



深地層の研究施設計画の 今後の課題について

—瑞浪超深地層研究所計画—

平成26年12月8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

内容

- **必須の課題**
- **必須の課題の実施場所**
- **今後の取組**

必須の課題

必須の課題(第16回深地層の研究施設計画検討委員会)

- 地下水抑制技術(ウォータータイトグラウト技術)の開発
- 地質環境機能回復評価に関わる調査評価技術の開発
- 長期モニタリング技術の開発
- 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
- 地質環境の長期変遷解析技術の開発
- 深部地下水の起源・滞留時間の理解



必須の課題 (機構改革報告書)

地下坑道における工学的対策技術の開発
(ウォータータイトグラウト技術)

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)

物質移動モデル化技術の開発
(低透水性領域での亀裂ネットワークモデル化手法、地質環境の長期変遷解析技術、深部地下水の起源・滞留時間の理解)

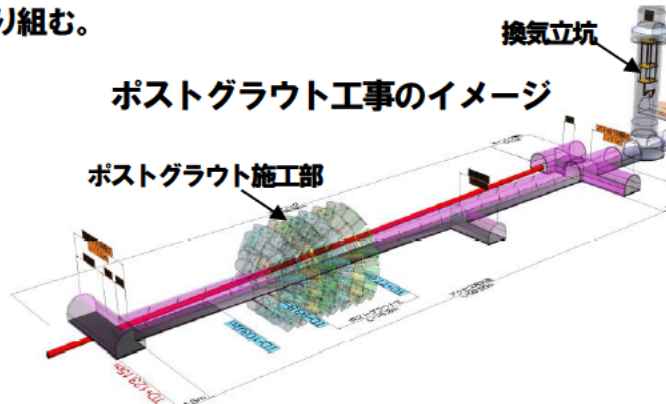
必須の課題

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〕 深度500mの研究坑道において、坑道への湧水量をブ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。



③坑道埋め戻し技術の開発

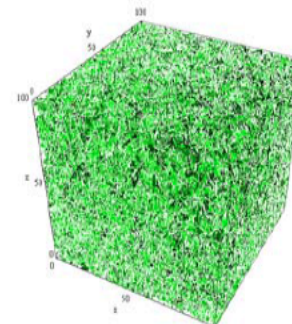
- ◆坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術
- ◆長期モニタリング技術など

〔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。

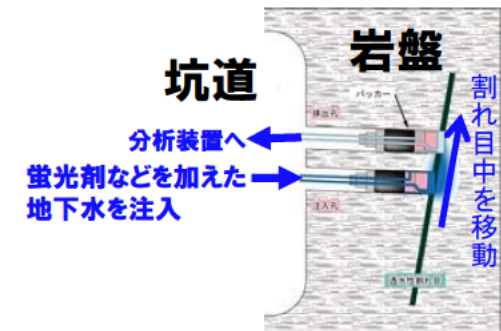
②物質移動モデル化技術の開発

- ◆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

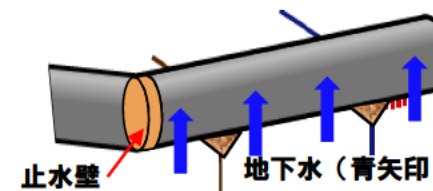
〔概要〕 深度500mの研究坑道において、花崗岩中の割れ目での物質の移動現象を理解し、モデル化するための調査解析を実施する。また、割れ目の透水性及び地下水の流動・水質の長期的変化や地下水流動の緩慢さを明らかにするための調査を実施する。



割れ目分布モデル



研究坑道内での物質移動試験の例



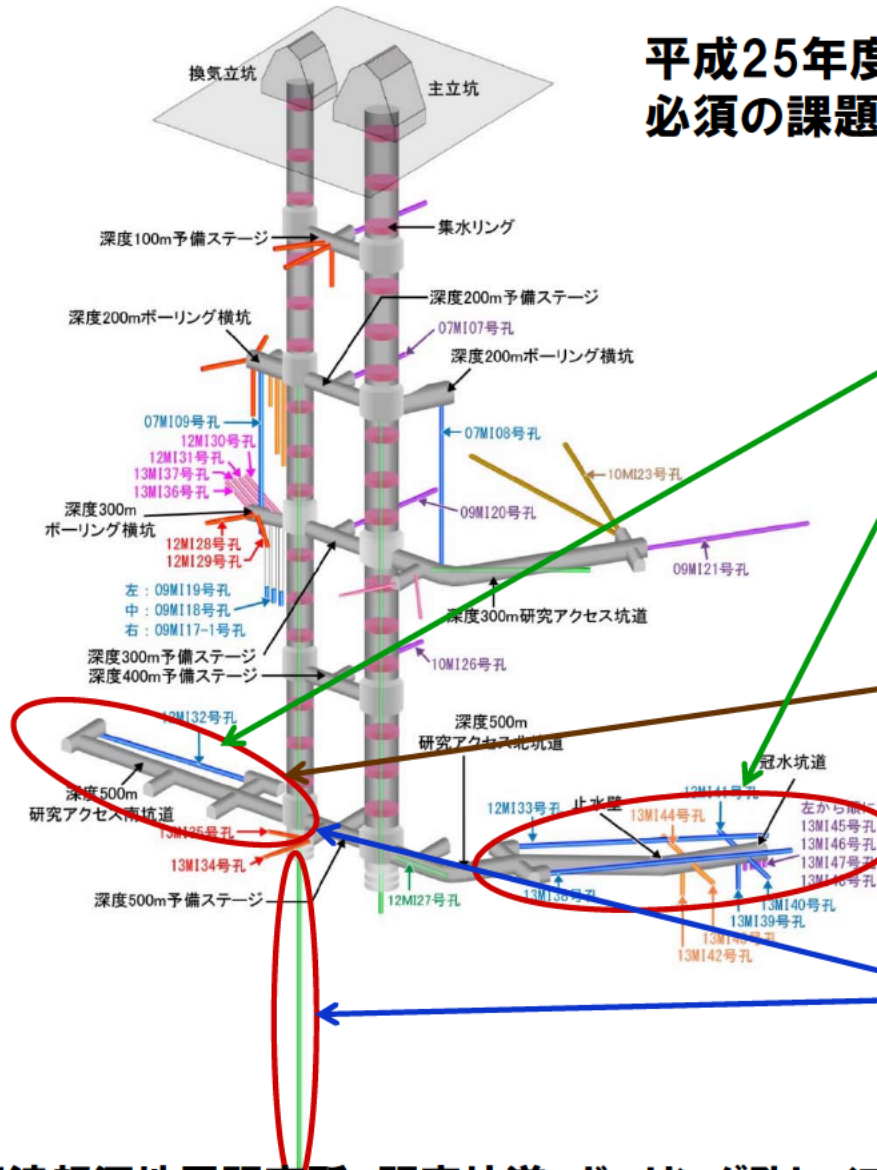
再冠水試験のイメージ



モニタリング装置

必須の課題の研究実施場所

平成25年度までに掘削終了した深度500mまでにおいて、
必須の課題に関する研究開発を実施



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

今後の取組

抽出した必須の課題を実施するため、水平坑道の掘削深度は平成25年度に掘削終了した深度500mまでとして土地賃貸借期間(平成34年1月まで)を念頭に置いて、研究を実施する。また、原子力機構の第3期中期計画期間(平成27～31年度)末までに、研究の進捗状況等を確認し、跡利用検討委員会での議論も踏まえ、坑道埋め戻しなどのその後の進め方について決定することとする。

参考資料

必須の課題の設定の考え方

◆今後の課題の網羅的抽出と必要性の確認

- ✓ 取りまとめによる課題の抽出
- ✓ 我が国特有の地質環境
- ✓ 諸外国の動向

◆外部ニーズとの整合性の確認

- ✓ 我が国のエネルギー基本政策
- ✓ NUMOにより提示されている課題との整合性

取りまとめによる課題の抽出(1)

CoolRep H26

1. はじめに

作成日 2014年8月13日(水曜) 07:37
最終更新日 2014年9月29日(月曜) 07:09

1.1 深地層の研究施設計画および地質環境の長期安定性に関する研究経緯と現状

第2期中長期計画(日本原子力研究開発機構, 2012)の対象期間(平成22年4月~平成27年3月)における深地層の研究施設計画および地質環境の長期安定性に関する研究では、掘削：地下500m程度、掘削：地下350m程度までの坑道掘削とそれに伴う調査研究による各調査技術やモデル化手法の妥当性評価及び深地層における工学技術の適用性の確認、ならびに精密調査において重要な地質環境条件に留意して、天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する手法の整備を研究課題として掲げ、調査研究を実施した。

深地層の研究施設計画に關しては、5カ年に及ぶ研究坑道の掘削とそれに伴う調査研究を展開し、平成26年9月末現在、瑞浪超深地層研究所において深度500mまでの2本の立坑及び同深度の延長約430m水平坑道、幌延深地層研究センターにおいては深度350mまで到達する3本の立坑及び延長約760mの深度350m調査坑道が完成(図1-1)するとともに、課題達成に必要な地質環境データの取得と解析評価を実施した。さらに、幌延では人工バリアなどの工学技術の検証をはじめとする地層処分研究開発に関する調査試験を展開した。また、地質環境の長期安定性に關する研究に關しては、精密調査において重要な地質環境条件に留意して、天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する手法の整備として、①調査技術の開発・体系化、②長期予測・影響評価モデルの開発、③年代測定技術の開発の3分野を重点的に進め、変動帯を特徴とする日本の地質環境に応じた調査解析技術やノウハウ等を集約した。

瑞浪超深地層研究所

幌延深地層研究センター

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(掘削擾乱領域)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・施設閉鎖方法や手順の提案**
- 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
 - ・ **ウオーター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

取りまとめによる課題の抽出(2)

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(掘削擾乱領域)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 - ウオーター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

必須の課題

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)

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
タータイトグラウト技術、地
下水管理技術)

日本の地質環境の特徴

- 変動帯に位置し、岩盤の地質年代が若い
(地温勾配が高い)
- 湿潤温暖な気候
(年間降雨量が多い)



- 地殻変動が活発(地震/断層運動、隆起/侵食、火山)
- 複雑な地質構造
- 熱水変質鉱物を伴う割れ目が多い
- 地下水が豊富

要素	日本:瑞浪URL	スウェーデン:HRL	備考
岩体 隆起速度 地温勾配	・7000万年前に形成 ・7000万年前から現在までの平均隆起速度は 約0.15mm/年 ・地温勾配:1.7℃/100m (日本の平均地温勾配:3℃/100m)	・18億年前に形成 ・2億年前から現在までの平均隆起速度は 約0.02mm/年 ・地温勾配:1.5℃/100m	山崎他 (2012) Soderlund (2008) Stanfors et al. (1999)
断層/割れ目頻度	約11本/m (深度300m坑道壁面)	2.5~6.5本/m	坑道内の調査結果
岩盤の透水係数	透水係数: 10^{-6} – 10^{-8} m/s	透水係数: 10^{-8} – 10^{-10} m/s	Mazurek (2001)
変質の程度	全体の約30%	約10%	Yoshida et al. (2009)
割れ目充填物	約30%の割れ目に粘土充填物(未固結)がある	粘土充填物はほとんど無い	
断層の認識性	・100~200mの被覆層が存在 ・断層規模が被覆層と花崗岩で異なる	・被覆層は存在しない ・露頭調査、トレンチ調査などにより把握可能	
地下水の流動 地下水の化学的特性	・年間降雨量:1500mm ・年間平均気温:13℃ ・地下水の塩分濃度:低(200–400mg/L)	・年間降雨量:675mm ・年間平均気温:6.5℃ ・地下水の塩分濃度:高(800–14300mg/L)	馬原他 (1999) SKB (1999) Iwatsuki et al. (2005) Stanfors et al. (1999)

諸外国の動向(1)

課題	諸外国の動向とそれらに対する考慮
地下坑道における工学的対策技術の開発	<u>グラウト技術</u> -TASS-tunnel、KBS-3Hトンネルグラウト施工(SKB)等 →処分孔、処分坑道、それ以外の坑道での湧水量の基準とそれへの対応 →大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術等 ●複雑な割れ目ネットワーク及び多量の地下水湧水といった日本の特徴的な地質環境を考慮
物質移動モデル化技術の開発	<u>不均質な割れ目ネットワークモデル化手法の開発</u> -エスポ(スウェーデン):長期収着・拡散試験、コロイド移動プロジェクト、微生物プロジェクト、地下水流動及び物質移動のモデル化に関するタスクフォース -グリムゼル(スイス):長期拡散試験、コロイド形成及び移動試験 -オンカロ(フィンランド):岩盤分類プロジェクト、岩盤適正基準プログラム 等 ●複雑な割れ目ネットワークや割れ目充填物などの日本特有の地質環境を考慮
	<u>地質環境の長期変遷に関する解析・評価技術の開発</u> ●日本特有の課題(地質環境の長期安定性研究との連携)

緑字はJAEAが参加あるいは実施しているプロジェクト

諸外国の動向 (2)

課題	諸外国の動向とそれらに対する考慮
坑道埋戻し技術の開発	<u>坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術</u> -DOPAS (Full Scale Development of Plugs and Seals) (EC) -トンネルシーリング性能試験 (TSX) (AECL/ANDRA/JAEA) -Prototype Repository (SKB) 等 →掘削影響領域の長期挙動の理解とプロセスの理解、人工材料の影響、掘削影響領域の低減・修復とその方法 等 ●複雑な割れ目ネットワークを考慮
	<u>長期モニタリング技術の開発</u> -MoDeRnプロジェクト:処分場の操業と段階的な閉鎖のためのモニタリング技術の開発 (欧州原子力共同体) -Enhanced Sealing プロジェクト(シーリング技術高度化) (AECL) 等 →長期的な耐久性、バリア性能への負の影響への配慮 ●MoDeRnプロジェクトで使用された無線モニタリング技術等の適用 (MIU計画でも開始) ●複雑な割れ目ネットワーク及び地下水の不均質な入れ替わりといった日本特有の地質環境を考慮

緑字はJAEAが参加あるいは実施しているプロジェクト

我が国のエネルギー基本政策やNUMOにより提示されている課題との整合性

- エネルギー基本計画(2014年4月 閣議了解)
 - ✓ 「…処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。…」
- NUMO「地層処分事業の技術開発計画-概要調査段階および精密調査段階に向けた技術開発-」(2013)における基盤研究への期待
 - ✓ 地質環境分野：
 - ・ 深地層研究による地質環境特性の総合的な調査・評価技術の構築
 - ・ 地質環境特性の調査・評価技術の高度化(物理探査、地下水移行経路・流動特性)
 - ✓ 人工バリアの設計・施工*：
 - ・ 人工バリアに対する複合現象を考慮した長期性能変化に関する評価手法の高度化
 - ・ 深地層の研究施設坑道を活用した緩衝材、埋め戻し材およびプラグの設計、施工と性能確認
 - ・ 回収が必要となる状態の設定および処分方式に応じた回収技術の整備
 - ✓ 地下施設の設計*：
 - ・ 調査の進展に応じた施設設計の更新方法の具体化
 - ・ 亀裂評価と廃棄体定置基準の基本方針の提示
 - ・ 深地層の研究施設の坑道を活用したグラウト設計技術の実証および性能確認
 - ✓ 安全評価*：
 - ・ 現象のモデル化とシステム性能評価モデルの更新
 - ・ 解析技術のツール化
 - ・ 熱力学データベースや収着データベースなど、データベースの更新
 - ・ 地下調査施設での実証手法および手順の明示化
 - ・ 生物圏評価における時間変遷などに対応する、様式化方法とデータベースの構築
 - ・ ナチュラルアナログ事例の収集と安全評価における現象の適用手法の更新

*: 地質環境に関連する部分のみのニーズが本技術分野の対象

必須の課題の設定の理由

必須の課題

地下坑道における工学的対策技術の開発(ウォータータイトグラウト技術)

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)

物質移動モデル化技術の開発
(低透水性領域での亀裂ネットワークモデル化手法、地質環境の長期変遷解析技術、深部地下水の起源・滞留時間の理解)

必要性

—日本特有の地質環境(特に湧水量)への適用
—実施することにより初期状態を変化させる可能性のある、処分環境のコントロールに関わる工学的課題

—諸外国でも事例が少ない(e.g. 埋め戻される地下構造物も含めての長期モニタリング/地質環境の回復機能の例証やその不確実性への対策)
—日本特有の地質環境(e.g. 複雑な割れ目/地下水が豊富で入れ替わりも早い環境)への適用
—実際のサイトで実施した場合、初期状態が大きく擾乱

—日本特有の地質環境(e.g. 複雑な割れ目)への適用、他と共通的な課題
—日本特有の天然現象(地震・断層活動、隆起・侵食/気候・海水準変動)に関連した地質環境の長期的変遷



◆ 原子力機構内の委員会(地層処分研究開発・評価委員会、深地層の研究施設計画検討委員会)及び国際レビューワークショップにおいて国内外の専門家の評価を受け、妥当性を確認。

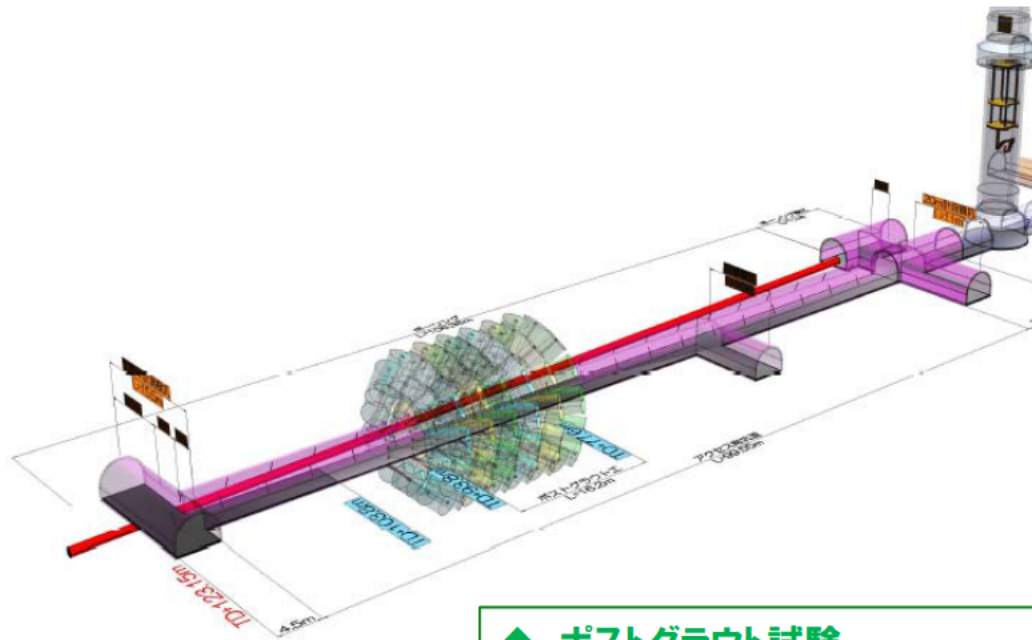
地下坑道における工学的対策技術の開発

目標:

大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術

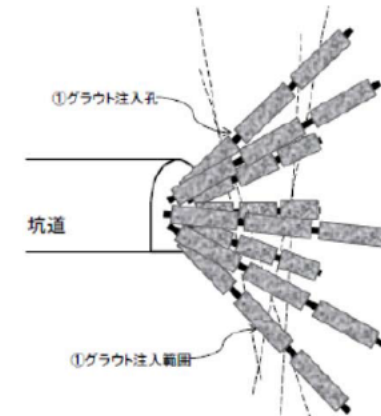
✓日本の結晶質岩岩盤における地下水流入量を抑制する
ためのウォータータイトグラウト技術(プレ・ポストグラウト
手法の併用)の実現可能性の実証

✓グラウトの地質環境への影響の評価 等

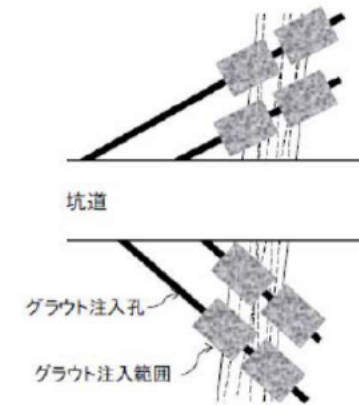


◆ ポストグラウト試験

- 注入材料(普通ポルトランドセメント、超微粒子セメント、溶液型セメント)
- 注入工法(静的、動的) 等



プレグラウト



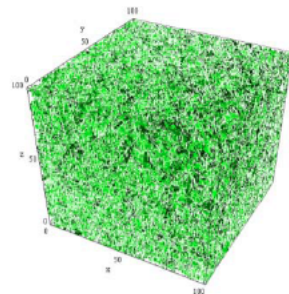
ポストグラウト

物質移動モデル化技術の開発

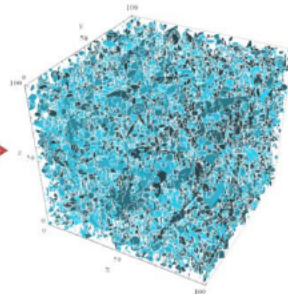
目標:

不均質な割れ目ネットワークのモデル化手法の開発

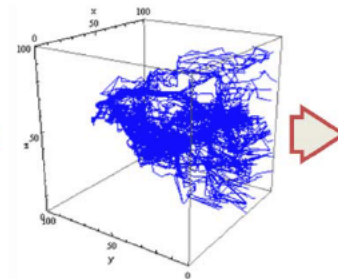
- ✓ 実際の割れ目の性状を考慮した**割れ目ネットワークのモデル化手法の整備**
- ✓ 物質移動に対する割れ目の**充填鉱物や変質の影響の理解**
- ✓ 物質移動における**コロイド、有機物、微生物の影響因子の評価** 等



割れ目ネットワークモデル



水理地質構造モデル



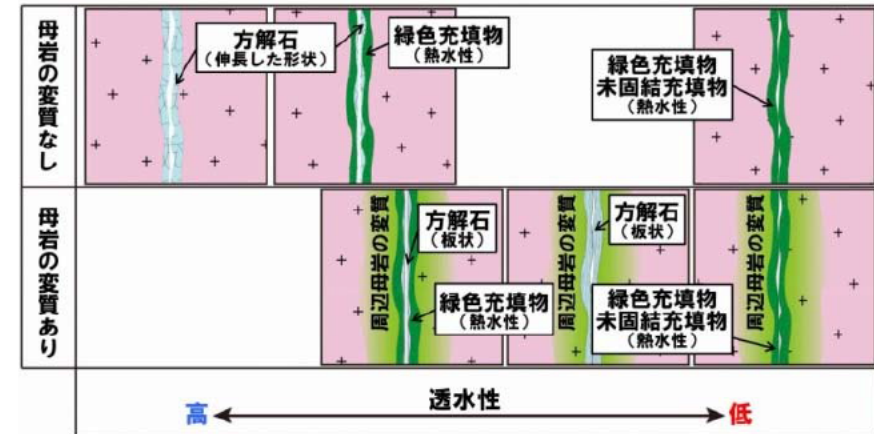
パーティクルトラッキング解析

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

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



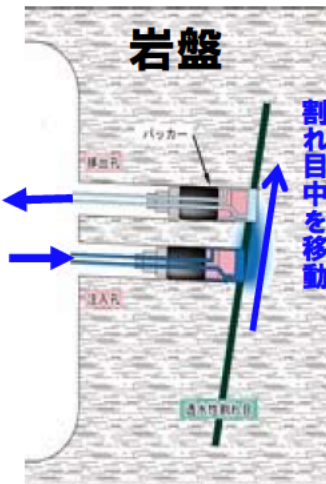
坑道

岩盤

分析装置へ

蛍光剤などを加えた地下水を注入

割れ目中を移動

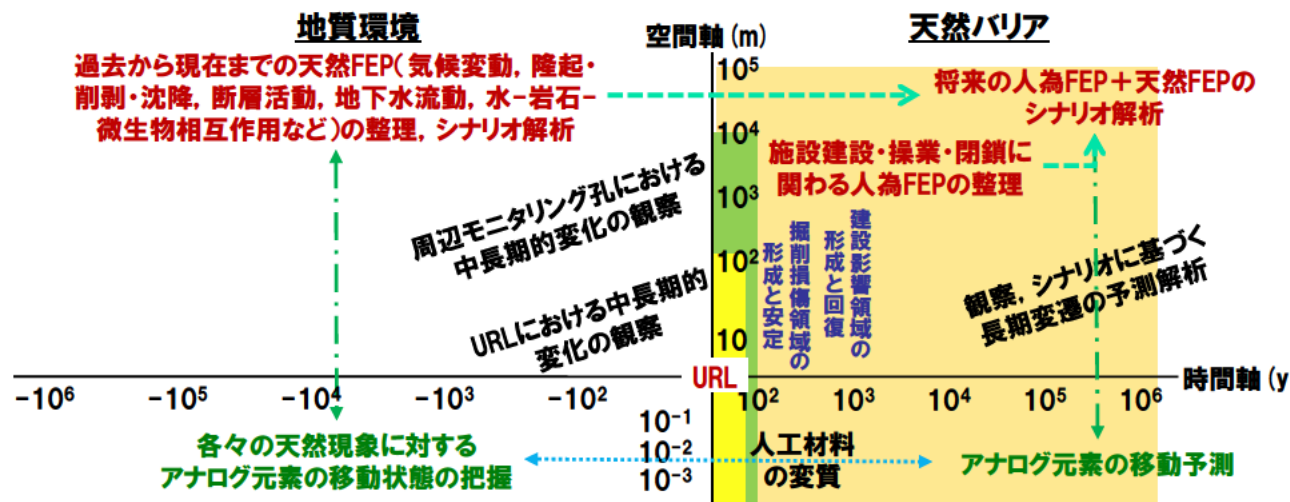


物質移動モデル化技術の開発

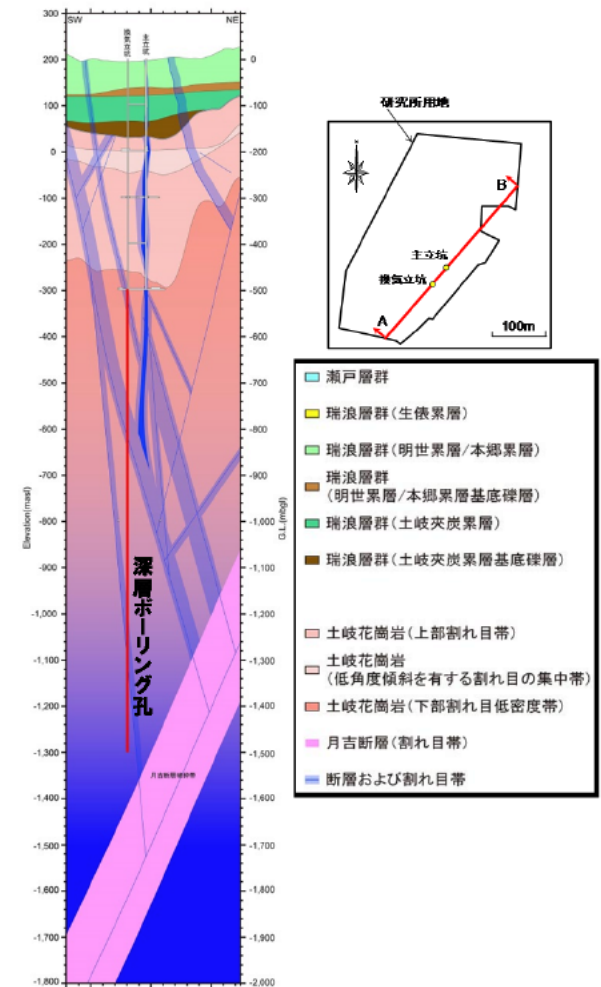
目標:

地質環境の長期変遷に関する解析・評価技術の開発

- ✓ 地質環境特性の中長期変化(定常状態化プロセス)に関わる予測解析技術の開発
- ✓ 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
- ✓ 地質環境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 等



- ◆ 地質環境に関するシナリオ解析
- ◆ アナログ元素の移動性調査
- ◆ 地震による地下水の変化のモニタリング
- ◆ 深層ボーリング調査 等



FEP: 地層処分システムに影響を及ぼすと考えられるシステムの特質 (Feature)、そこで生ずる事象 (Event) や過程 (Process) をいう。

坑道埋戻し技術の開発

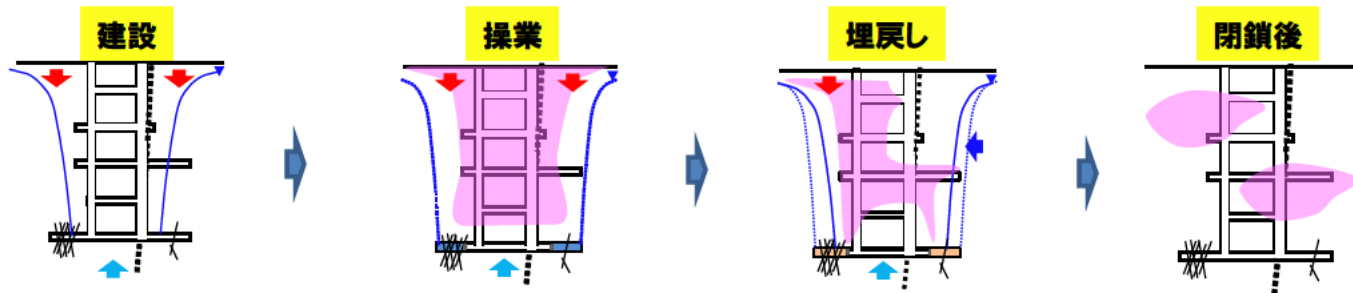
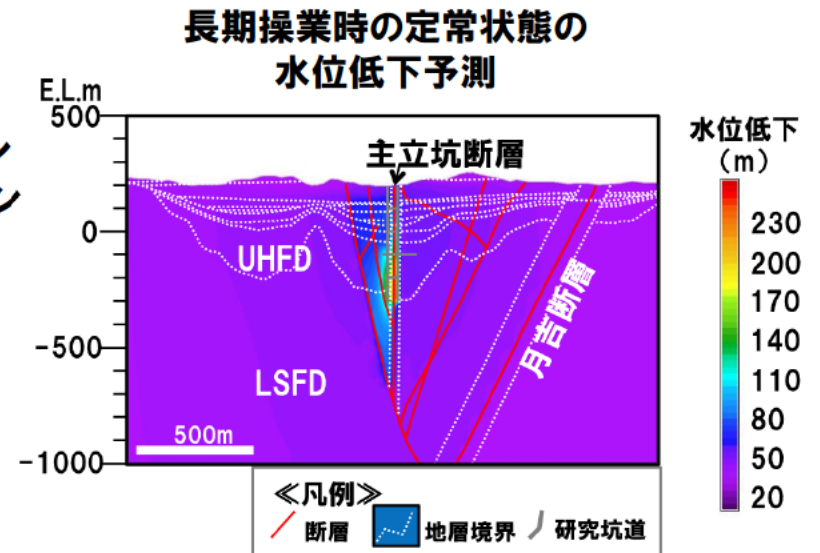
目標:

長期モニタリング技術

- ✓ 地下水の水圧・水質、岩盤の力学的挙動の**モニタリング機器及び手法の開発**(例えば、水理地質構造を考慮したモニタリング孔の配置、モニタリング装置の設置・保守、リモートモニタリング技術、観測頻度、装置の長期耐久性等)

坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術

- ✓ 坑道の安定性及び岩盤の長期挙動、**坑道埋戻しに伴う環境回復の例示**
- ✓ **施設閉鎖時の地質環境観測技術・解析技術の確立**
- ✓ **環境回復に適した施設閉鎖技術・手順に関わる知見の取得**



- ◆ 堀削損傷領域/堀削擾乱領域を対象とした坑道スケール・施設スケールにおける長期モニタリング
- ◆ 再冠水試験、ピット/坑道規模埋戻し試験 等