

超深地層研究所計画(瑞浪)

平成21年度の成果と今後の計画について

平成21年12月11日

深地層の研究施設計画検討委員会

深度400m予備ステージ貫通式(2009年11月4日)

超深地層研究所計画の展望

- 結晶質岩サイトにおける処分地選定の段階に応じて必要となる体系的な調査・解析・評価手法と関連する技術的ノウハウ（失敗事例，成功事例など）の整備
- 幌延深地層研究計画での研究成果と組み合わせることにより，日本の様々な地質環境に適用できる汎用的な地質環境特性調査の技術基盤を整備
- 日本のURL，アジアのURLとしても活用

報告内容

- 超深地層研究所計画（MIU計画）の全体概要
- 調査研究の現状
- 地上からの調査技術の妥当性評価
- 第2段階、第3段階の計画
- まとめ

3

MIU計画

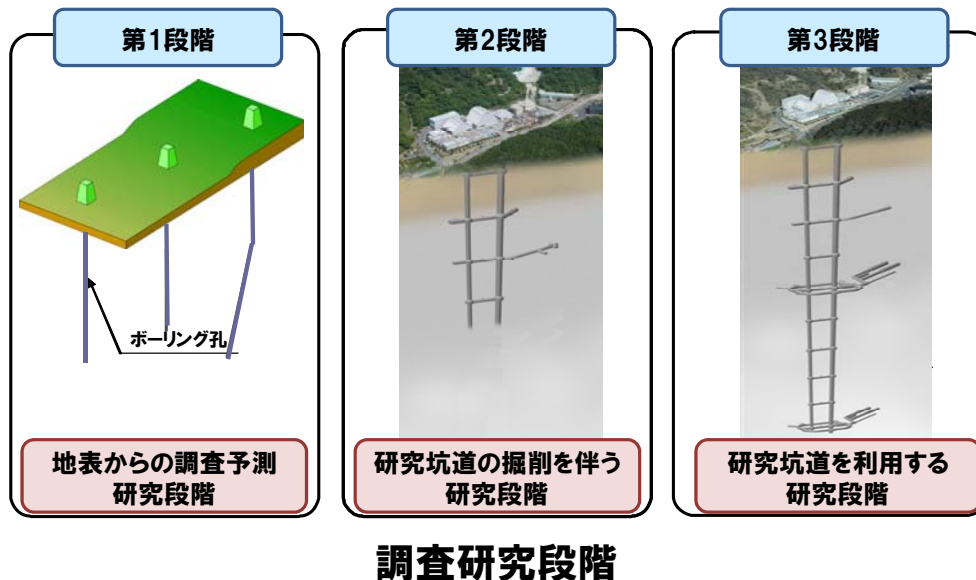
- MIU計画は…
 - 原子力長計および原子力政策大綱に示された「**深地層の研究施設**」計画の一つで、**結晶質岩**、**淡水系地下水**、**硬岩**を対象に3段階／20年程度で実施
 - **Purpose-built off-site generic URL**
 - ✓ 処分施設の計画とは区分し、処分事業・安全規制を支援する情報を提供するための研究開発を実施する目的で建設する施設
 - ✓ 段階的に研究を進めることにより、人工的な擾乱を受けてない地質環境と、その地質環境が研究坑道の掘削により変化していく状況を把握することが可能
 - 事例を通じた**知識の積み重ね**と**技術基盤の整備**が成果であり、原環機構の処分事業や国の安全規制、国民理解の促進などに寄与

4

全体目標と調査研究段階

● 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



5

段階目標

● 第1段階

- 地表からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握
- 研究坑道の詳細設計および施工計画の策定
- 研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査・研究計画の策定

● 第2段階

- 研究坑道の掘削を伴う調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握
- 研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認
- 研究坑道を利用した研究段階の調査・研究計画の策定

● 第3段階

- 研究坑道からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握
- 深地層における工学技術の有効性の確認

6

期待される具体的な成果

- 目標達成に向け、様々な技術を実際の地質環境へ適用して調査研究を展開することによって…
 - ✓ 地質環境モデルの妥当性確認と更新，前段階に適用した手法の有効性確認といった**フィードバック的評価**
 - ✓ 解析・評価手法と理解度の関係を整理（空間スケールおよび調査段階に応じて整理）

…することが可能

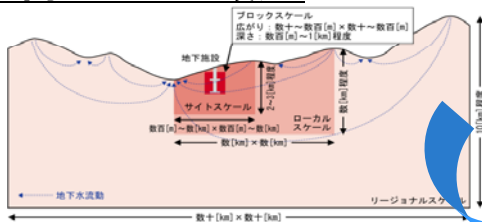


- 処分地選定の段階に応じて必要となる体系的な調査・解析・評価手法と関連する技術的ノウハウ（失敗事例，成功事例など）の整備
- ⇒（言い換えると）
- **設計・性能評価を見据えた地質環境特性の段階的な調査・解析・評価に関する方法論の構築**

7

MIUにおける調査研究の進め方 (1)

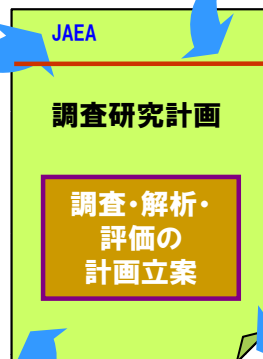
①空間スケールの設定



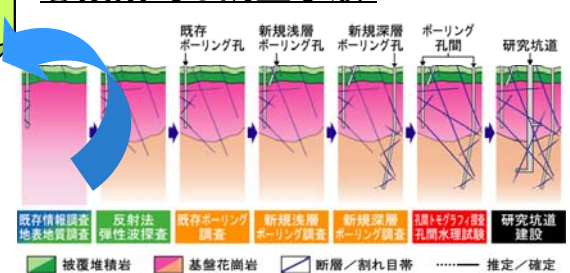
②個別目標と課題の設定

調査目標	安全評価										地下施設の設計・施工		環境影響評価	
	地質構造の三次元分布の把握	地下水の流動特性の把握	地下水の地質化学的挙動の把握	物質移動の把握	角礫堆積物の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握
課題	地質構造の三次元分布の把握	地下水の流動特性の把握	地下水の地質化学的挙動の把握	物質移動の把握	角礫堆積物の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握	地下空間の力学・水理状態の把握

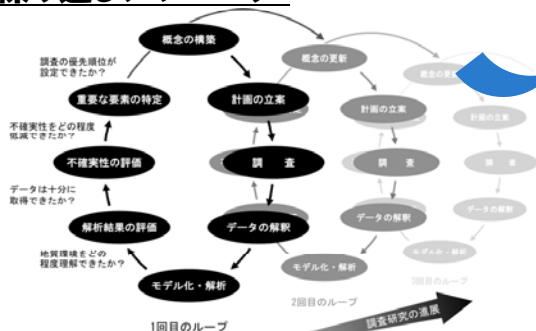
安全評価および地下施設の設計・施工への研究成果の反映を念頭に置いて、**不均質性を有する地質環境を限られた調査量で効率的に理解していくための一つの手段**



③段階的な調査手順



④繰り返しアプローチ



第1段階

第2段階

8

MIUにおける調査研究の進め方 (2)

- **安全評価、地下施設の設計・施工および環境影響評価の観点から重要な地質環境の特性を把握することを調査研究の個別目標と課題として整理**



調査研究の個別目標と課題

9

MIUにおける調査研究の進め方 (3)

「個別目標／課題」と「調査段階／空間スケール」の対比案

個別目標	課題	第1段階		第2段階		第3段階	
		S	B	S	B	S	B
地質構造の三次元的分布の把握	岩盤の地質学的不均質性の把握	◎		◎			○
	被覆層の厚さの把握	◎		○			
	移行経路として重要な構造の把握	◎		◎	◎		◎
地下水の流動特性の把握	動水勾配分布の把握	◎		◎			
	岩盤中の透水性分布の把握	◎		◎	◎		◎
地下水の地球化学特性の把握	酸化還元環境の把握	◎		◎			
	地下水のpH分布の把握	◎		◎			◎
	地下水の塩分濃度分布の把握	◎		◎			◎
物質移動の遅延効果の把握	岩盤の収着・拡散特性の把握		○		○		◎
	物質移動場の把握		○		○		◎
	コロイド／有機物／微生物の影響の把握				○		◎
希釈効果の把握	帯水層の分布の把握	◎					
	帯水層中の流速分布の把握	◎					
地下空洞周辺の力学・水理状態の把握	応力場の把握		○		○		◎
	岩盤の物理・力学特性の把握		○		○		◎
	地下空洞への地下水流入量の把握	○		○	◎	○	◎
	EDZの分布／物理・力学特性の把握				○		◎
地下の温度環境の把握	不連続構造などの有無の把握	○		○	◎	○	◎
	地温勾配分布の把握	○	○	○	○		◎
	岩盤の熱特性の把握	○	○	○	○		◎

S: サイトスケール
(数km四方)
B: ブロックスケール
(数10～数100m四方)

個別目標と課題ごとに、主に対象とする調査段階や空間スケールを整理

◎: 主な研究対象の段階／スケール
○: 補助的な研究対象の段階／スケール

10

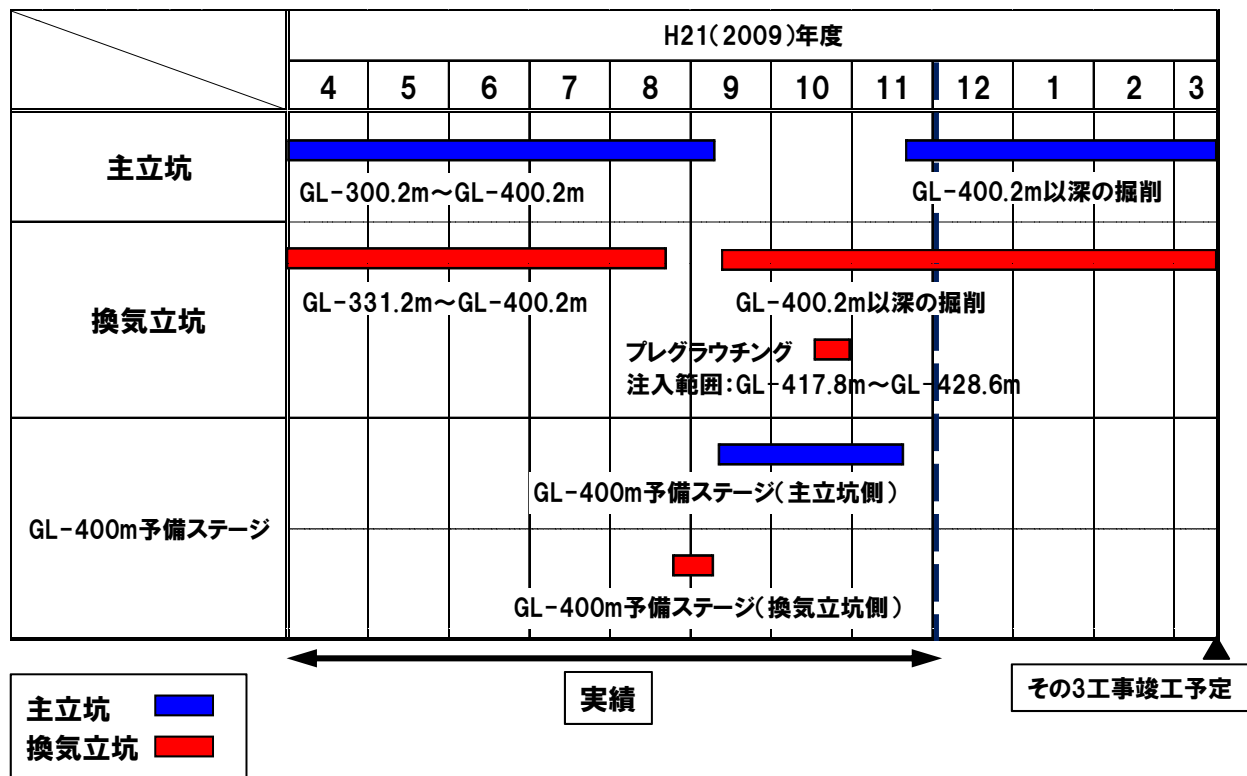
MIUのその他の役割

- 最先端技術の適用性評価の場
- 共同研究などによる利用
- 人材育成（トレーニング）の場
- 技術継承（組織間，世代間，国家間）
- 国民への地層処分に関する理解促進

MIU計画の現状 （H21年度の実施状況）

瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事(その3)

平成21年度概略工程



13

施設建設の進捗状況

現在の進捗

2009(平成21)年11月30日作業終了時点
 ・主立坑深度**404.1m**, 換気立坑深度**431.2m**
 ・水平坑道: 深度400m予備ステージ
 10月17日の作業において貫通



2003(平成15)年7月
地上部
立坑坑口掘削工事着工

2009(平成21)年1月

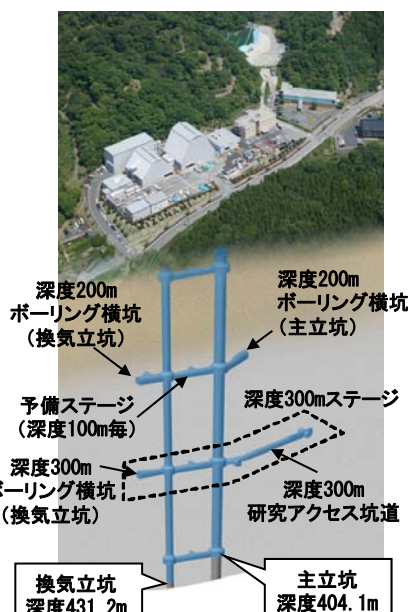


深度300m予備ステージ貫通

2009(平成21)年1月



深度300mボーリング横坑(換気立坑)
掘削完了

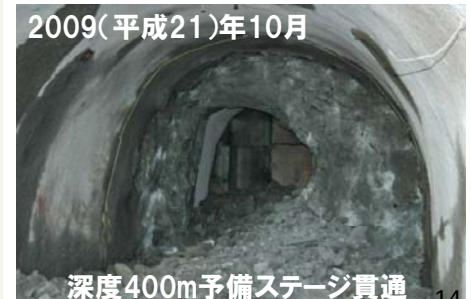


2009(平成21)年3月



深度300m研究アクセス坑道
掘削完了

2009(平成21)年10月



深度400m予備ステージ貫通

14

H21年度の進捗状況 (深地層における工学技術の基礎の開発)

中期計画（抜粋）	平成21年度計画	平成21年度実績／達成度 (平成21年11月30日現在)
坑道掘削に係る工学技術や影響評価手法についても検討を行い、適用性や信頼性を確認するとともに、その後の調査研究に向けて最適化を図る。	岩盤の変位・応力観測を実施し、掘削の影響や坑道設計・覆工技術等の妥当性を評価し、以深の掘削工事、対策工事の最適化を検討	岩盤のひずみ、変位、応力観測を継続・データ解析中。今後、解析結果を踏まえて、深度400m程度までの設計や施工の妥当性を検討
	湧水抑制対策（グラウチング）の有効性を確認	坑道掘削に先立ち取得した地質環境情報から設定した注入仕様に基づいてグラウチングを実施した結果、設定した目標値以下に湧水抑制が可能であることを実証

- 中期計画に対する評価（平成21年11月30日現在）
- 研究坑道掘削工程に遅延が生じたものの、掘削した深度までに適用した技術の妥当性を概ね確認

15

H21年度の進捗状況 (深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備)

中期計画（抜粋）	平成21年度計画	平成21年度実績／達成度 (平成21年11月30日現在)
- 岐阜県瑞浪市において結晶質岩と淡水系地下水を研究対象とした深地層の研究計画を進める。 - 中間深度（瑞浪市；地下500m程度）までの坑道掘削時の調査研究を行う。 - 得られた地質環境データに基づき、地上からの調査研究で構築した地質環境モデルを確認しつつ、地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性の評価を行う。 - これらを通じ、精密調査における地上からの調査で必要となる技術の基盤を整備する。	坑道壁面の地質観察	用地中央部の遮水性を有する断層の存在などを確認
	湧水観測装置を用いた湧水量及び水質の経時変化の観測	- 湧水量に関しては、取得データの信頼性について検討中 - 水質に関しては、掘削の進捗や断層を隔てた水質の変化を把握
	地上および既設の水平坑道から掘削したボーリングにおける地下水観測装置を用いた地下水の水圧及び水質の変化の観測の継続	- 水圧および水質観測の結果、断層を隔てた異なる傾向の変化を確認 - 坑道近傍のスキン効果の程度を確認
	地上からの調査研究で構築した地質環境モデルを確認し、地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性評価	- 上記の調査結果から、地上からの調査で推定した地質環境モデルの構成要素の一部についての妥当性を確認 - 地上からの調査技術へのフィードバックを考慮した地質環境モデルや調査手法の妥当性評価方法を検討

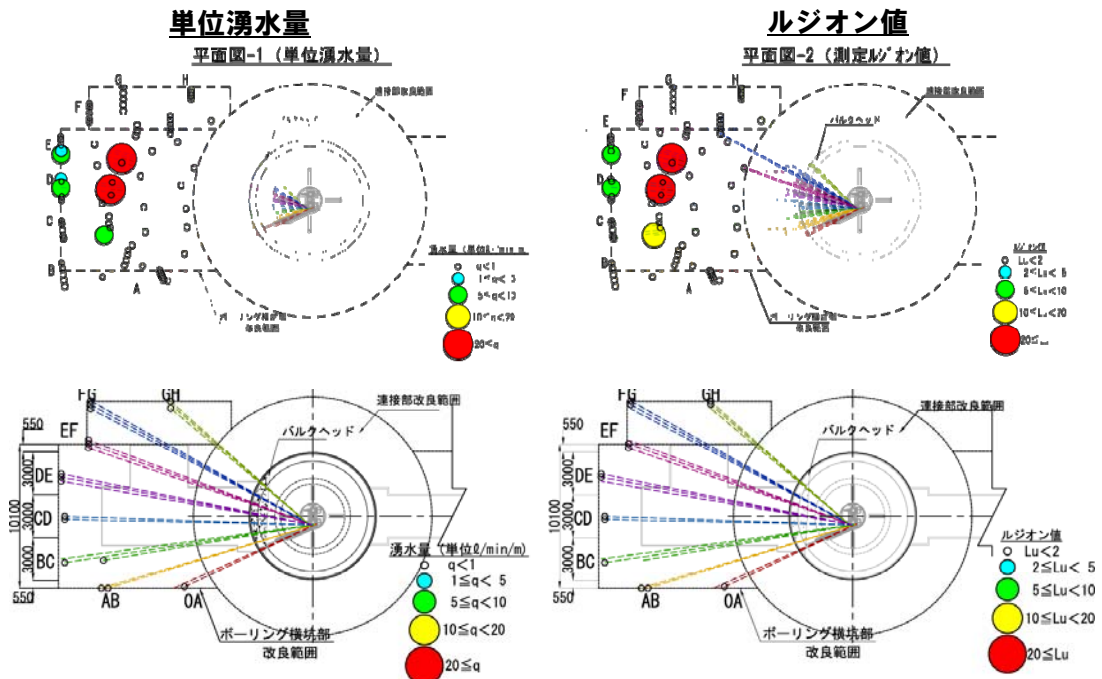
- 中期計画に対する評価（平成21年11月30日現在）
- 研究坑道掘削工程に遅延が生じたものの、掘削した深度までに取得された情報に基づき、地質環境モデルの構成要素の一部についての妥当性を確認
- 地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性評価の考え方を要検討

16

深地層における工学技術の基礎の開発 (施工対策技術の有効性確認)

プレグラウト時
(注入孔掘削時の
測定結果)

プレグラウト後
(チェック孔にお
ける測定結果)



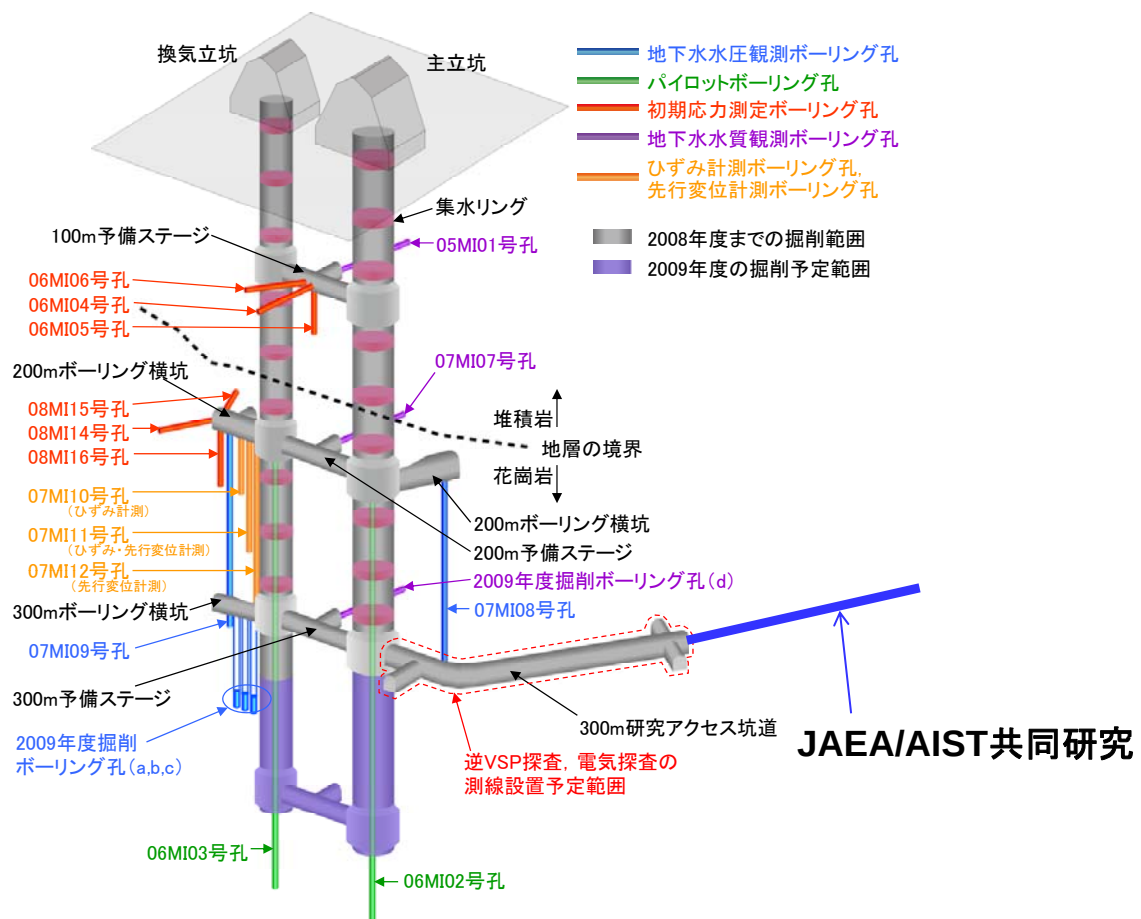
プレグラウティング前後の湧水量およびルジオン値の比較
(換気立坑200mボーリング横坑の例)

主な結果

現在のグラウティング技術により、深度300m程度までの範囲で湧水を抑制可能であることを実証

17

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備 (H21年度の調査研究の概要)



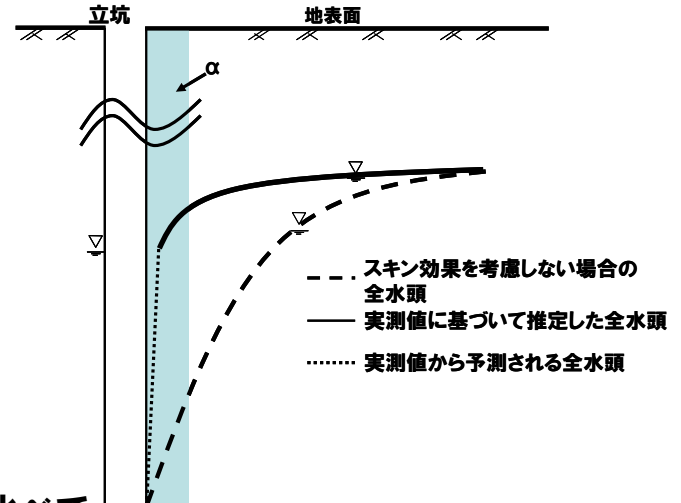
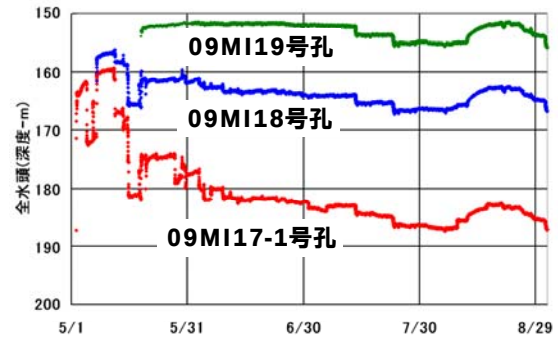
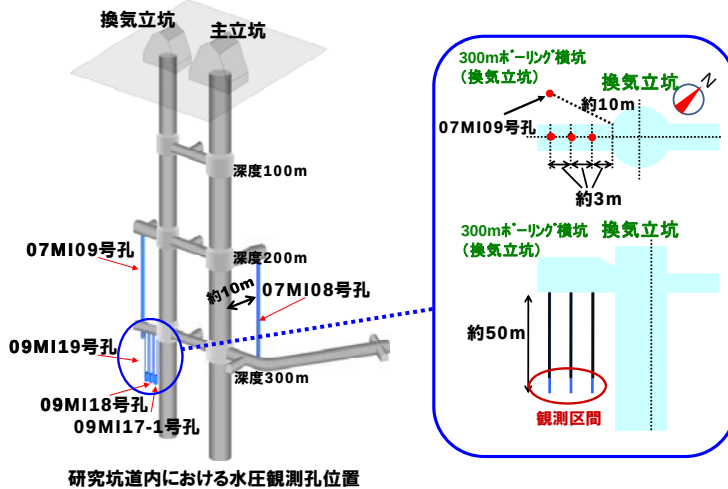
18

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備 (岩盤水理：地下水圧モニタリング)

実施内容

➤ 研究坑道近傍の水理特性（スキン効果） を把握するための地下水圧観測

*スキン効果：人工構造物の設置や亀裂の性状の変化、不飽和領域の形成などによる坑道近傍の透水係数が小さくなる効果



主な結果

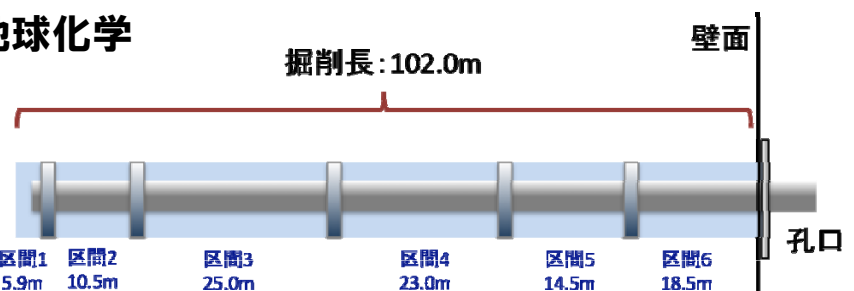
- スキン効果を考慮しない場合の全水頭と比べて高い全水頭を維持 ⇒ スキン効果の存在を確認

19

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備 (地球化学：研究坑道内における地下水水質観測)

ボーリング（09MI20号孔）調査の目的

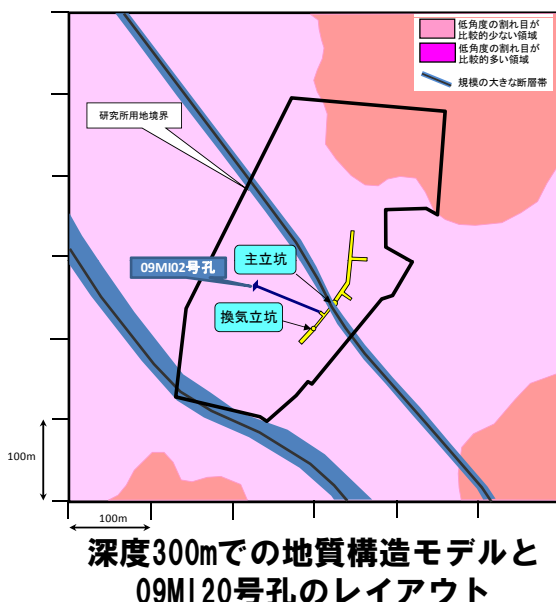
- 深度300mにおける地下水の地球化学特性の把握
- 立坑掘削による影響評価



09MI20号孔でのパッカーレイアウト

主な調査内容

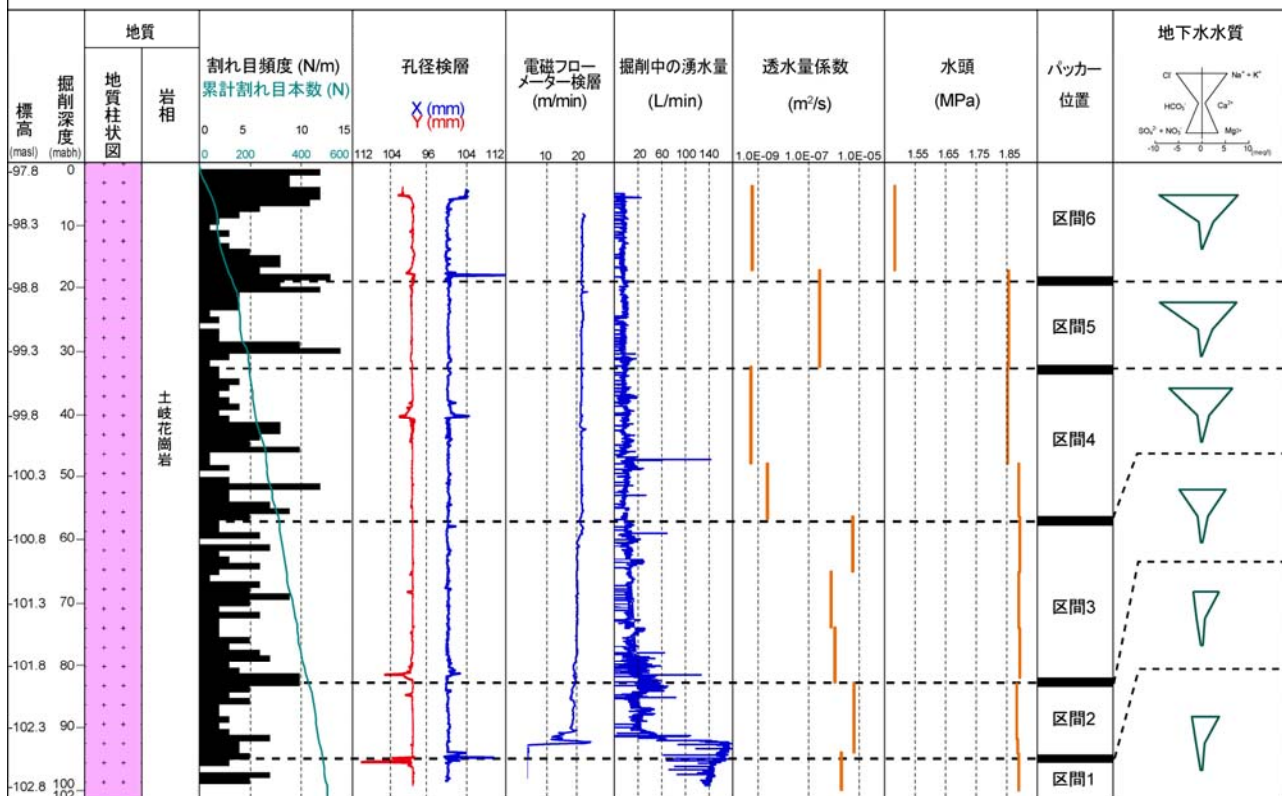
- 物理化学パラメータ（pH, ORP, Temp., DO, EC）のモニタリング：常時
- 主要元素分析：1回/週
- 安定同位体（酸素・水素）・放射性同位体測定（炭素・トリチウム）：1回/月
- 有機物・微生物・コロイド調査：適宜
- 溶存ガス分析：適宜



20

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備 (地球化学：研究坑道内における地下水水質観測)

09MI20 号孔における調査結果の概要

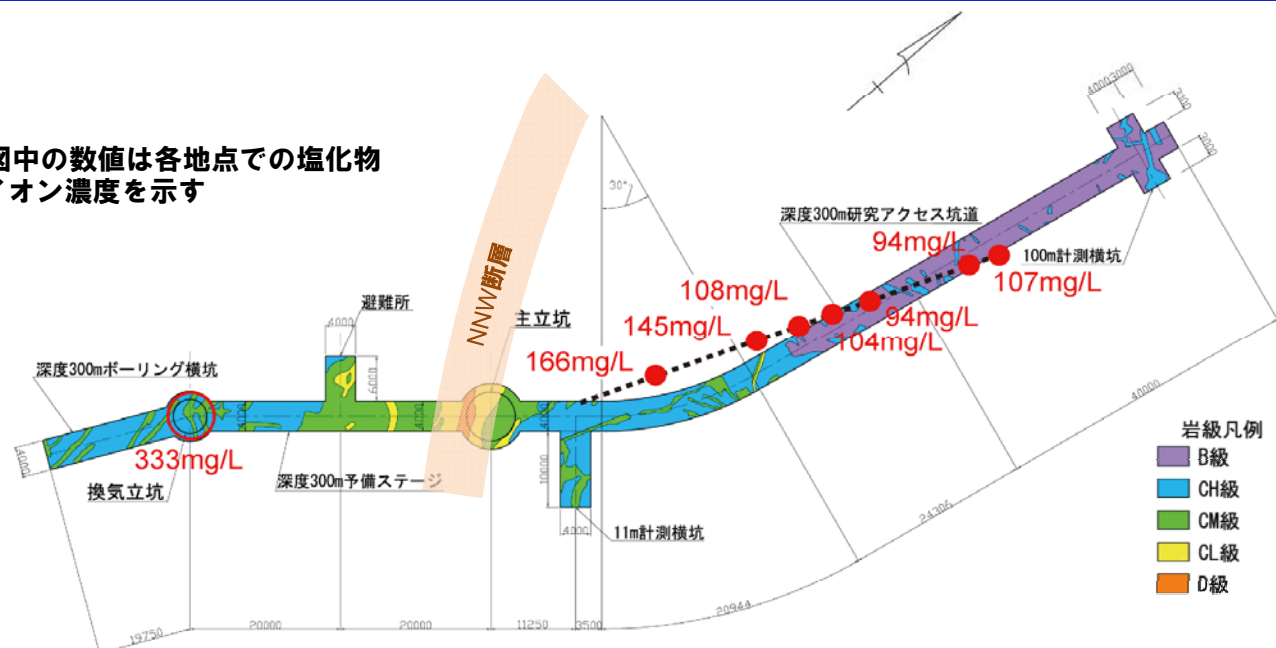


- 湧水箇所および孔内の水理学的特性の変化に基づき6区間を設定
- 水質は研究坑道からの距離に応じて総溶存成分濃度が減少

21

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備 (地球化学：研究坑道内における地下水水質観測)

※図中の数値は各地点での塩化物イオン濃度を示す



主な結果

- 主立坑沿いに確認される断層を境に塩化物イオン濃度が異なる
- ⇒ 断層が低透水性構造として機能することにより擾乱の程度が異なる
- 断層の北側ではMIZ-1号孔における同深度での塩化物イオン濃度（約100mg/L）と概ね一致
- ⇒ 断層の北側では水質は研究坑道掘削前の状態を維持

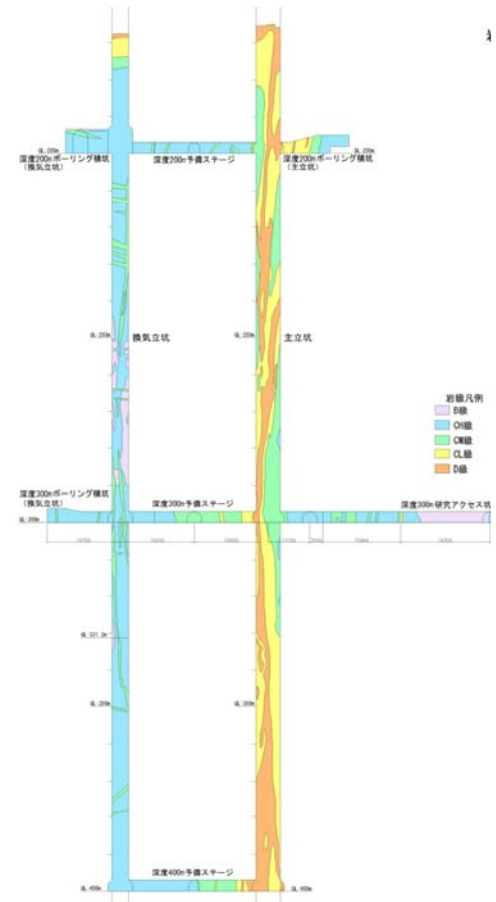
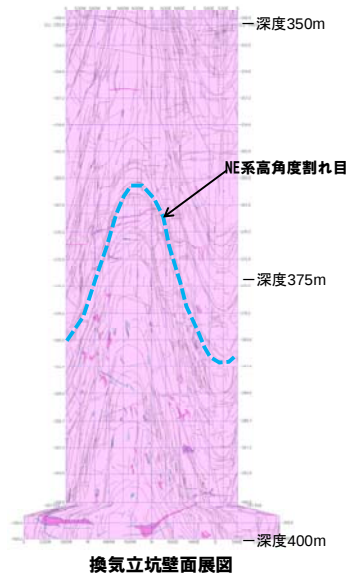
22

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備 (地質・地質構造：地質構造モデルの更新)

●壁面地質観察

- 主立坑沿いの断層は深度400m以深まで（ほぼ鉛直に）連続
 - ・ 深度200mから300mにかけて分布する貫入岩の雁行状の配列を確認
- 換気立坑沿いで高角度の雁行状の割れ目帯を確認（深度220m～）

- 主立坑沿いの断層と換気立坑の雁行状割れ目帯が同一の広域応力場で形成された可能性

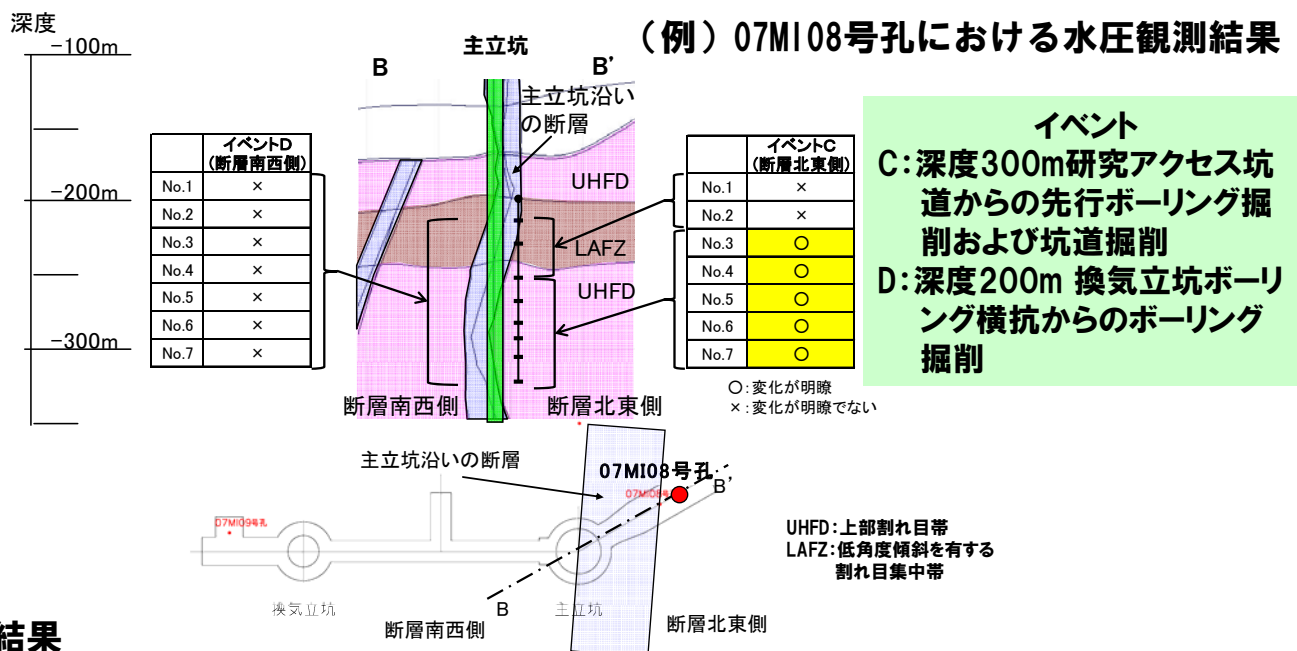


23

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備 (岩盤水理：地下水圧モニタリング)

実施内容

- 地下水圧の変化の観測および水理地質構造の解釈



主な結果

- 主立坑沿いの断層の南西側と北東側とで、水圧変化の傾向に違いがあることを確認
 - 水圧変化の傾向と地質構造の解釈結果を比較
- ⇒ 主立坑沿いの断層は断層面に直交する方向に対し低透水性であり、第1段階における水理地質構造の解釈結果と整合的

24

第2段階における主な成果

● 第2段階調査

- 水圧モニタリング⇒断層を隔てた水圧応答の違いを確認
- 壁面調査⇒断層の地質学的特性（幅，方向，粘土変質の介在などを）を把握
- 坑内湧水の水質調査⇒断層を隔てた水質の違いを確認
- 水圧モニタリングの補間的調査
 - ✓ 岩盤傾斜量⇒断層を境とした体積変化を推定
 - ✓ 流体流動電位⇒断層を境とした自然電位の変化の違いを推定

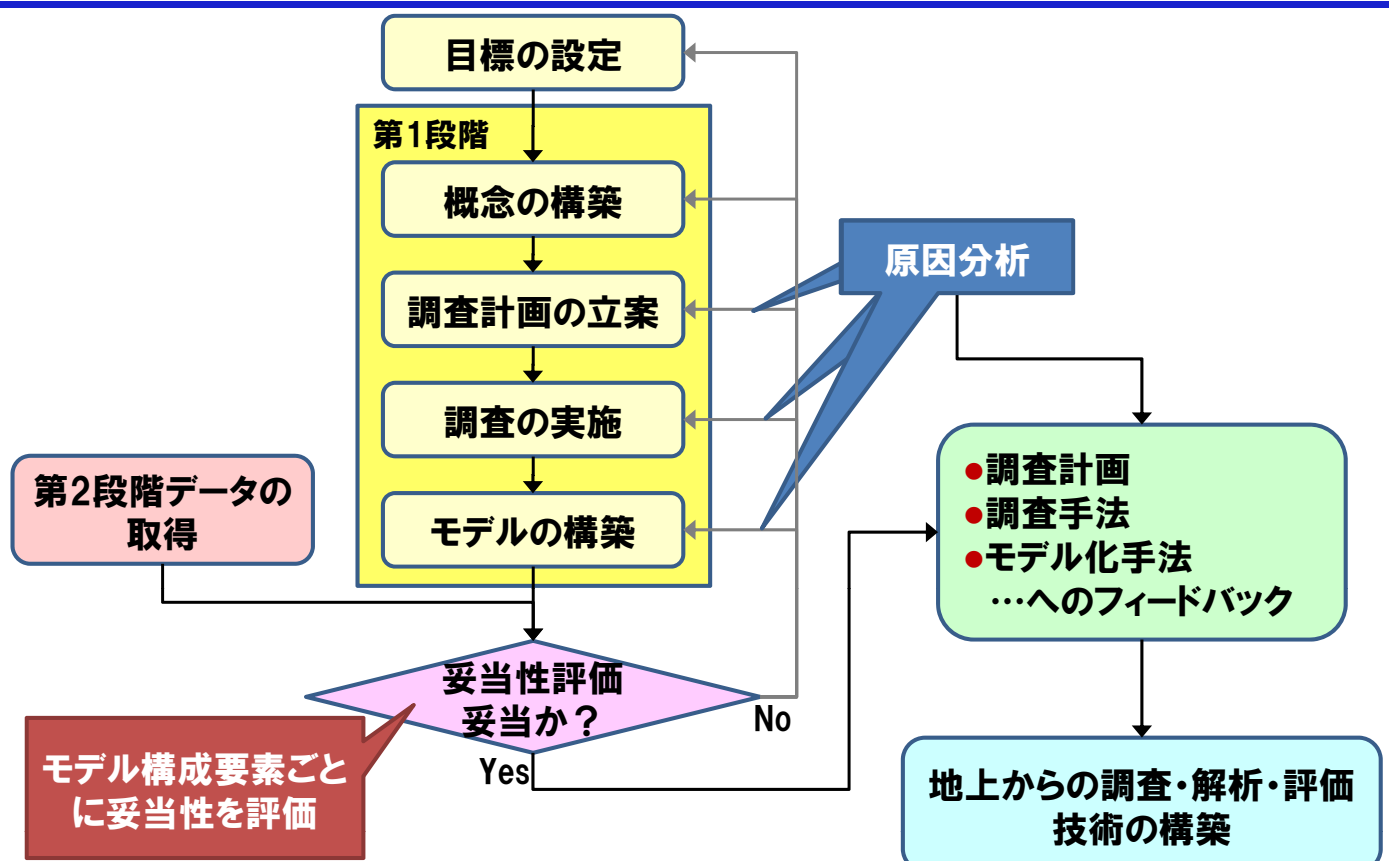


● 主な技術的知見

- 断層の水理地質構造を把握する上で、地質観察および非定常状態下における地下水流動場のモニタリング，坑内湧水調査が有効
- 水圧モニタリングを岩盤傾斜量や流体流動電位を観測することで補間することが可能

25

地上からの調査技術の妥当性評価に関わるフロー（案）



26

第1段階における主な成果 (主立坑沿いの北北西走向の断層について)

- STEP1／2調査：
 - 地表地質調査／物理探査⇒断層の有無や位置を確認
- STEP3調査：
 - ボーリング調査⇒断層部の地質学的，水理学的特性（断層面方向のみ）を把握
- STEP4調査：
 - 孔間調査⇒
 - ✓ 孔間水理試験⇒断層を境とした水圧応答の違いを確認
 - ✓ 水圧モニタリング⇒断層を境とした地震時の応答の違いを確認
 - ・ 孔間トモグラフィー⇒断層は明瞭には捕捉できず（変質の有無は未確認）



断層が透水異方性を有していると推定
(透水異方性：断層面直交方向に低透水性，面方向に高透水性)

27

地上からの調査技術の妥当性評価の例

対象モデル構成要素：主立坑沿いの北北西走向の断層

着眼点	課題	予測結果 (第1段階終了時点)	調査結果 (現時点まで)	妥当性	フィードバック
設計 施工	地下空洞周辺における不連続構造などの有無の把握	位置 ✓ 両立坑間に分布 特性 ✓ 断層主要部とその周辺に割れ目を伴う 断層帯の幅 ✓ 堆積岩部：約1m ✓ 花崗岩部：約15m ✓ 変質：予測せず	位置 ✓ 主立坑沿いに高角度で分布 特性 ✓ 断層主要部とその周辺に割れ目帯を伴う 断層帯の幅 ✓ 花崗岩部：約15m ✓ 変質：主立坑直径を超える程度の幅	位置： ✓ 設計・施工に影響を及ぼす程度のずれ 特性：○ 断層帯の幅： ✓ 設計・施工に影響を及ぼす変質を予測できず	位置： ✓ 調査計画の見直し 断層帯の幅： ✓ 調査計画の見直し
安全評価	移行経路として重要な構造の把握	位置 ✓ 両立坑間に分布 特性 ✓ 断層主要部とその周辺に割れ目を伴う 断層帯の幅 ✓ 堆積岩部：約1m ✓ 花崗岩部：約15m	位置 ✓ 主立坑沿いに高角度で分布 特性 ✓ 断層主要部と周辺に割れ目帯を伴う 断層帯の幅 ✓ 花崗岩部：約15m	位置：○ ✓ 10m程度のずれ 特性：○ 断層帯の幅：○	
	岩盤中の透水性分布の把握	特性 ✓ 透水異方性を有する	特性 ✓ 透水異方性を示唆（水圧変化や壁面観察より）	特性：○	特性： ✓ より高度の調査手法の提案

第2段階までの調査研究結果に基づく 第1段階へのフィードバックの例

【調査計画の見直し方法】

- 断層変質部を把握するためには…
 - 堆積岩中と花崗岩中における断層性状の相違や，断層中の岩石－（熱）水反応を考慮した変質の概念の構築及びそれに基づく調査計画策定
 - 比抵抗や密度に着目した変質を伴う断層の調査・解析手法の検討（検出精度の検討）

【調査手法の高度化方法】

- 断層の水理地質構造を把握するためには…
 - 試験条件を制御した，長期間の孔間水理試験を推奨
⇒坑道掘削時と比較し，試験条件を制御できることから，物性値の適切な評価が可能
 - 水圧観測孔での情報を傾斜計観測，流体流動電位観測などによって補間可能

29

第2段階，第3段階の計画

30

超深地層研究所計画の展望

- 結晶質岩サイトにおける**処分地選定の段階に応じて必要となる体系的な調査・解析・評価手法と関連する技術的ノウハウ**（失敗事例，成功事例など）の整備
- 幌延深地層研究計画での研究成果と組み合わせることにより，日本の様々な地質環境に適用できる**汎用的な地質環境特性調査の技術基盤**を整備
- 日本のURL，アジアのURLとしても活用

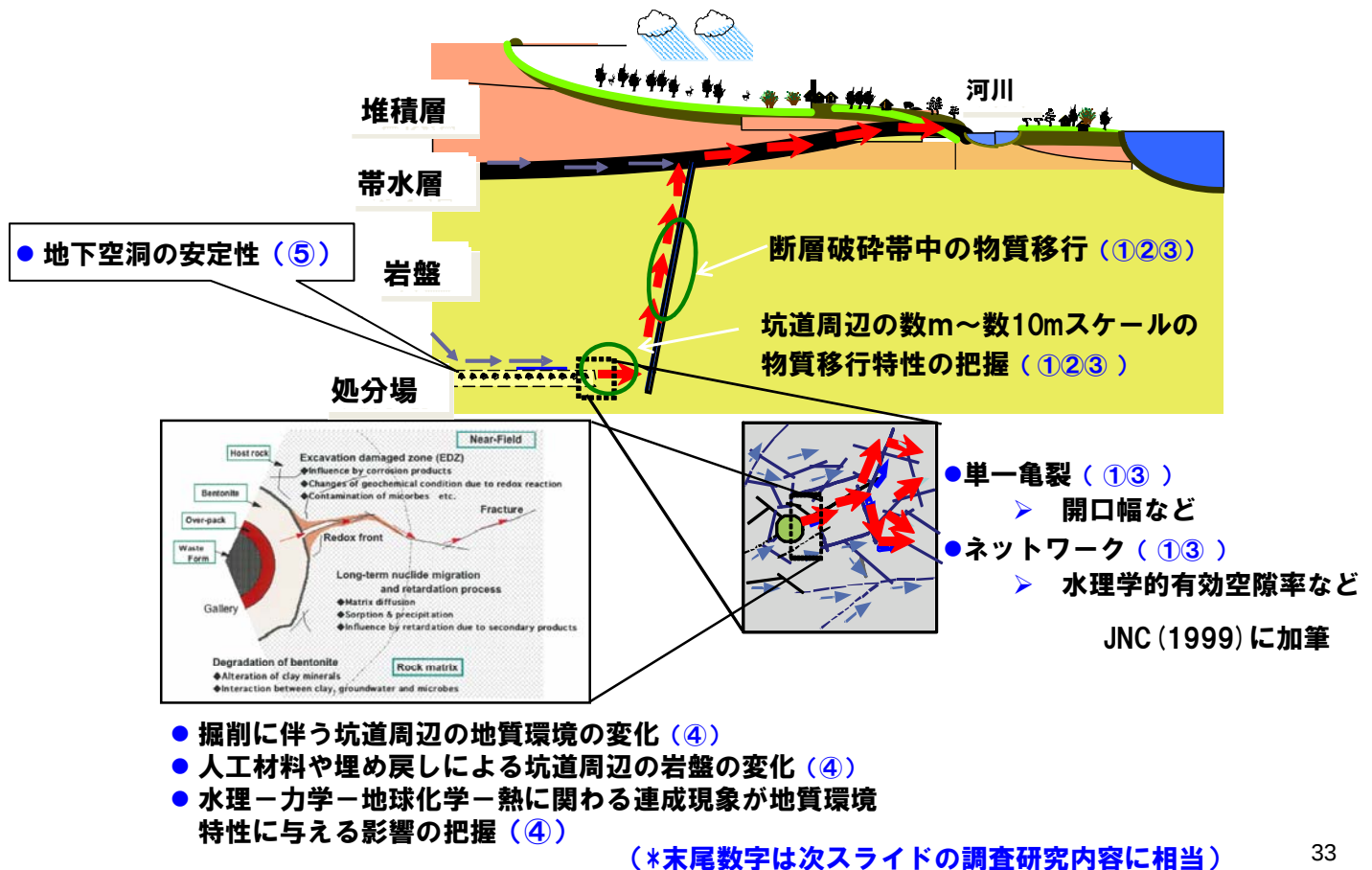
31

第3段階

- 深度300m研究アクセス坑道を展開⇒第3段階調査を開始へ
 - 第3段階の特徴
 - 調査ターゲットの地質構造要素へ直接アクセス可能
 - 大型サイズの岩石試料の採取が可能（ENTRY等の活用）
 - 長時間試験の実施が可能
- 
- 各空間スケールにおいて，設計・性能評価の観点から重要となる地質構造要素の詳細評価
 - 第1段階／第2段階で予測した地質環境モデルおよび適用した調査手法の妥当性評価
 - ⇒他のサイトにおける第1段階／第2段階での調査計画策定へ反映
 - 坑道掘削や人工材料が坑道周辺の地質環境に与える影響評価

32

第2次取りまとめの概念に基づく 設計・性能評価の観点からの要求事項



33

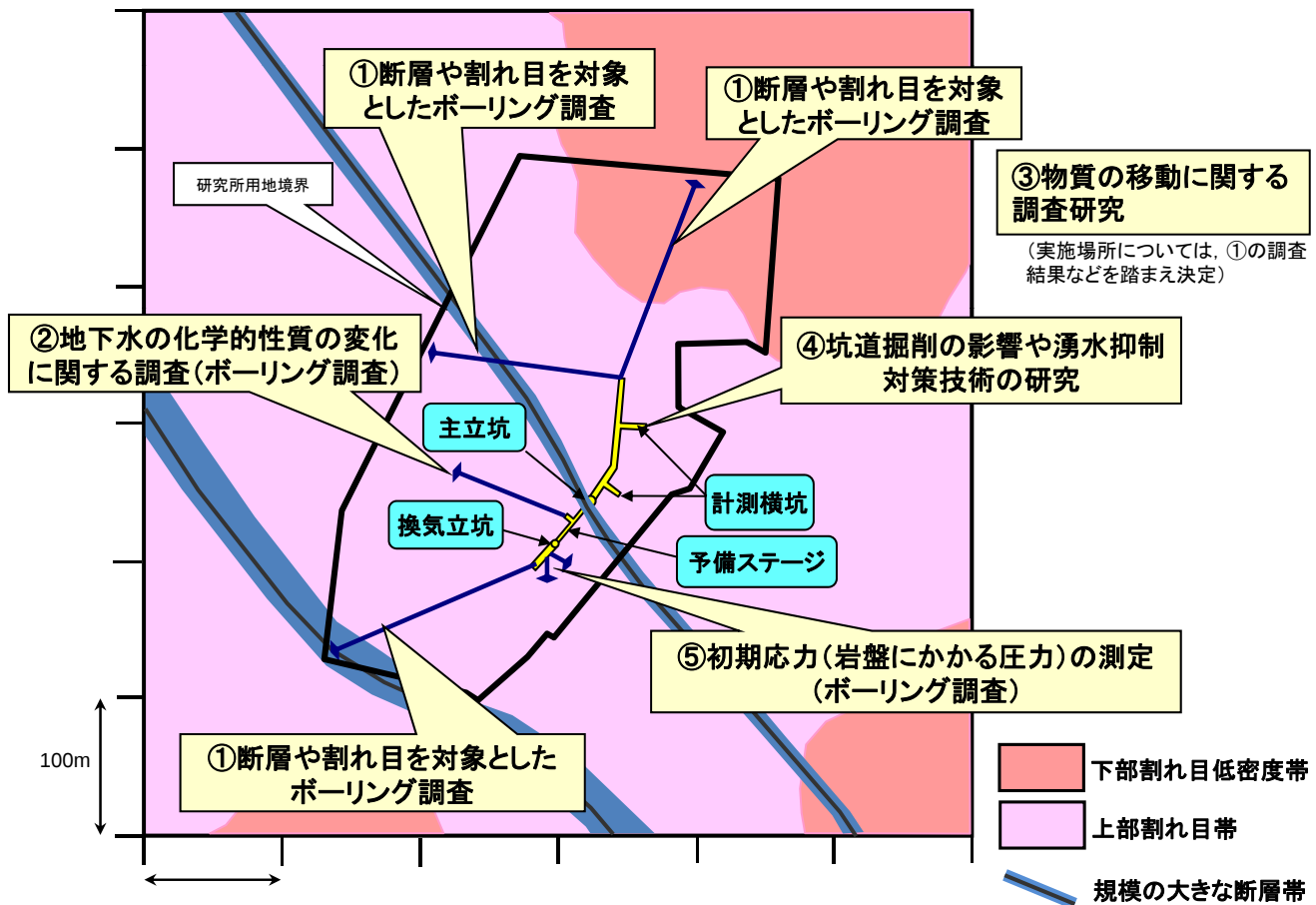
今後の調査研究項目

- ① 断層・割れ目帯の特性に関する調査・解析・評価※
- ② 地下水の化学的性質の変化に関する調査※
- ③ 物質移動関連の特性評価手法※
 - 水理学的有効空隙率
 - マトリクス拡散深さ
 - ブロック試料を用いた室内試験
- ④ 坑道掘削影響領域の評価
 - 性能評価・設計の観点を踏まえた坑道周辺岩盤の概念構築
 - 部分的な埋め戻しによる再冠水挙動の研究
- ⑤ 初期応力（岩盤にかかる圧力）の測定

※地質環境の長期変遷評価の観点を含む

34

深度300m研究アクセス坑道における調査研究計画



35

①断層や割れ目を対象としたボーリング調査

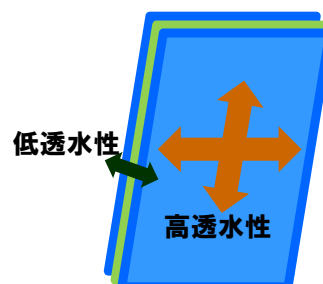
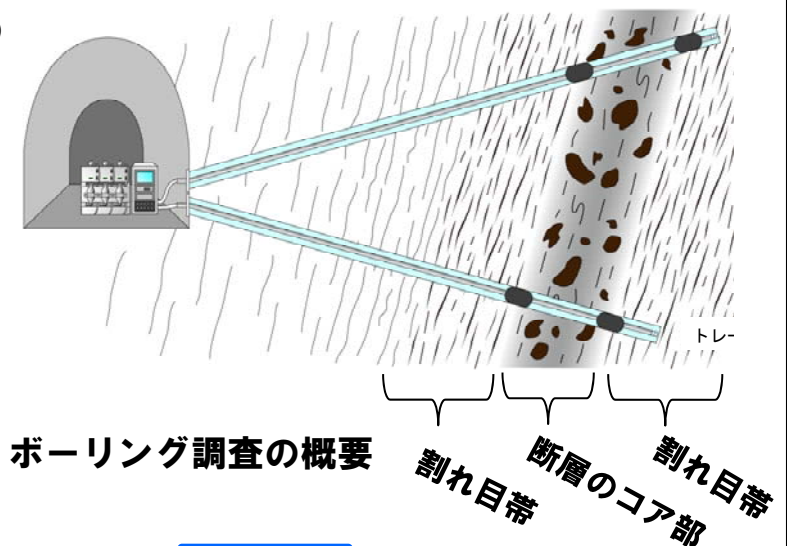
断層の透水異方性が物質移行解析の結果に顕著な影響を与える



➤断層とその周辺の地質特性と水理特性評価

- コア記載
- BTV
- 物理検層, 流体検層
- 水理試験, 地下水サンプリング
- 長期水圧モニタリング

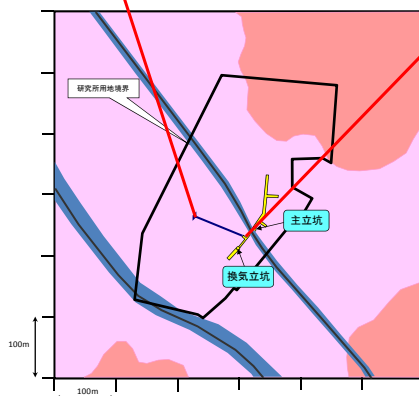
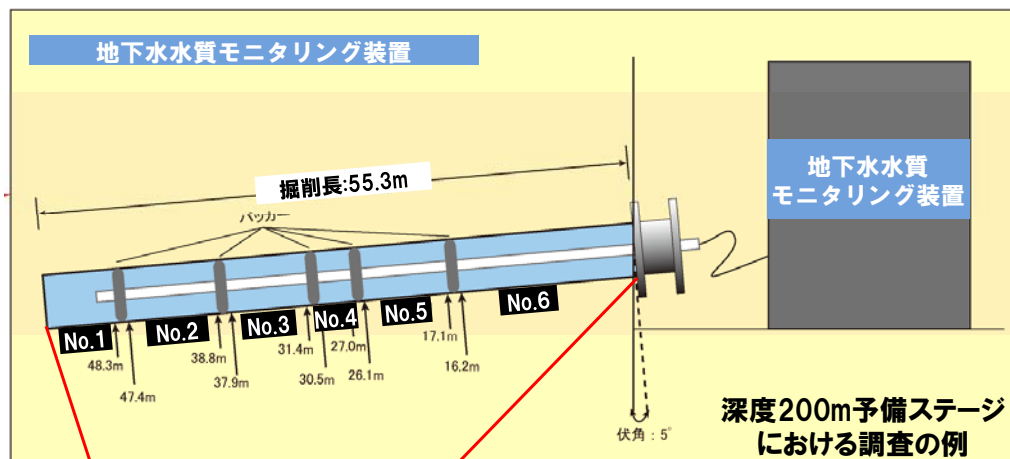
➤地質構造モデル／水理地質構造モデルの不確実性を低減(第1,2段階で適用した断層のモデル化手法の妥当性を確認)



第1, 第2段階での断層モデル
(水理地質構造モデル)

36

②地下水の化学的性質の変化に関する調査



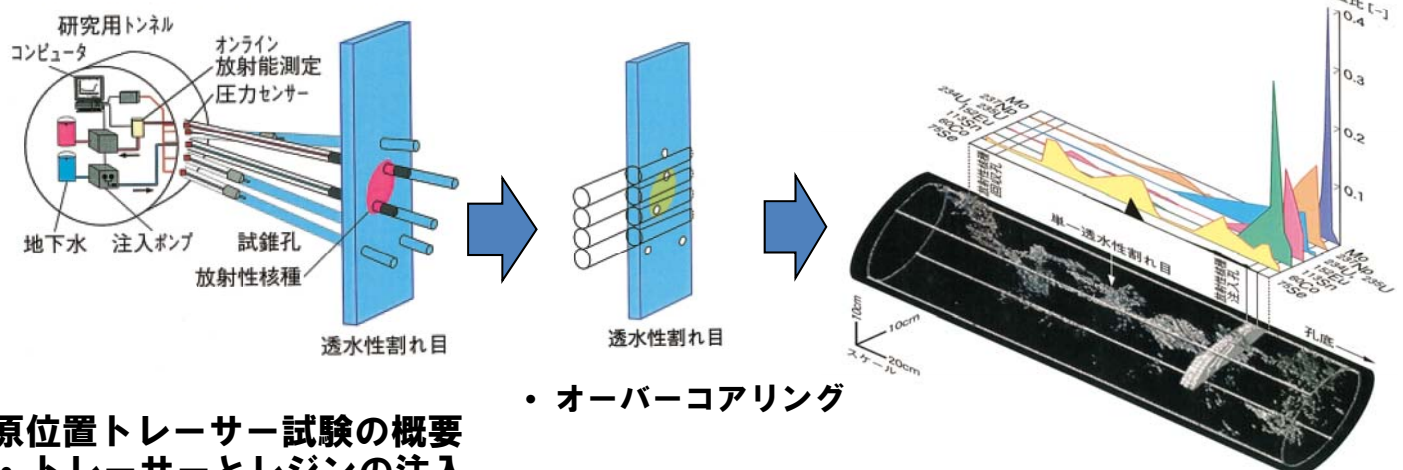
観測項目

- 各区間の間隙水圧 (MPa)
- 温度 (°C)
- 電気伝導度 (mS/m)
- pH
- 酸化還元電位 (mV)
- 溶存酸素濃度 (mg/L)
- 流量 (mL/min)

37

③物質の移動に関する調査研究

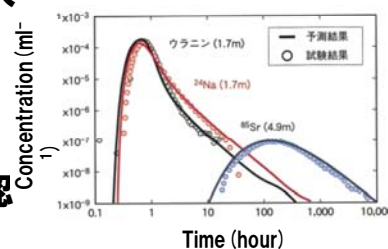
Nagra/JNC (JAEA) 国際共同研究 (Grimsel test site)



原位置トレーサー試験の概要

- ・トレーサーとレジンの注入

- ・破過曲線の取得
- ・予測解析結果の信頼性の確認



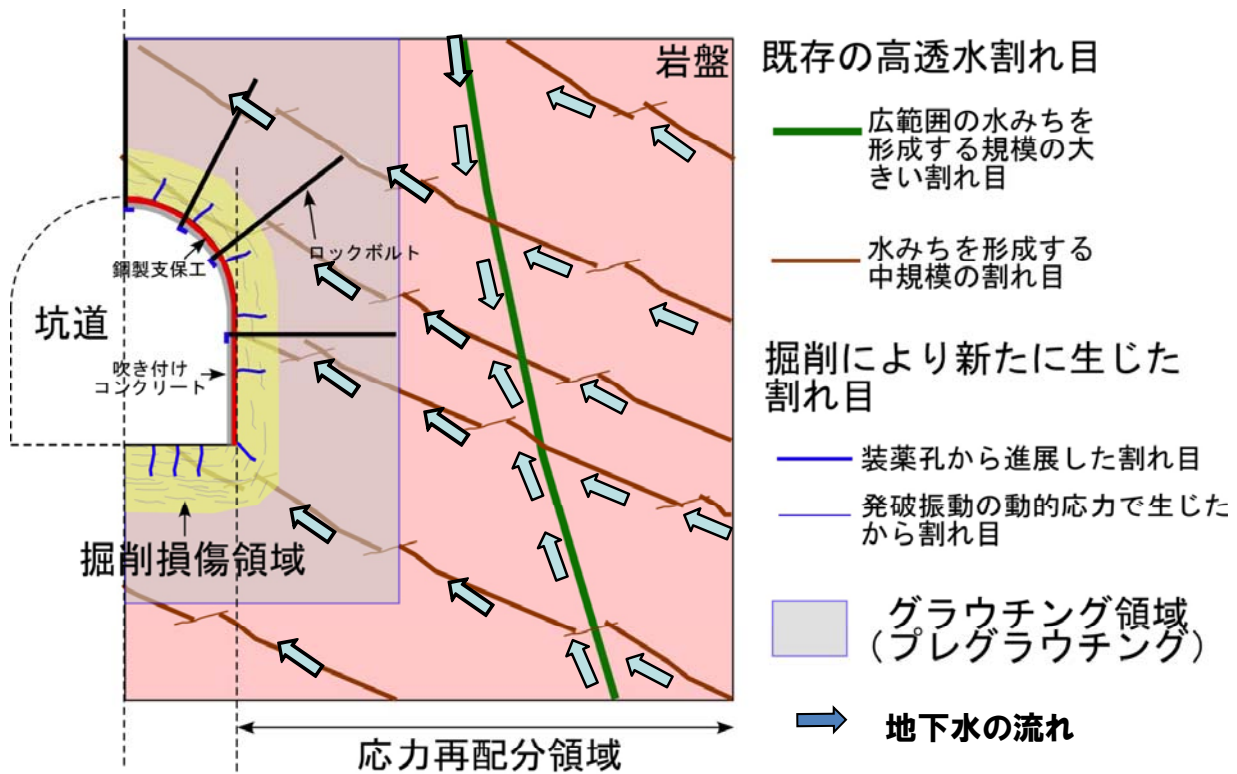
- ・放射性核種の分布
- ・単一の透水割れ目の可視化
- ・間隙率の計測

➡ 概念や経験をMIUへ適用

38

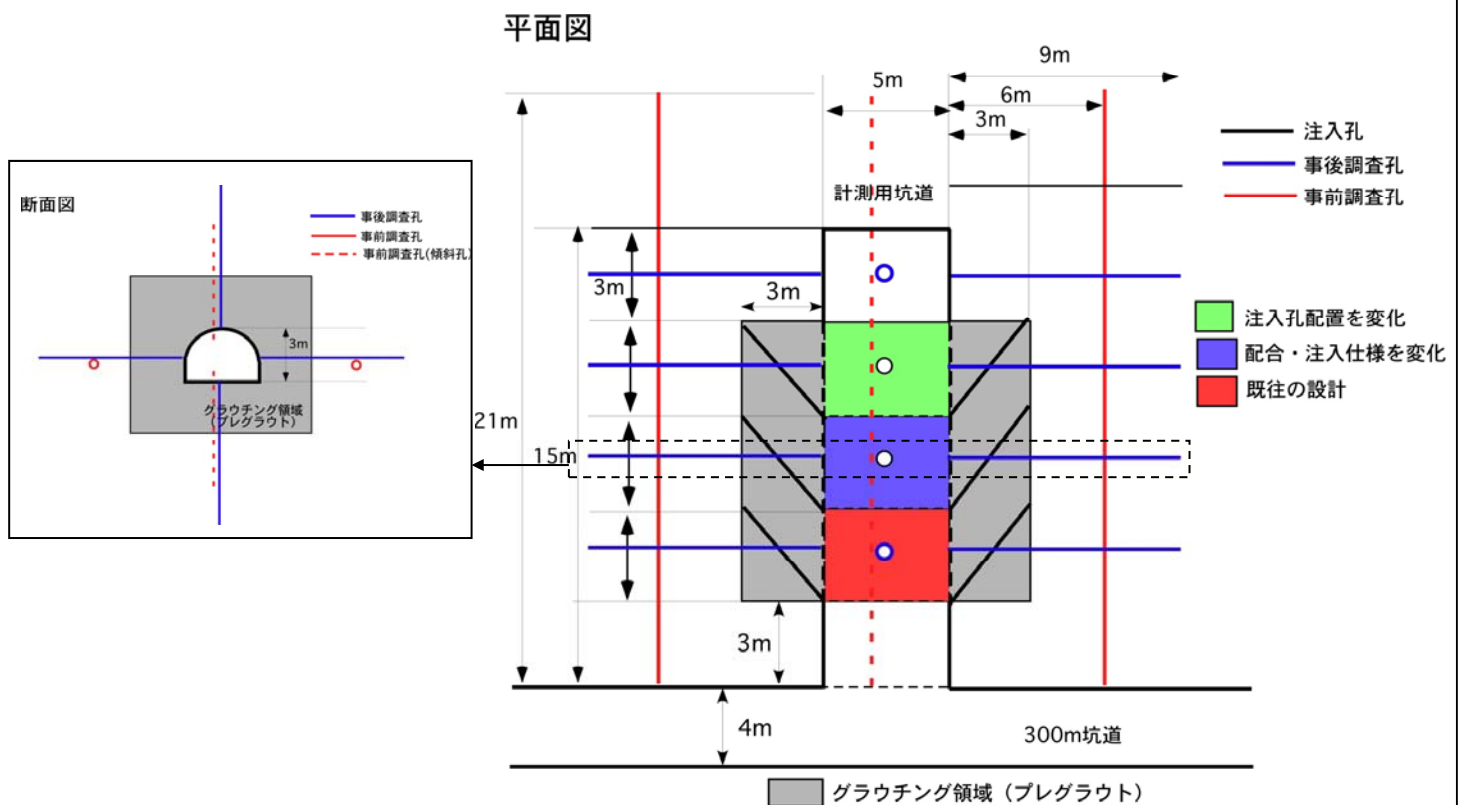
④坑道掘削の影響や湧水抑制対策技術の研究

-ニアフィールドコンセプトの構築-



39

④坑道掘削の影響や湧水抑制対策技術の研究



グラウトの影響調査（概念）

40

地質環境の長期変化に関する研究

- 地形変化や気候変動，断層運動などの要因に対する，地質環境の条件や機能の（過去から現在までの）長期的な変化を評価するとともに，その幅を確認する。例えば…
 - 地表からの酸化還元フロントの変動（黄鉄鉱などを指標）
 - 地下水の地球化学特性の変遷（方解石や塩化物イオン濃度を指標）
 - 断層や割れ目の形成プロセス
 - 断層の変質プロセス
- …を年代測定などを用いて評価する。
- そのために，年代測定技術を併行して整備する。

41

MIUの環境整備

- 日本のURLとしての環境整備
 - ⇒基盤研究調整会議メンバー機関や大学などが開発している要素技術を実岩盤で適用性を評価
- アジアのURLとしての環境整備
 - ⇒国際共同研究，トレーニングとして活用（アジア版ITC）

42

まとめ

MIUでは…

- 結晶質岩サイトにおける処分地選定の段階に応じて必要となる体系的な調査・解析・評価手法と関連する技術的ノウハウ（失敗事例，成功事例など）の整備
- 幌延深地層研究計画での研究成果と組み合わせることにより，日本の様々な地質環境に適用できる**汎用的な地質環境特性調査の技術基盤**を整備

…のための調査研究を展開

- 日本のURL，アジアのURLとしての環境を整備

43

ご清聴ありがとう
ございました

平成21年10月19日
水理・物質移行モデリング・タスクフォース会議（於：瑞浪）

44