

超深地層研究所計画(瑞浪)に 関する必須の課題成果取りまと め案について

平成30年10月1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

中長期計画における瑞浪超深地層研究所計画中の研究課題

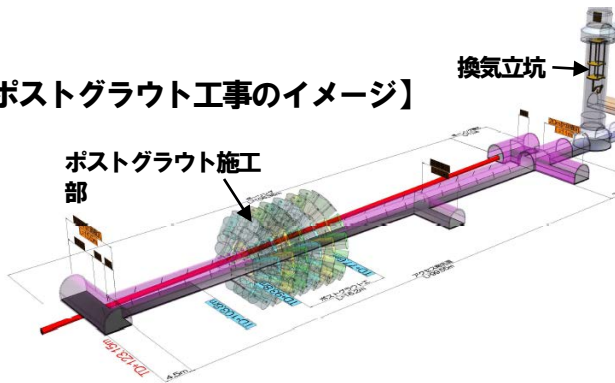
①地下坑道における工学的対策技術の開発

- ◆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】

湧水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の実証
地下水排水処理技術等の地下水管理技術の高度化

【ポストグラウト工事のイメージ】

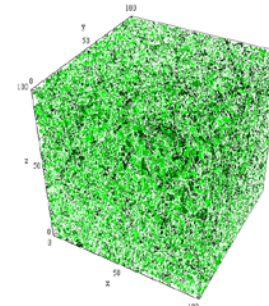


②物質移動モデル化技術の開発

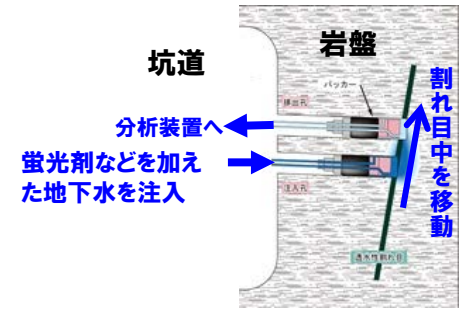
- ◆長期的な変遷を含む亀裂ネットワーク中の地下水流動・物質移動に関する試験及びモデル化技術

【概要】

花崗岩中の割れ目での物質移動現象のモデル化
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



【割れ目分布モデル】



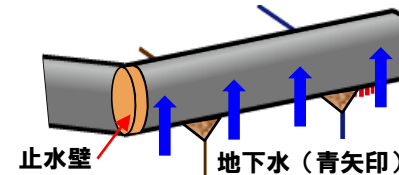
【研究坑道内での物質移動試験の例】

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】

坑道の一部を閉鎖し地下水で自然冠水させ、地質環境の回復能力等を評価。地質環境に応じた埋め戻し技術の構築。長期観測に必要なモニタリング技術の開発



【再冠水試験のイメージ】



【モニタリング装置】

取りまとめの方針

1. 各研究開発課題

(1) 背景と概要

- ・ 国内外の既存情報
- ・ 前中長期計画までに得られている知見のレビュー
- ・ 判っていないこと、必要な技術開発について

(2) 実施内容

基本計画書，必須の課題計画書の具体的な実施内容について

(3) 成果

MIUでの研究成果を事例として示し，

- ・ 日本の結晶質岩で認められ得る普遍的な地質環境特性
- ・ 結晶質岩に対する調査解析技術の有効性や限界 などについて

(4) まとめ

実施主体・規制に関わる技術者，現場に関わる人に知っておいてほしいこと

報告書項目

1. 地下坑道における工学的対策技術の開発

1.1 地下水抑制技術の開発

1.2 地下水管理技術の開発

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1 不均質な割れ目ネットワークのモデル化手法の開発

2.1.1 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

2.1.2 花崗岩中での物質移動現象の理解

2.1.3 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

2.2 地質環境の長期変遷に関する解析・評価技術の開発

2.2.1 断層などの影響を含めた地質環境特性の長期変遷解析技術

2.2.2 地下水の長期隔離に関する深部塩水地下水の起源・滞留時間の把握

3. 坑道埋め戻し技術の開発

3.1 坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術の開発

3.1.1 冠水坑道での再冠水試験

3.1.2 岩盤の破壊現象評価

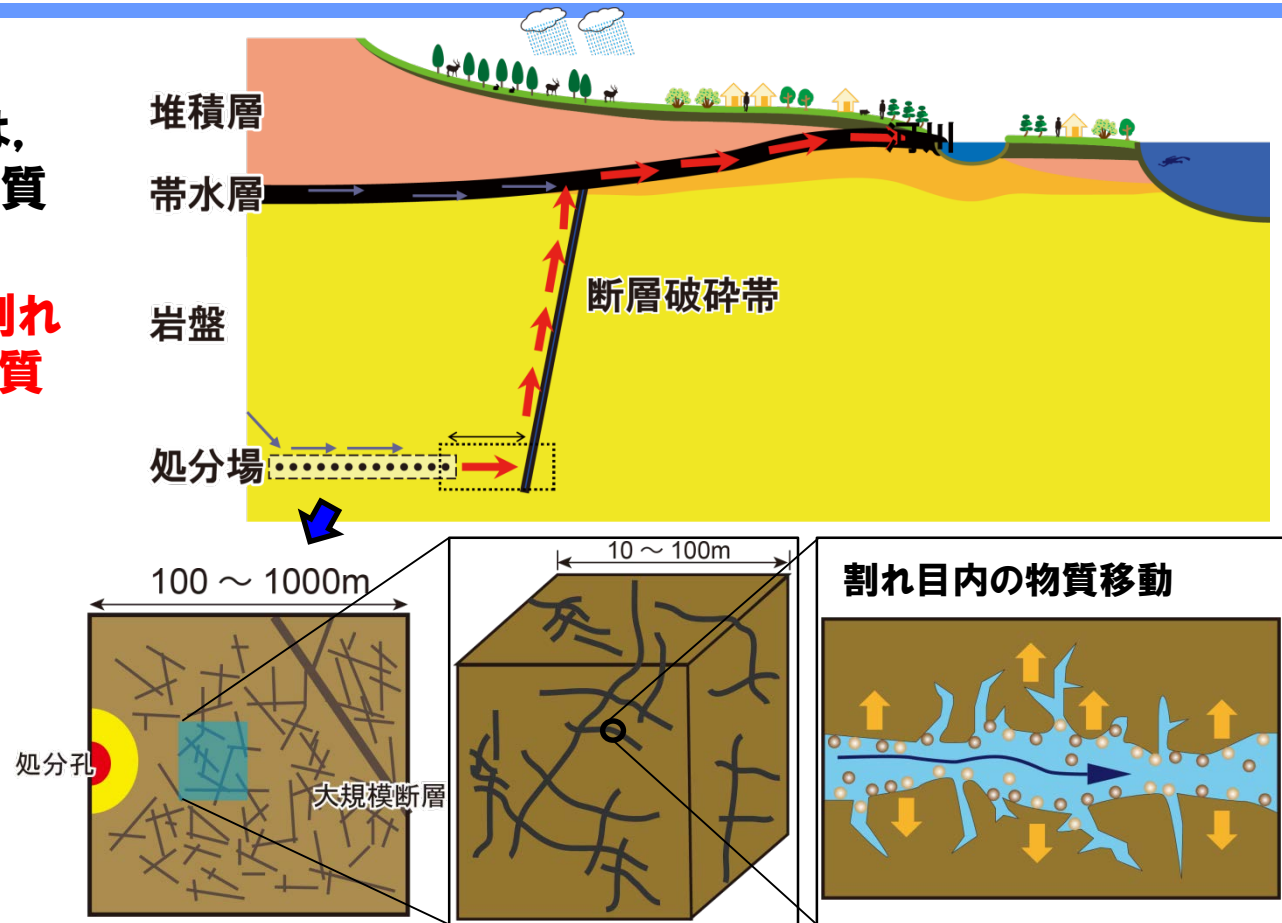
3.1.3 500m坑道での埋め戻し試験

3.2 モニタリング技術の開発

2. 物質移動モデル化技術の開発

➤ 研究の背景と達成目標

- ✓ 処分事業の安全評価では、岩盤中における元素の物質移動特性評価が必要
- ✓ 日本の結晶質岩固有の割れ目の多い媒体における物質移動特性を例示する。



➤ 実施内容

2.1 不均質な割れ目ネットワークのモデル化手法の開発

- 2.1.1 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
- 2.1.2 花崗岩中での物質移動現象の理解
- 2.1.3 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

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.1 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

➤ 研究の背景と達成目標

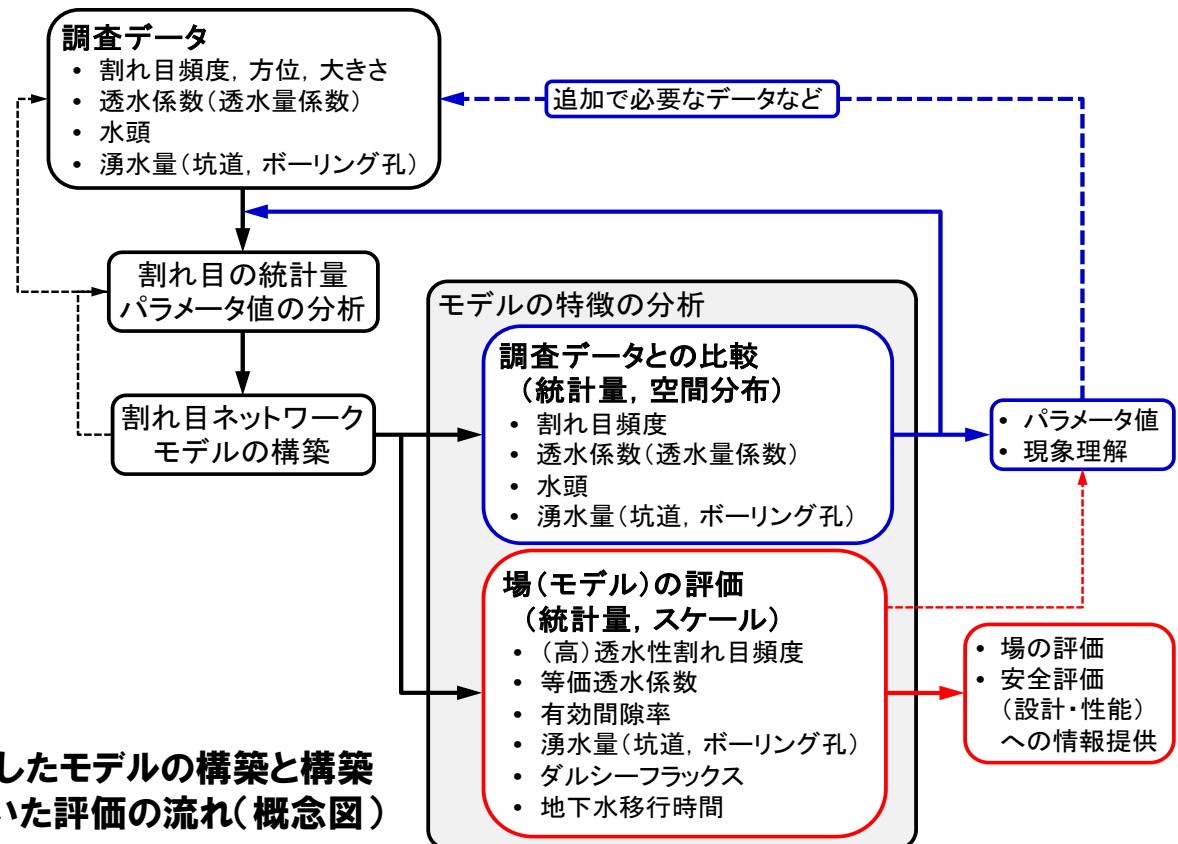
- ✓ 処分事業の安全評価にあたっては、亀裂性岩盤を対象とした場合、放射性核種の主要な移行経路となる岩盤中の割れ目の分布特性や水理学的特性の評価が重要
- ✓ 割れ目の分布特性や水理学的特性は不均質であり、すべての情報を取得できないため、その不均質性を確率論的に表現可能な割れ目ネットワーク(DFN)モデルの構築手順や妥当性確認に至る一連の方法論を提示する。

➤ 実施内容

DFNモデル化手法の体系的な構築を目的として、研究坑道の壁面調査やボーリング調査結果を用いて、DFNモデル化手法の有効性と限界を整理する。

- DFNモデルの構築
- DFNモデルの特徴の分析

割れ目を対象としたモデルの構築と構築したモデルを用いた評価の流れ(概念図)



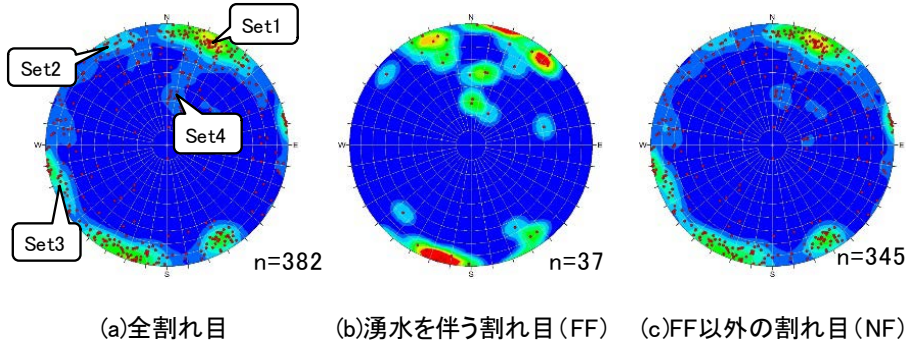
2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.1 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

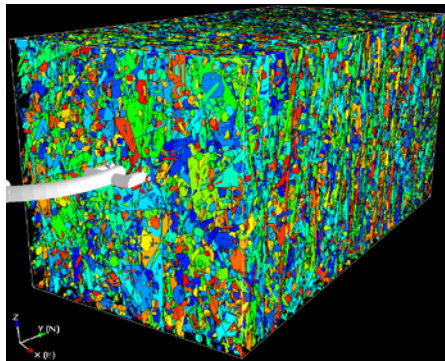
➤ 成果:DFNモデルの構築

冠水坑道周辺岩盤を事例として、割れ目の地質学的・水理学的特性の統計分布を再現可能なDFNモデルの構築、信頼性確認の流れや考え方を具体例として提示

✓ 割れ目の湧水の有無に着目したデータ解析



✓ 割れ目半径との相関性を考慮した透水性の設定



透水量係数設定の関数

$$T = \text{lognorm}(\mu, \sigma) \times r^C$$

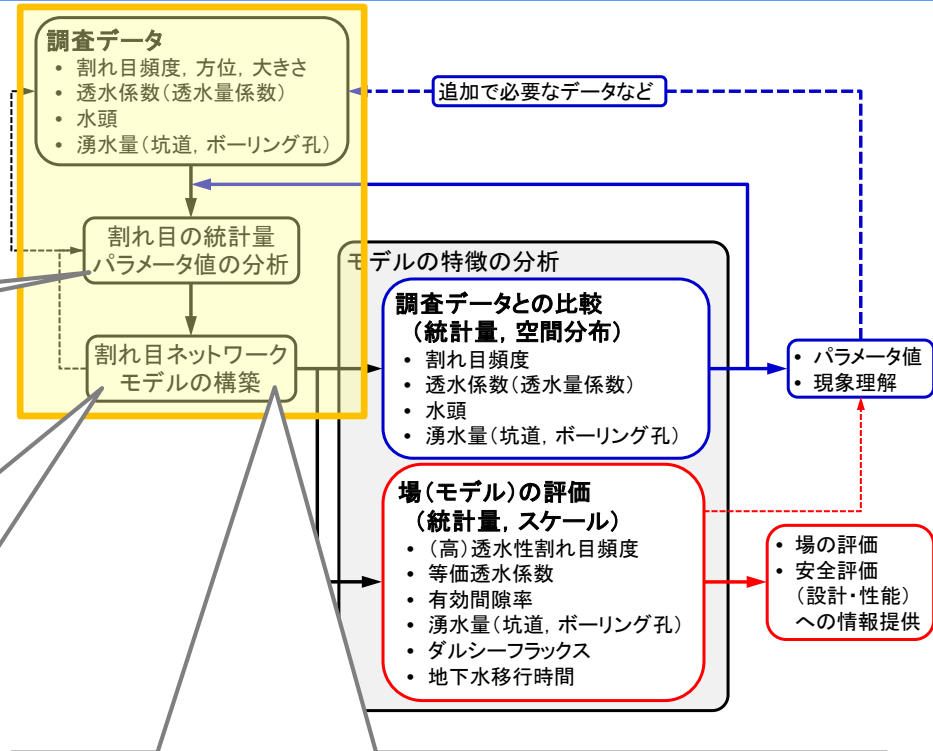
T : 透水量係数

μ : 対数平均: 1E-11

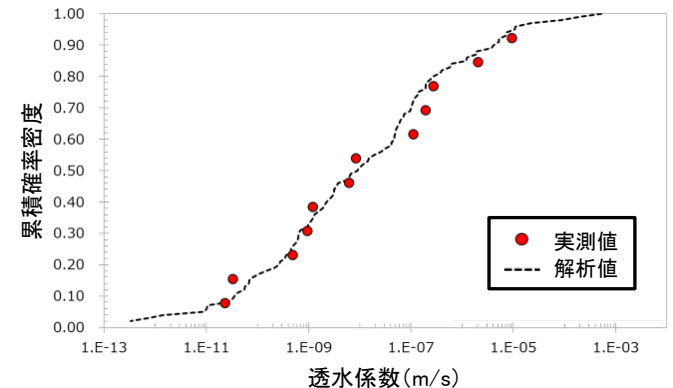
σ : 対数標準偏差: 2.5

r : 割れ目半径

C : 定数: 2.0



✓ 調査データに基づくDFNモデルの信頼性の確認



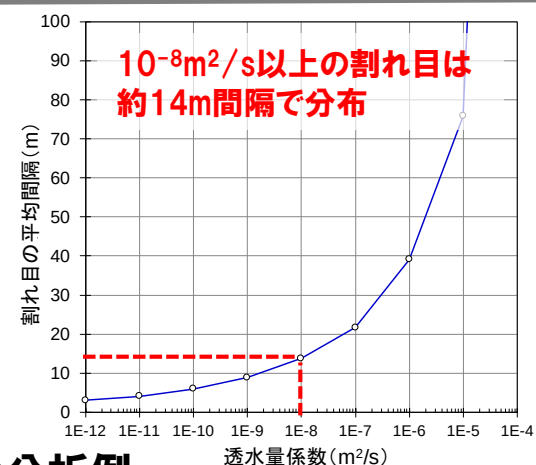
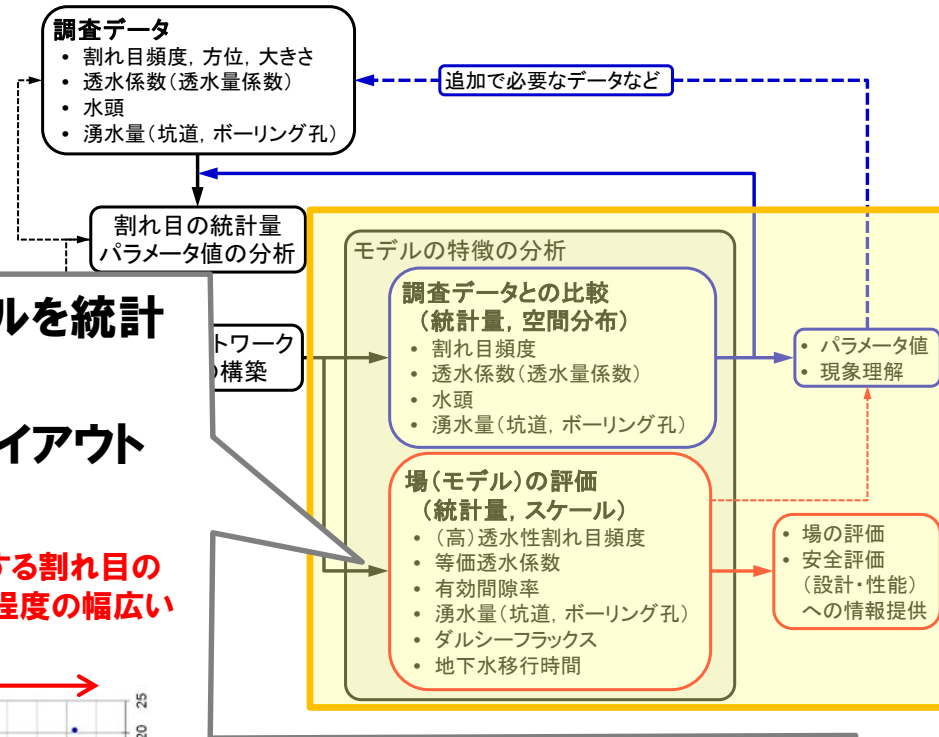
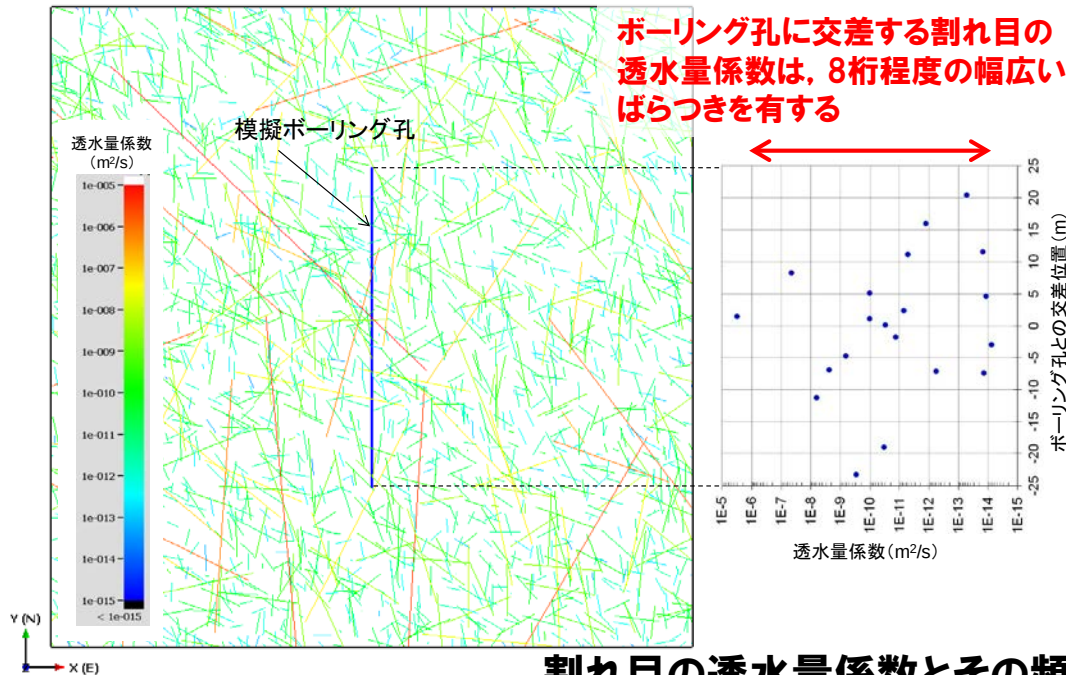
2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.1 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

➤ 成果:DFNモデルの特徴の分析

割れ目の透水量係数とその頻度といった具体的なDFNモデルの特徴の分析例を示すとともに、その結果の反映先を整理

- 対象領域における亀裂性岩盤のポテンシャルを統計的に可視化
- 透水性割れ目の頻度などを考慮した坑道レイアウトの最適化検討に有効



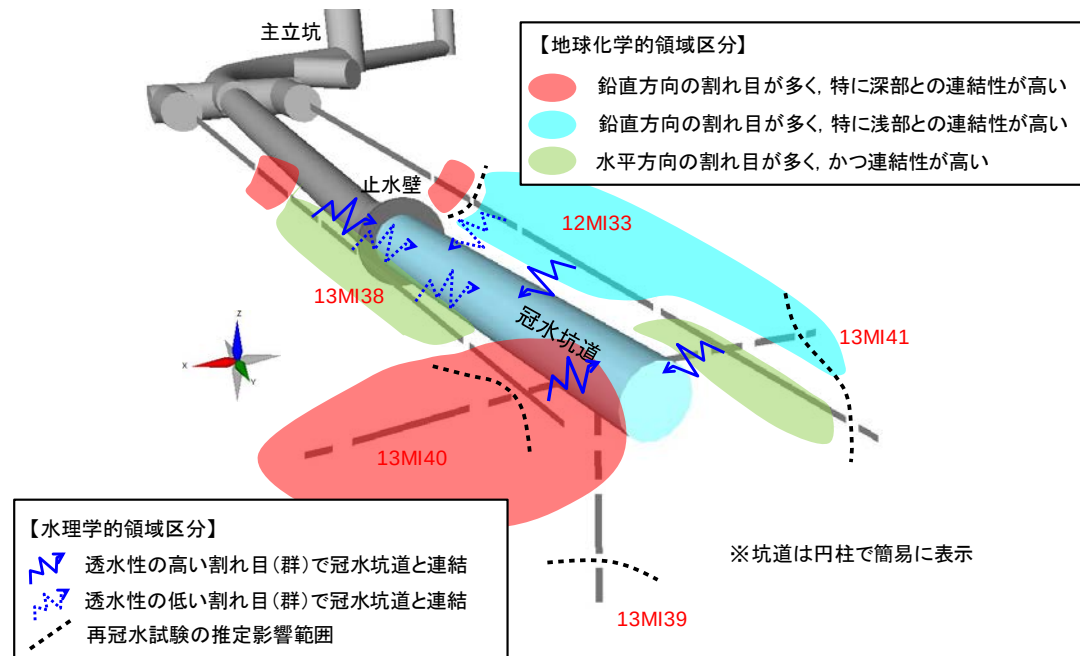
2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.1 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

➤まとめ(目標の達成度)

- ✓ 地下坑道で得られる情報を用いたDFNモデル化手法を提示。
- ✓ 割れ目の湧水の有無に着目したデータ解析や割れ目半径との相関性を考慮した透水性の設定といった考え方や手法が、岩盤中の割れ目の分布特性や透水性を統計的に再現する上で有効。
- ✓ DFNモデルを用いた地下水流動解析や粒子追跡解析を実施することで、亀裂性岩盤の不均質性や湧水可能性を定量的に評価でき、地下施設のレイアウト設計や建設時、安全評価に有効に活用できる。

➤現中長期計画末までに取り組む課題 坑道周辺岩盤の割れ目の空間分布 および地下水の水圧・水質分布やその 変化の再現確度の向上

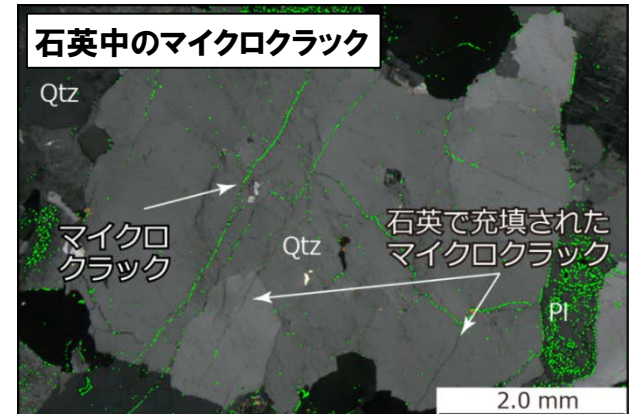
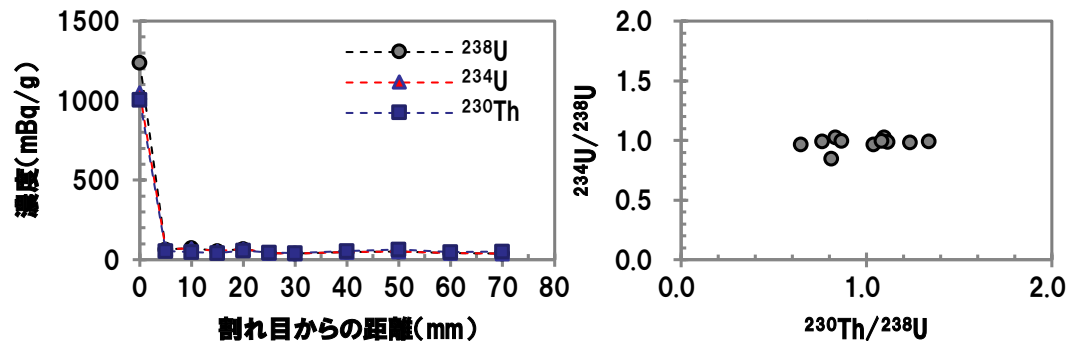


割れ目分布の不均質性を示した概念図

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.2 花崗岩中での物質移動現象の理解

- 成果の一部: ミクロスケールの物質移動現象の把握
 - ✓ 土岐花崗岩を事例として, 物質移動経路となり得る微小空隙を把握する手法を構築
 - ✓ 結晶質岩中の大部分を占める健岩部においても, マトリクス拡散が生じる可能性を提示
 - ✓ 天然トレーサーの分析に基づき過去100万年程度, 割れ目に沿って放射性元素の移動が生じていないことを例示
 - ✓ 天然トレーサーを用いた調査解析手法を提示



土岐花崗岩中の微小空隙(緑色の領域)

MIZ-1号孔の透水性割れ目を対象とした天然トレーサー(U, Th)の濃度および放射能比の分析結果

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.2 花崗岩中での物質移動現象の理解

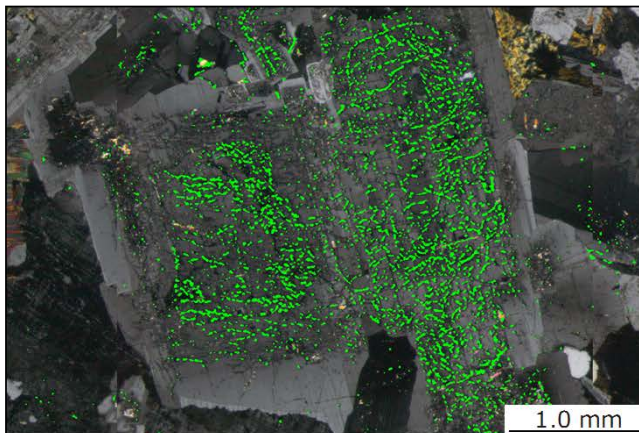
➤まとめ(目標の達成度)

- ✓ 現位置トレーサー試験技術および評価技術を整備
- ✓ 物質移動経路となり得る微小空隙を把握する手法を整備し、結晶質岩の大部分を占める健岩部における物質移動プロセスを明示
- ✓ 天然トレーサーを用いた長期にわたる物質移動現象を把握する手法を整備

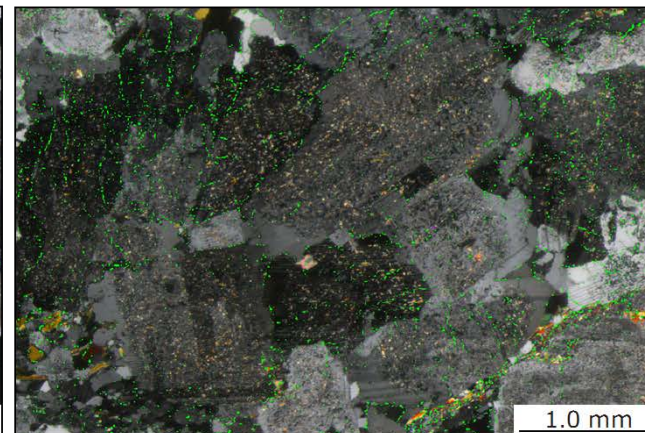
➤現中長期計画末までに取り組む課題

- ✓ 国内外における結晶質岩との比較による知見の汎用性確認
- ✓ 物質移動モデル化・解析に必要なパラメータの整理

土岐花崗岩



グリムゼル花崗閃緑岩



土岐花崗岩とグリムゼル花崗閃緑岩の微小空隙(緑色の領域)

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.3 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

➤ 研究の背景と達成目標

- ✓ 既往研究でコロイド、有機物、微生物とアナログ元素との相互作用の研究が行われており、コロイドが核種移行に影響する例も示されている。
- ✓ 様々な環境条件において、コロイド、有機物、微生物が物質移動に与える影響の基本情報を取得した上で元素の輸送・遅延量の評価手法を構築する。

➤ 実施内容

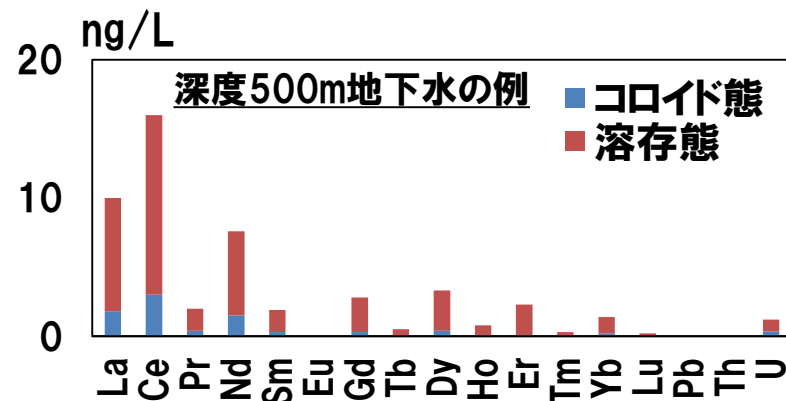
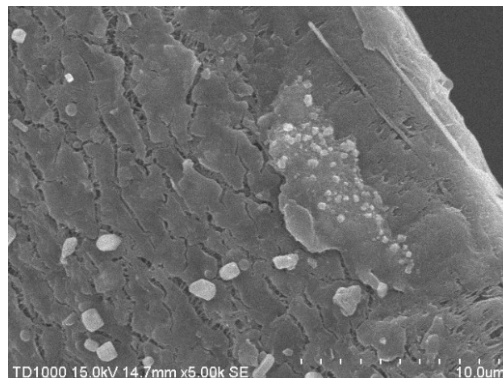
- ✓ 深度200～500mの地下水中のコロイド、有機物、微生物の存在量や各元素との相関について分析・解析
 - コロイド、有機物、微生物の調査手法の確立、留意点、ノウハウの提言
 - 花崗岩深部におけるコロイド、有機物、微生物の存在量、組成、およびそれらが元素の移動に与える影響の理解と評価手法の確立

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.3 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

- ▶ 成果の一例：花崗岩地下水中の①コロイドの量，②種類，③物質移動への影響，④重要なプロセス，⑤それらの調査手法を確立

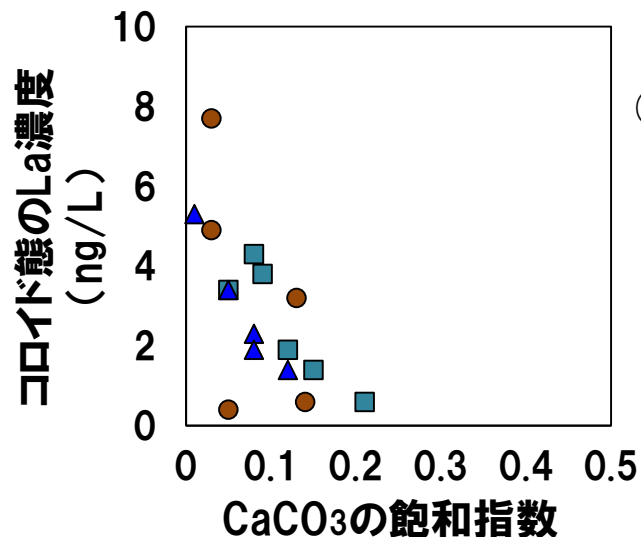
深度	コロイド濃度
200m	3.3 $\mu\text{g/L}$
300m	4.1 $\mu\text{g/L}$
400m	14.5 $\mu\text{g/L}$
500m	1.1 $\mu\text{g/L}$



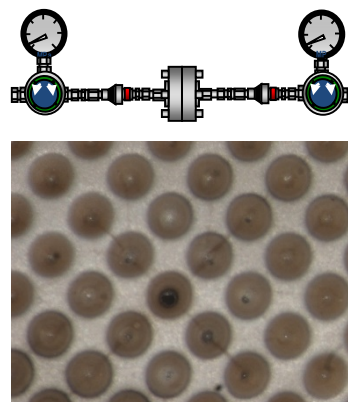
①数～十数 $\mu\text{g/L}$ のコロイドが存在

②主にケイ酸塩，硫化物，炭酸塩，鉄鋳物，有機物

③約1～4割のアナログ元素が主に炭酸塩コロイドと伴に移動



④炭酸塩コロイドとアナログ元素は，炭酸塩鋳物の飽和指数が過飽和になると減少

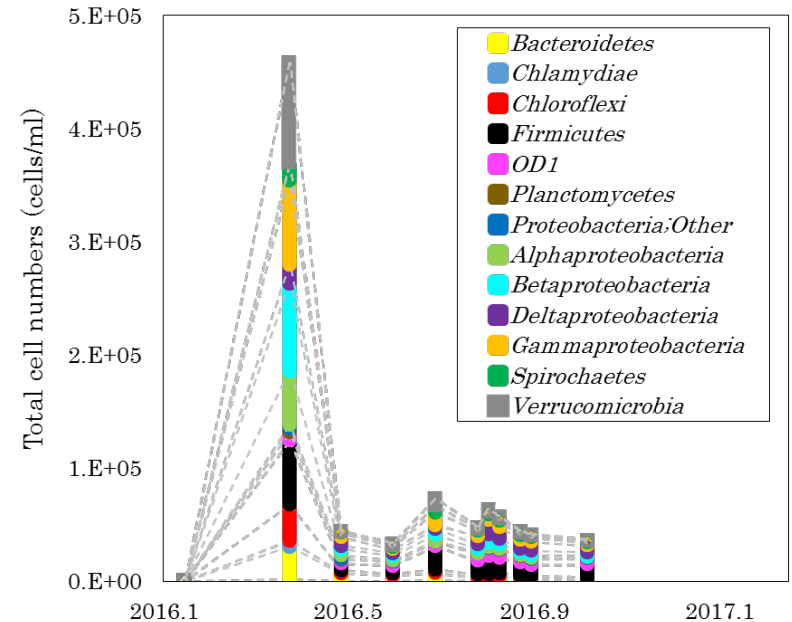
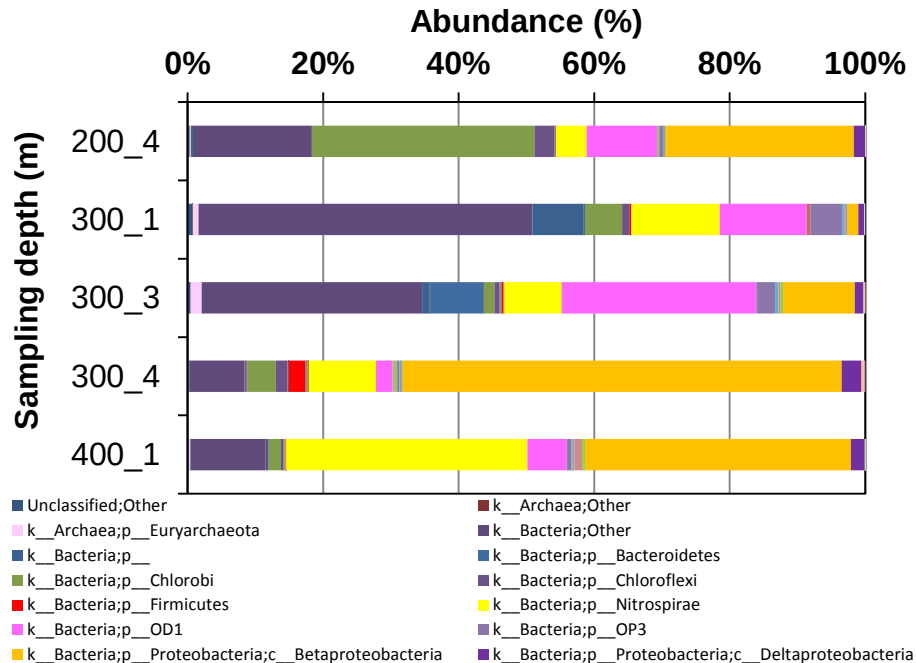


⑤限外ろ過や逐次抽出分析手法など，一連の調査手法の有効性を確認

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.3 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

▶ 成果の一例：花崗岩地下水中の微生物種，量，化学環境との相互作用を把握



- 細胞サイズは主に1 μm 以下と非常に小さく，約 $10^3 \sim 10^4$ cells/mLの微生物が存在
- 栄養源となる有機物等が低濃度であるため，堆積岩地下水と比較してサイズや存在量が小さい。
- Nitrospirae*門，*Proteobacteria*門 *Alphaproteobacteria*綱，*Betaproteobacteria*綱，*Chlorobi*門，*Candidate division OD1*，*Methanomicrobia*綱に分類される種が優占して存在
- 光合成由来のエネルギー源に依存していない硫黄やメタンで代謝する微生物の生態系が存在

坑道閉鎖時は，土着微生物と建設・閉鎖時に混入する微生物が混在。それらが酸素消費・硝酸還元・鉄還元・硫酸還元等の酸化還元反応を連続的に行うことにより速やかに還元的環境が回復する。その後，擾乱前の微生物存在量および種組成に落ち着いていく。

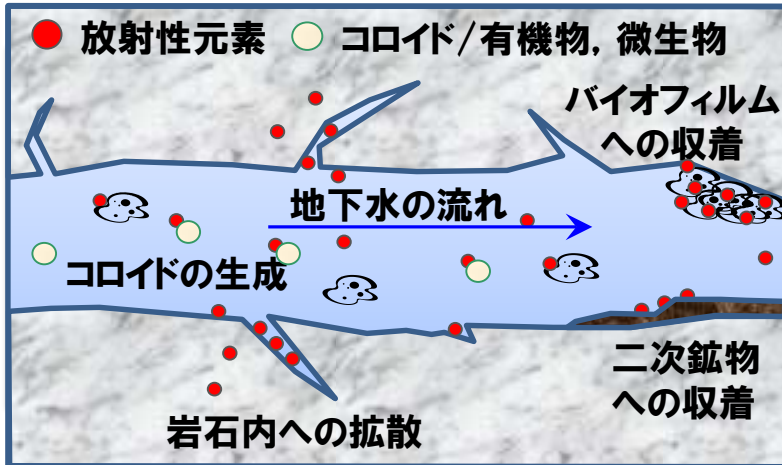
2. 物質移動モデル化技術の開発

2.1.3 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

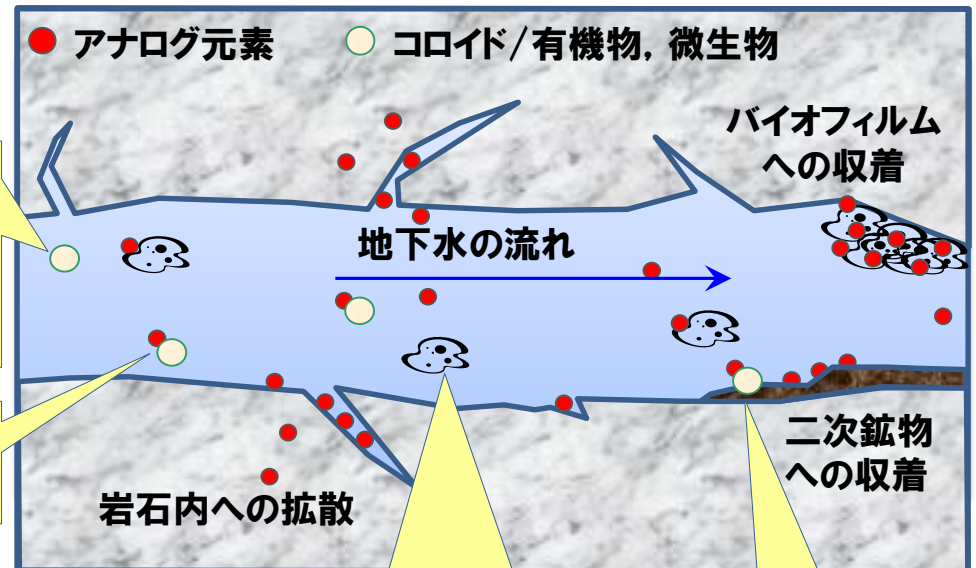
➤まとめ(目標の達成度)

花崗岩中のコロイド、微生物の調査手法を提示するとともに物質移動概念を更新

従来の漠然としたイメージ



より具体化されたイメージ



ケイ酸塩, 硫化物, 炭酸塩, 鉄鉱物, 有機物コロイドの生成

炭酸塩コロイドによる元素担持

硫黄やメタンで代謝する微生物による還元環境形成

過飽和状態での沈殿

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.2.1 断層などの影響を含めた地質環境特性の長期変遷解析技術

➤ 研究の背景と達成目標

- ✓ 既往研究では、岩盤の透水性に関わる長期的な地質現象の一つとして、400℃～700℃の高温流体による微細割れ目の形成や岩盤の透水性への影響例が示されている。
- ✓ 花崗岩の透水特性の形成過程に関わる基礎的知見を取得して、高温流体や断層の影響を評価する手法を構築する。

➤ 実施内容

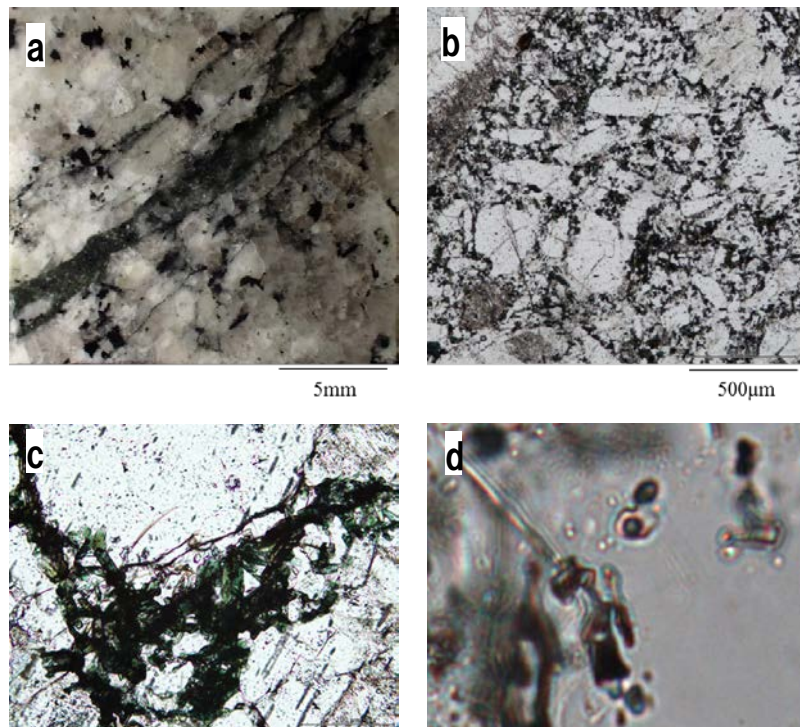
- ✓ 高温流体の痕跡である割れ目や充填鉱物の産状と形成温度に関わるコア観察、顕微鏡観察、EPMAを用いた化学組成分析・解析
 - ・高温流体による割れ目および充填鉱物の形成履歴調査手法の確立
 - ・断層と高温流体による充填鉱物の形成履歴と透水性との関係の把握と長期変遷解析技術(水理地質構造概念モデル(タイプ分類))の提案

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.2.1 断層などの影響を含めた地質環境特性の長期変遷解析技術

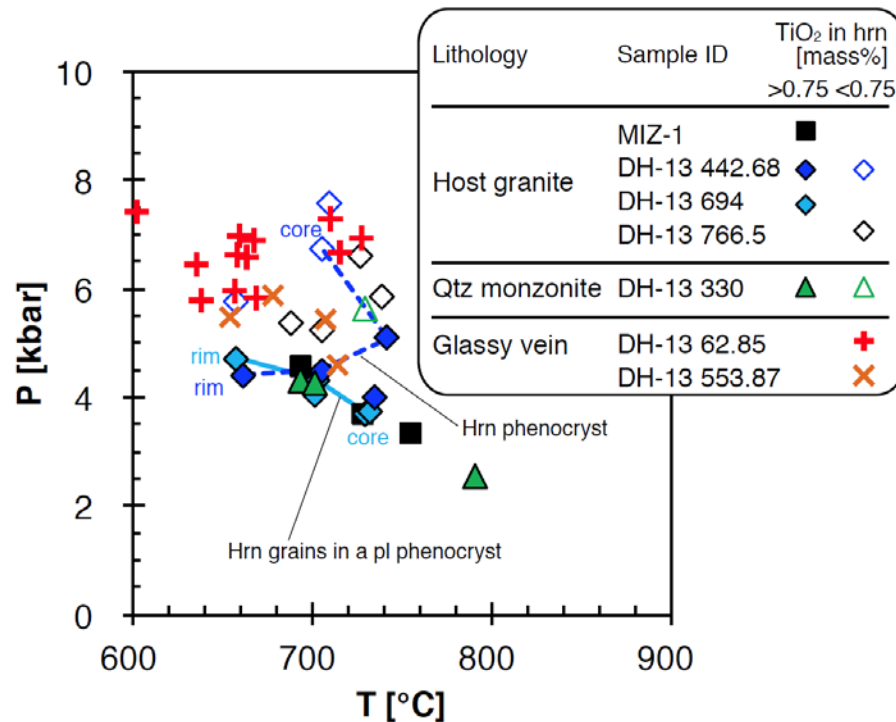
▶ 成果の一例: 土岐花崗岩の既存ボーリングコアを用いた, 高温流体による割れ目および充填鉱物の形成履歴調査手法の確立

・コア観察と薄片観察により高温流体の痕跡を確認, EPMA分析により温度推定



高温流体の痕跡(Glassy vein: ホルンブレンドタイプ)

a: 研磨片接写。幅2~3mmの黒脈と平行マイクロフラクチャー, 破碎した石英が認められる。b: 同薄片の顕微鏡写真(オープンニコル)。黒脈には石英, 長石破片の隙間に充填した細粒ホルンブレンド。c: 同, マイクロフラクチャーの開口部に析出した自形ホルンブレンド。d: 同, 石英結晶中の高塩濃度流体包有物(直径約10μm)。



EPMAによる温度の推定

角閃石-長石温度計 ([Holland and Blundy, 1994](#)) で, 母岩の構成鉱物とGlassy veinの充填鉱物の形成温度(約700℃)を推定。高温流体は, 液体と気体の中間的性質の超臨界流体であることを確認。

2. 物質移動モデル化技術の開発

2.2.1 断層などの影響を含めた地質環境特性の長期変遷解析技術

- まとめ(目標の達成度):断層と高温流体による充填鉱物, 微細割れ目の形成履歴と透水性との関係を把握し, 長期的な透水特性の変遷を例示

深度500m研究坑道付近の花崗岩タイプ

MIZ-1号孔 928.3-981.4 (mabh)

⑥Clay type

充填鉱物温度 高～低
(緑泥石, カルサイト, スメクタイト)
間隙率大, P波速度低
破碎部(断層), 貫入岩, 珪質部
割れ目多 透水性 低



MIZ-1号孔 580.8-597.1 (mabh)

⑤Explosion type

充填鉱物温度 高～低
(緑泥石, カルサイト, セリサイト)
間隙率中, P波速度中-低
高角傾斜開口割れ目, マサ状部
割れ目多 透水性 高

MIZ-1号孔 500-552.9 (mabh)

②Sealing type

析出鉱物温度 高
(石英, カリ長石)
間隙率小, P波速度中
ペグマタイト質 & 黒雲母濃集部
割れ目少 透水性 低

MIZ-1号孔 429.5-499.6 (mabh)

③Hydrothermal type

析出/充填鉱物温度 高～低
(カリ長石, 緑泥石, セリサイト)
間隙率小, P波速度中
石英卓越部～直上, 晶洞
割れ目中 透水性 中

MIZ-1号孔 436.3-439.4 (mabh)

④Chlorite type

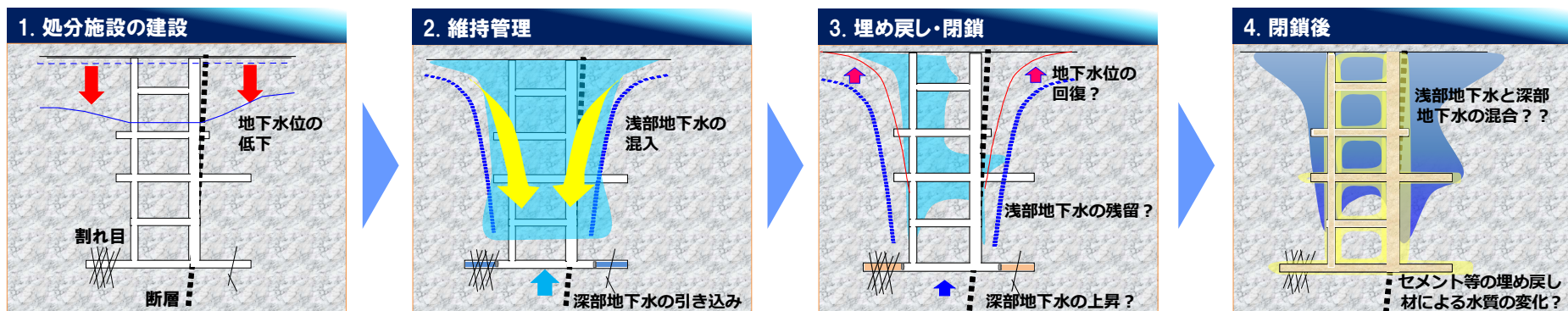
充填鉱物温度 中
(緑泥石, カルサイト)
間隙率中, P波速度中
高角傾斜せん断性割れ目
割れ目少 透水性 高

3. 坑道埋め戻し技術の開発

3.1.1 冠水坑道での再冠水試験

➤ 研究の背景と達成目標

- ✓ 処分事業の安全性評価にあたっては、処分施設の建設・操業により乱された地下水環境の施設閉鎖後の状態を推定し、評価を行う必要がある。
- ✓ 瑞浪を例として、地下水環境の回復過程や長期的な定常化過程にかかわる現象を理解するとともに、それらを調査・解析するための技術を整備する。



➤ 実施内容

- ✓ 瑞浪超深地層研究所では、坑道埋め戻し試験に先立って冠水坑道を閉鎖し、地下水により冠水させる再冠水試験を実施する。
 - 坑道閉鎖時の現象の理解と例示
 - 関連するシミュレーション技術やモニタリング技術などの構築

3. 坑道埋め戻し技術の開発

3.1.1 冠水坑道での再冠水試験

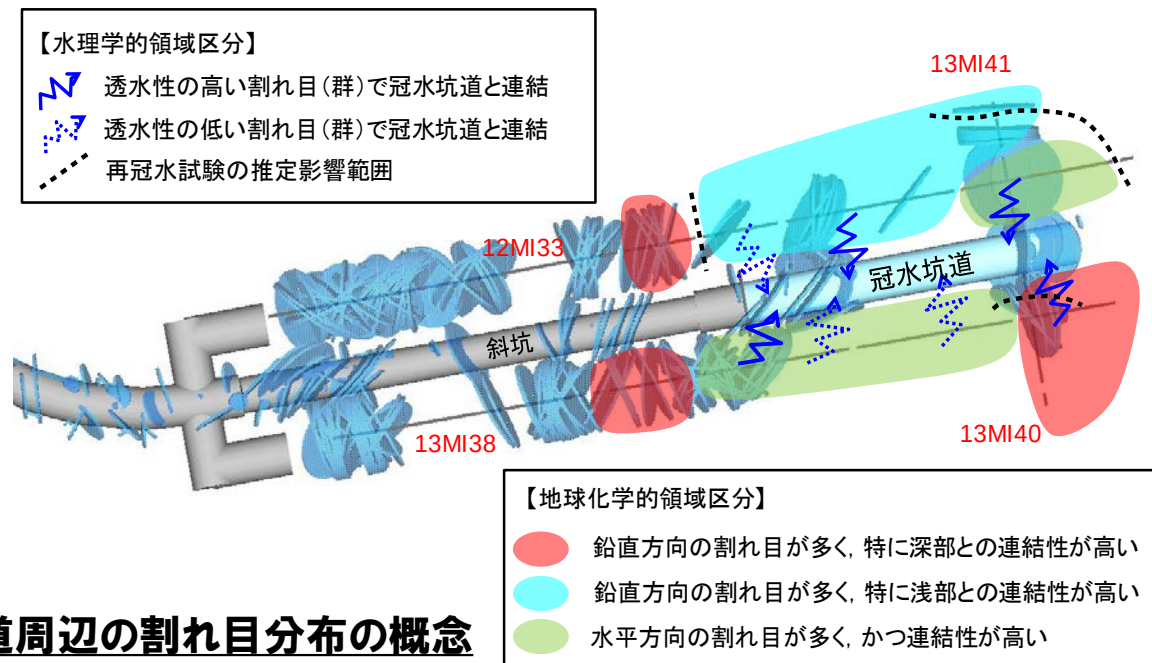
➤実施項目

項 目	概 要
(1) 坑道周辺の水理地質構造の確認	● 再冠水に伴う地下水の水圧・水質変化の観察, 冠水前後の2次元比抵抗探査, 冠水坑道周辺における湧水量計測
(2) 冠水時の水理-力学-化学特性の観測・解析	● 冠水坑道内および坑道周辺で, 冠水に伴う地下水の水圧・水質・岩盤変位の変化を観測 ● 百m程度の空間スケールの力学-水理-化学連成解析
(3) 坑道周辺の物質移動特性の調査	● 冠水時に, 坑道内の地下水に非収着性のトレーサー(ウラニン)を添加し坑道規模のトレーサー試験
(4) 予察的埋め戻し試験	● 坑道内のボーリングピットを埋め戻し, 埋め戻し材の変化をモニタリングするとともに観測機器の耐久性を確認
(5) モニタリング技術開発	● 地中無線通信技術で水圧の長期観測
(6) 止水技術の確認	● 耐圧性能5MPaの止水壁を設計・施工し, 冠水前・中・後の挙動を計測

(1) 冠水坑道周辺の水理地質構造の確認

➤ 成果の一例：岩盤の不均質性評価

- 坑道の冠水に伴う地下水の水圧や水質分布の変化から坑道周辺岩盤の水みちとなる割れ目分布を概念化
- 坑道周辺岩盤は数m～数十m程度の空間スケールで水理学的な不連続性を有する(釜石鉱山で推定されたコンパートメント構造と類似)



坑道周辺の割れ目分布の概念

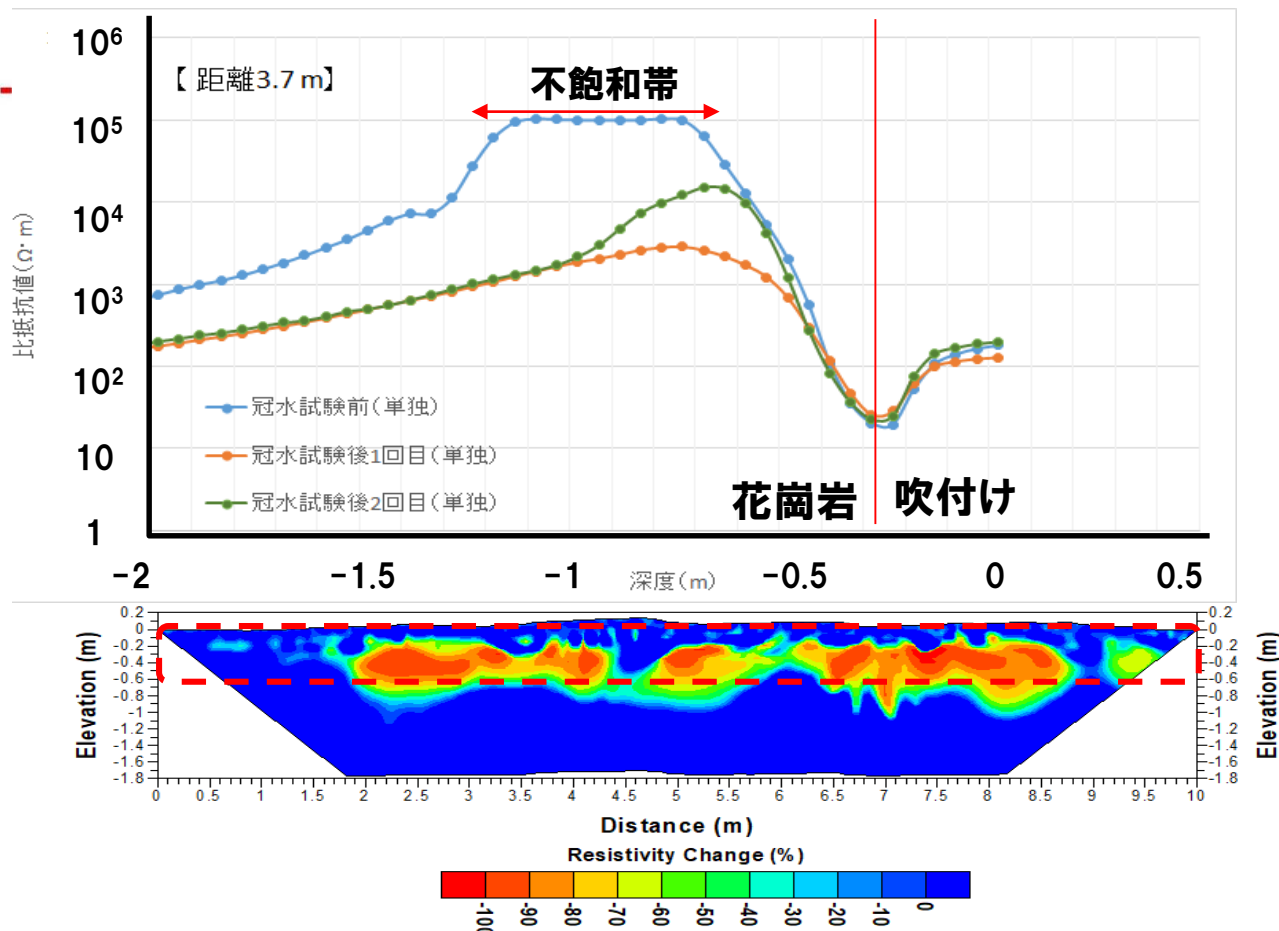
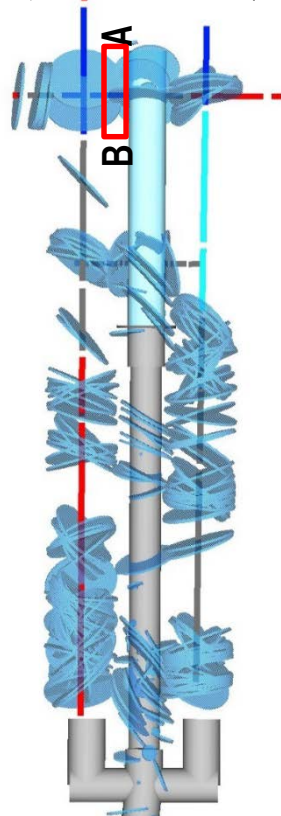
➤ まとめ(目標の達成度)

- 結晶質岩の不均質性評価の留意点を整理
- 花崗岩中には割れ目分布に応じて水理学的連結性が乏しい数m～数十mのコンパートメント構造が存在。坑道やピットなどのレイアウト設計時に留意する必要がある。

(1) 冠水坑道周辺の水理地質構造の確認

➤ 成果の一例

冠水前後の比抵抗探査により、地下水が動き得る水理学的なEDZを把握



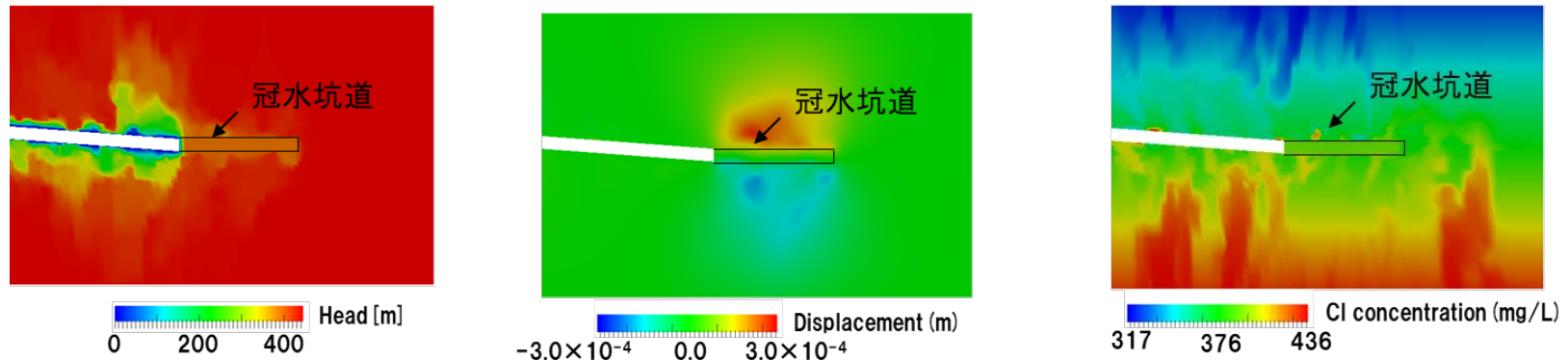
➤ まとめ(目標の達成度)

- 坑道周辺の水理学的なEDZ(壁面から1m程度)を同定
- 吹付け裏面水みちなどを含めた透水特性の評価が今後の課題

(2) 冠水時の周辺岩盤の水理-力学-化学特性の観測・解析

➤ 成果の一例:

- 既往の連成解析ソフトウェア(COUPLYS)を, 岩盤不均質性のモデル化, モデル大規模化, 解析速度高速化の観点で改良し, 汎用性の高いツールとして整備
- 百m程度の空間スケールを対象として, 等価連続多孔質媒体(ECPM)モデルによって割れ目の不均質性やネットワーク構造をモデル化できる見通しを得た



坑道冠水後を対象とした解析結果の一例 (坑道冠水1年後)

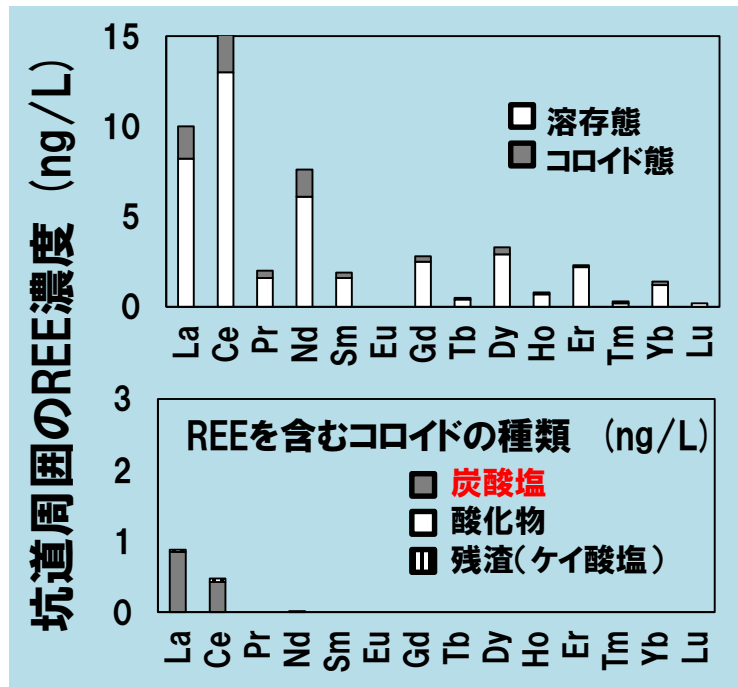
➤ まとめ(目標の達成度)

- 解析の目的に応じた最適なモデル化手法とその適用範囲を提示(割れ目ネットワークモデルやECPMモデルなど手法の使い分けや複数手法の組み合わせなど)
- 坑道掘削や閉鎖に関わる予測の可否・精度は割れ目情報量に依存。坑道掘削段階では地下水の水圧・水質の局所的変化の予測は困難だが, 坑道全体の湧水量予測は可能。

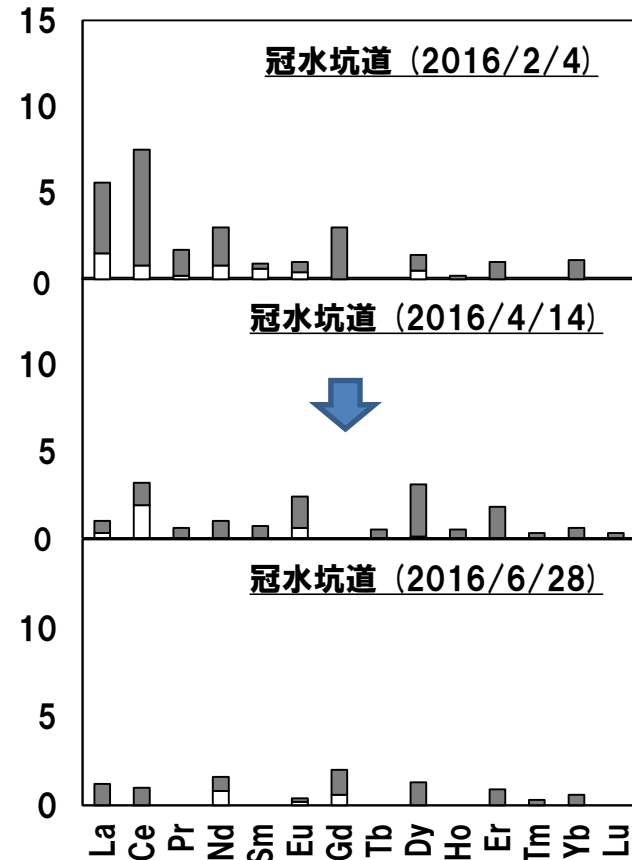
(3) 冠水坑道周辺の物質移動特性の調査

➤ 成果の一例

希土類元素(REE)は一部の放射性元素と同様の化学的性質を示すため、それを観察することで坑道内が好ましい条件かどうか判る。



坑道内のREE濃度 (ng/L)



➤ まとめ(目標の達成度)

- 閉鎖坑道内の物質移動特性を明示
- 坑道閉鎖により希土類元素濃度(溶存態/コロイド態のREE)が時間とともに減少し、希土類元素が動きにくい環境が形成される。

(4) 予察的埋め戻し試験

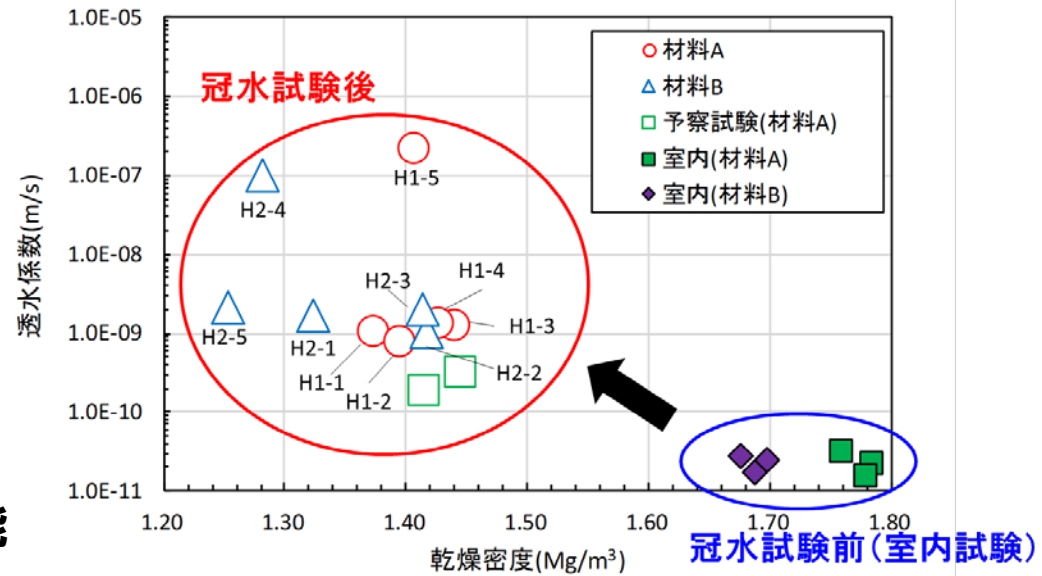
➤ 成果の一例: 埋め戻し材の物性値



- ベントナイト混合土の膨潤性は混合率に関わらず, 室内試験と同程度の性能が発揮されていることを確認
- 施工後の埋め戻し材内部は飽和状態にあるとともに, 乾燥密度によらず概ね 10^{-9}m/s 程度の透水係数が保持されていることを確認

➤ まとめ(目標の達成度)

- 埋め戻し材の物性値を確認終了。
- 湧水のある坑道において, ベントナイト混合土は混合率に関わらず室内試験と同様の膨潤性を期待できる。原位置施工後には, 10^{-9}m/s 程度の均質な透水係数を期待できる。



材料A ベントナイト:砂:礫=15:35:50

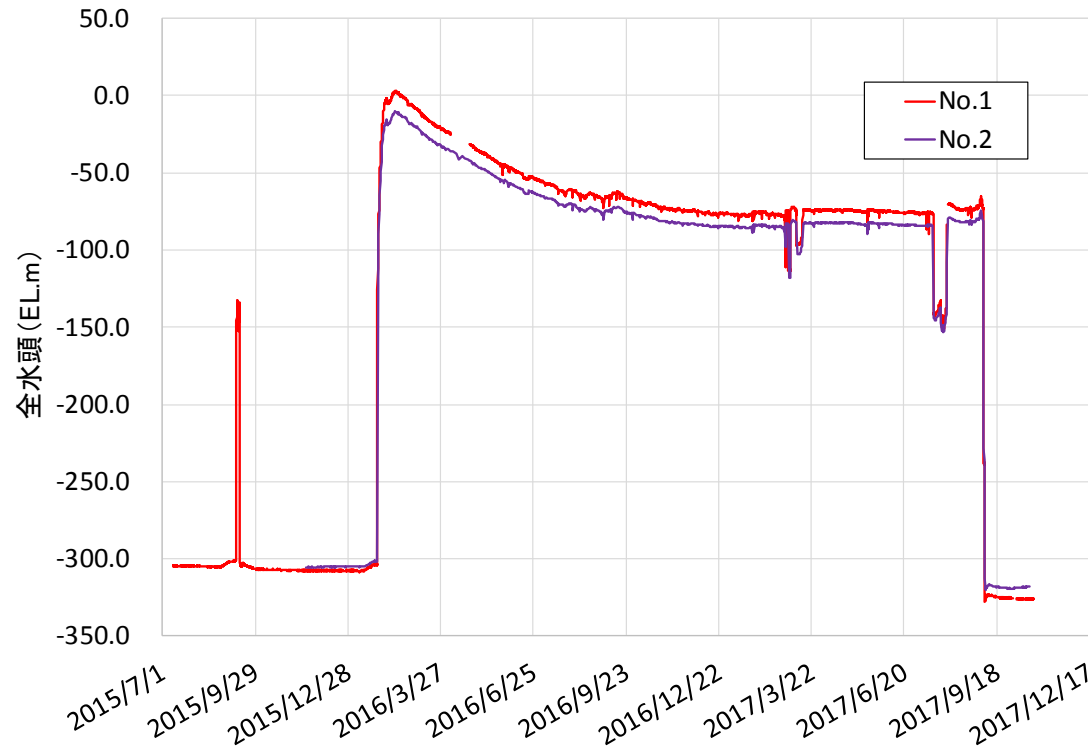
材料B ベントナイト:砂=15:35

埋め戻し材の透水性

(5) モニタリング技術開発

➤ 成果の一例：地中無線通信技術

- 地中無線水圧観測システムで、約28ヶ月間の観測期間を通して概ね所定頻度でデータが取得できていることを確認



地中無線水圧観測システムによる水圧観測結果

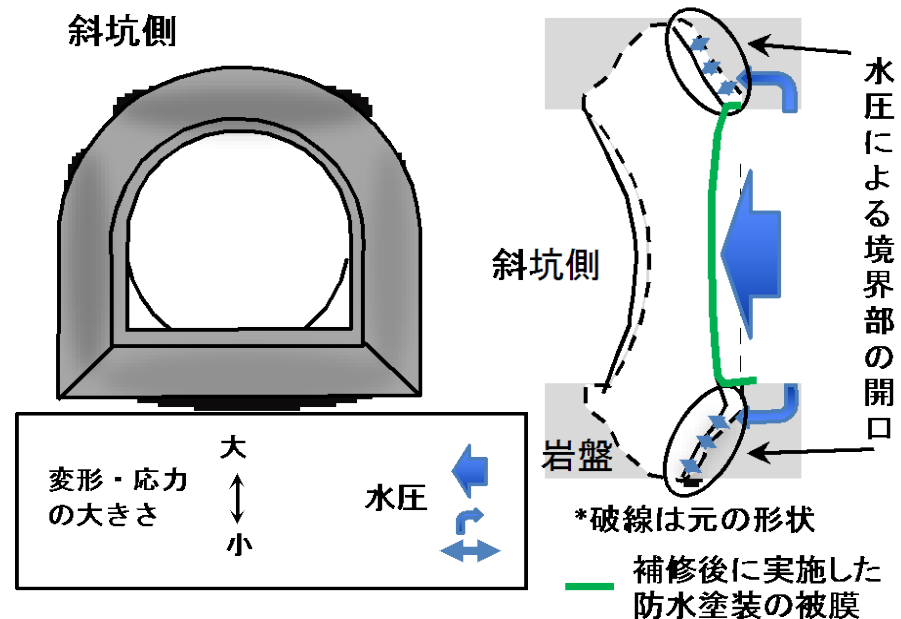
➤ まとめ(目標の達成度)

無線通信技術の結晶質岩中での計測への適用性を確認(閉鎖坑道から数十m程度の通信は可。より長距離での中継器を介した通信性は未確認)

(6) 止水技術の確認

➤ 成果の一例

- 各種変位・応力の計測結果から、止水壁と岩盤の境界部からの地下水の回り込みや止水壁内部への地下水の浸透を確認
- カルシウムなどの溶脱に伴うコンクリートの強度変形特性の低下や水みちの進展といった再冠水試験中の止水壁内部および周辺の状態変化を推定



各種計測結果から推定される
止水壁の状況(概念図)

➤ まとめ(目標の達成度)

- 岩盤との境界部の処置方法とその効果を例示
- EDZの部分に恒久的な止水性能を持つ材料を直接注入するなど更なる検討が必要
- 高い耐圧性能が必要な止水壁のような地下構造物の補修方法を例示

3. 坑道埋め戻し技術の開発

3.2 長期モニタリング技術の開発

➤ 研究の背景と達成目標

- ✓ 処分事業では、施設閉鎖後に形成される環境条件を推定して安全評価を行う。
- ✓ 地下施設の建設・操業・閉鎖に伴う周辺環境条件の変化を例示し、閉鎖後の環境条件の予測解析手法を提示する。

➤ 実施内容

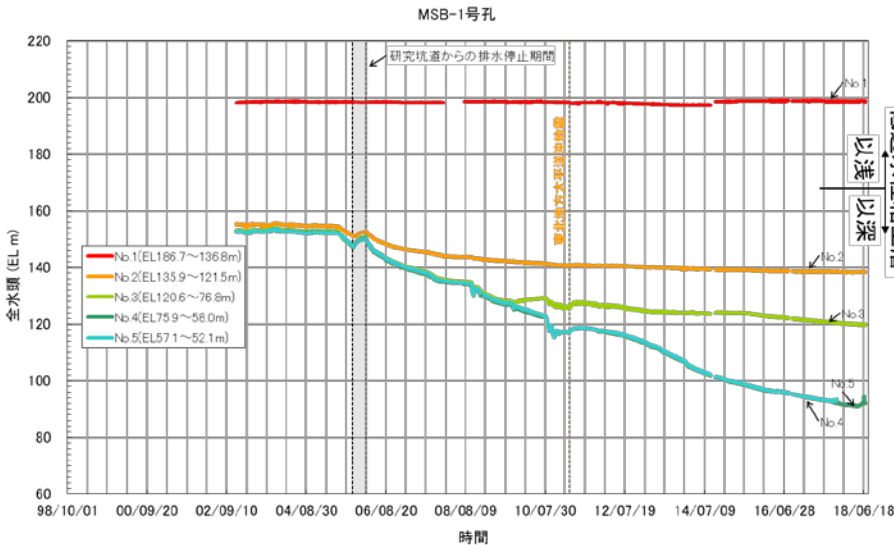
- ✓ 長期的な環境条件の予測解析技術を構築するため、施設建設前～閉鎖後のモニタリング手法及び解析技術を開発する。
 - 2003年から約15年間、地表(観測孔6本・50区間)、坑道(観測孔20本・73区間)において水圧・水質を観測、観測機器などの実用性の確認
 - 花崗岩に地下施設を建設した場合に起こる環境変化の解析手法の検討

3. 坑道埋め戻し技術の開発

3.2 長期モニタリング技術の開発

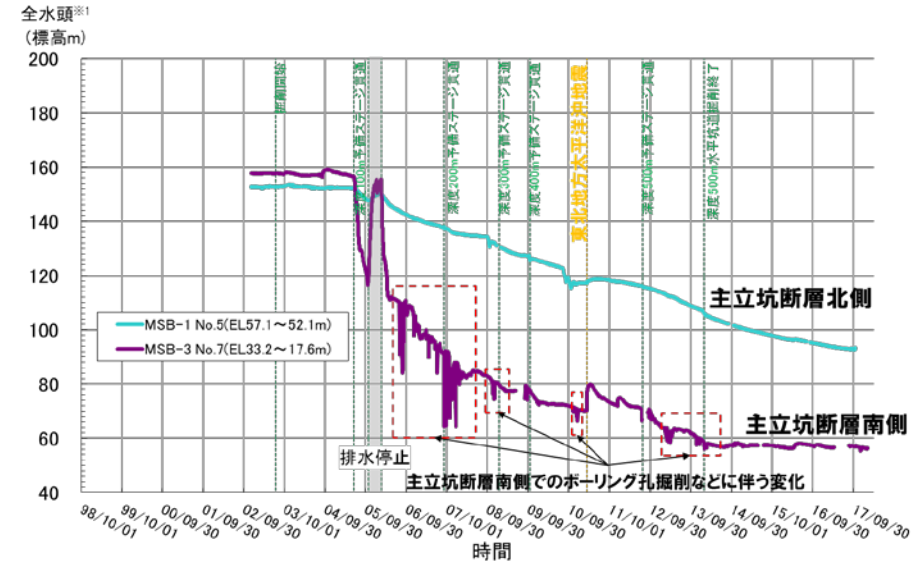
➤ 成果の一例：施設建設前～施設建設・維持管理中の地上からのモニタリング（水圧）

● 低透水性の水理地質構造が、施設建設・維持管理中の水圧変化に与える影響を明示



浅部の粘土層を境に水圧応答が異なる例

- ✓ 粘土層以浅では、坑道掘削および地震に伴う全水頭の変化は確認されず
- ✓ 粘土層以深では、坑道掘削に伴い全水頭が低下



低透水性の断層を境に水圧応答が異なる例

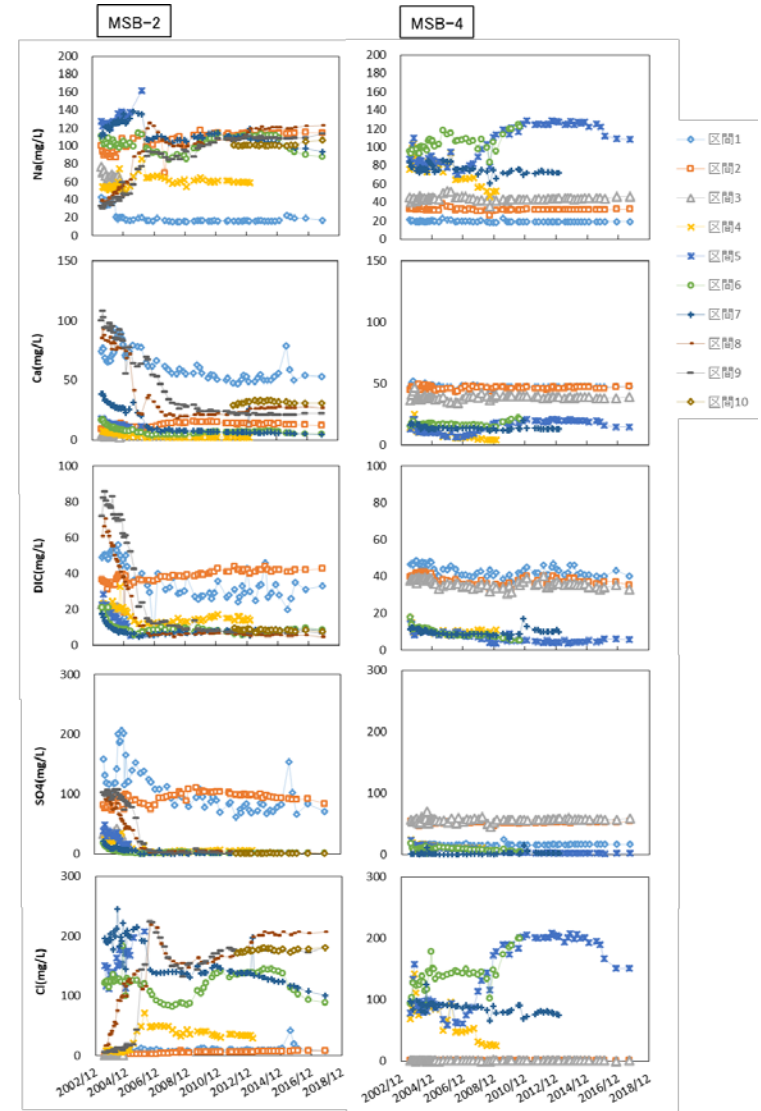
- ✓ 主立坑断層北側：掘削時・地震時の全水頭低下 小
- 主立坑断層南側：掘削時・地震時の全水頭低下 大
- ✓ 主立坑断層北側では主立坑断層南側でのボーリング掘削に伴う水圧応答は確認されず

3. 坑道埋め戻し技術の開発

3.2 長期モニタリング技術の開発

▶ 成果の一例：施設建設前～施設建設・維持管理中の地上からのモニタリング（水質）

- 低透水性の水理地質構造の分布と地下水の水質変化の関連性を明示
 - ✓ 深度50m付近の低透水性粘土層を境として粘土層以浅では地下施設建設に伴う水質の変化は認められず
 - ✓ 粘土層以深では研究坑道掘削初期に、相対的深部の地下水の湧昇によりNaやCl濃度の上昇を確認
 - ✓ ^3H とCFC-12濃度から深度400mまでの浅層地下水の混入率を最大で50%程度と推定
- 多変量解析（主成分分析）による水質の中長期変化の予測解析手法を提示



地下水の水質変化

3. 坑道埋め戻し技術の開発

3.2 長期モニタリング技術の開発

➤まとめ(目標の達成度):施設建設・操業・閉鎖時の汎用的モニタリング, 解析手順を提示

①水理地質構造を踏まえ施設設計



①施設建設時の地下水湧水量・水質と周辺の水圧低下領域の経年変化の予備解析



②解析上の水圧低下領域, 坑道, 地表に連続する水理地質構造に観測点を設置



③建設時に遭遇した想定外の水理地質構造, 水圧応答が観察された観測点の観測強化



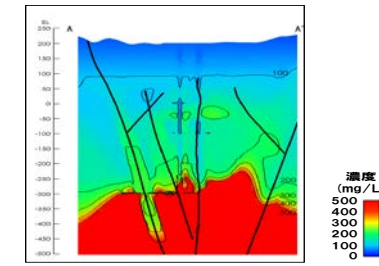
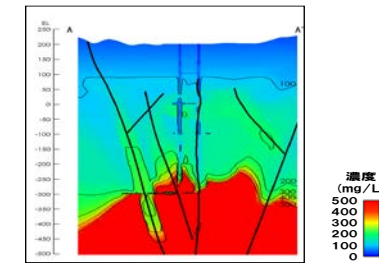
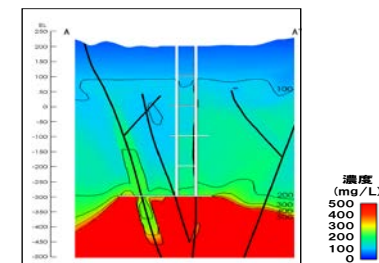
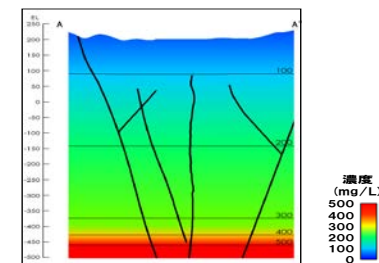
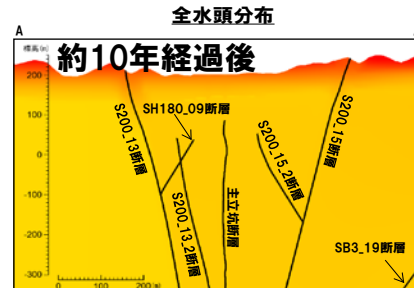
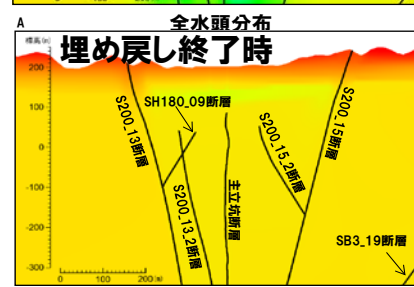
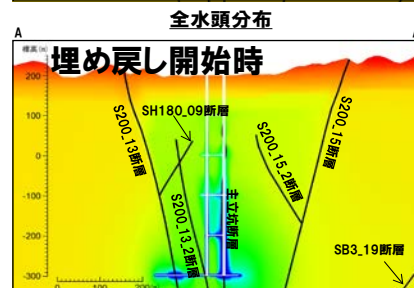
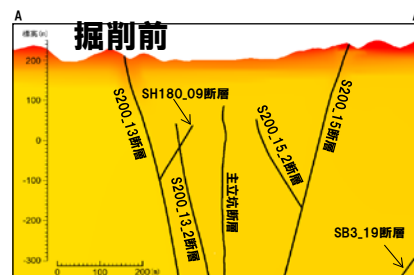
④観測データに基づき数十年スケール(操業中)の施設建設影響の予測解析



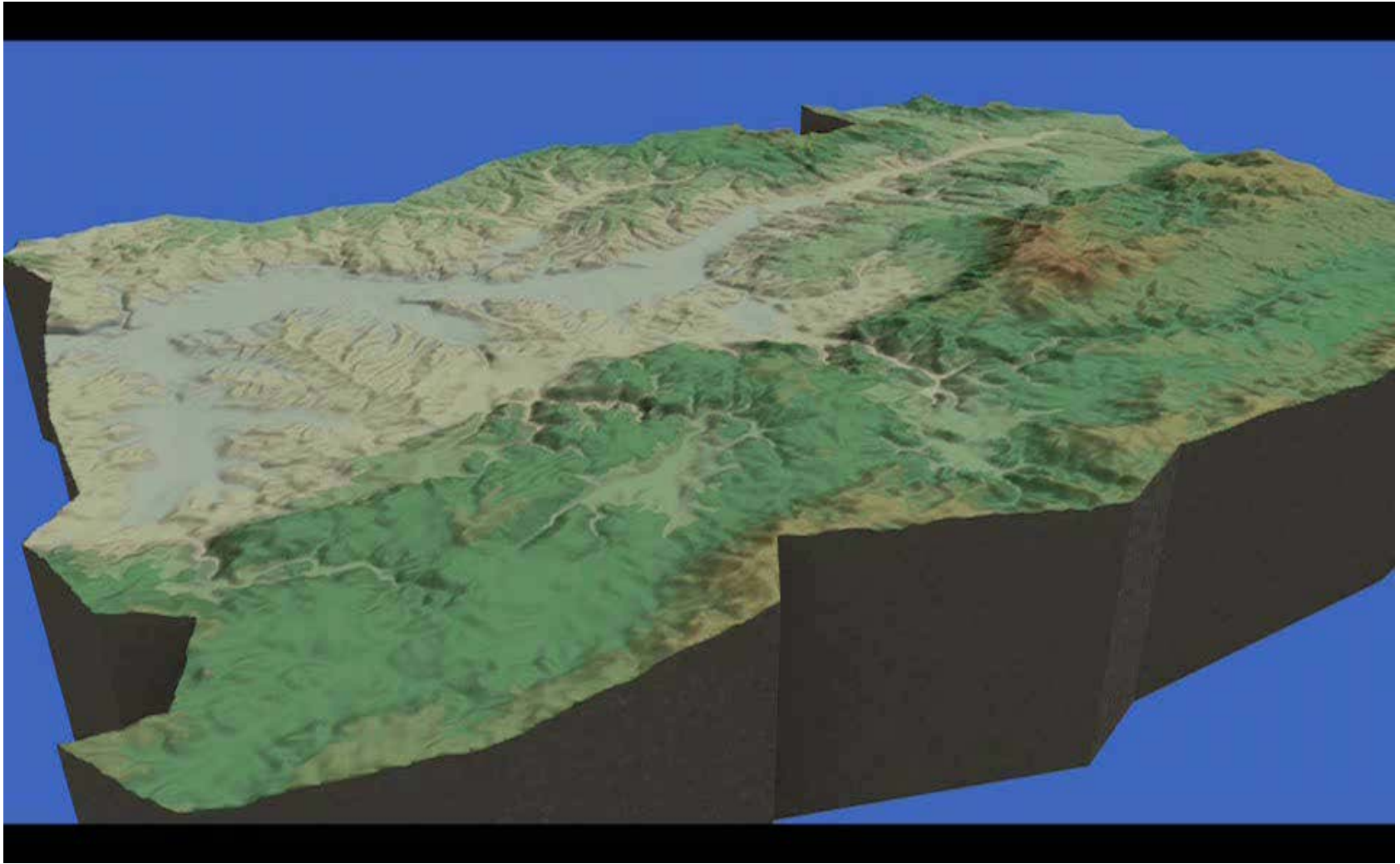
⑤予備的な坑道閉鎖により水圧・水質回復過程の観測



⑥水圧・水質回復データに基づき施設全体閉鎖後の予測解析



2. 物質移動モデル化技術の開発 3. 坑道埋め戻し技術の開発



➤まとめ(目標の達成度)

- 長期モニタリング, 地下水流動解析に基づくシミュレーションを可視化
- 施設閉鎖以降の可視化が今後の課題

まとめ

項目	達成目標	達成度	H31末までに実施すべき作業
地下坑道における工学的対策技術の開発	- 湧水量を制御するウォータータイトグラウト施工技術の実証 - 地下水排水処理技術等の高度化	- グラウト施工技術の実証終了 - 排水処理技術の実績蓄積 - 技術報告書:21件 - 論文:15件	終了
物質移動モデル化技術の開発	- 物質移動現象の理解・モデル化 - 割れ目の透水性, 地下水流動・水質の長期変化, 地下水流動の緩慢さの例示	- マトリクス拡散, コロイド・微生物による物質移動現象を明示。地下坑道の情報を用いたDFNモデル化手法を提示 - 技術報告書:43件 - 論文:49件	- 割れ目分布, 水圧・水質変化の解析再現確度の向上 - 国内外の結晶質岩との比較による知見の汎用性確認
坑道埋め戻し技術の開発	- 坑道の一部埋め戻し, 冠水時の地質環境の回復能力等を評価 - 地質環境に応じた埋め戻し技術の構築 - 長期観測に必要なモニタリング技術の開発	- 坑道閉鎖時の環境変化の観測終了, 解析は継続中 - 埋戻し材物性値の確認終了 - 無線通信技術の確認終了 - 建設～閉鎖時のモニタリング手順を提示 - 技術報告書:35件 - 論文:7件	- 坑道一部埋め戻し, 施設閉鎖時の知見の取得 - 施設スケールの長期モニタリング技術実証