究所計画(瑞浪)

平成29年2月15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  
東濃地科学センター 地層科学研究部

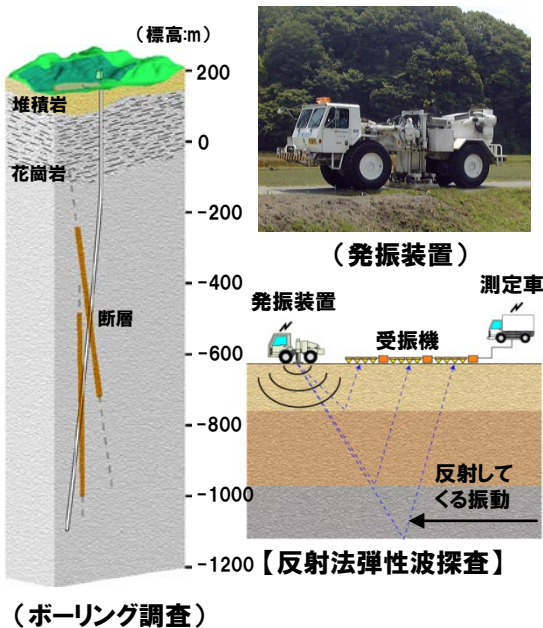
# 超深地層研究所計画の目標と進め方

## 【 目 標 】

- ① 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
- ② 深地層における工学技術の基盤の整備

### 【第1段階:H8-16】

地表からの調査予測研究段階



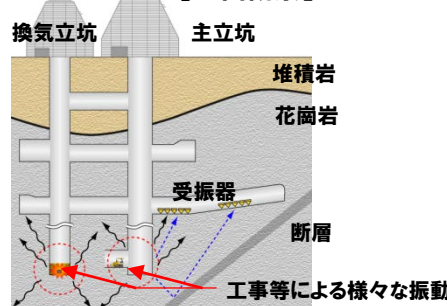
- 地表からの調査研究による地質環境モデルの構築
- 坑道建設前の深部地質環境の状態の把握

### 【第2段階:H16-25\*】

研究坑道の掘削を伴う研究段階



【壁面観察】



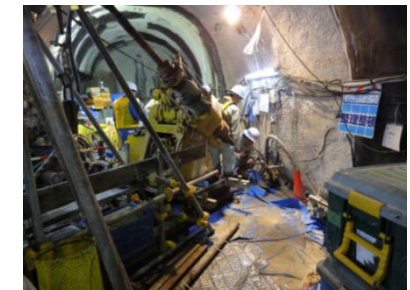
- 坑道掘削に伴う調査研究による地質環境モデルの構築
  - 坑道の施工・維持・管理に関わる工学技術の有効性の確認
- (\*:一旦終了)

### 【第3段階:H22-】

研究坑道を利用した研究段階



【再冠水試験】



【岩盤中の物質の移動に関する調査研究】

- 坑道を利用した調査研究による地質環境モデルの構築
- 深地層における工学技術の有効性の確認

# 中長期計画

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の中長期目標を達成するための計画(平成27年4月1日～平成34年3月31日)

## 《深地層の研究施設計画》

- ◆ 超深地層研究所計画については、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及び坑道埋め戻し技術の開発に重点的に取り組む。これらに関する研究については、平成31年度末までの5年間で成果を出すことを前提に取り組む。また、同年度末までに、跡利用を検討するための委員会での議論も踏まえ、土地賃貸借期間の終了(平成34年1月)までに埋め戻しができるようにという前提で考え、坑道埋め戻しなどのその後の進め方について決定する。

(瑞浪超深地層研究所関係抜粋)

# 中長期計画における研究課題(平成31年度末まで)

## ①地下坑道における工学的対策技術の開発

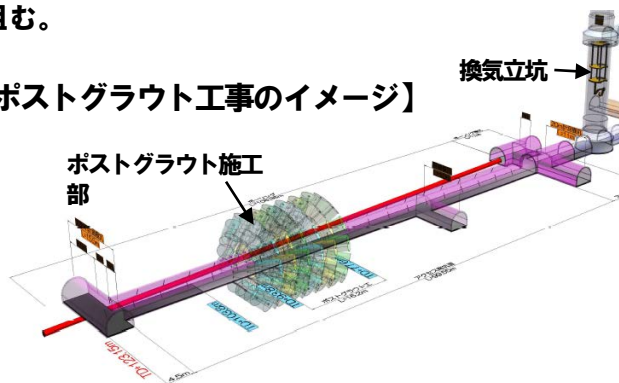
- ◆大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術
- ◆地下水管理技術

### 【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】

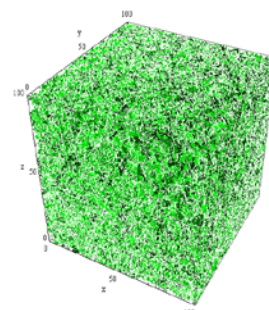


## ②物質移動モデル化技術の開発

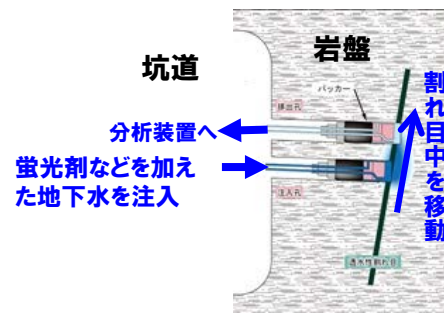
- ◆長期的な変遷を含めた地下深部におけるわが国固有の亀裂ネットワーク中の地下水流動・物質移動に関する試験及びモデル化技術
- ### 【概要】

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】



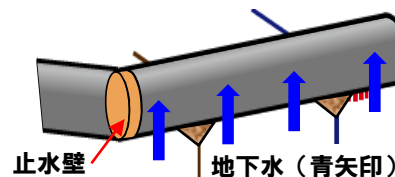
【研究坑道内での物質移動試験の例】

## 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】

# 平成28年度の主な調査研究

## 1. 地下坑道における工学的対策技術の開発

### (1) 大規模湧水に対するウォータタイトグラウト技術の開発

●湧水量低減のためのグラウト計画検討、ポストグラウトの実施、グラウト影響調査

### (2) 地下水管理技術 ●文献調査結果の取りまとめ

## 2. 物質移動モデル化技術の開発

### (1) 低透水性領域での亀裂ネットワークモデル化手法の開発

●室内試験／モデル化・解析

●ボーリング調査及びトレーサー試験〔電力中央研究所との共研〕

### (2) 地質環境の長期変遷解析技術の開発 ●断層の形成過程等の検討

### (3) 深部塩水系地下水の起源・滞留時間の理解 ●調査技術の情報収集・計画検討

## 3. 坑道埋め戻し技術の開発

### (1) 坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術の開発

#### ①再冠水試験

●地下水の水圧・水質、岩盤変位及びピット内の埋め戻し材のモニタリング

#### ②岩盤の破壊現象評価 ●試験結果の取りまとめ〔京都大学・大林組との共研〕

#### ③埋め戻し試験 ●試験計画の検討

### (2) 長期モニタリング技術の開発など

#### ①長期モニタリング ●既存の地上・坑内ボーリング孔を用いた観測（継続）

#### ②長期モニタリング技術の開発 ●地上からの長期モニタリング方法等の検討

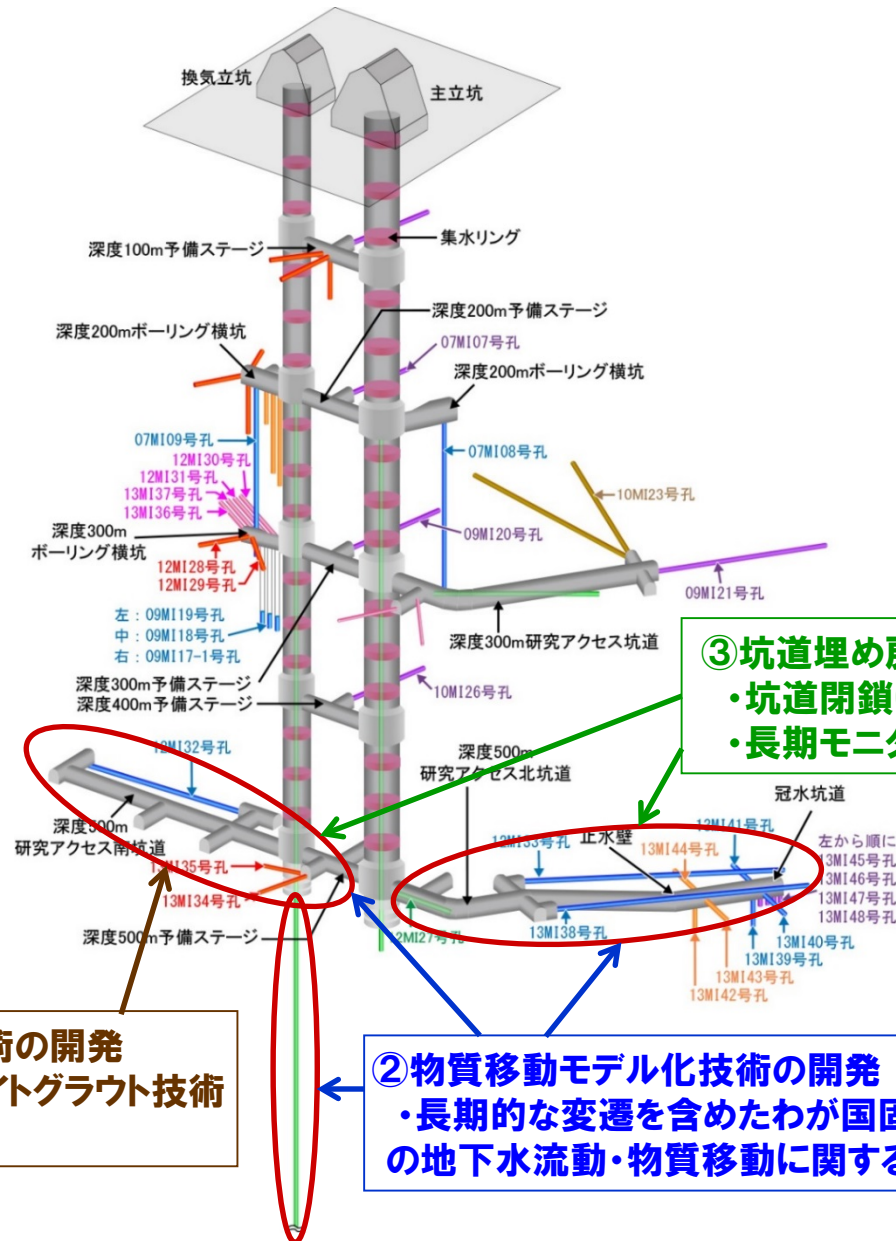
#### ③モニタリングデータの取りまとめ・評価 ●データ集の作成等

## 4. 研究成果の取りまとめ ●地質環境モデルの更新等



# 調査研究の位置

- 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



- 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

- 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

- ② 物質移動モデル化技術の開発
- ・長期的な変遷を含めた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

# 中長期計画における研究課題(平成31年度末まで)

## ①地下坑道における工学的対策技術の開発

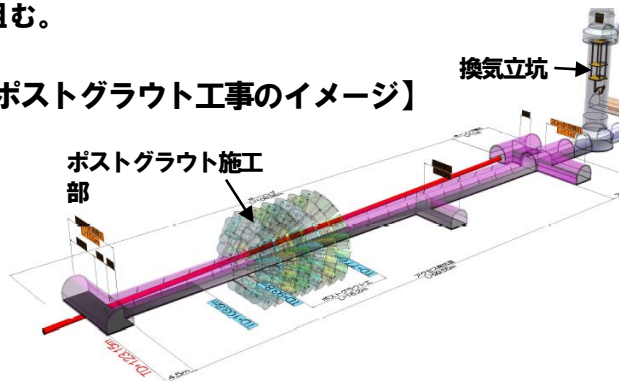
- ◆大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術
- ◆地下水管理技術

### 【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】

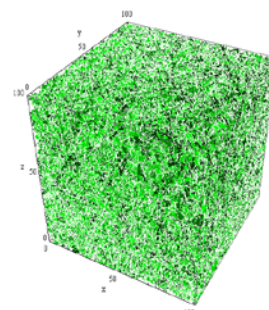


## ②物質移動モデル化技術の開発

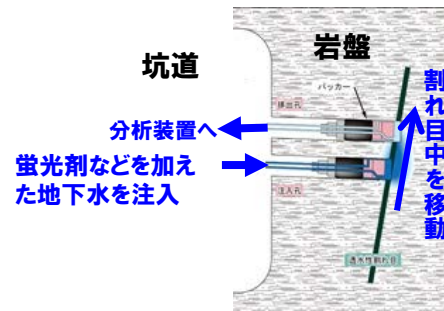
- ◆長期的な変遷を含めた地下深部におけるわが国固有の亀裂ネットワーク中の地下水流動・物質移動に関する試験及びモデル化技術
- ### 【概要】

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】



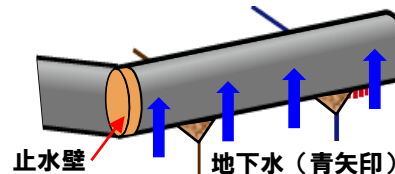
【研究坑道内での物質移動試験の例】

## 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】

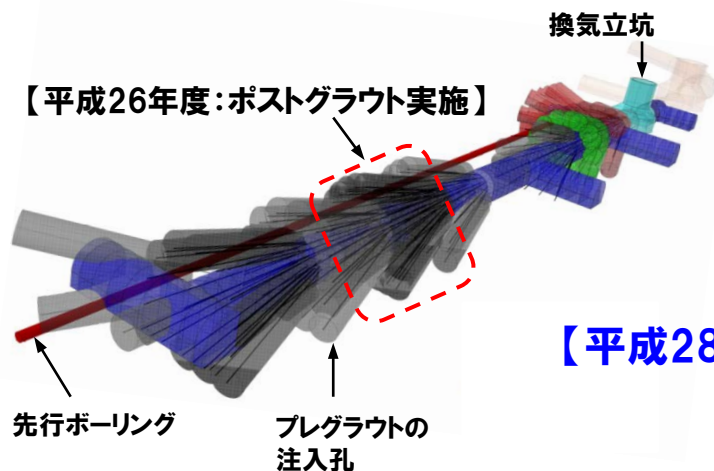


【モニタリング装置】

# ポストグラウトによる湧水抑制効果(平成28年度実施)

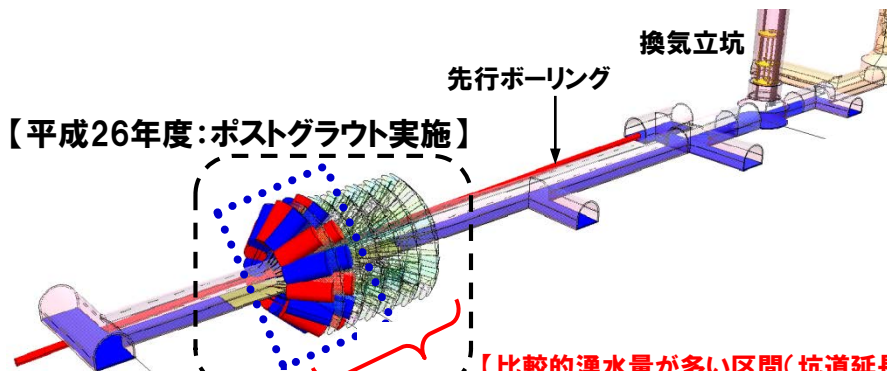
【平成23～26年度:プレグラウト及び坑道掘削】

【平成26年度:ポストグラウト実施】



深度500m研究アクセス南坑道  
(坑道延長約123m)

【平成26年度:ポストグラウト実施】



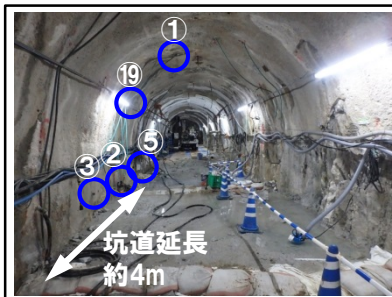
【比較的湧水量が多い区間(坑道延長約16m)】

【平成28年度】  
【湧水箇所が多い区間  
(坑道延長約4m)】

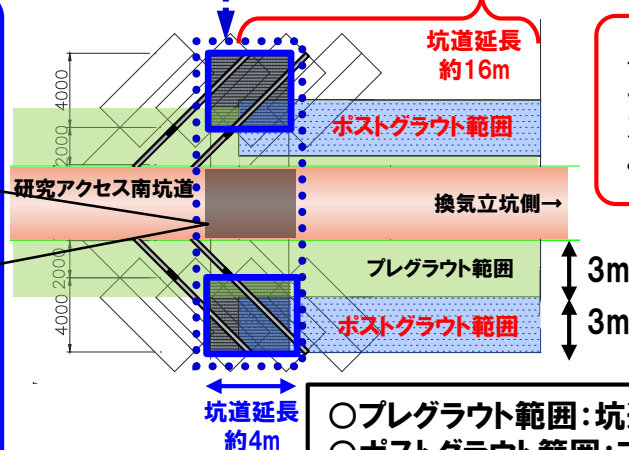
②ポストグラウトを追加実施

①プレグラウトの外側にポストグラウトを実施

追加実施したポストグラウト  
により、湧水箇所1箇所当りの  
湧水量 $>1\text{L/分}$ (写真○の位置)  
すべてを湧水量 $\leq 1\text{L/分}$ に低減



坑道幅4m、高さ3.5m



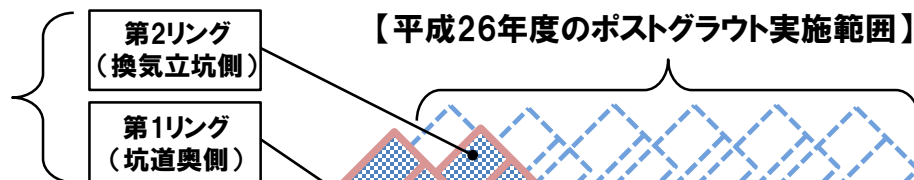
グラウトを実施しない場合の  
予測に対して、プレグラウト  
及びポストグラウトの実施に  
より約100分の1まで低減

○プレグラウト範囲:坑道壁面から3m幅  
○ポストグラウト範囲:プレグラウトの外側3m幅



# ポストグラウトによる湧水抑制効果(湧水箇所1箇所当りの湧水量を低減)

## 【平成28年度の ポストグラウト実施範囲】



### ポストグラウトの仕様

- 注入材料
  - ・溶液型グラウト  
(活性シリカコロイド)
- 注入工法
  - ・複合動的注入
  - ・注入圧: 湧水圧+2MPa  
(湧水圧: 最大3.5MPa)

### 【参考: ポストグラウト実施の目安】

#### スウェーデンの処分坑道 における湧水箇所に対する目安

1箇所当りの湧水量 $\geq 1\text{L/分}$   
の湧水箇所に対して

↓  
ポストグラウトを実施し1箇所当り  
湧水量 $< 1\text{L/分}$ に低減

#### 【ポストグラウト実施前】

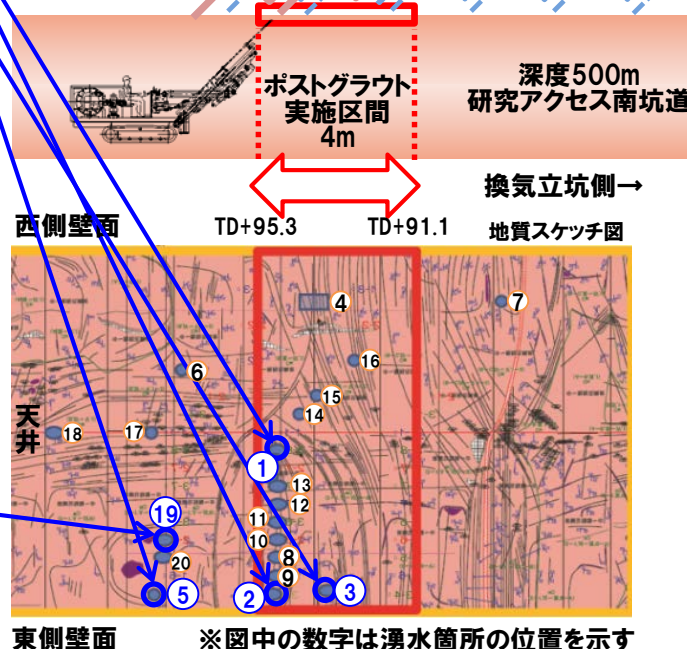
湧水箇所のうち5箇所  
湧水量 $\geq 1\text{L/分}$

#### 【ポストグラウト実施後】

湧水箇所すべて  
湧水量 $< 1\text{L/分}$

ポストグラウトは湧水箇所  
に対する目安を満足できる  
技術であることを確認

| 湧水箇所及び<br>1箇所当りの湧水量 |                 | 実施前<br>(L/分) | 実施後<br>(L/分) |
|---------------------|-----------------|--------------|--------------|
| 実施区間                | ① ホース TD+94.7m  | 2.10         | ⇒0.30        |
|                     | ② 左下孔 TD+94.8m  | 2.50         | ⇒0.60        |
|                     | ③ 左下孔 TD+93.2m  | 1.30         | ⇒0.00        |
|                     | ④ 露岩部 TD+93.3m  | 0.30         | ⇒0.20        |
|                     | ⑤ ホース TD+97.7m  | 1.10         | ⇒0.10        |
|                     | ⑥ 右肩RB TD+97.1m | 0.10         | ⇒0.10        |
|                     | ⑦ 露岩部孔 TD+89.0m | 0.50         | ⇒0.50        |
| 実施区間                | ⑧ ホース TD+94.7m  | 0.45         | ⇒0.13        |
|                     | ⑨ ホース TD+94.7m  | 0.80         | ⇒0.40        |
|                     | ⑩ ホース TD+94.7m  | 0.10         | ⇒0.00        |
|                     | ⑪ ホース TD+94.7m  | 0.30         | ⇒0.00        |
|                     | ⑫ ホース TD+94.7m  | 0.10         | ⇒0.10        |
|                     | ⑬ ホース TD+94.7m  | 0.20         | ⇒0.10        |
|                     | ⑭ ホース TD+94.2m  | 0.05         | ⇒0.10        |
|                     | ⑮ ホース TD+93.7m  | 0.01         | ⇒0.00        |
|                     | ⑯ ホース TD+92.7m  | 0.15         | ⇒0.20        |
|                     | ⑰ アンカー TD+92.8m | 0.18         | ⇒0.10        |
|                     | ⑱ アンカー TD+97.0m | 0.45         | ⇒0.50        |
|                     | ⑲ ホース TD+97.7m  | 1.00         | ⇒0.05        |
|                     | ⑳ ホース TD+97.7m  | 0.40         | ⇒0.10        |



### 【ポストグラウト実施範囲近傍】

#### ○ポストグラウト実施前

湧水箇所1箇所当りの湧水量 $\geq 1\text{L/分}$   
: 5箇所(①、②、③、⑤、⑱)

#### ○ポストグラウト実施後

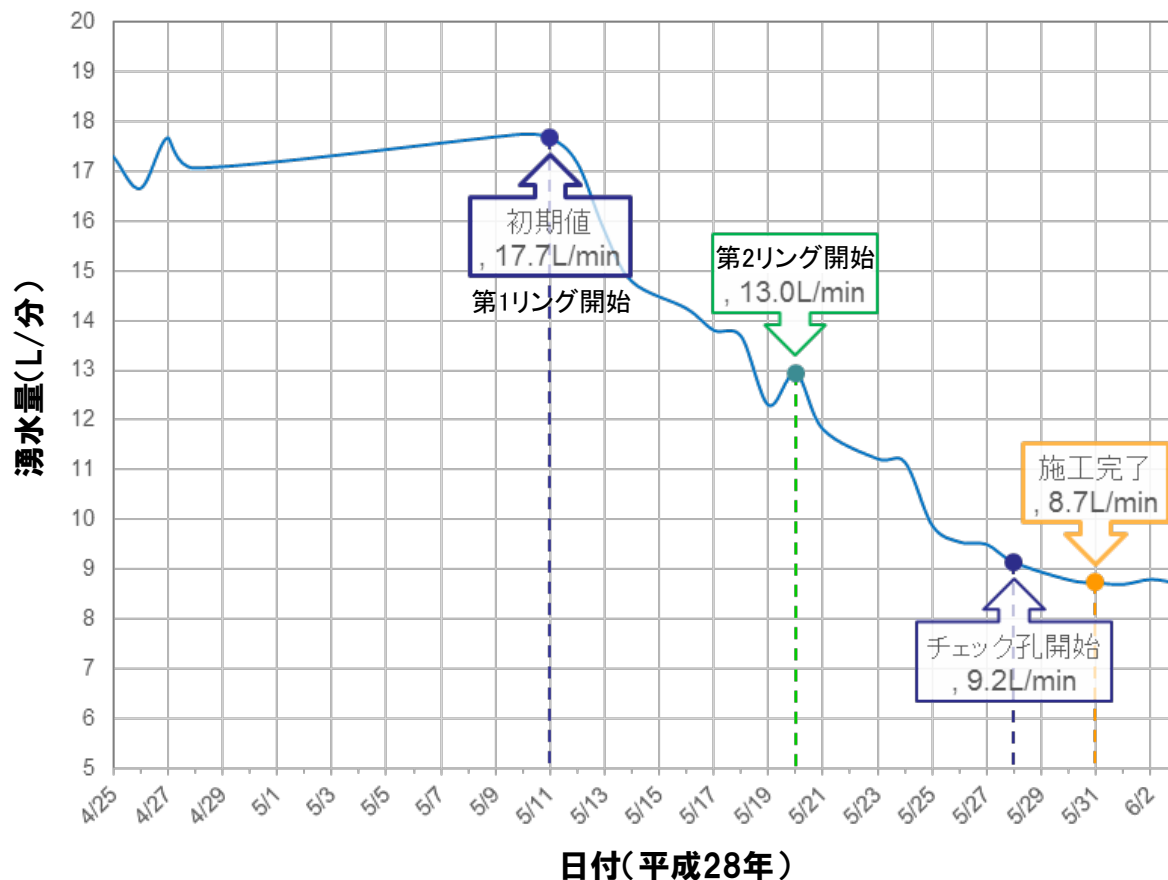
湧水箇所1箇所当りの湧水量 $< 1\text{L/分}$

湧水量 $\geq 1\text{L/分}$ (5箇所)のポストグラウト前後の湧水量の変化(単位:L/分)

① 2.10⇒0.30、② 2.50⇒0.60、③ 1.30⇒0.00、⑤ 1.10⇒0.10、⑱ 1.00⇒0.05

# ポストグラウト実施区間の湧水抑制効果

## ポストグラウト実施区間(坑道延長4m)の湧水量測定結果



## ポストグラウトの施工結果

### 【第1リング(坑道奥側)】

- 注入孔: 25孔
- 注入前
  - ・最大湧水量: 6.0L/分
  - ・最大湧水圧: 3.5MPa
  - ・最大Lu値: 1.3Lu
- 注入後チェック孔(4孔)
  - ・平均Lu値: 0.04Lu

### 【第2リング(換気立坑側)】

- 注入孔: 23孔
- 注入前
  - ・最大湧水量: 5.5L/分
  - ・最大湧水圧: 2.8MPa
  - ・最大Lu値: 1.6Lu
- 注入後チェック孔(3孔)
  - ・平均Lu値: 0.30Lu

### 【坑道延長4m区間湧水量】

- 注入前: 17.7L/分
- 注入後: 8.7L/分
- 低減量: 9.0L/分  
( $\approx 13.0\text{m}^3/\text{日}$ )

# 中長期計画における研究課題(平成31年度末まで)

## ①地下坑道における工学的対策技術の開発

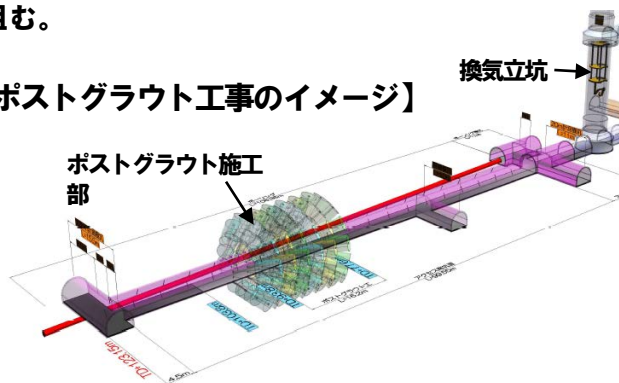
- ◆大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術
- ◆地下水管理技術

### 【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】

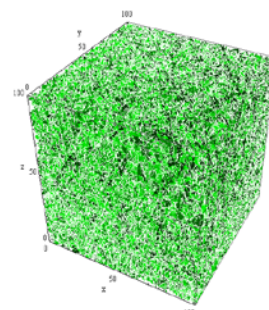


## ②物質移動モデル化技術の開発

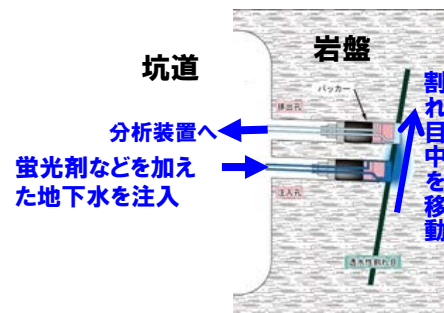
- ◆長期的な変遷を含めた地下深部におけるわが国固有の亀裂ネットワーク中の地下水流動・物質移動に関する試験及びモデル化技術
- ### 【概要】

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】



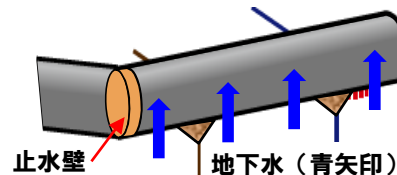
【研究坑道内での物質移動試験の例】

## 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。



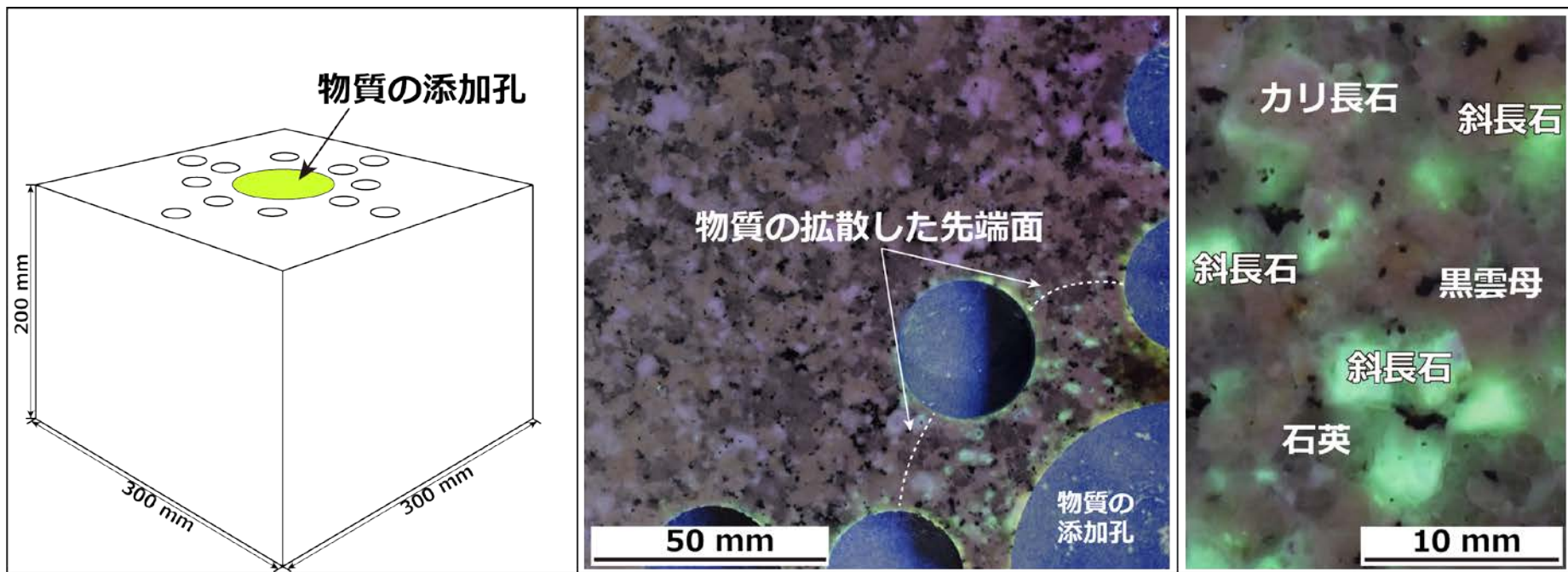
【再冠水試験のイメージ】



【モニタリング装置】

# 健岩部におけるマトリクス拡散の可能性

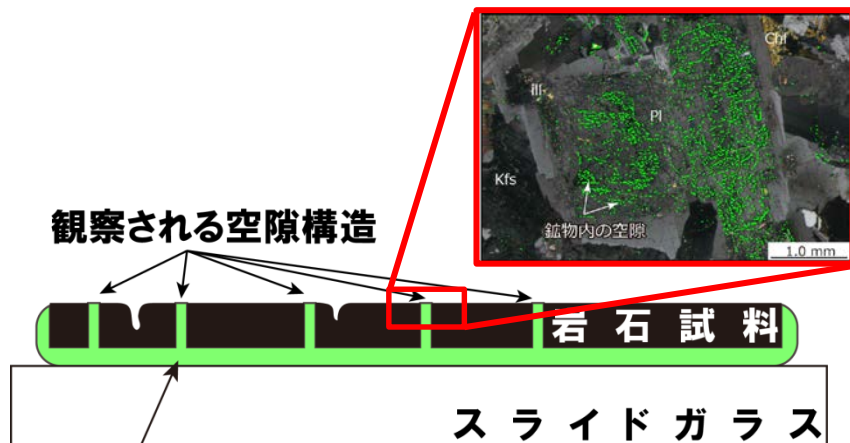
- 2015年度までに実施した、拡散試験(トレーサ物質:ウラニン)に使用した岩石ブロックを切断し、紫外光で観察した結果
- ・ 健岩においてもウラニンが拡散していることを確認
  - ・ ウラニンの蛍光は主に斜長石中で確認
- ⇒ 斜長石が主なマトリクス拡散経路として機能している可能性有り





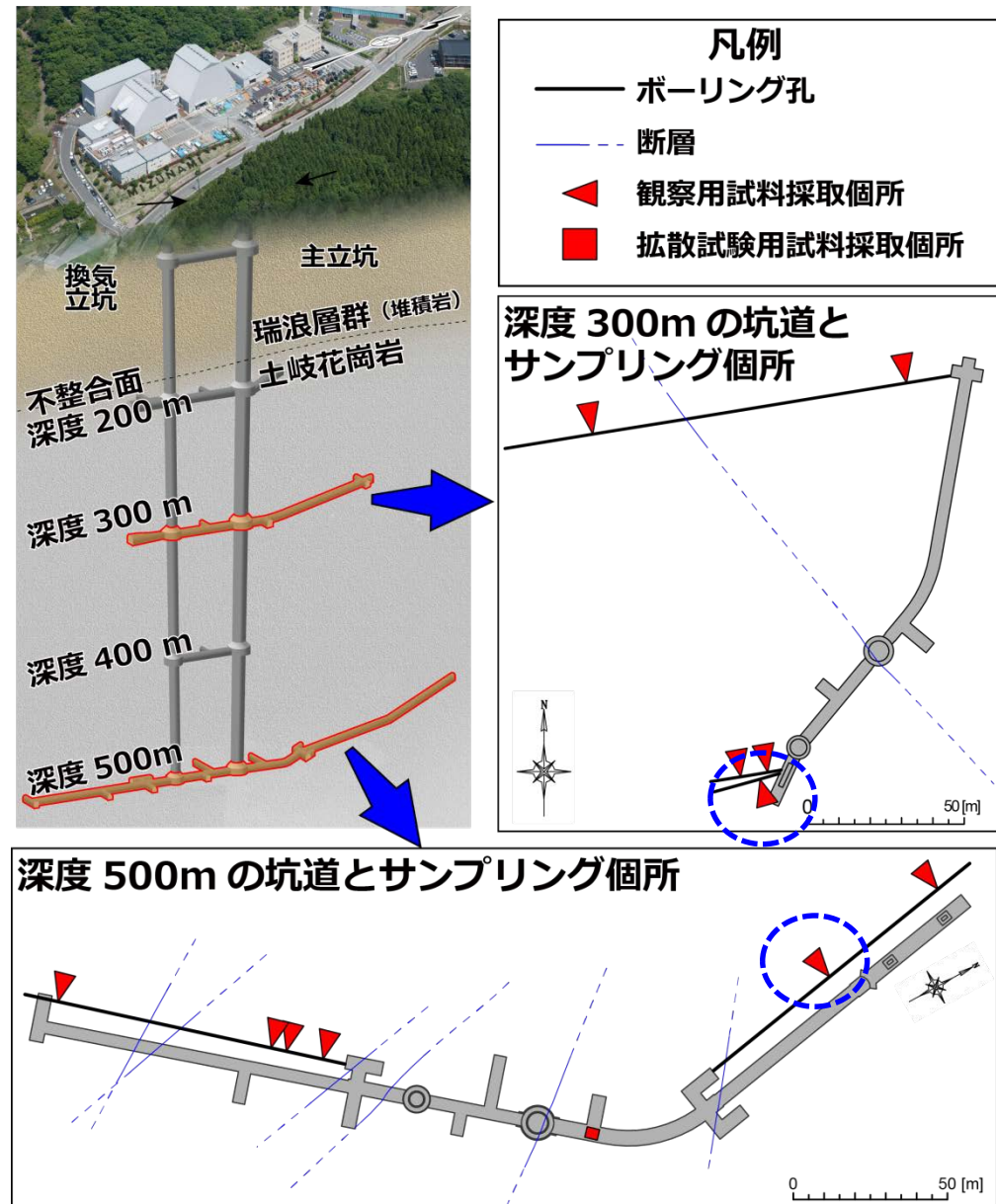
# 健岩試料中の空隙分布を把握するための実施内容

- 偏光顕微鏡観察
- 実体蛍光顕微鏡観察
- 走査型X線分析顕微鏡分析
- SEM-EDS観察・分析



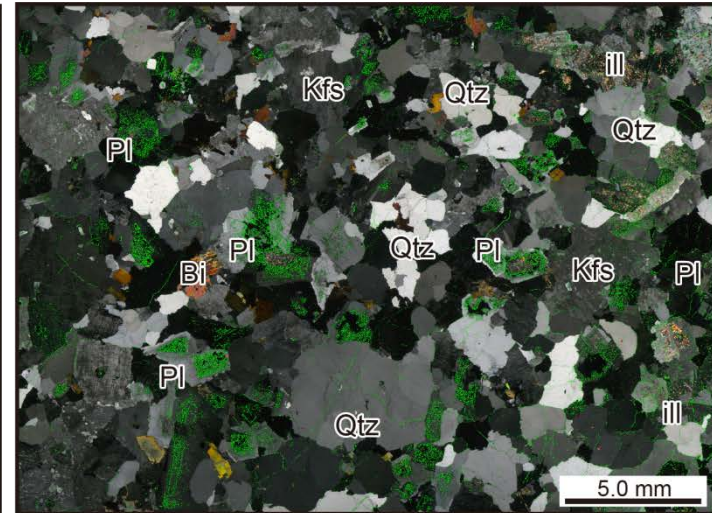
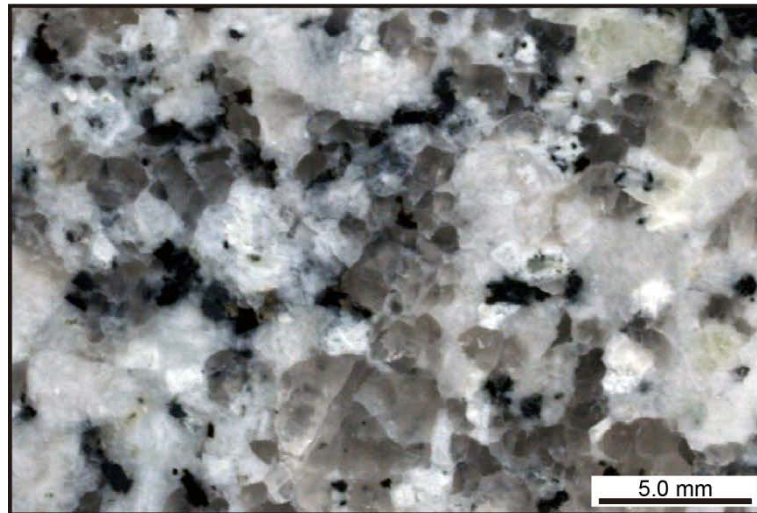
蛍光染料を含む接着剤

※ 岩石薄片は蛍光染料が含まれる接着剤を用いて作製

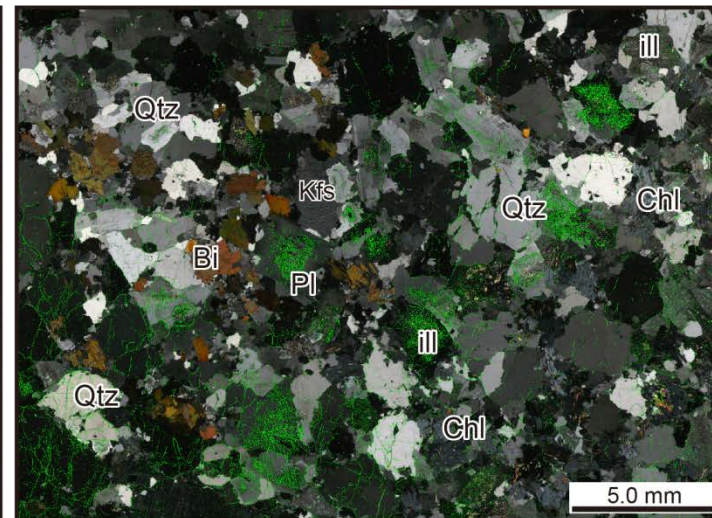
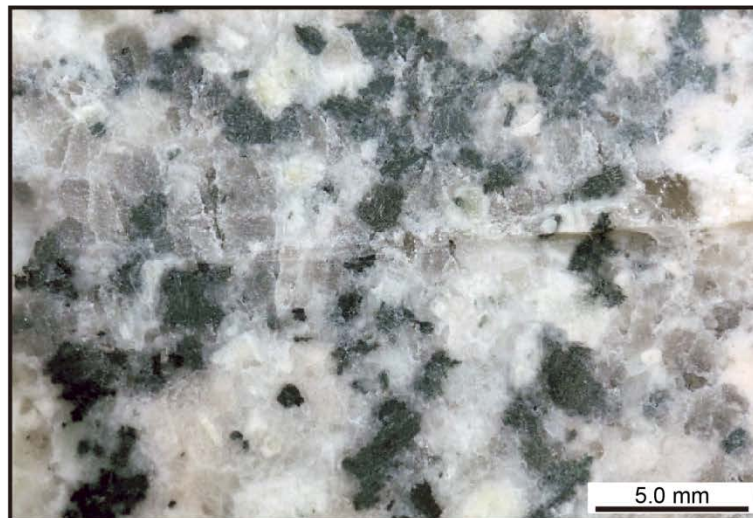


# 使用した健岩試料と空隙構造の観察結果

## 深度300mにおける健岩試料の一例



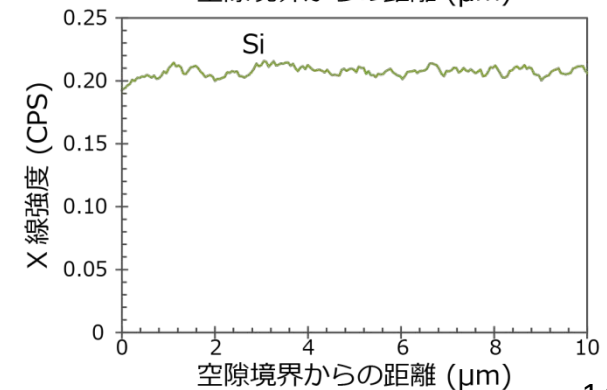
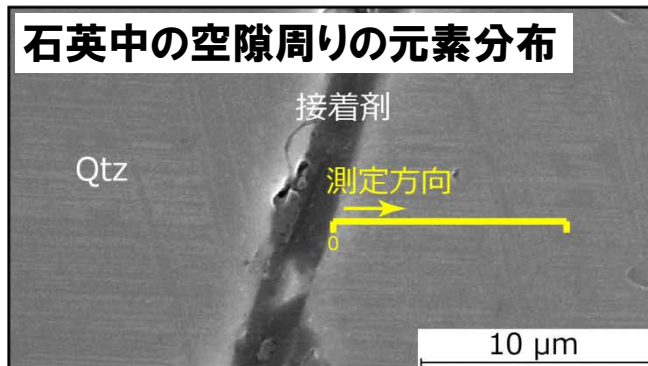
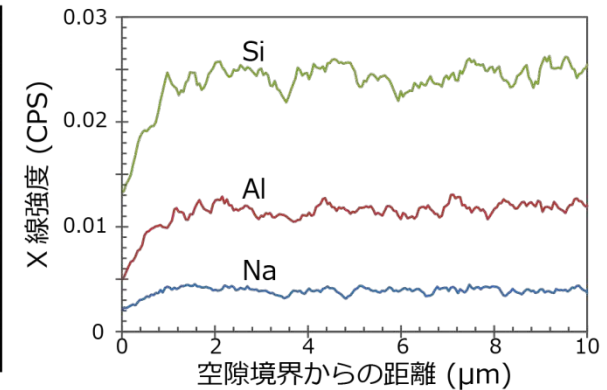
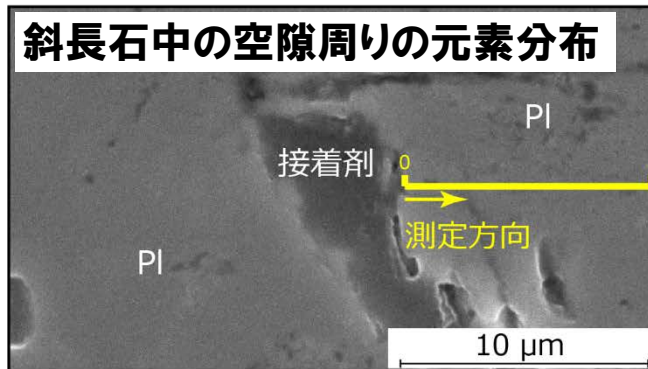
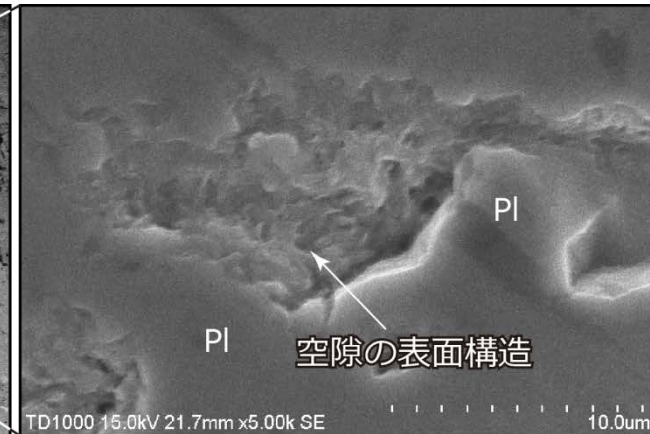
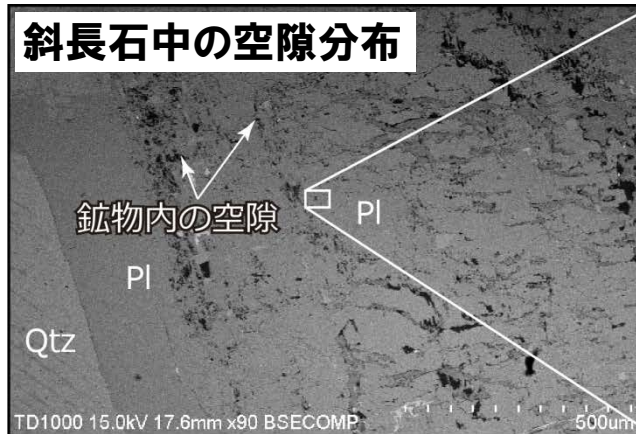
## 深度500mにおける健岩試料の一例





# 斜長石中の空隙の特徴

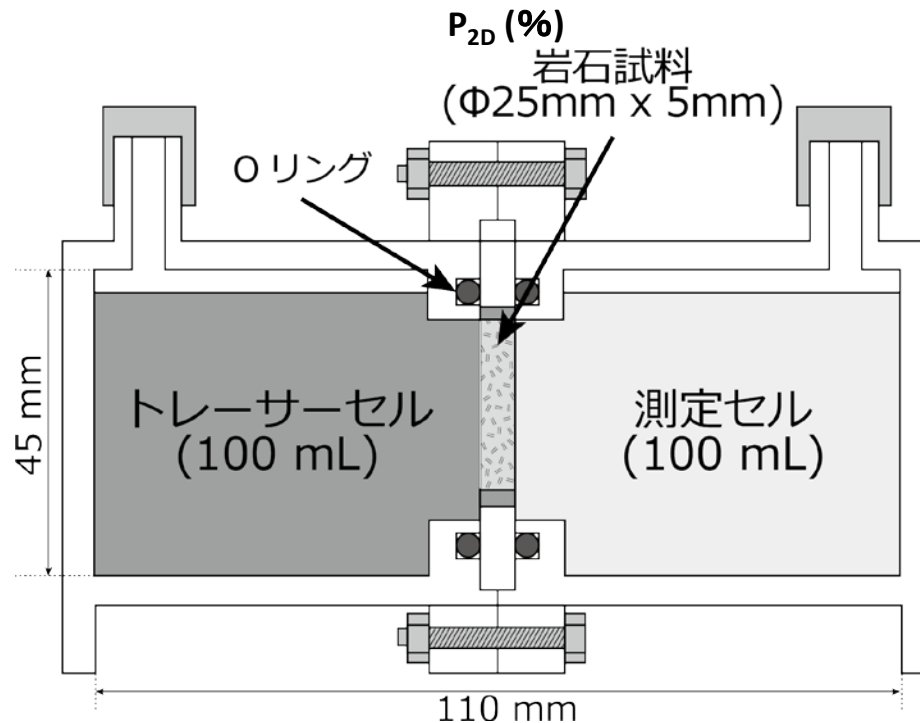
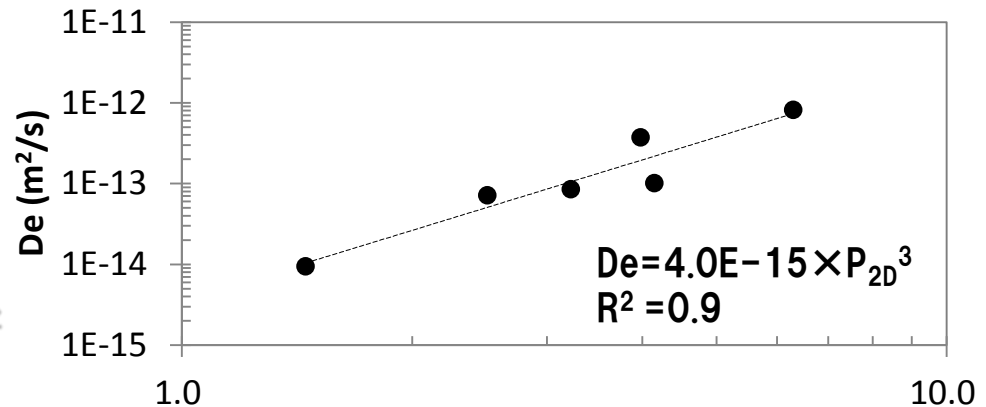
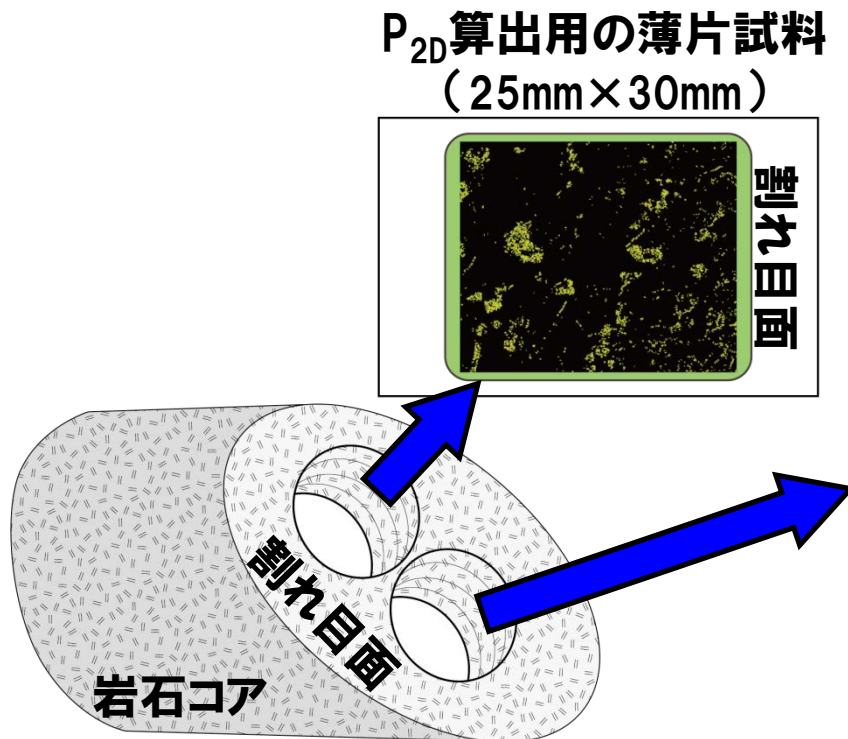
- 斜長石中の空隙の表面は、溶解したような産状
- 斜長石の空隙周りでは、元素が $1\mu\text{m}$ 以内の領域で低下（溶脱）



※ 石英中の空隙周りでは、元素の溶脱はない

# 観察された空隙と物質移動特性との関係

- 実効拡散係数( $De$ )<sup>A)</sup>と、観察された空隙の割合( $P_{2D}$ )の間には強い正の相関を確認  
⇒ 観察された空隙はマトリクス拡散経路として機能している可能性有り

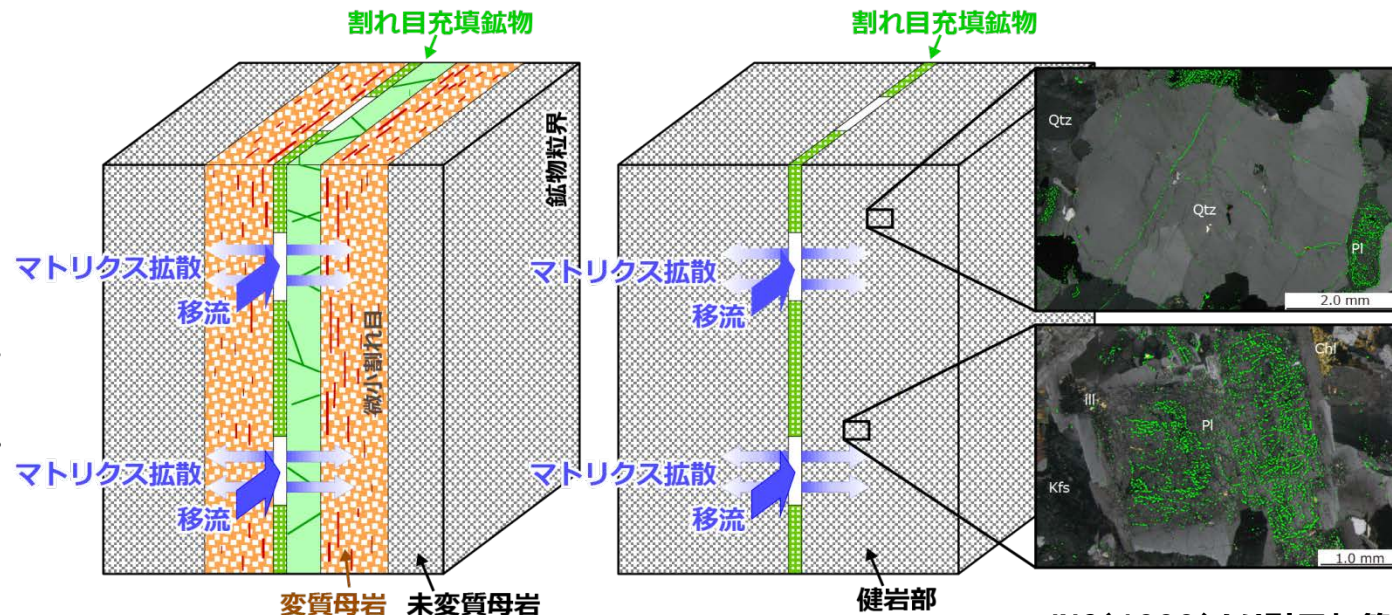


A) 西尾・弥富, JAEA-Review 2015-041, 2015.



# 考察：他の岩体での斜長石中の空隙形成の可能性

- 初生的変質は，茨城県の稲田花崗岩，岩手県の葛根田花崗岩や岡山県の万成花崗岩など国内の他の岩体でも報告<sup>A) ~C)</sup> など
  - ⇒国内の他岩体でも健岩部で斜長石中の空隙が形成(マトリクス拡散経路が増加している可能性有り)
  - ⇒我が国の花崗岩体は，初生変質の影響で健岩部でもマトリクス拡散による物質移動の遅延が期待できる可能性有り



- A) 藤本, 地質ニュース, 447, pp. 21-25, 1994.
- B) 吉田ほか, 応用地質, 49, pp. 256-265, 2008.
- C) 中嶋, 鉱物学雑誌, 24, pp. 125-130, 1995

JNC(1999)より引用加筆

# 中長期計画における研究課題(平成31年度末まで)

## ①地下坑道における工学的対策技術の開発

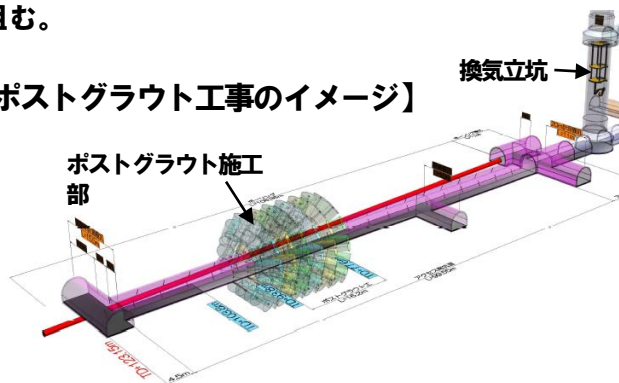
- ◆大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術
- ◆地下水管理技術

### 【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】

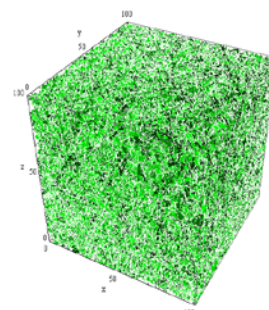


## ②物質移動モデル化技術の開発

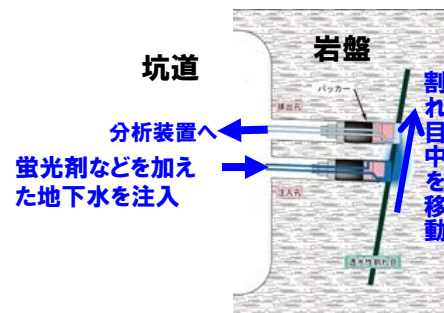
- ◆長期的な変遷を含めた地下深部におけるわが国固有の亀裂ネットワーク中の地下水流動・物質移動に関する試験及びモデル化技術
- ### 【概要】

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】



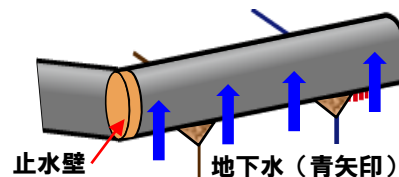
【研究坑道内での物質移動試験の例】

## 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】

# 中長期計画

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の中長期目標を達成するための計画(平成27年4月1日～平成34年3月31日)

## 《深地層の研究施設計画》

- ◆ 超深地層研究所計画については、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及び坑道埋め戻し技術の開発に重点的に取り組む。これらに関する研究については、平成31年度末までの5年間で成果を出すことを前提に取り組む。また、同年度末までに、跡利用を検討するための委員会での議論も踏まえ、土地賃貸借期間の終了(平成34年1月)までに埋め戻しができるようにという前提で考え、坑道埋め戻しなどのその後の進め方について決定する。

(瑞浪超深地層研究所関係抜粋)

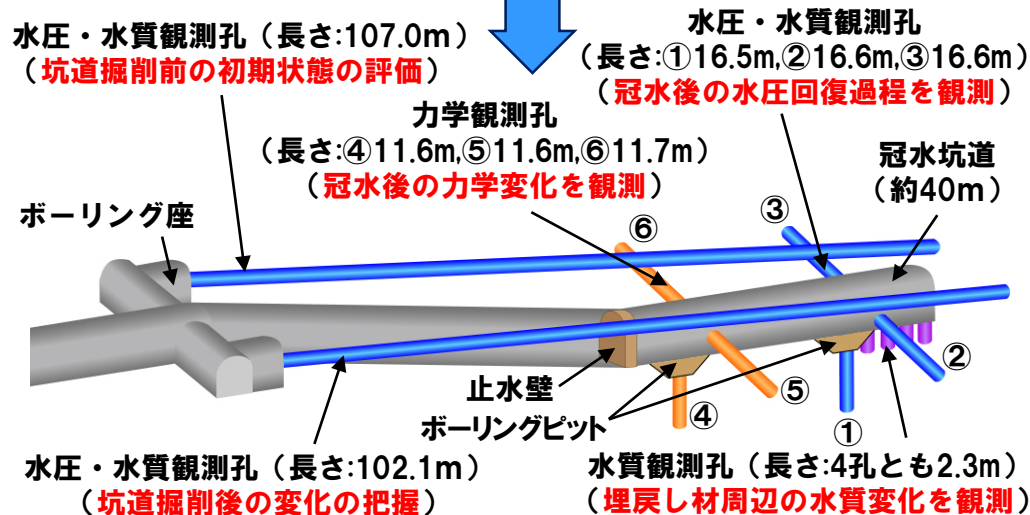
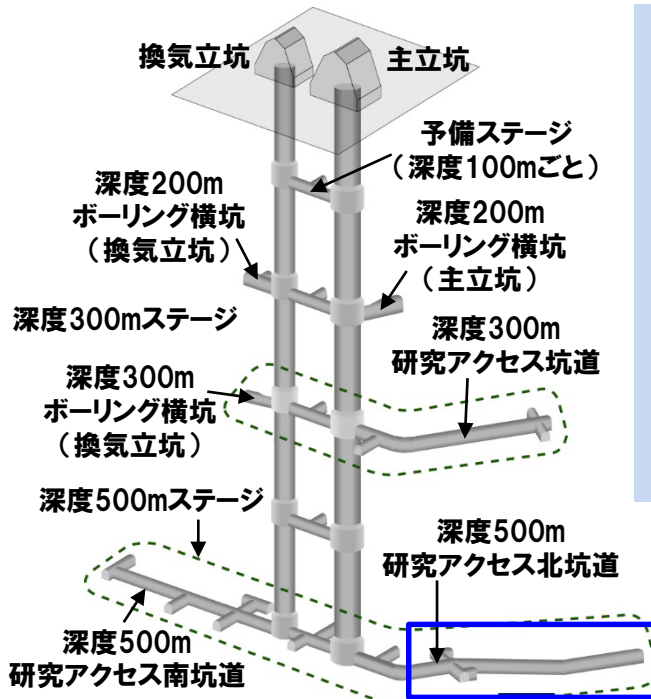


# 坑道埋め戻し技術の開発

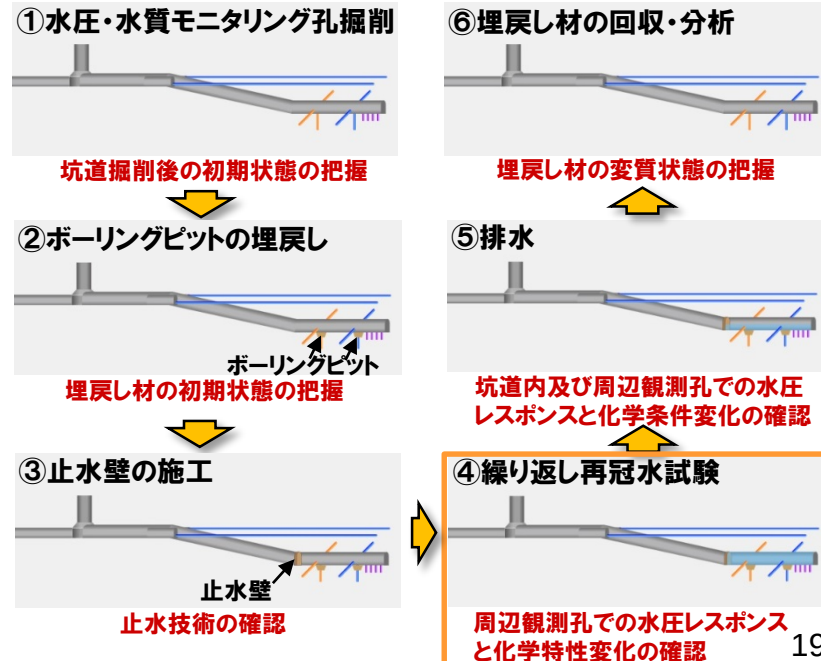
## 【目的】

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》

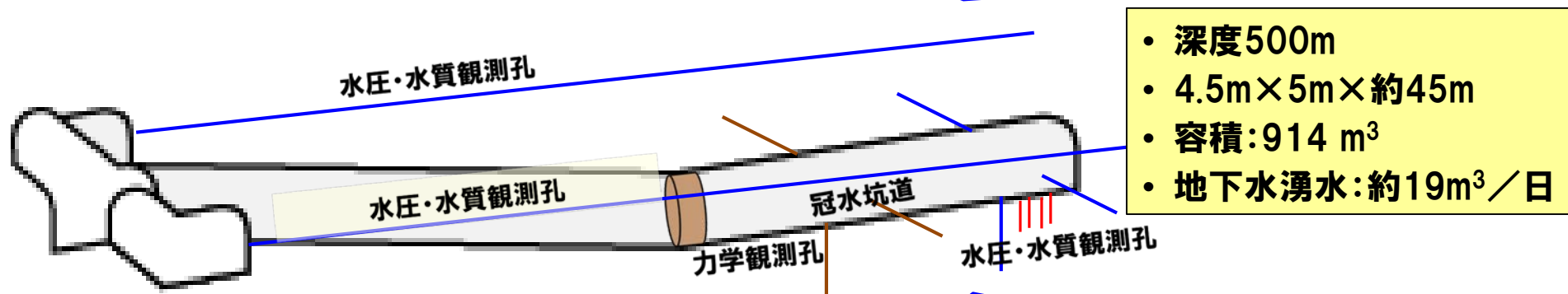


# 閉鎖環境での試験研究

## (冠水坑道における再冠水試験)

### 坑道閉鎖時、閉鎖後の地質環境変化の基礎的知見の取得

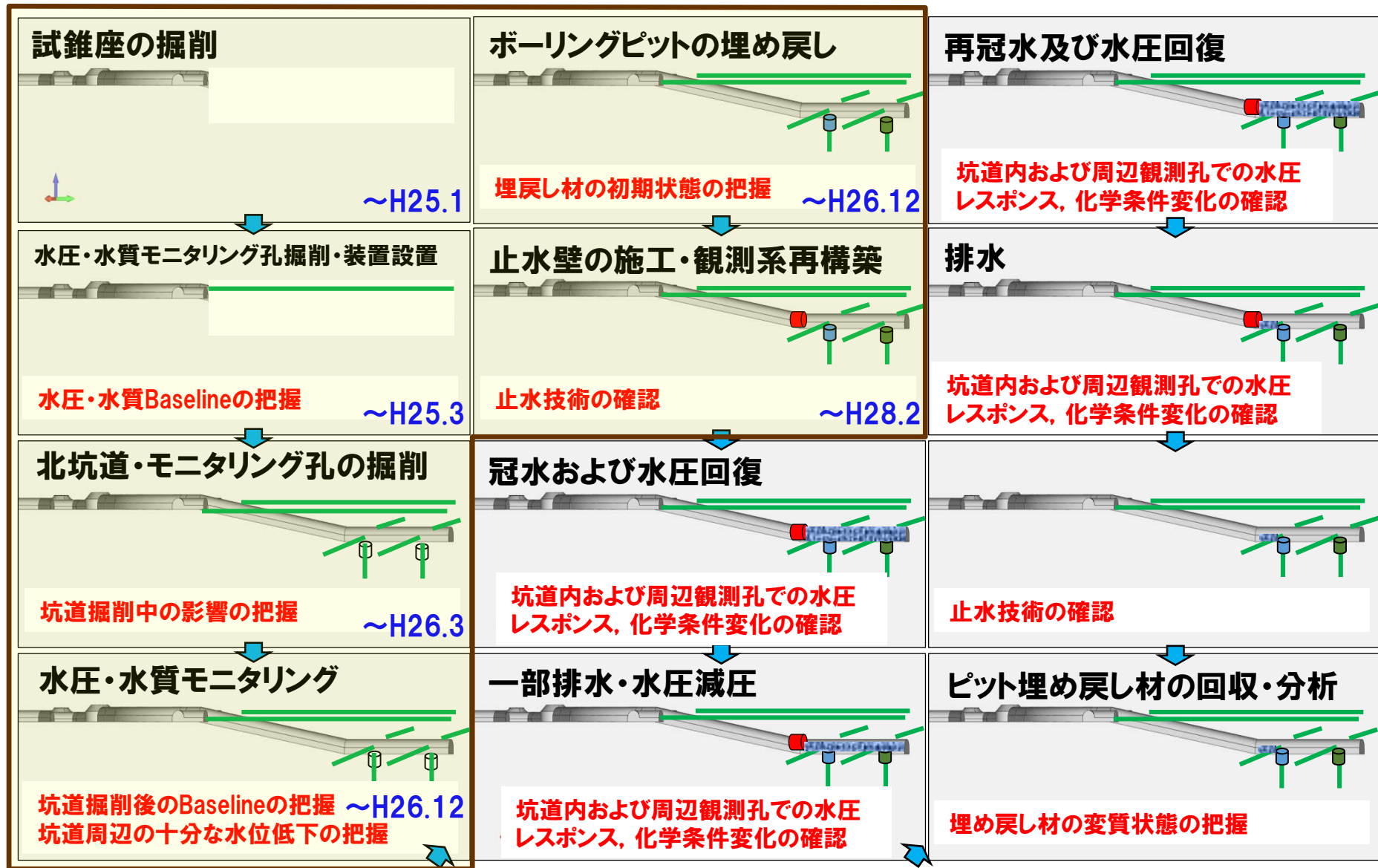
- ・冠水前後の**岩盤変位**、力学的損傷領域や非損傷領域の応力再配分
- ・坑道周辺(健岩部・割れ目部)の**水圧低下と回復**、人工材料充填に伴う**割れ目の透水性変化**、閉鎖後の坑道を横切る**地下水流束**
- ・酸化環境から**還元環境への回復**(酸化還元緩衝能力)、**地下水のアルカリ化**
- ・坑道から岩盤への**物質移動**(水みちの分布、コロイド／有機物、微生物など)



### 施工・観測・解析技術の構築

- ・閉鎖技術:止水プラグによる**岩盤損傷領域(EDZ)の止水技術**
- ・埋め戻し技術:**埋め戻し材料**の候補となるセメントや粘土材料の**物性確認や施工技術**
- ・シミュレーション技術:**力学-水理-化学(-微生物)連成解析技術**
- ・モニタリング技術:無線式データ通信技術や光給電技術など

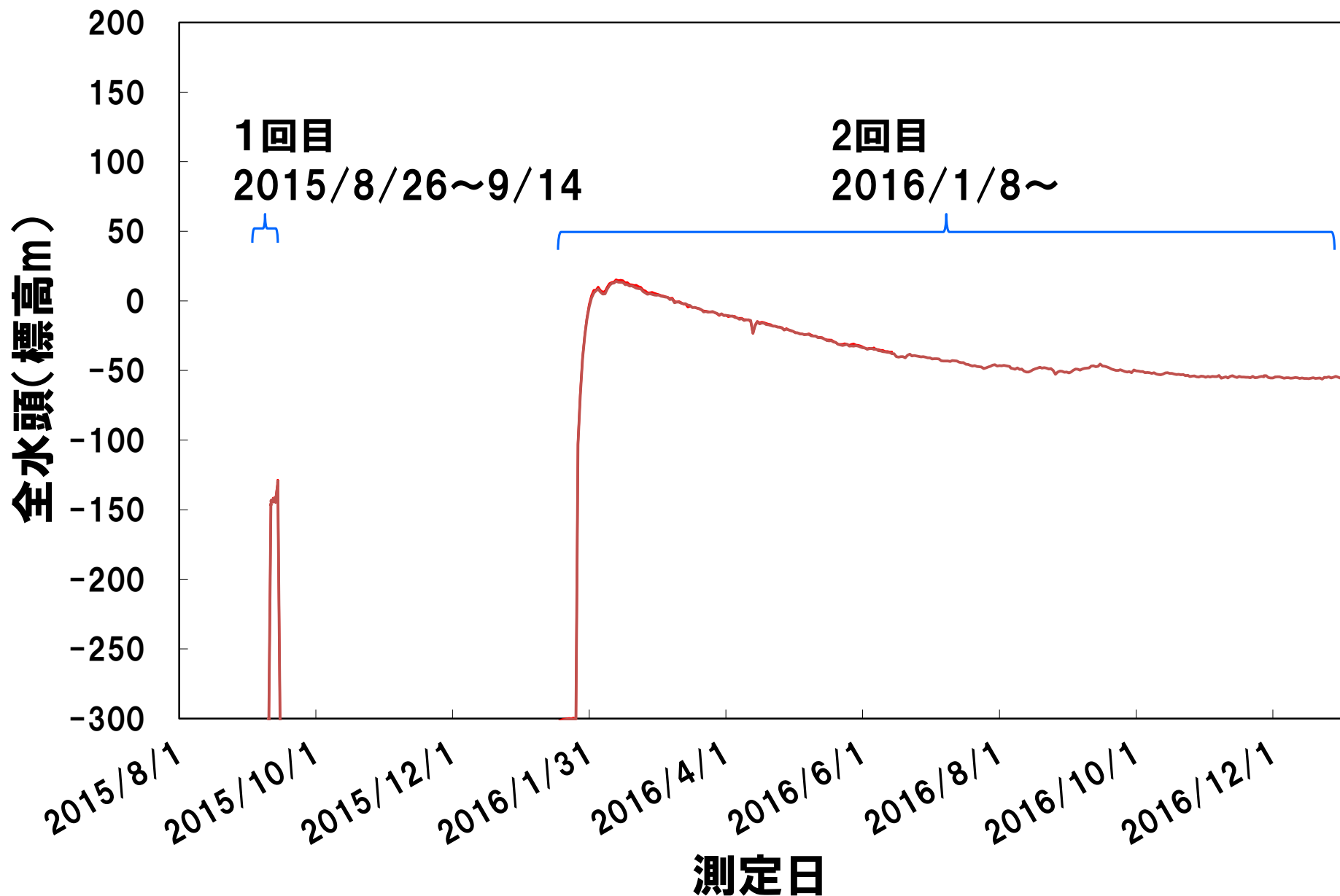
# 再冠水試験の流れ



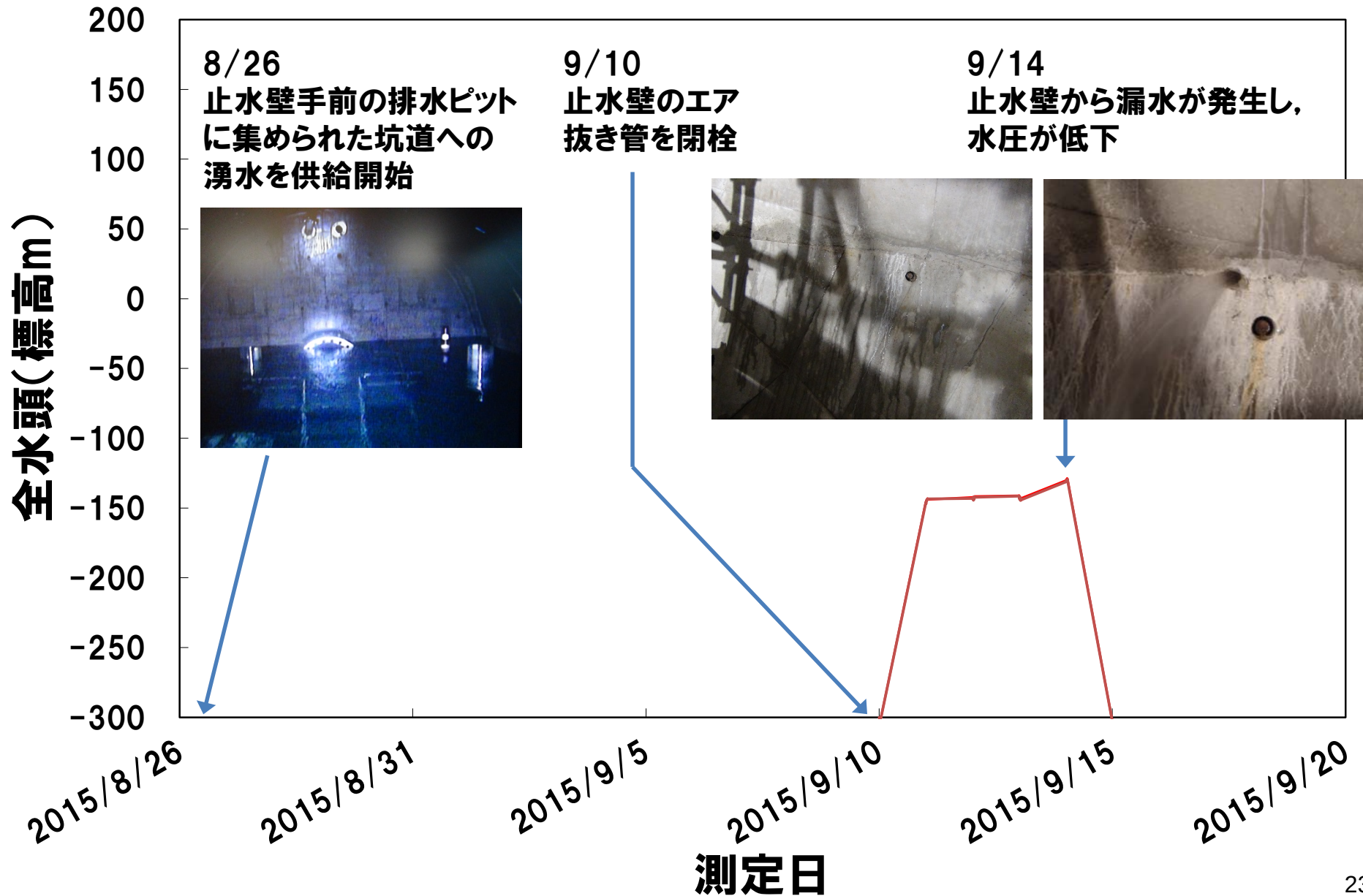
\* 黄色網掛けは終了した項目



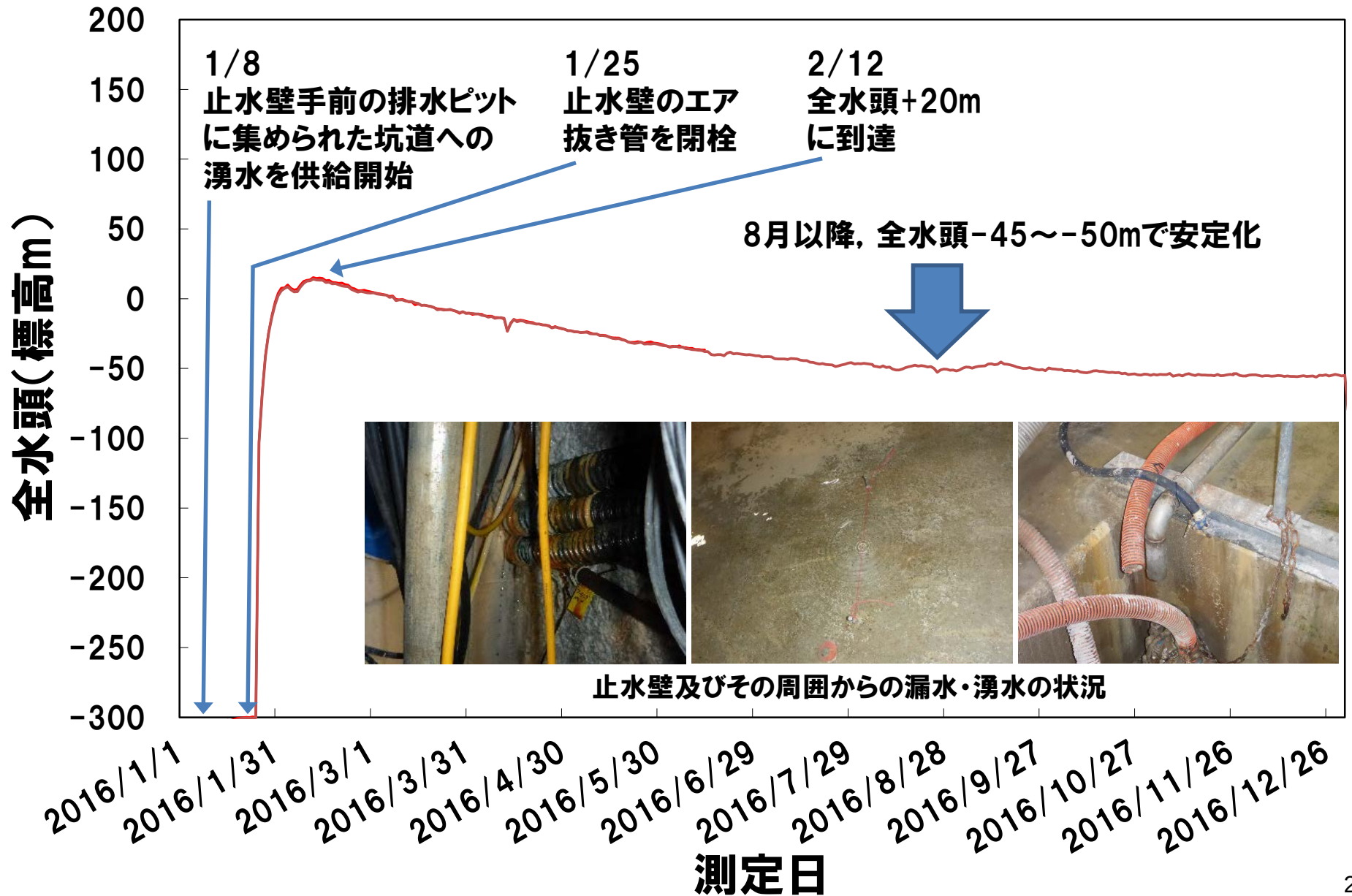
# 再冠水試験の経緯(冠水坑道内の水圧変化)



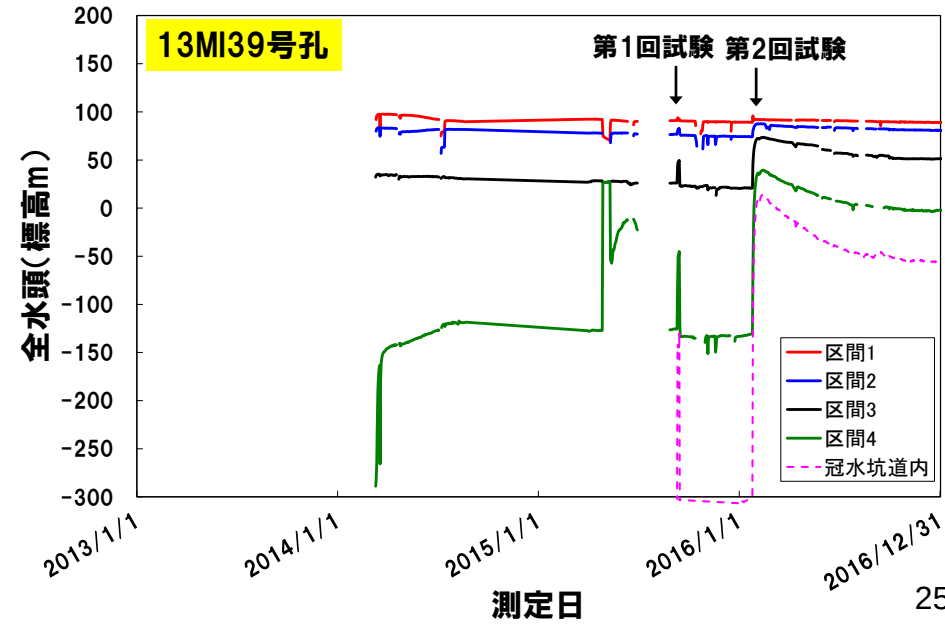
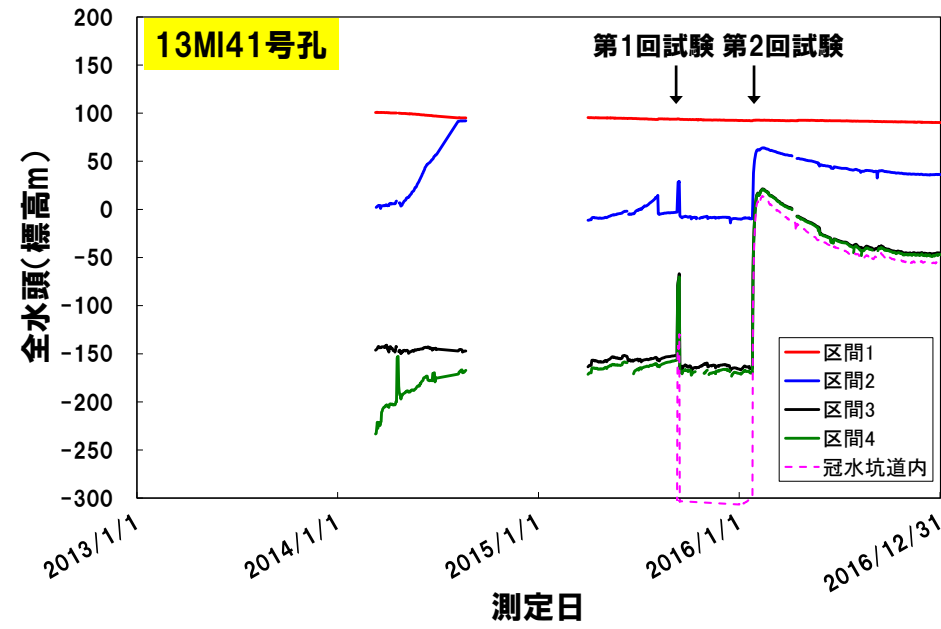
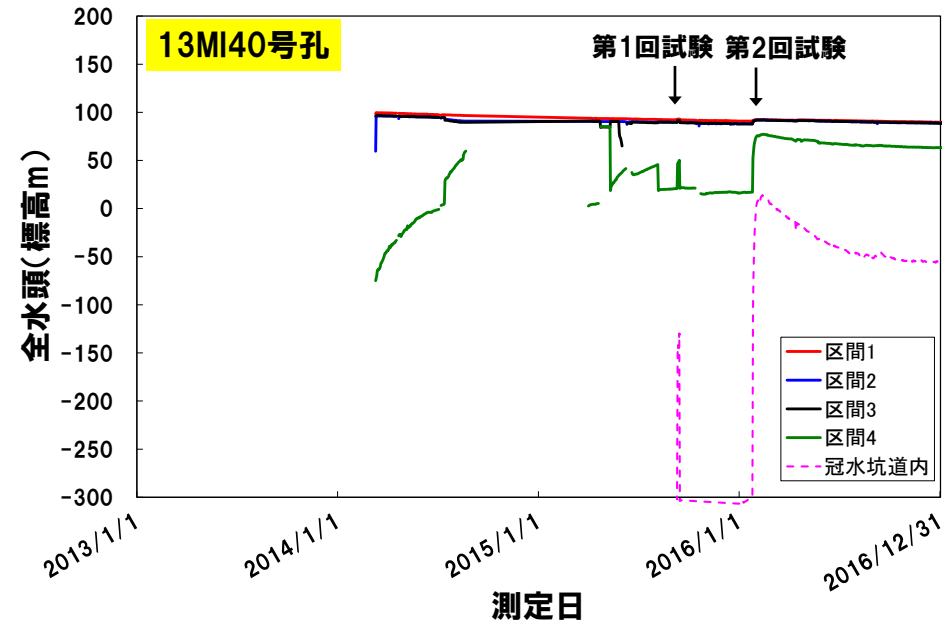
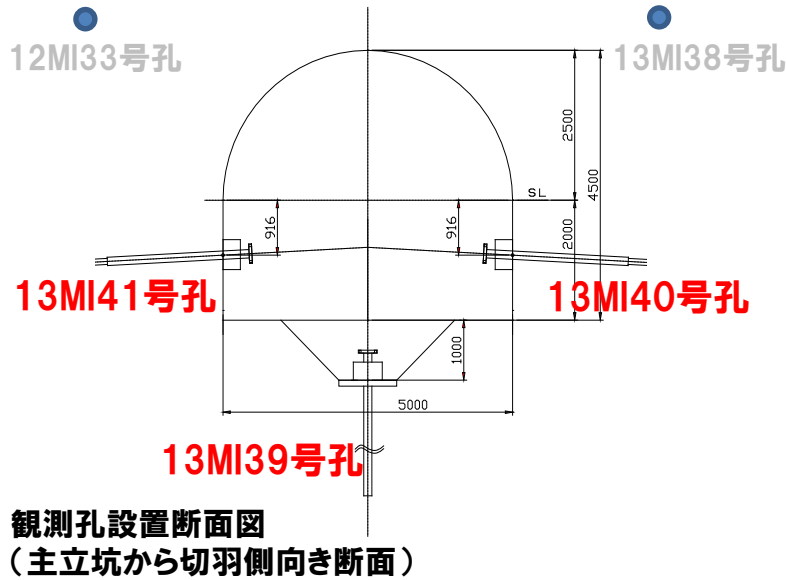
# 再冠水試験の経緯(1回目)



# 再冠水試験の経緯(2回目)

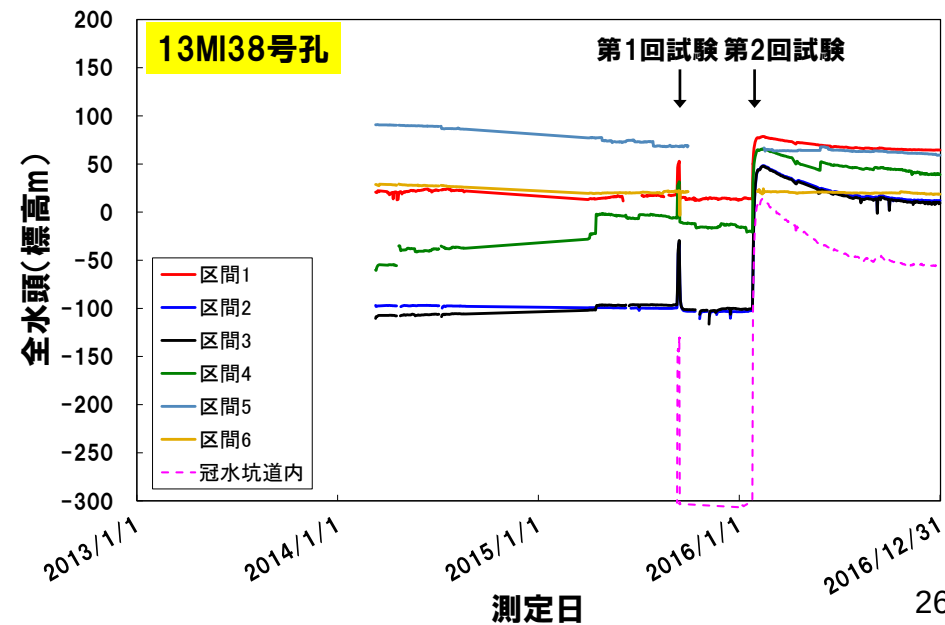
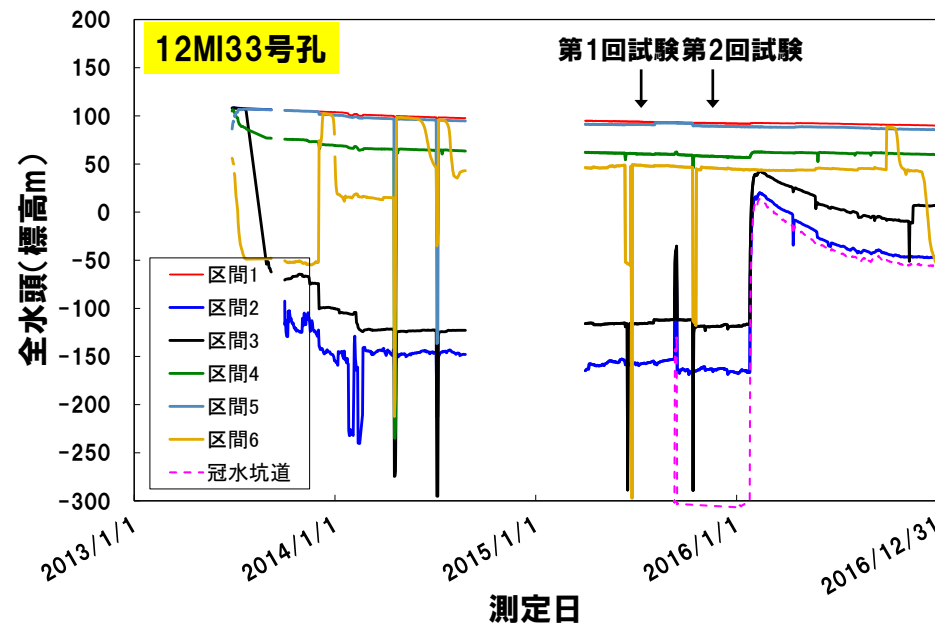
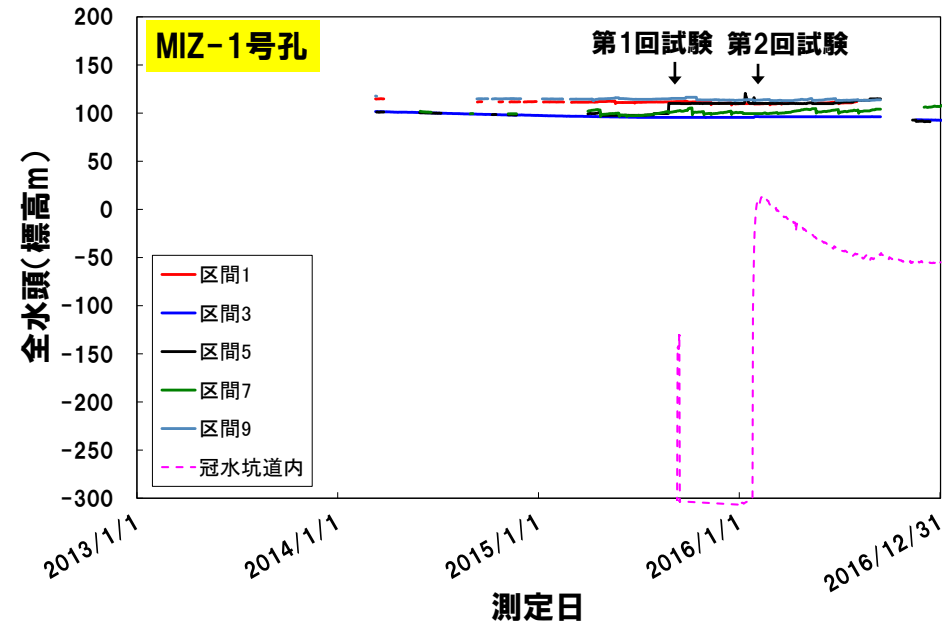
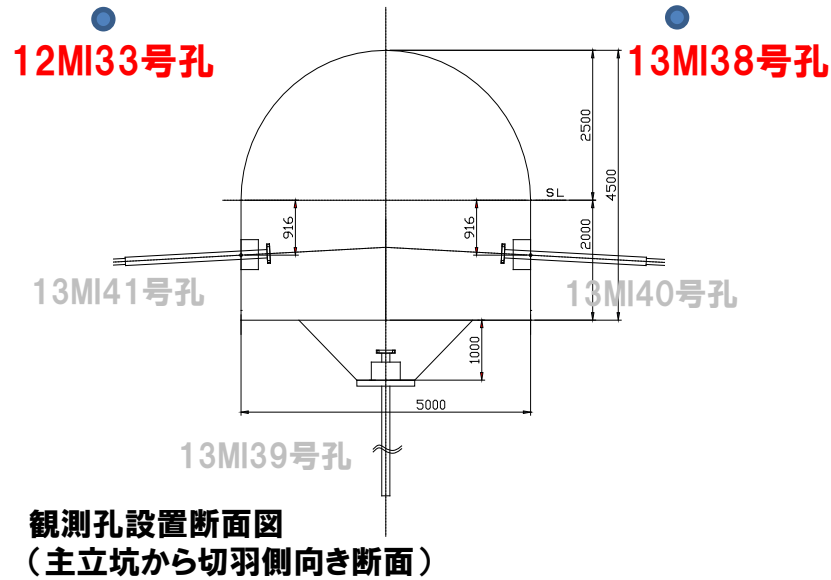


# 再冠水に伴う水圧の変化





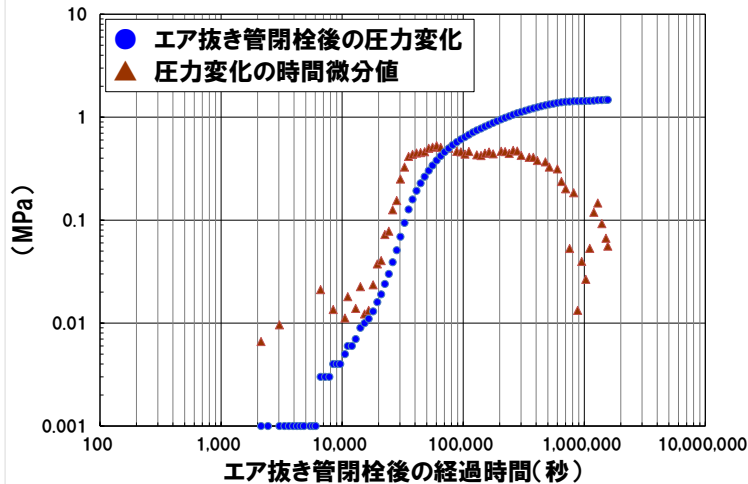
# 再冠水に伴う水圧の変化



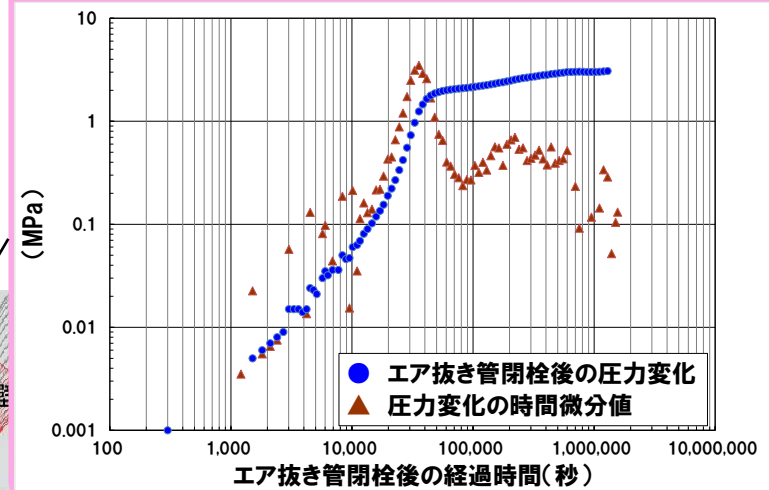
# 水圧の変化に基づくモデル化(冠水坑道内の圧力上昇時)

2016/1/25~2/12

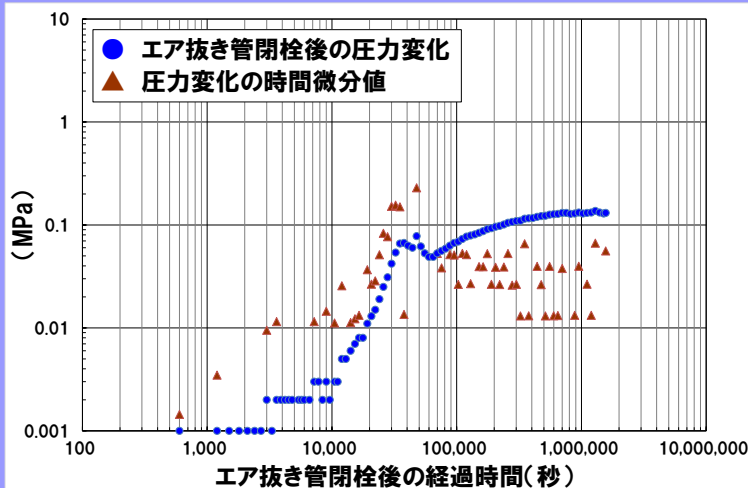
【冠水坑道と異なる(13MI38区間2)】



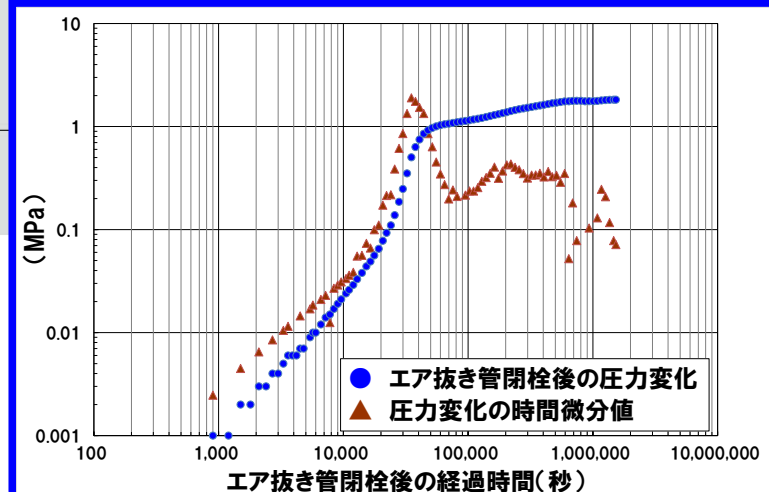
【冠水坑道】



【冠水坑道にやや類似(13MI39区間2)】

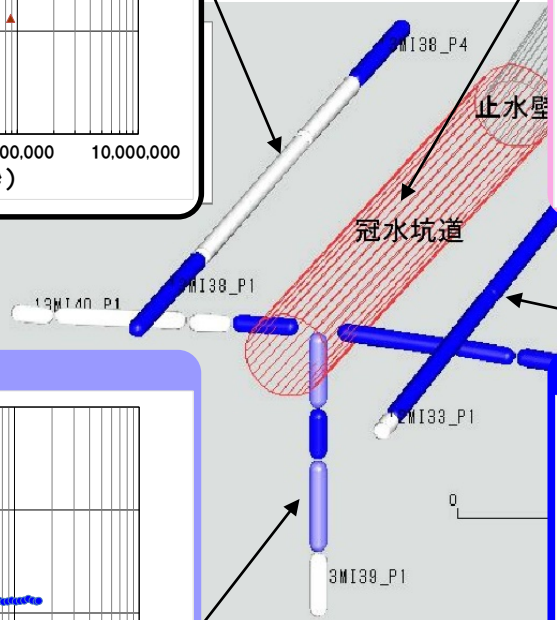


【冠水坑道に類似(12MI33区間2)】



凡 例

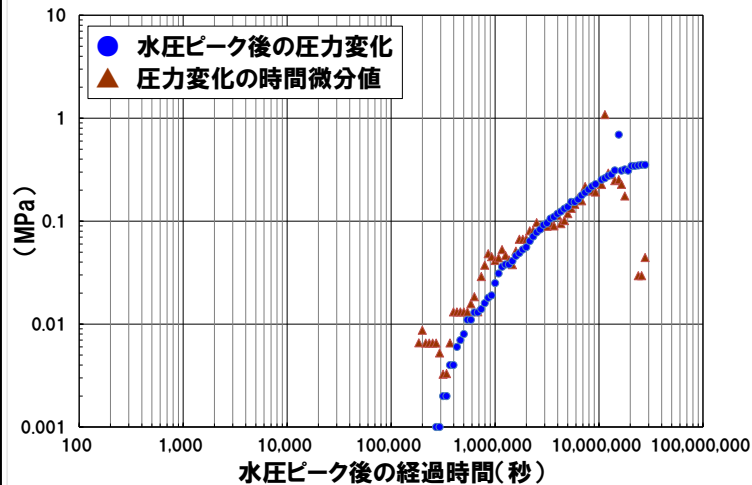
- 冠水坑道に類似
- 冠水坑道にやや類似
- 冠水坑道と異なる



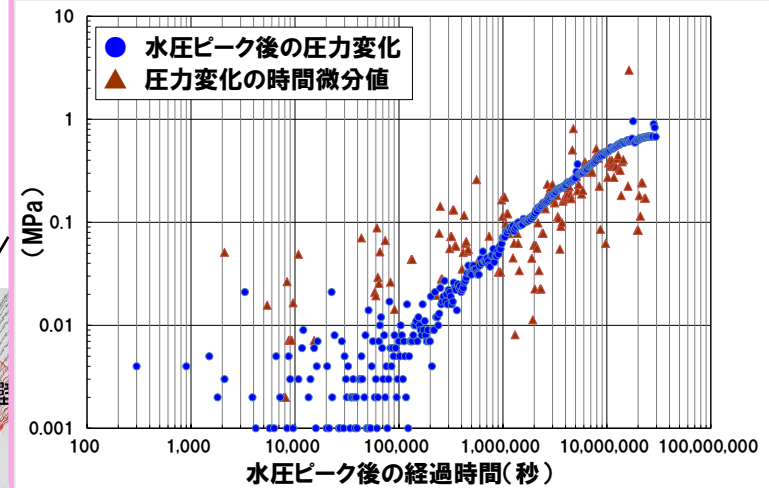
# 水圧の変化に基づくモデル化(冠水坑道内の圧力下降時)

2016/2/12~12/31

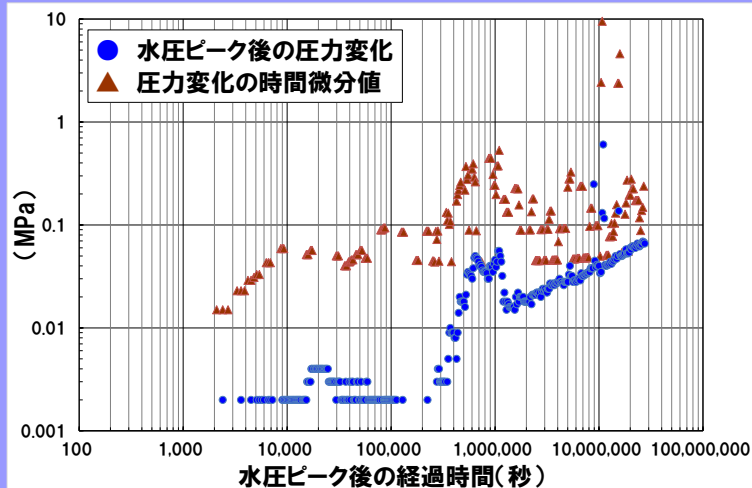
【冠水坑道と異なる(13MI38区間2)】



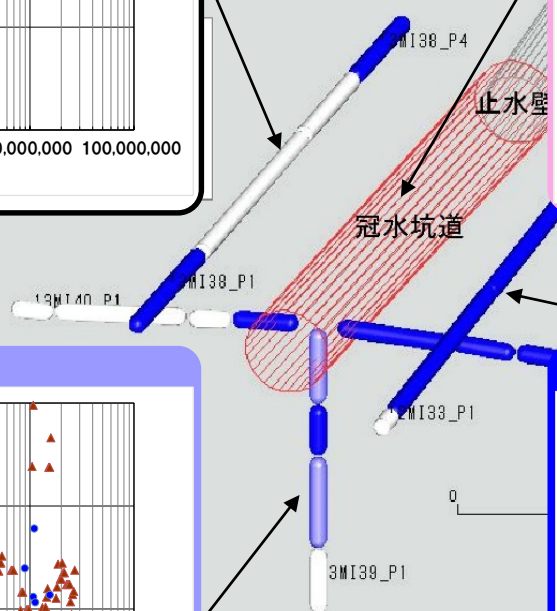
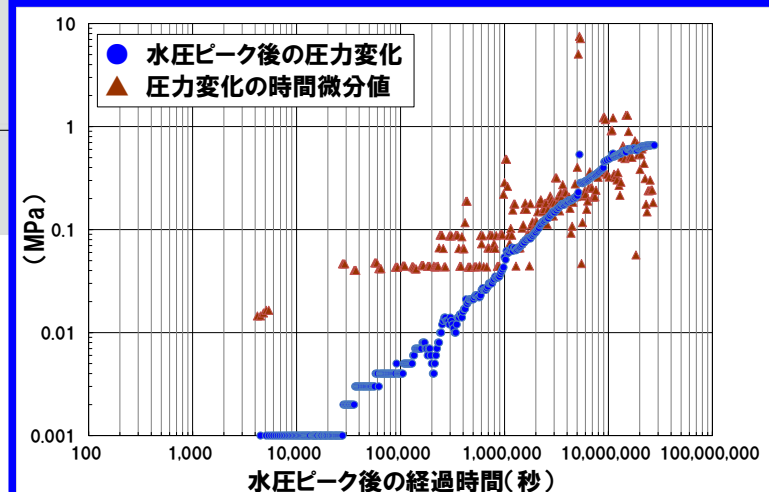
【冠水坑道】



【冠水坑道にやや類似(13MI39区間2)】



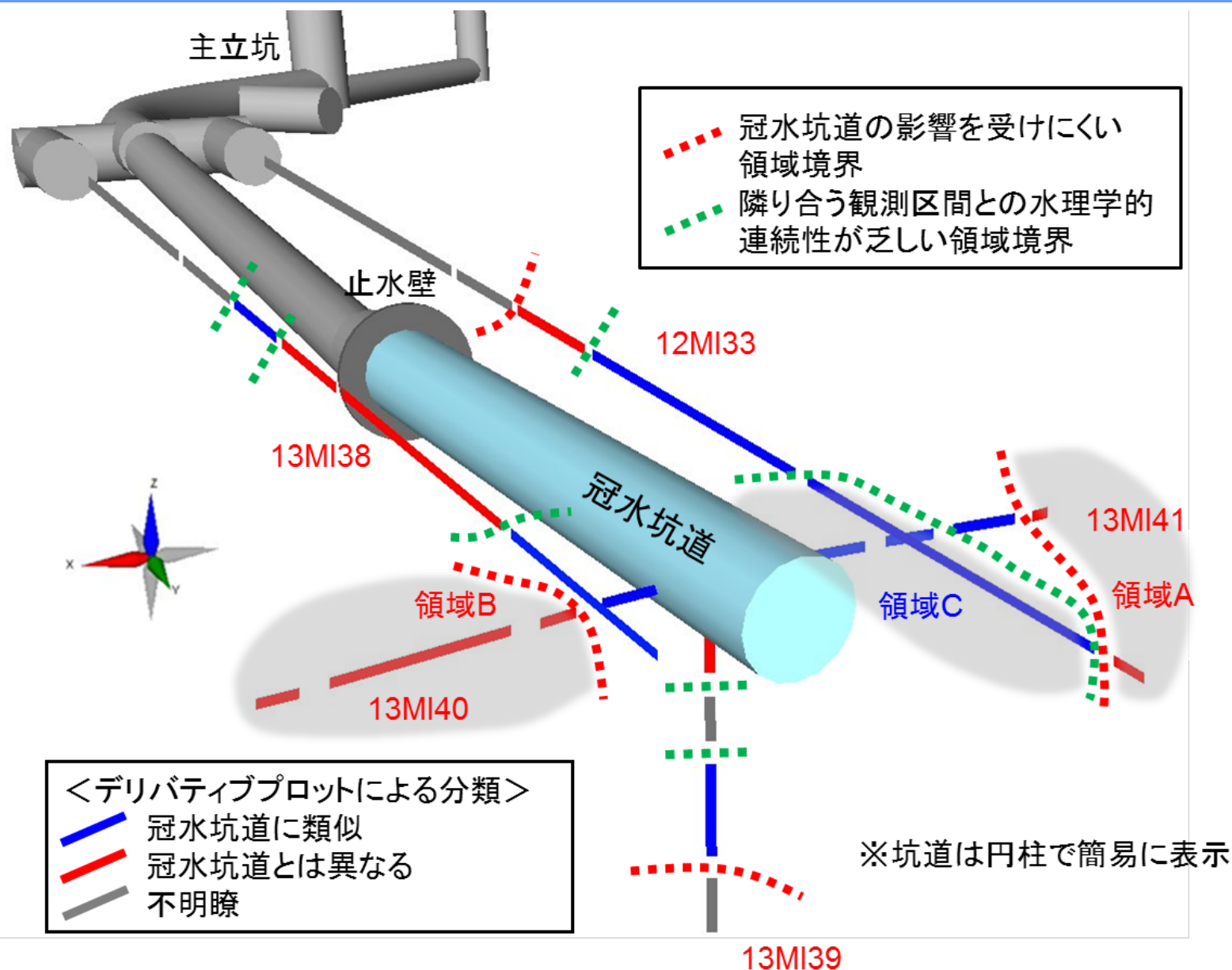
【冠水坑道に類似(12MI33区間2)】



凡 例

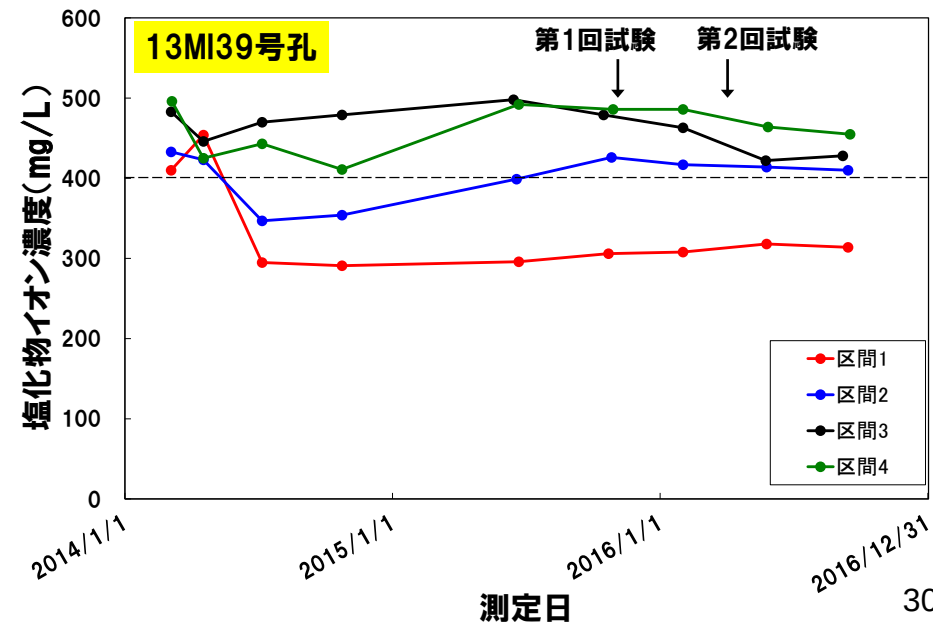
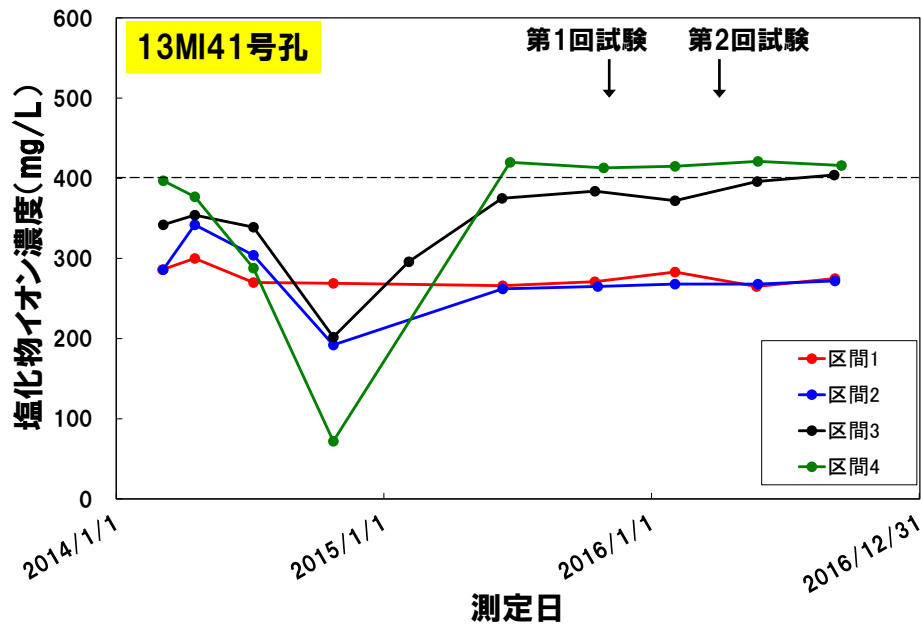
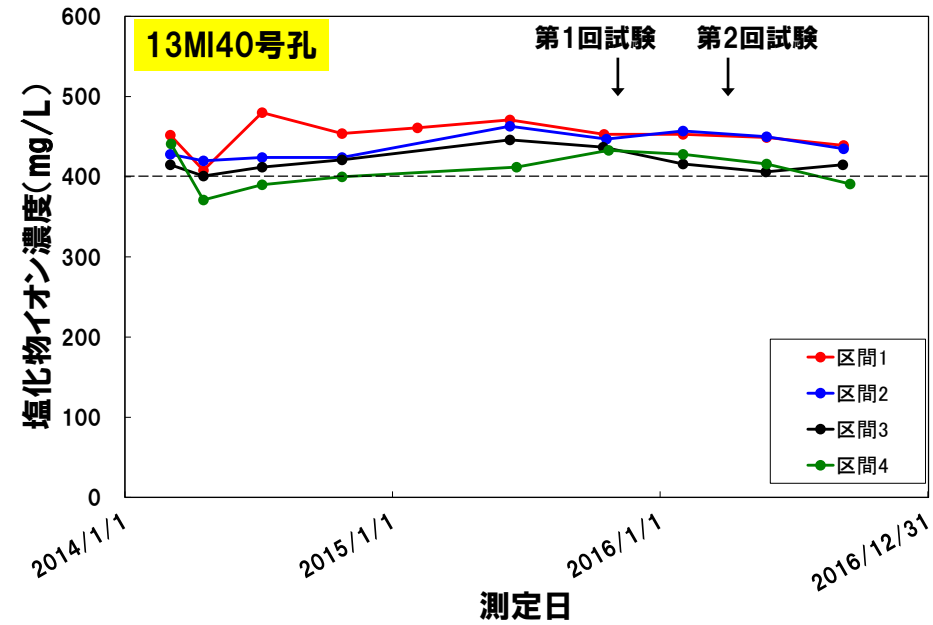
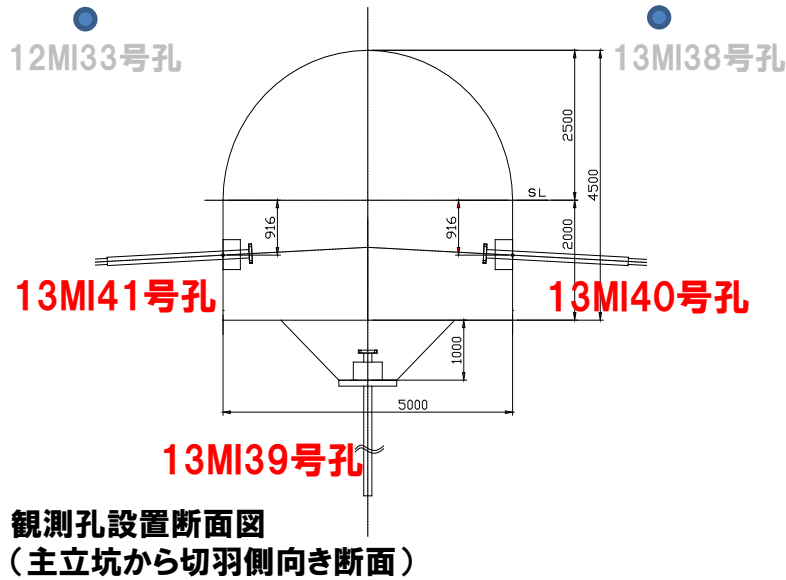
- 冠水坑道に類似
- 冠水坑道にやや類似
- 冠水坑道と異なる

# 水圧の変化に基づくモデル化

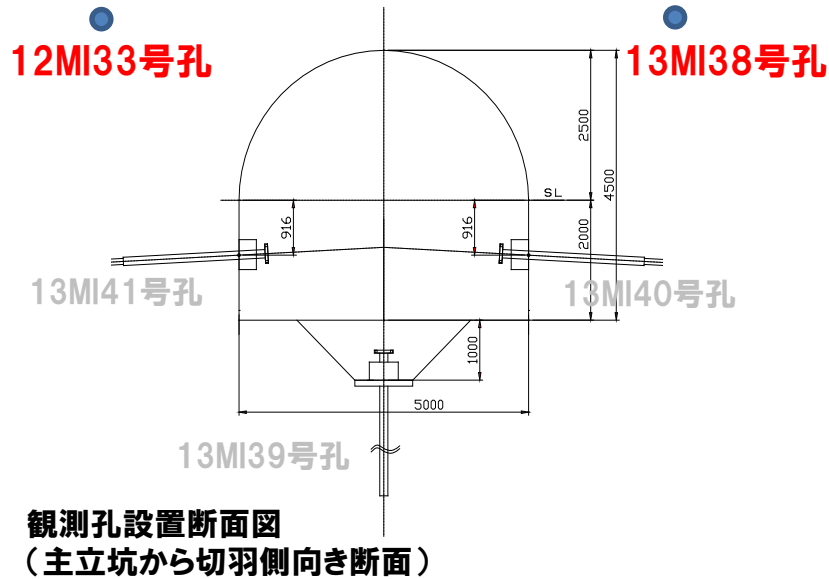




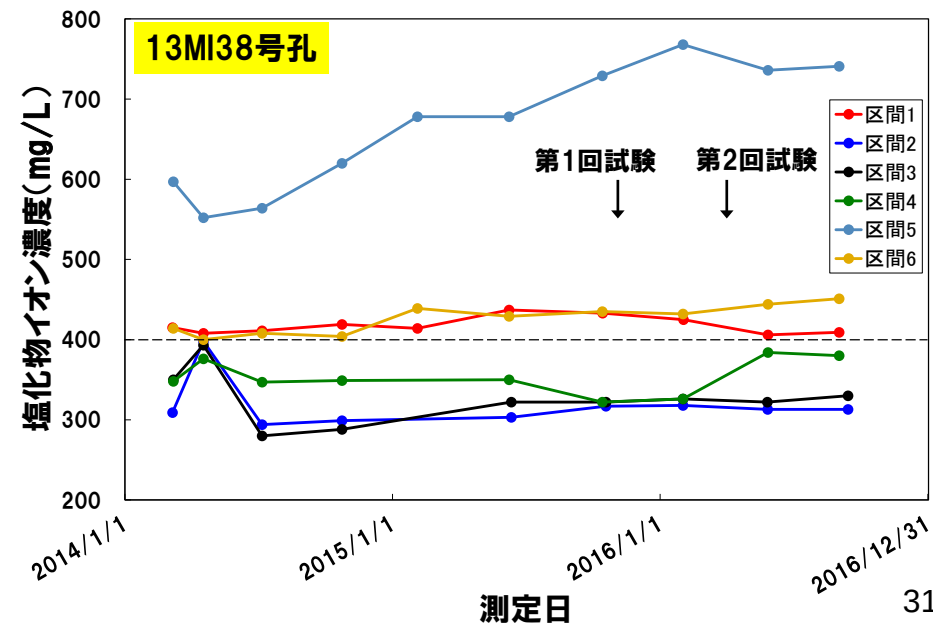
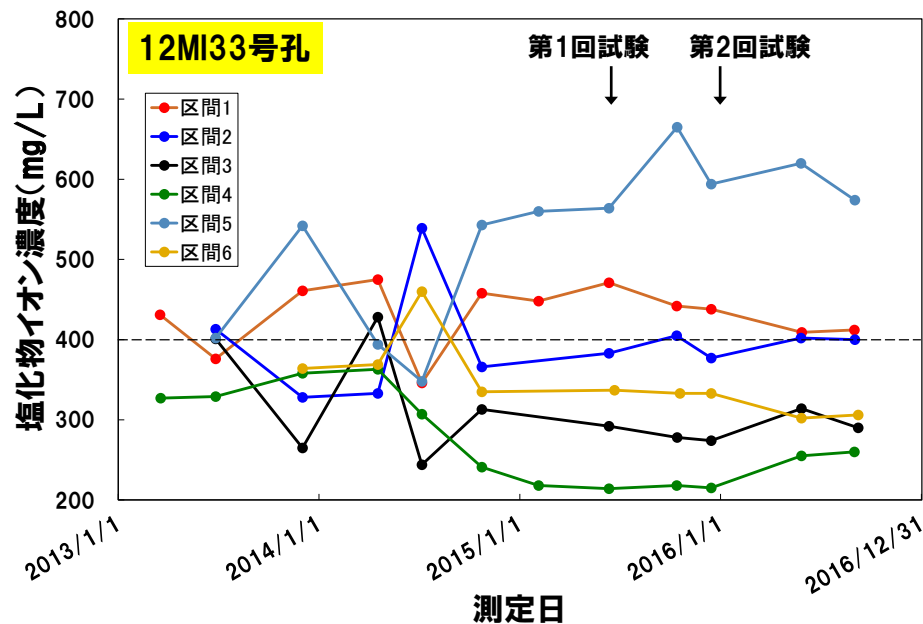
# 再冠水に伴う水質の変化



# 再冠水に伴う水質の変化



✓ 塩化物イオンの初期濃度は約400mg/Lであり、それより低い濃度は浅部地下水の混入を、高い濃度は深部地下水の混入を示す。



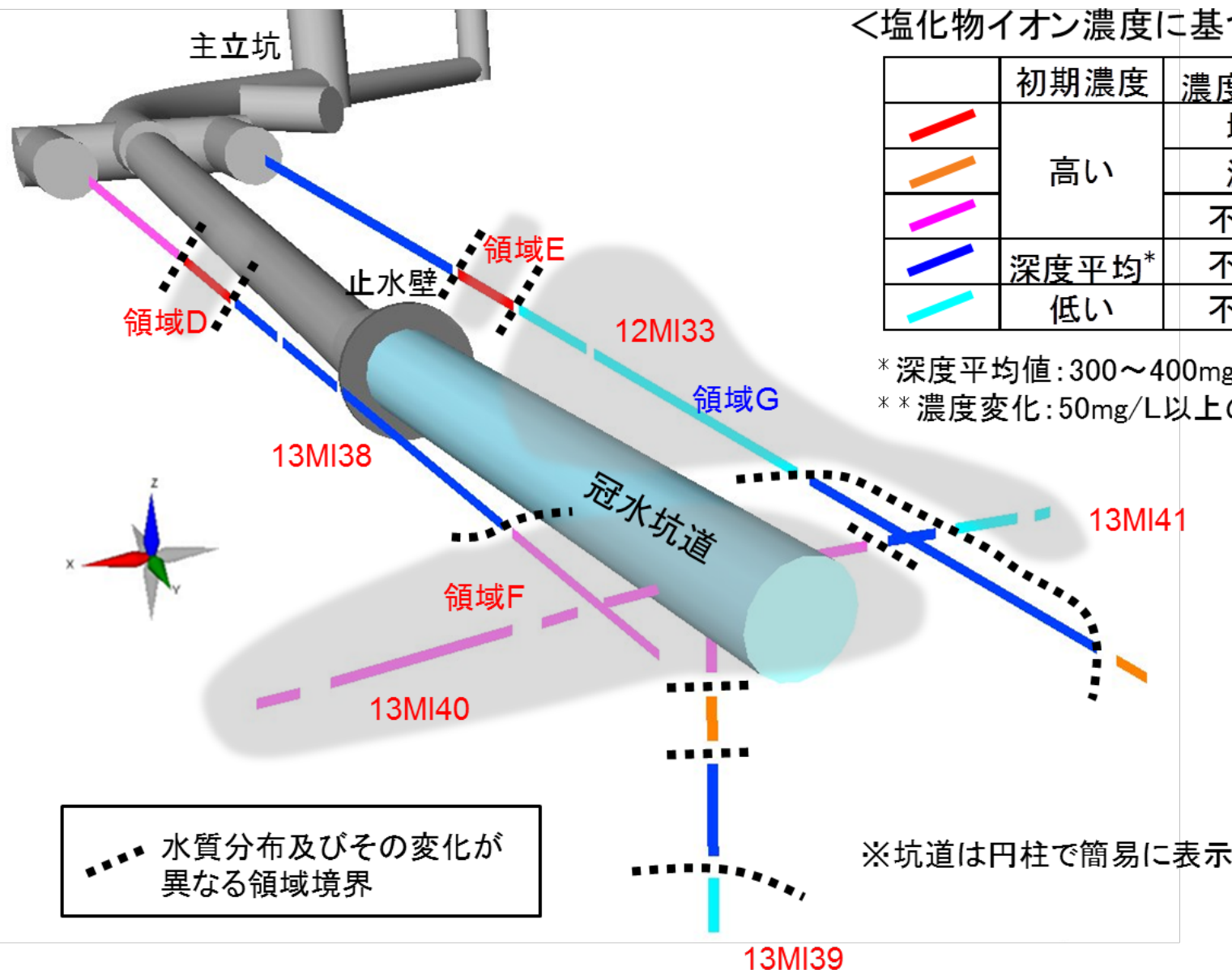
# 水質の変化に基づくモデル化

＜塩化物イオン濃度に基づく分類＞

|                                                                                     | 初期濃度  | 濃度変化** |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|
|  | 高い    | 増加     |
|  |       | 減少     |
|  |       | 不明瞭    |
|  | 深度平均* | 不明瞭    |
|  | 低い    | 不明瞭    |

\* 深度平均値: 300~400mg/L

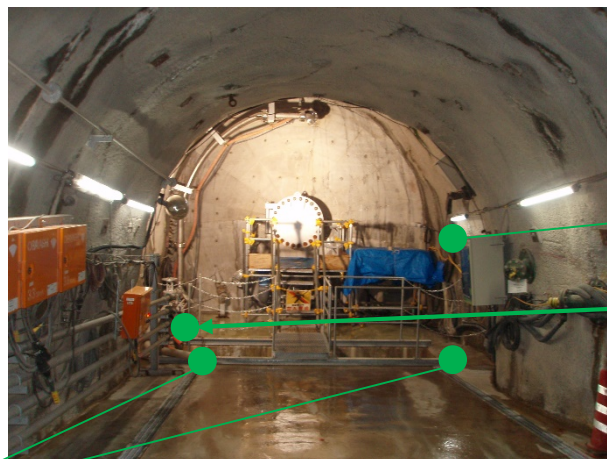
\*\* 濃度変化: 50mg/L以上の変化で分類



# 冠水坑道周辺での湧水量の測定



側溝の流量を測定



壁面からの湧水

コンタクトグラウト管

ホースから排出される  
流量を測定

止水壁前

止水壁前からピットへ  
流れる流量を測定

斜坑

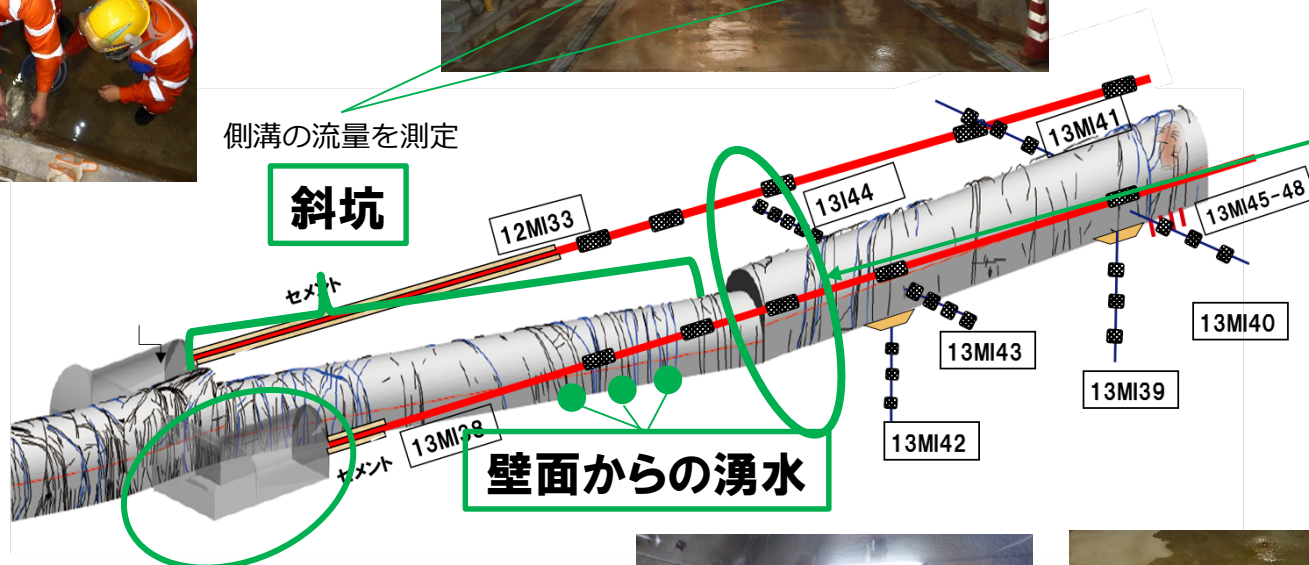
セメント

セメント

壁面からの湧水

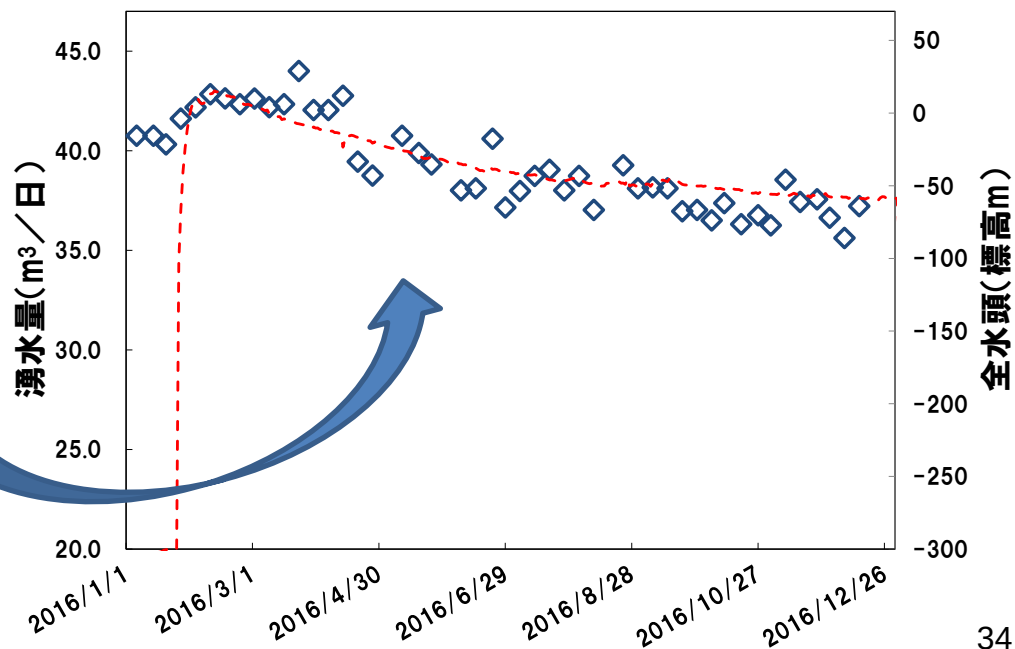
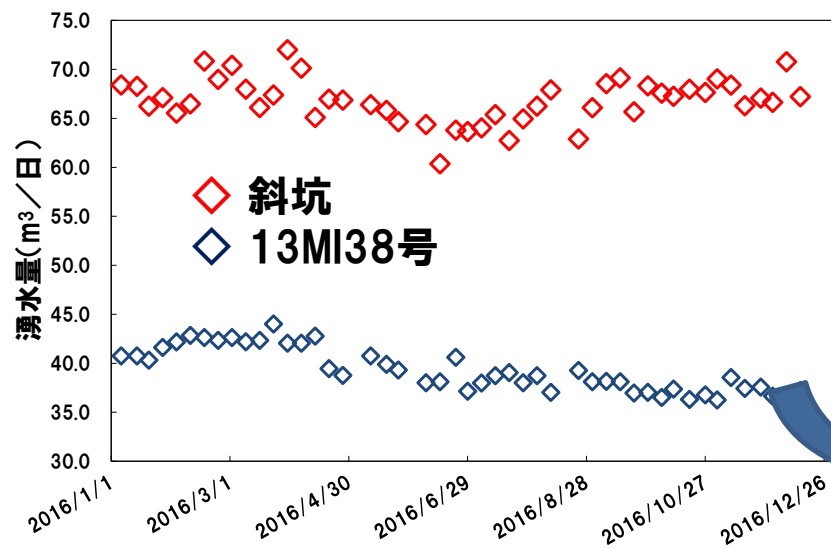
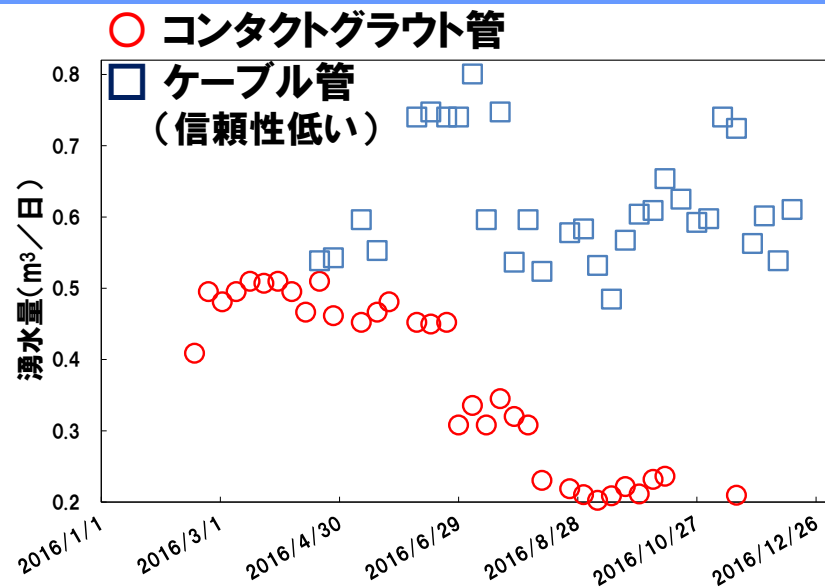
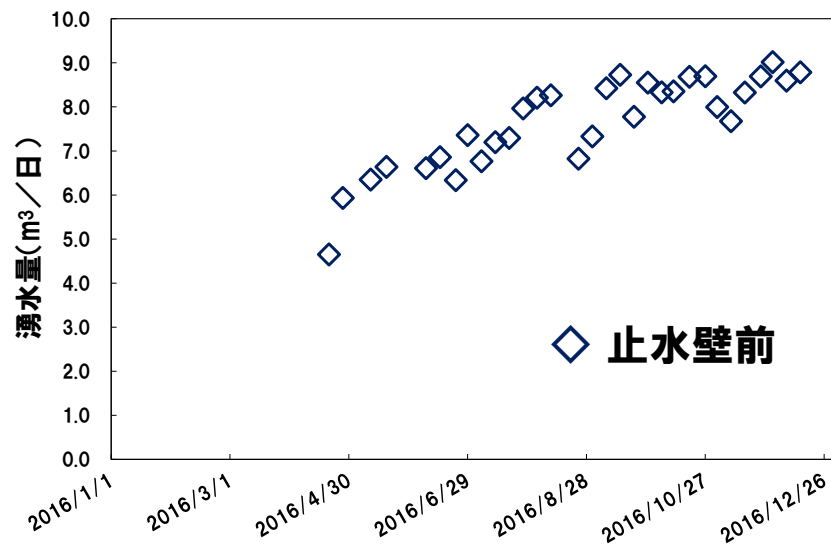
13MI38号

ホースから排出される  
流量を測定

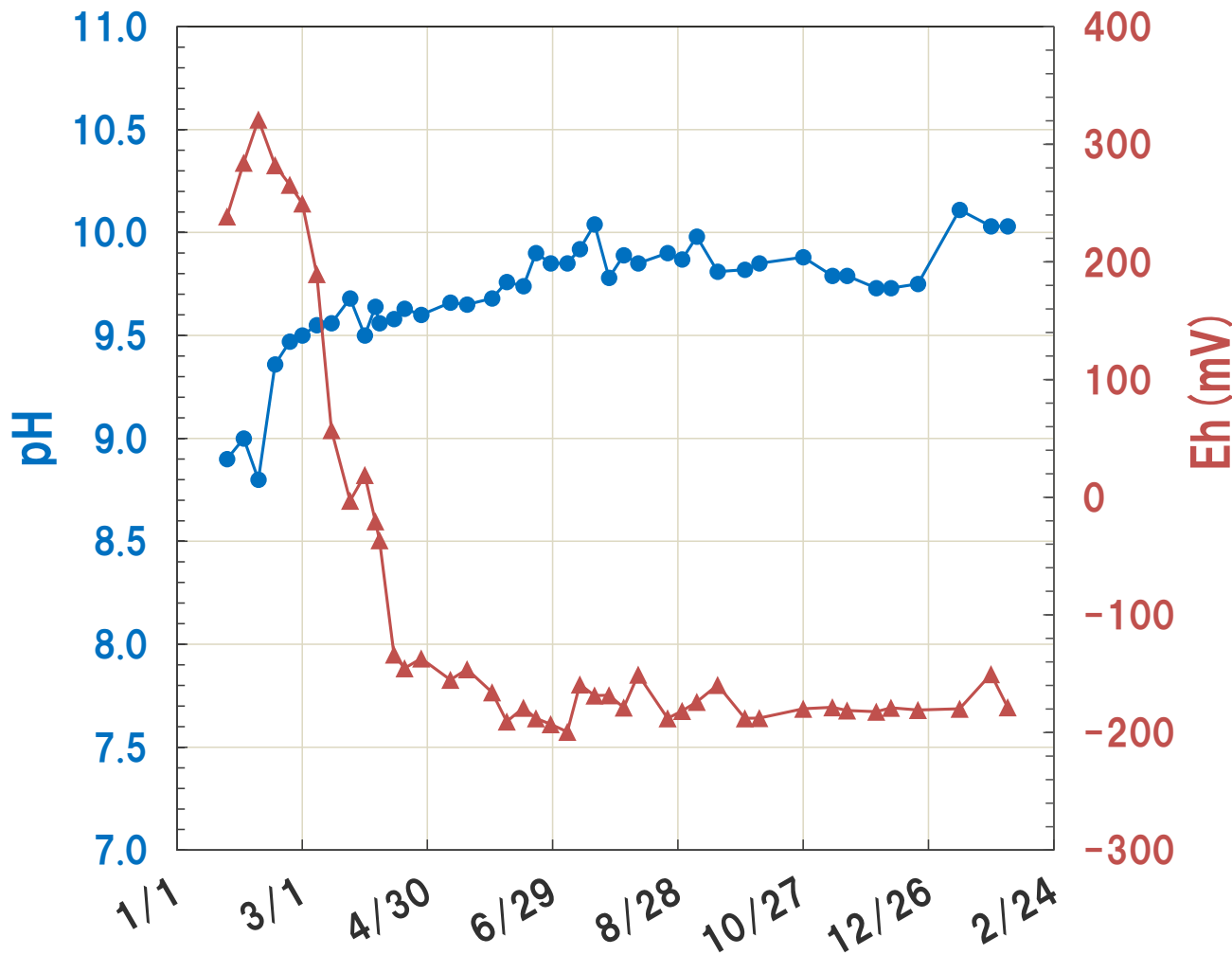




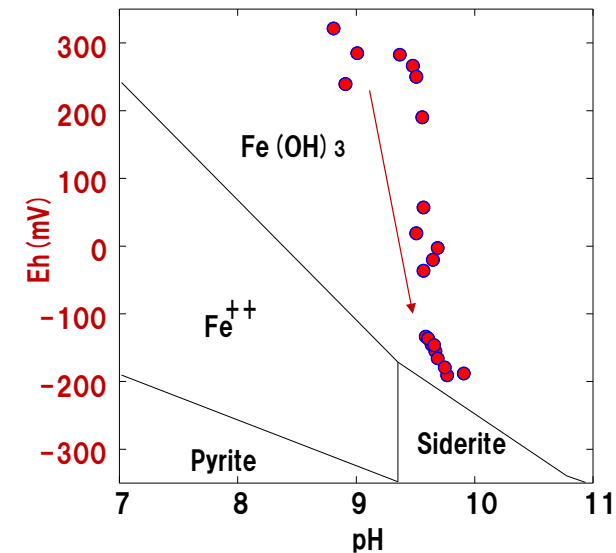
# 冠水坑道周辺での湧水量の測定



# 坑道閉鎖に伴う地球化学環境の変化

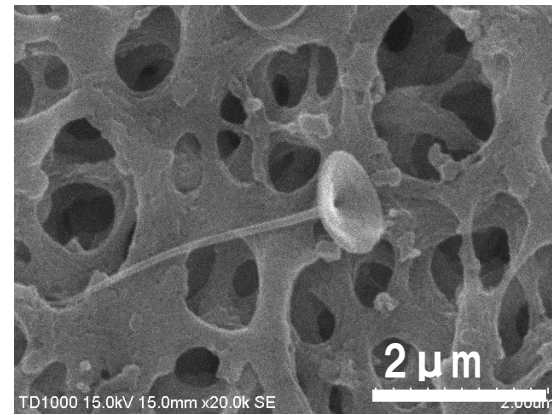
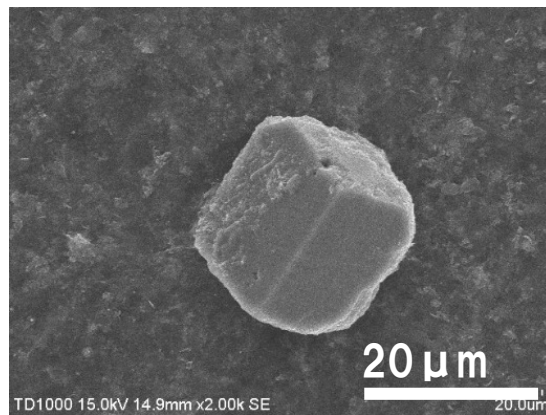
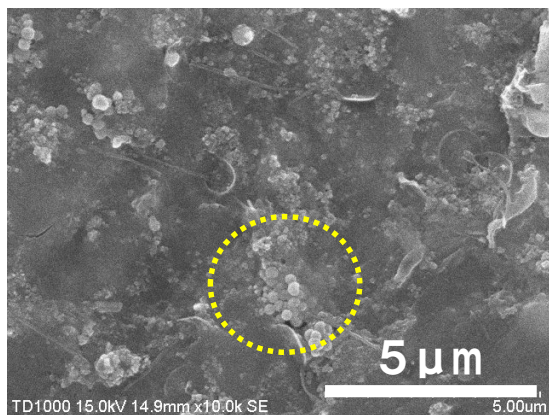


- 閉鎖された坑道内の地下水は、数か月かけて酸化状態から還元状態へ、弱アルカリ性からアルカリ性に変化

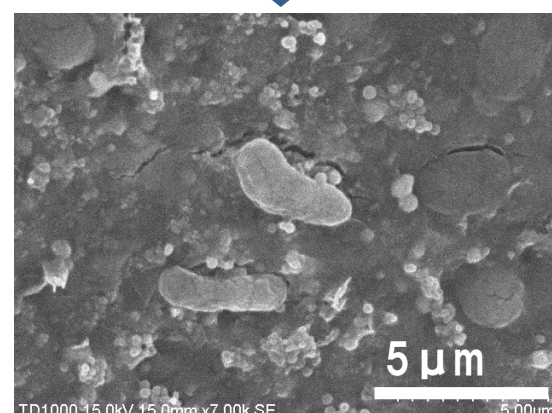
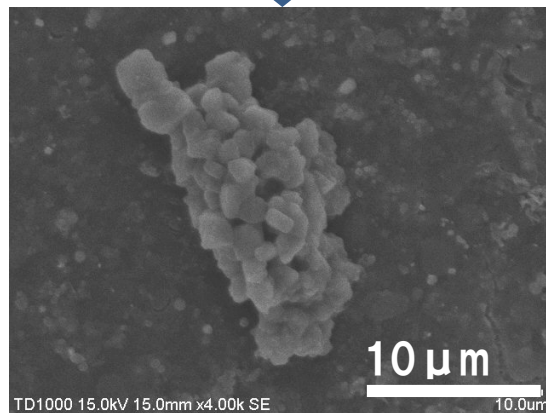
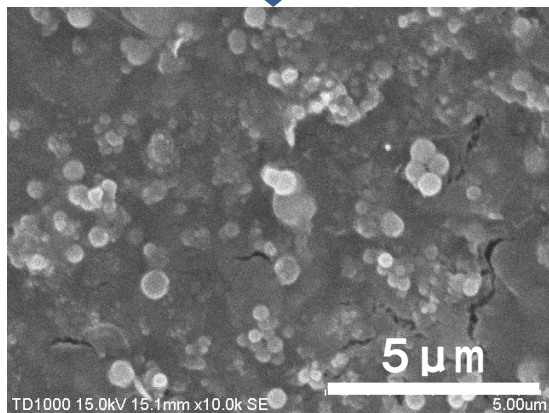


# 坑道閉鎖に伴うコロイドの形成

冠水初期 3月15日



冠水後期 7月6日



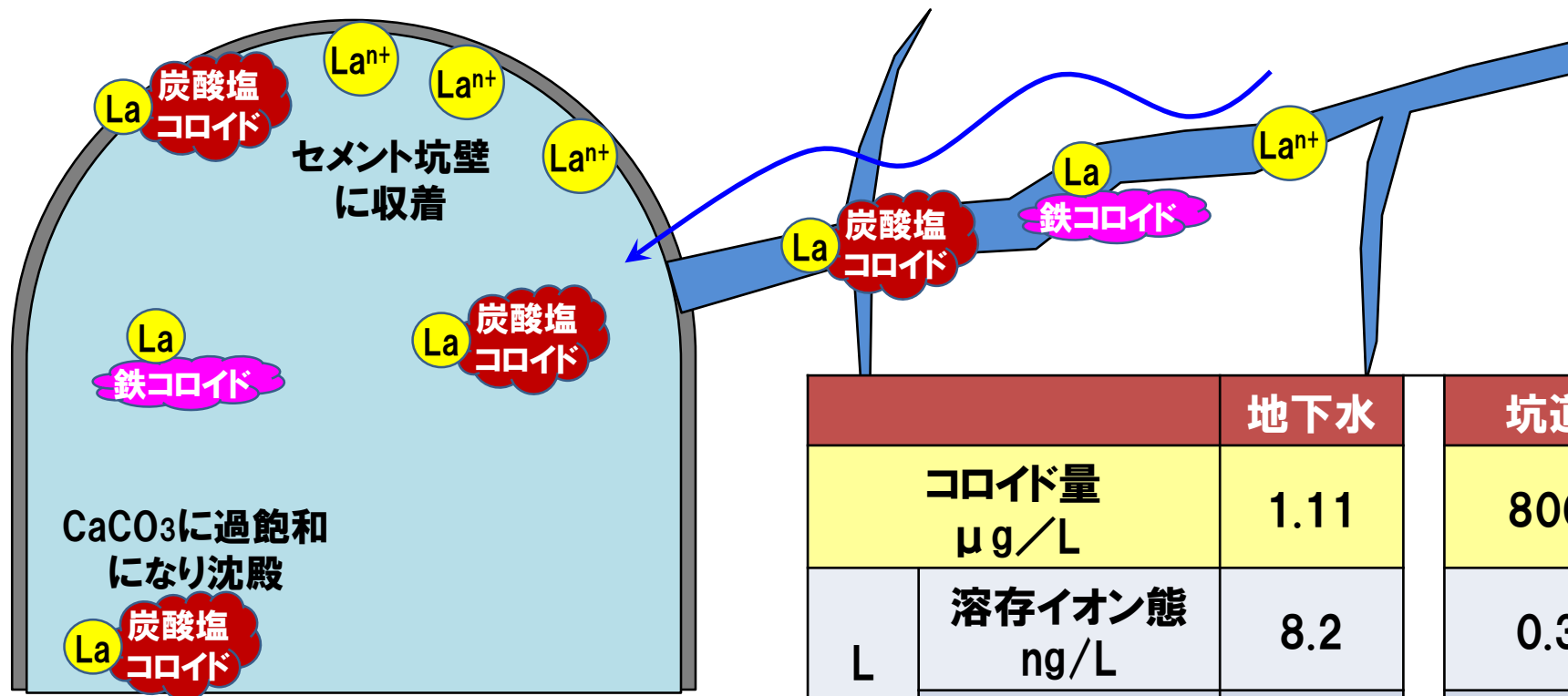
亜鉛鉱物

カルサイト

微生物

- ・ ケイ酸塩鉱物, **大量のバイオフィルム**, **炭酸塩鉱物**, **鉄鉱物**, **亜鉛などのコロイド**が観察
- ・ 自然の地下水の**数百倍 (0.8mg/L)** のコロイド・懸濁物が生成
- ・ 時間とともにコロイドの大きさや量が変化

# 坑道の再冠水に伴う元素の移動



## 元素の移動形態の考察

- アナログ元素を運ぶのは主に炭酸塩コロイド
- 炭酸塩コロイドの存在量は、カルサイトの飽和指数に依存(過飽和だと沈殿・未飽和だと溶解)
- 坑道閉鎖環境では、アナログ元素の移動が抑制

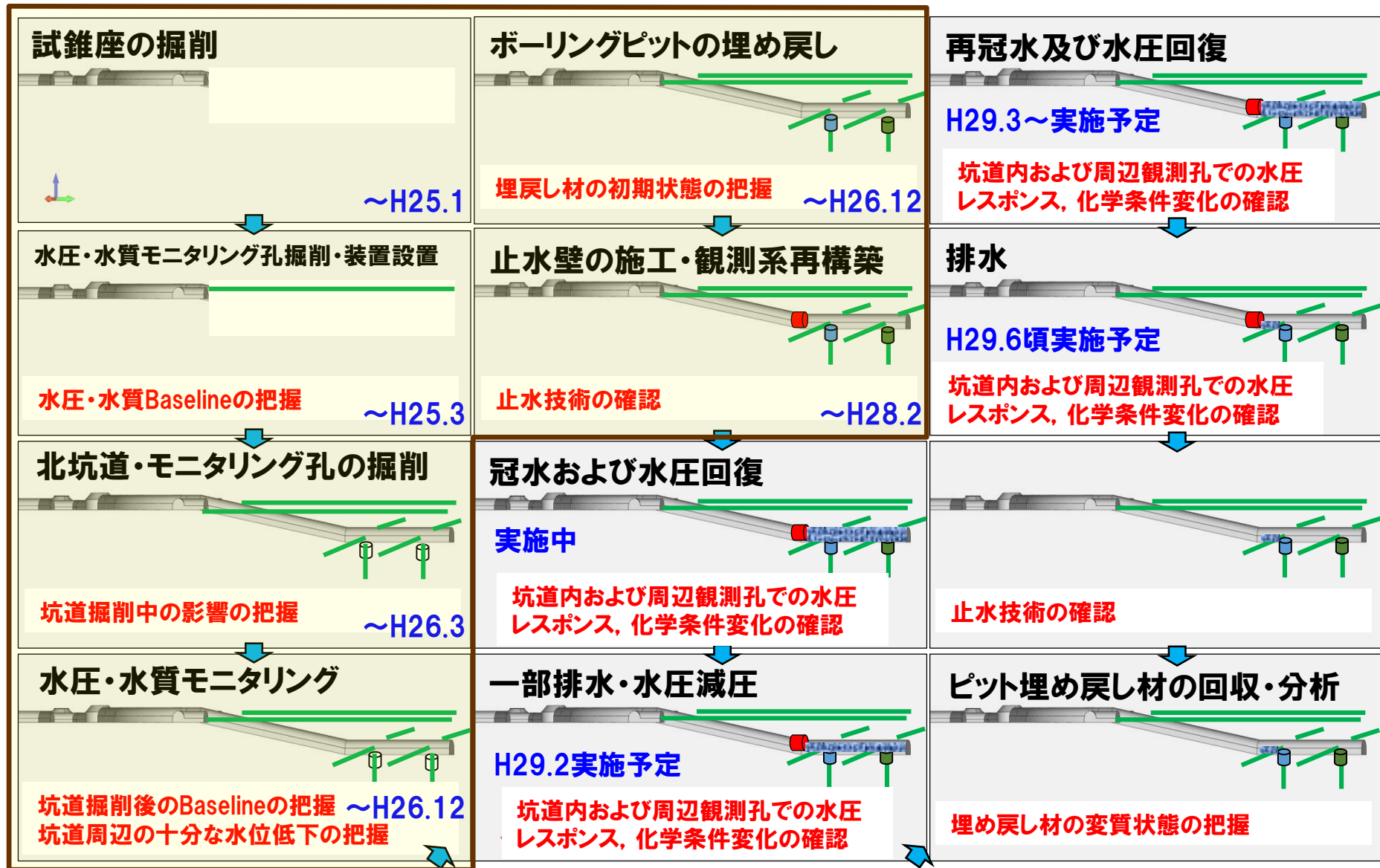
|                                 |                 | 地下水  | 坑道  |
|---------------------------------|-----------------|------|-----|
| コロイド量<br>μg/L                   |                 | 1.11 | 800 |
| L<br>a<br>の<br>輸<br>送<br>形<br>態 | 溶存イオン態<br>ng/L  | 8.2  | 0.3 |
|                                 | 炭酸塩コロイド<br>ng/L | 1.0  | 0.5 |
|                                 | 鉄コロイド<br>ng/L   | 0.2  | 0.1 |
|                                 | ケイ酸塩<br>ng/L    | 0.6  | 0.1 |



# 今後の予定

- 止水壁及びその周囲の漏水状態の観察を継続
- 冠水坑道の地下水の一部排水と再冠水を行い、水圧回復に関わる現象の再現性を確認
- セメント材料による地下水のアルカリ化、セメント沈着などによる割れ目の透水性変化について解析
- その後、止水壁のマンホールを開放し、冠水坑道内の吹き付けコンクリートの変質状況、観測装置類の状況を確認
- シミュレーション技術については、国際的な専門家会議により評価・確認（ヨーロッパで実施されているDECOVALEXに課題として採択）

# 再冠水試験の今後の予定



\* 黄色網掛けは終了した項目

# 研究成果のプレス発表



【本件リリース先】  
平成 28 年 12 月 9 日（金）15：00  
（資料配付）  
文部科学記者会、科学記者会、  
原子力規制庁記者会（仮称）、  
経済産業記者会、  
岐阜県記者クラブ、多治見市政記者クラブ

平成 28 年 12 月 9 日  
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
清水建設株式会社

## 亀裂から出る高水圧の湧水を抑制する技術を開発

### 【発表のポイント】

- ・瑞浪超深地層研究所の坑道掘削時に、地下深部における高水圧の湧水を抑制することを目的として、セメント溶液などを岩盤に注入するグラウチング<sup>1)~3)</sup>の技術開発を進めてきた。
- ・深度 500m までの研究坑道を掘削する間に、様々な材料（普通ポルトランドセメント<sup>4)</sup>あるいは超微粒子セメント<sup>5)</sup>を水に溶かした材料や、セメントより浸透性に優れた溶液型材料である活性シリカコロイド<sup>6)</sup>を用いてグラウチングを試行した。
- ・深度 500m 水平坑道（水深 400m 相当の高水圧下）の比較的水量が多い区間（坑道延長約 16m）で坑道掘削前後にグラウチング（プレグラウチング<sup>2)</sup>及びポストグラウチング<sup>3)</sup>を行い、グラウチングを実施しない場合の予測値に対して、湧水量を約 100 分の 1 まで低減できた。
- ・同区間のうち、湧水箇所が多い区間（約 4m）にポストグラウチングを追加実施し、スウェーデンで示されている地層処分場の処分坑道における湧水箇所に対する目安（湧水箇所に対して 1 箇所当りの湧水量 1L/分未満）を満足できる技術であることを確認した。
- ・ポストグラウチングでは、活性シリカコロイドの使用と複合的注入<sup>7)</sup>が効果的であった。
- ・この技術開発成果は、日本における地層処分場の維持コストの低減や人工バリアの施工精度の向上に寄与する重要な成果の一つと考えられる。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（理事長 児玉敏雄）東濃地科学センター施設建設課 見掛信一郎主任研究員、池田幸喜課長、研究計画調整グループ 松井裕哉グループリーダー及び清水建設株式会社土木技術本部バックエンド技術部 辻正邦主任らは、岐阜県瑞浪市にある瑞浪超深地層研究所において、研究坑道掘削時の湧水抑制のため、プレグラウチング及びポストグラウチングを実施しました（研究坑道掘削工事施工者：清水・鹿島・前田 JV）。その際、湧水量の予測にグラウチング効果を考慮できる理論式を用いることにより、目標の湧水抑制を達成するために必要な岩盤の透水性の低下割合や注入範囲を設定しました。さらに、岩盤の透水性に合わせてグラウチングに用いる材料の使い分けにより、高水圧下において湧水抑制の目標を達成できるグラウチング技術を開発しました。

深度 500m 水平坑道では、プレグラウチングを実施し坑道を掘削した後、比較的水量が多い区間（坑道延長約 16m）において、さらなる湧水抑制技術の試行としてその外側にポストグラウチングを実施しました。その結果、同区間の湧水量は、グラウチングを実施しない場合の予測に対して約 100 分の 1 まで低減できました。さらに、同区間のうち湧水箇所が多い区間（坑道延長約 4m）に追加実施したポストグラウチングにより、5 箇所あった 1L/分以上の湧水箇所すべてを 1L/分未満にでき、スウェーデンで示されている地層処分場の処分坑道における湧水箇所に対する目安を満足できる技術（ポストグラウチングにより 1 箇所当りの湧水量を 1L/分未満に低減）であることを確認しました。

この技術は、亀裂性岩盤に適用できる汎用的なものであり、地層処分場における維持コストの低減や人工バリアの施工精度の向上に寄与する重要な技術となるとともに、一般的な土木技術においても湧水抑制に対する要求品質が非常に高い場合に適用できる技術と考えられます。

【本件に関する問い合わせ先】  
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  
東濃地科学センター  
（研究内容について）  
施設建設課長 池田幸喜  
TEL: 0572-66-2244 FAX: 0572-66-2245  
（報道対応について）  
総務・共生課長 飯島克彦  
TEL: 0572-66-2244 FAX: 0572-68-7717



平成28年8月31日  
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

## 花崗岩の主要な構成鉱物中に物質を閉じ込める微小空隙の存在を確認

### 【発表のポイント】

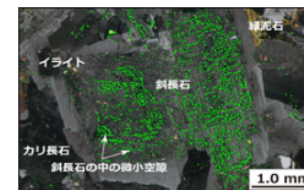
- ・瑞浪超深地層研究所の研究坑道から採取した花崗岩の健岩部（肉眼では変質が認められない部分）を調べた結果、主要な構成鉱物の一つである斜長石の中に微小空隙が発達し、この空隙の中を選択的に物質が拡散することを発見。また、この空隙は、花崗岩体の形成時に生じた可能性が高いことも明らかにになった。
- ・これにより、国内の花崗岩では、このような微小空隙中の拡散によって、健岩部も放射性物質の閉じ込め能力が期待できることを見出した。
- ・本研究成果は、日本における地層処分場の安全性を評価する上で重要な知見の一つと考えられる。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（理事長 児玉敏雄）東濃地科学センター 結晶質岩地質環境研究グループの石橋正祐、笹尾英嗣主任研究員、濱克宏主任研究員らの研究チームは、岐阜県瑞浪市にある瑞浪超深地層研究所の深度300m及び500mの研究坑道で採取した花崗岩試料を用いて、水に溶けた物質が岩石中を拡散していく現象を調べる試験（拡散試験）を行い、鉱物内の微細な構造を観察した結果、肉眼では変質（ある鉱物が溶液と反応して別の鉱物に変化すること）が認められないような花崗岩の健岩部においても、花崗岩の主要な構成鉱物の一つである斜長石の中に微小空隙が形成・発達していること、また、この空隙の中を選択的に物質が拡散していることを明らかにしました。

このような微小空隙中での拡散は、地下水に溶けている物質の地層中での移動を遅らせる能力を高めると考えられます。また、今回確認された斜長石の中の微小空隙は、花崗岩体の形成時に生じたものと推定されることから、国内の他の花崗岩にも存在すると考えられます。

従って、国内の花崗岩では、健岩部においても、高レベル放射性廃棄物の地層処分場の安全性にとって重要な地層による物質の閉じ込め能力が期待できると考えられます。

なお、本研究成果は、日本における地層処分場の安全性を評価する上で重要な知見として、一般社団法人日本原子力学会の学会誌「原子力バックエンド研究」に8月22日に掲載されました。



斜長石の中の微小空隙の分布（緑色の部分）



# プレゼンス向上のための取り組み

プレゼンスの向上を目的として、様々な新規のイベントを企画・実施。

**東濃地科学センター開設50周年記念行事**  
夏休みサイエンス体験イベント  
地下にもぐって測ってみよう  
「1万年前の地下水」

2016年8月24日(水)  
事前申込制 ※下記のお申し込み先までご連絡ください

場所：瑞浪超深地層研究所  
内容：深度300mの研究坑道の見学および  
地下水の水質測定・岩石の観察

小学生の部：9:00～11:30  
対象：小学4年生以上の親子ペア  
人数：先着12組(24名)

中学生の部：13:00～16:30  
対象：中学生  
人数：先着16名

参加無料

お申し込み・お問い合わせ先  
〒509-6132 瑞浪市明世町山内1-64  
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所  
受付開始：7月21日(木) AM9:00より  
下記の電話にて受付  
(TEL 0572-66-2244)  
受付時間：9:00～16:00(土日祝日も除く)

送迎バスをご利用ください

瑞浪超深地層研究所  
送迎バス乗降場所  
北ロータリー

瑞浪市立中央図書館  
瑞浪市立中央図書館  
瑞浪市立中央図書館  
瑞浪市立中央図書館

体験終了後に瑞浪駅北ロータリーまでバスでお送りします

＜アクセスマップ＞



第一線で活躍中の研究者による  
とても身近な地球科学のお話です

東濃地科学センター

**サイエンスカフェ**

場所：瑞浪市地域交流センターとぎわ(11月19日(土)・3月18日(土))  
土岐市産業文化振興センターセラトピア土岐(1月14日(土))

時間：午前10:00～午前11:15【午前9:30開場】  
定員：先着20名【事前申込み期：10月21日(金) 午前9:00受付開始】

参加無料

2016年  
11月  
19日  
(土)

瑞浪の大地のおいたち

瑞浪地方には、様々な地層が重なり合っています。例えば、瑞浪の地名は、約2000万年前の地層の名前です。また、約7000万年前にアジアの地殻が隆起し、中央部が隆起して、瑞浪の大地が形成されました。この地層は、現在も瑞浪の大地の骨格を形成しています。

2017年  
1月  
14日  
(土)

東濃地方の活断層

東濃地方には多くの活断層が分布しており、いつ大規模に動いても不思議ではありません。一方で、断層は断層帯の多くの断層が動いていて、断層帯の両側の地層が動きます。活断層とどう向き合っていくのかを考えてみましょう。

2017年  
3月  
18日  
(土)

地下水のおはなし

みなさんは、本報社と関わりを思い浮かべると、どういったイメージが湧きますか？ 地下水は、重要な資源の一つです。地下には、多くの水が溜まっています。地下水は、私たちの生活に欠かせない資源の一つです。地下水の重要性について、皆さんと一緒に考えてみましょう。

お申込み・お問合せ先  
日本原子力研究開発機構  
東濃地科学センター  
瑞浪超深地層研究所  
TEL 0572-66-2244  
受付時間 9:00～16:00  
(土日祝日も除く)

瑞浪市地域交流センターとぎわ

土岐市産業文化振興センターセラトピア土岐



東濃地科学センター開設50周年記念行事

**地下環境シンポジウム**  
～地下環境の研究最前線～

＜開催プログラム＞

- 開演 (13:30)
- 東濃地科学センターの概要 (13:35)
- 地下環境における個別研究発表
  - 1「地球温暖化防止のための二酸化炭素を埋めた地下エネルギーの開発」(14:00～) 京都大学 教授 石田 毅氏
  - 2「原子力機構の立坑利用により進展した地下深部研究と地震予知研究」(14:40～) 東濃地科学研究所 所長 石井 敏氏
  - 3「地底から探る生命誕生の謎」(15:30～) 東京大学 准教授 鈴木 康平氏
- 全体質疑 (16:10)
- 終演 (16:30)

※プログラムは、若干の変更の可能性がございます。予めご了承ください。

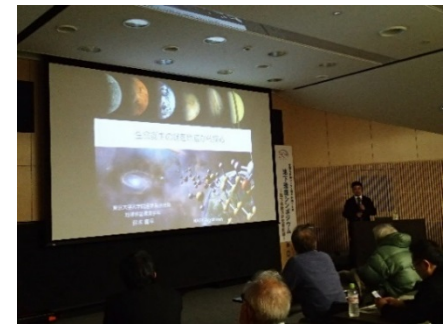
2016 12/3(土)

13:30～16:30(開場13:00)

東濃地科学センター(瑞浪市) 伊勢崎ホール  
(東濃市瑞浪市明世町山内1-64)

要申込 参加無料/定員100名

【会場案内】  
瑞浪市立中央図書館  
瑞浪市立中央図書館  
瑞浪市立中央図書館  
瑞浪市立中央図書館







ご清聴ありがとうございました