



超深地層研究所計画(瑞浪)

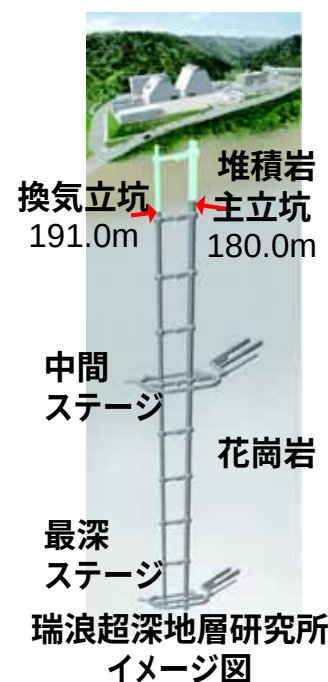
の進捗について

平成18年7月31日

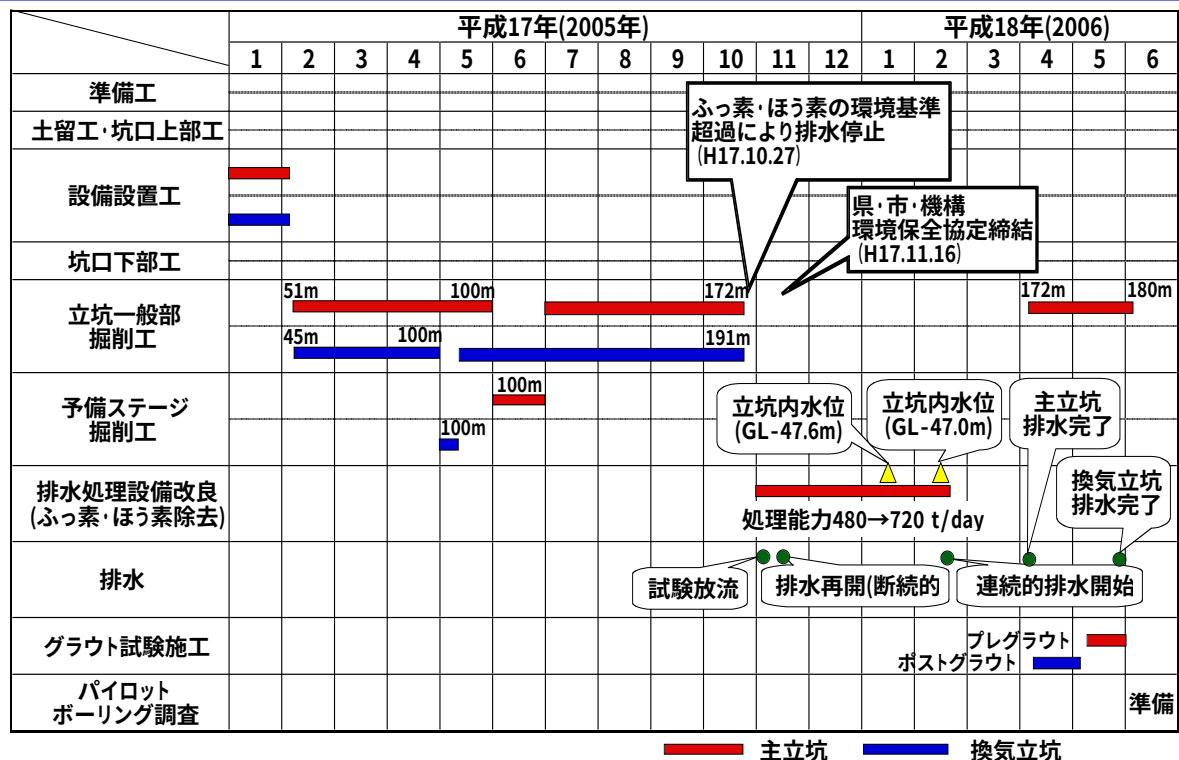
深地層の研究施設計画検討委員会

報告内容

- 超深地層試験所計画(瑞浪)の平成17年以降の経緯
- 研究計画の変更
- 地質環境特性調査・解析・評価技術
 - 平成17年度の成果の概要
 - 平成18年度の計画
- 深地層における工学技術の基盤の整備
 - 平成17年度の成果の概要
 - 平成18年度の計画
- 話題提供
 - グラウト計画の立案・試験施工
 - パイロットボーリング調査計画
 - 今後の工程

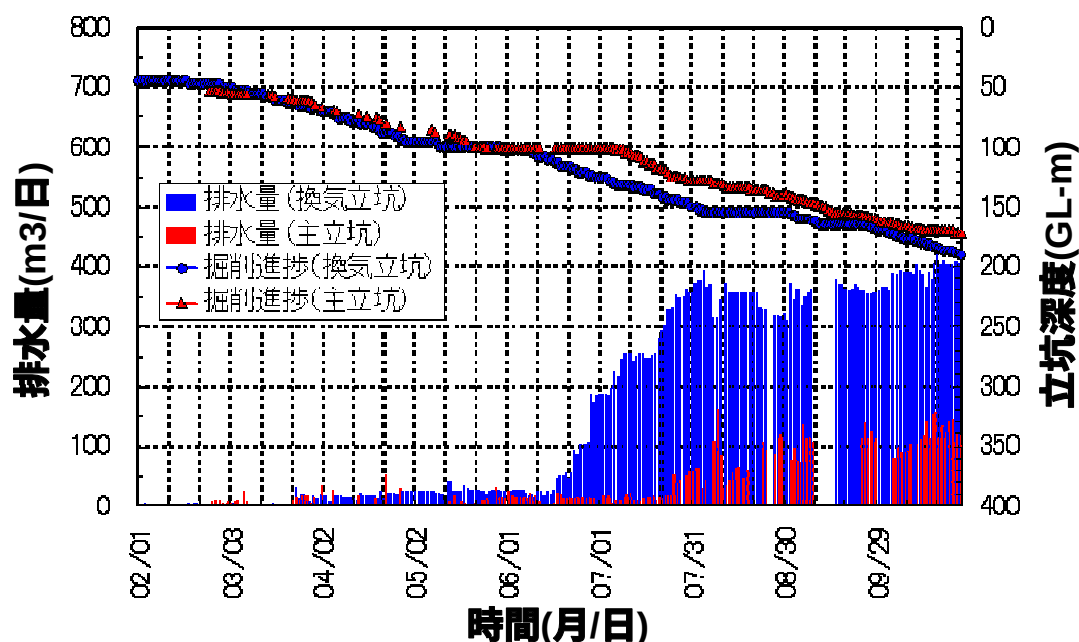


超深地層研究所計画 (瑞浪) の平成17年以降の経緯



3

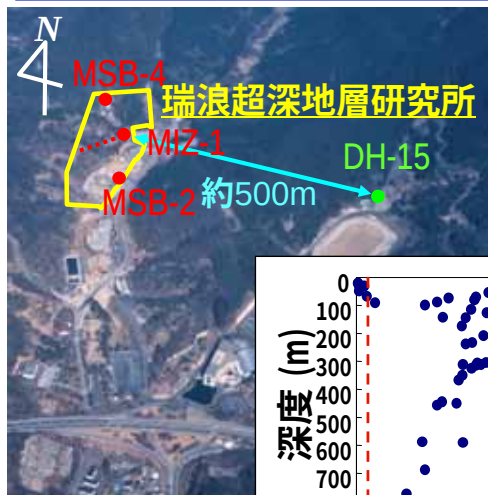
掘削の進捗と湧水量



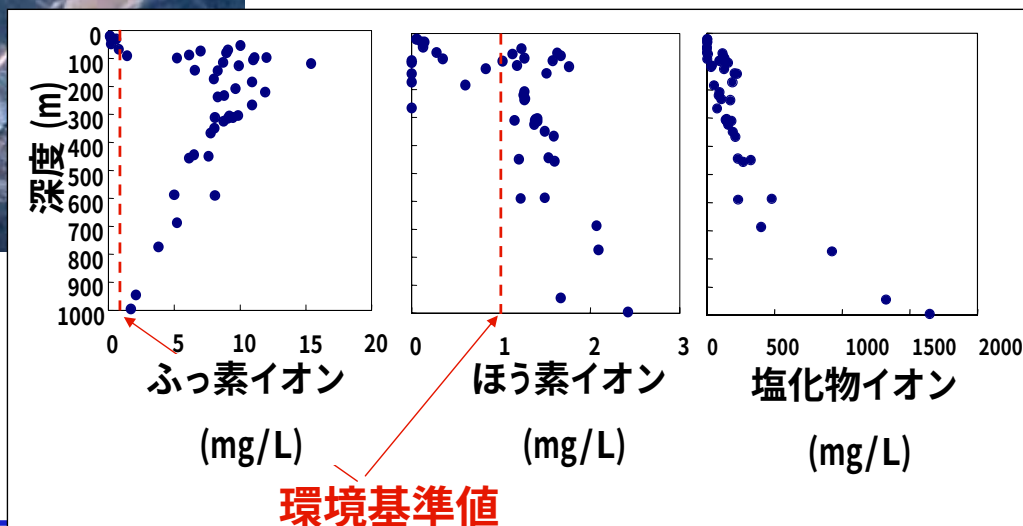
換気立坑排水量 > 主立坑排水量

4

ふっ素, ほう素, 塩素濃度の深度分布



以下のボーリング孔を利用して地下水を採水・分析
MIZ-1号孔, MSB-2, 4号孔, DH-15



5



Tono Geoscience Research Unit
Geological Isolation R&D Directorate
Japan Atomic Energy Agency

排水停止後の対応事項

①排水処理設備

- ・ふっ素、ほう素の処理方法の検討
- ・ふっ素、ほう素の処理設備の増強 (480m³ / 日→720m³ / 日)

②湧水低減策の検討

- ・プレグラウト、ポストグラウトの試験施工

③湧水量の予測

- ・パイロットボーリングの掘削 (18年度実施)

④水質の予測

- ・パイロットボーリングの掘削 (18年度実施)

➡ ①、②の検討や作業のため建設工事を約6ヶ月中断

6



Tono Geoscience Research Unit
Geological Isolation R&D Directorate
Japan Atomic Energy Agency

研究計画の変更

[当初の計画] (一部延期した計画を除き計画通り実施)

- 第1段階 (地表からの調査予測研究段階) の成果に基づく地質環境モデルの完成、得られた知見・経験の整理
- 第2段階 (研究坑道の掘削を伴う研究段階) のうち深度200m程度までの堆積岩部での掘削の進展に応じた調査研究、第1段階の予測結果の妥当性の確認

[延期した計画]

- 100m予備ステージにおける岩盤力学ボーリング、計測結果に基づく設計や設備計画の妥当性の確認 (花崗岩部分)

[追加した計画]

- 立坑排水停止および排水再開などの水理的擾乱を利用した地質環境データの取得、調査技術の適用、排水処理技術の検討、グラウトやグラウトに起因する地質環境の変化に関わるデータ取得計画の策定

変更した研究項目

○延期した項目：

- ・100m予備ステージにおける岩盤力学ボーリング
- ・計測結果に基づく設計や設備計画の妥当性の確認 (花崗岩部分)

○追加実施した項目：

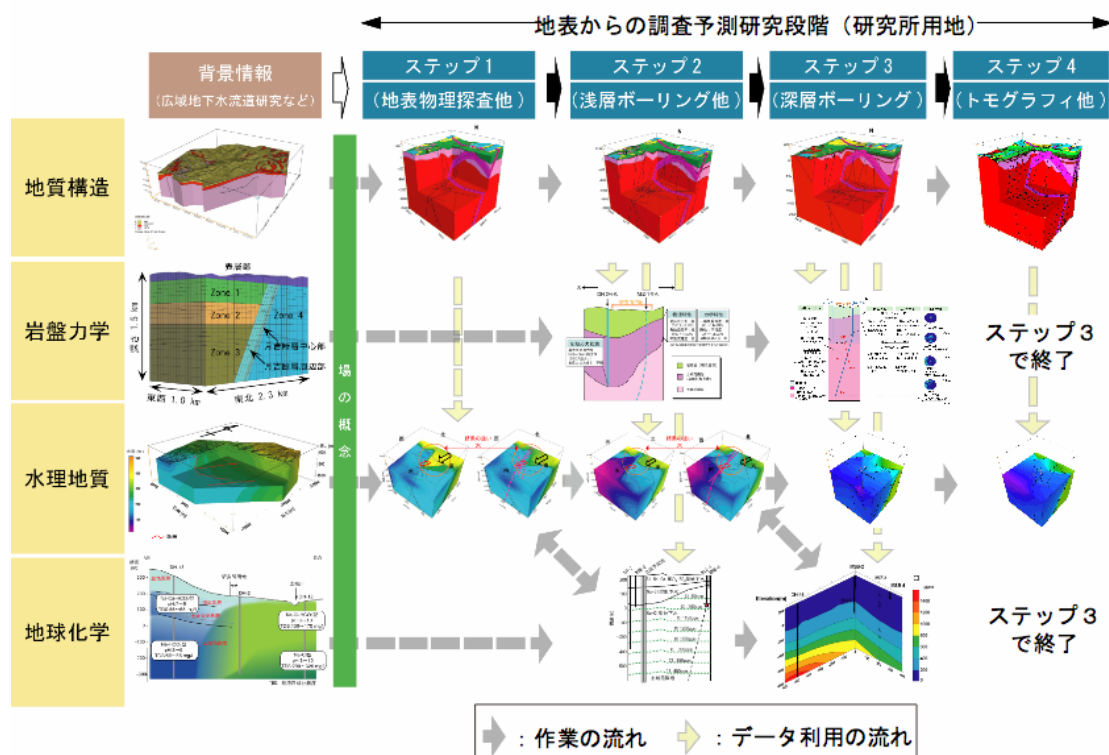
- ・流体流動電位法による地下水流動のモニタリング調査
- ・立坑内の水位変化を利用した立坑近傍および立坑周辺の地下水流動特性評価
- ・プレグラウトおよび立坑掘削に伴う岩盤ひずみ計測計画
- ・グラウト計画の立案
- ・パイロットボーリング調査計画の立案
- ・排水処理の基本的考え方の整理

(下線の項目は後でご説明)

地質環境特性調査・解析・評価技術

- 地質・地質構造
- 岩盤水理
- 地下水の地球化学
- 岩盤力学

第1段階における各地質環境特性のモデル化



17年度実施内容 (地質・地質構造)

【第1段階】

- ①繰り返しアプローチに基づく段階的な地質構造モデルの構築・確認

【第2段階】

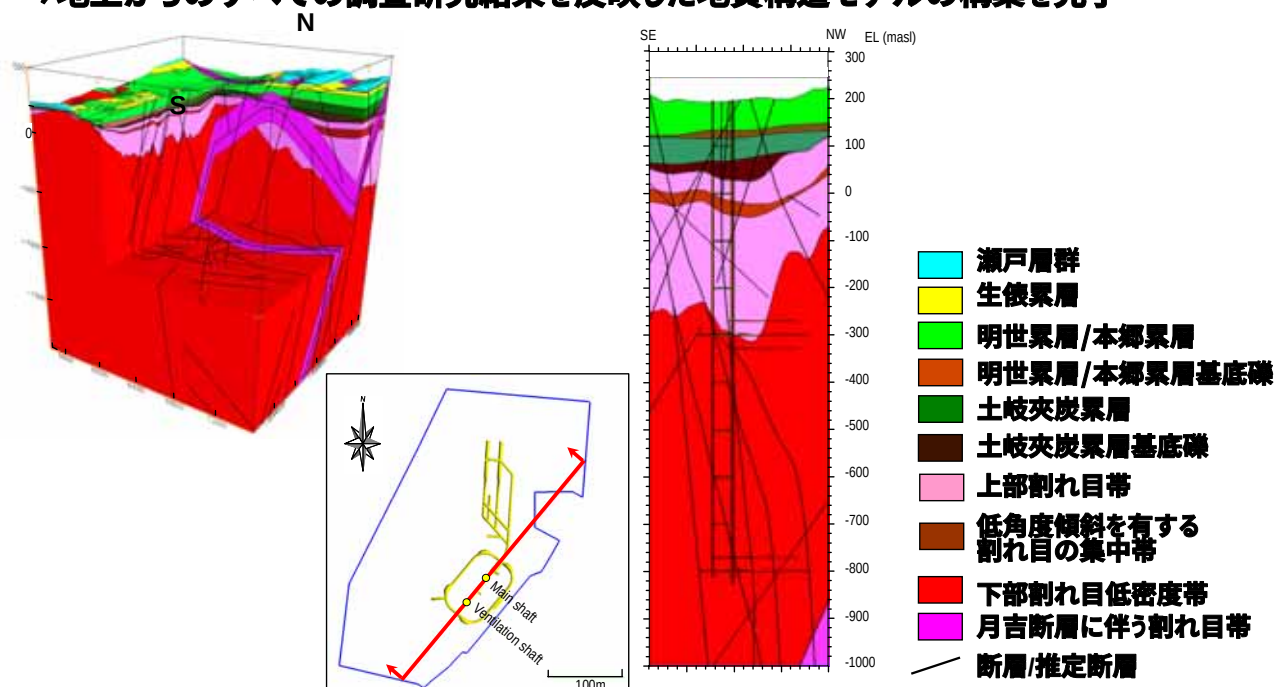
- ②深度200m程度までの研究坑道の壁面調査
- ③深度200m程度までの逆VSP探査
- ④流体流動電位法による地下水流動のモニタリング調査 (追加実施)

11

成果の概要 ー地質・地質構造ー

(繰り返しアプローチに基づく段階的な地質構造モデルの構築)

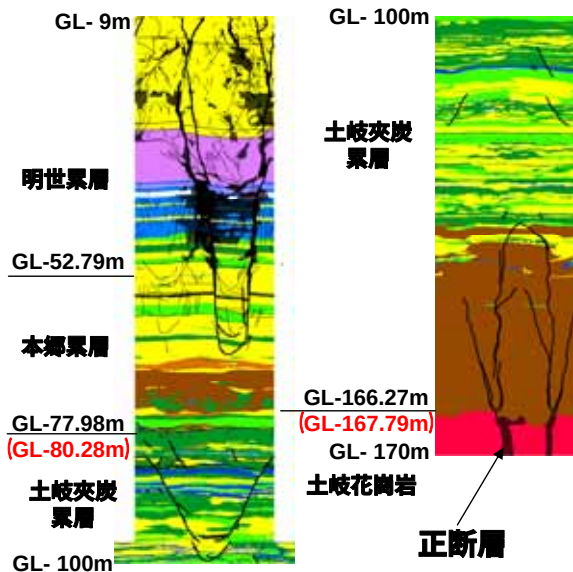
⇒地上からのすべての調査研究結果を反映した地質構造モデルの構築を完了



12

成果の概要 ー地質・地質構造ー

〔研究坑道の壁面調査〕



主立坑：壁面観察結果

→()内は地上からの調査研究結果に基づく
主立坑における地層境界の予測深度

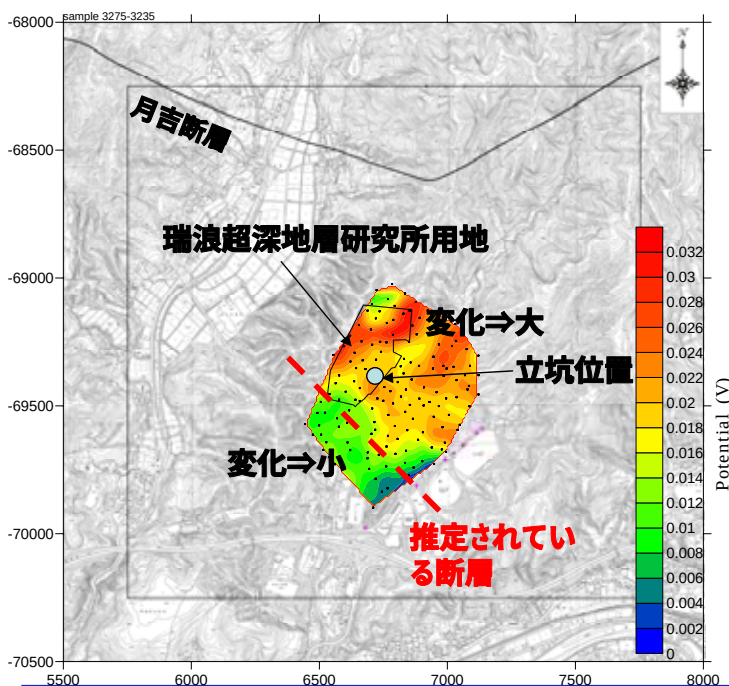
- 主立坑 (深度約180m)、換気立坑 (深度約190m) および深度100m予備ステージの壁面調査を実施
- 地上からの調査研究結果に基づく地質構造モデルとの誤差は数m程度
- 地上からの調査研究で取得された詳細な地質情報 (たとえば、断層・割れ目の分布・性状など) の精度が向上

⇒堆積岩部における調査は完了。

- ✓ 第1段階で構築した地質構造モデルのうち堆積岩部については、その妥当性を確認することができた。

成果の概要 ー地質・地質構造ー

〔流体流動電位法による地下水流動のモニタリング調査〕 (地下浸透流の動的挙動を可視化する四次元電気探査法)



- 研究坑道水没後の回復作業 (排水作業) 時に、研究所周辺に平面的に電極を設置し、排水作業に伴う自然電位の変化をモニタリング
- 場所によって自然電位の変化量が異なる結果が得られた。
- 変化量の異なる領域の境界は、既存の情報から推定されている規模の大きい断層の位置と整合的

- ✓ 研究坑道掘削に伴う水理的攪乱を利用した本手法は、地下水流動を規制する構造を推定するとともに、流動方向や経路を推定する有効な手法であることを確認

地上において測定された自然電位の差 (4月1日の午後1時頃と午後11時頃の差)

17年度実施内容 (岩盤水理)

【第1段階】

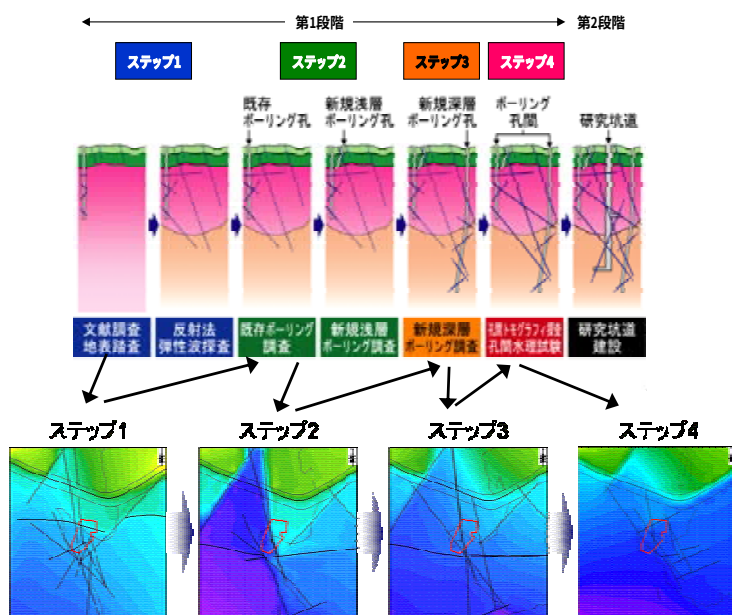
- ① 水理地質構造モデルの構築と地下水流動解析
- ② MIZ-1号孔, DH-2号孔における孔間水理調査

【第2段階】

- ③ 地下水モニタリング
- ④ 表層水理観測
- ⑤ 地形の傾斜計測
- ⑥ 岩盤の水理に関する調査
- ⑦ 立坑内の水位変化を利用した立坑近傍および立坑周辺の地下水流動特性評価 (追加実施)

成果の概要 ー岩盤水理ー

【第1段階における水理地質構造モデルの構築と地下水流動解析】



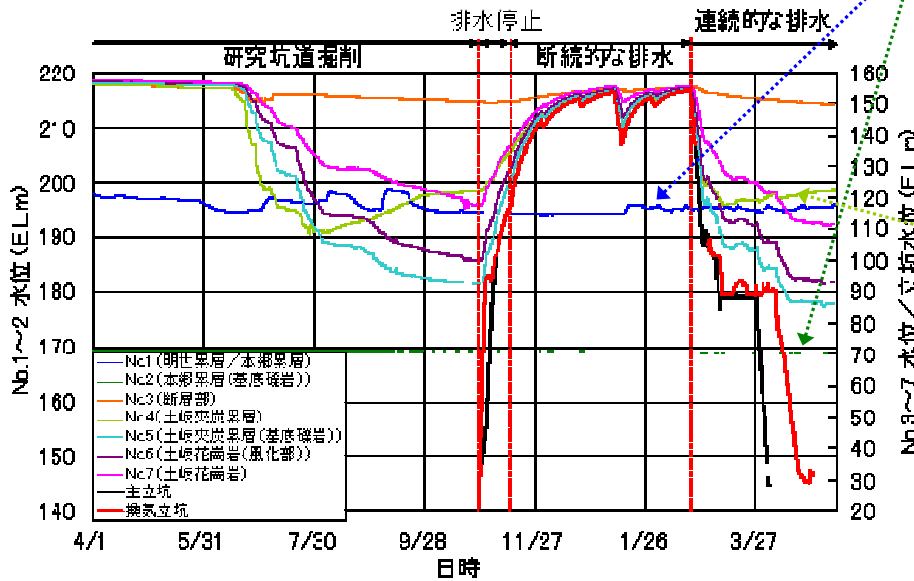
- 地下水流動に影響を及ぼす可能性のある要因を効率的に抽出するためには、それに着目した地下水流動解析を実施し、解析結果が動水勾配分布などに及ぼす影響などを評価することが有効である。また、この結果に基づいて次段階で優先的に調査・評価すべき項目を抽出することができた。

- ✓ 調査・解析・評価を繰り返し実施し、次の段階で調査・評価すべき項目を抽出していくことにより、地下水流動特性に関する理解度を合理的に向上 (不確実性を低減) させることができた。

地下水流動解析結果 (感度解析結果の一例)

成果の概要 ―岩盤水理―

(地下水モニタリング)

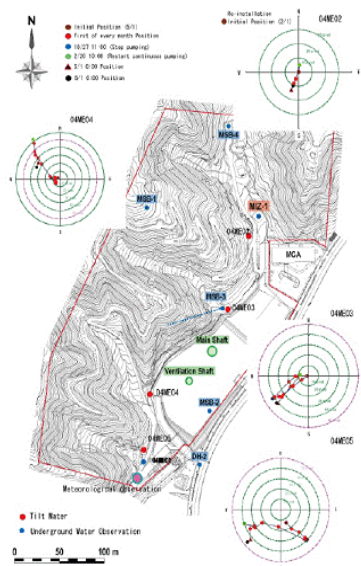


水圧観測結果の一例 (MSB-3号孔)

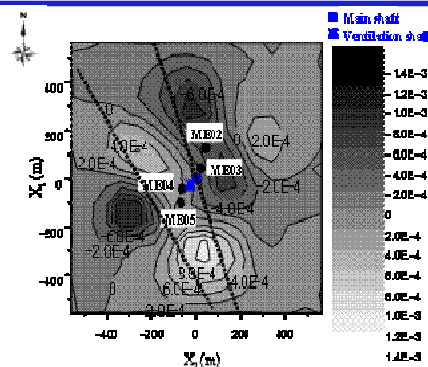
- ・ 明世累層／本郷累層では、立坑掘削や立坑内の水位変化による影響は見られない
- ・ 土岐炭累層以深では、立坑掘削や立坑内の水位変化に対応して変化。
- ・ 土岐炭累層上部の砂泥互層(No.4)は複雑な挙動
- ✓ 地下水流動場を規制する地質や構造との位置関係を考慮した水圧モニタリング孔／区間を配置することは、不均質な水理地質構造を把握する上で重要であることを確認できた。

成果の概要 ―岩盤水理―

(地形の傾斜計測)



傾斜計による観測結果

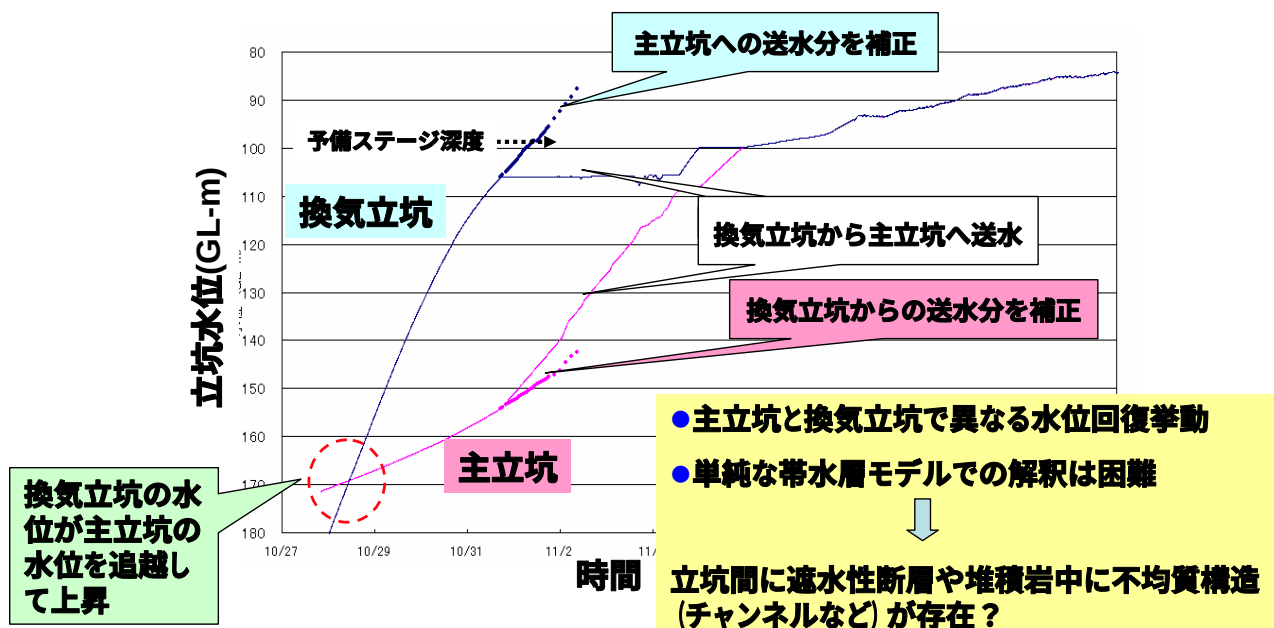


傾斜データを用いた体積変化量の推定結果

- ・ 2本の断層に挟まれた領域において体積減少が生じている可能性を示唆
- ・ 2本の断層の遮水性を示唆しており、既存の調査結果と整合的な結果
- ✓ 地下水流動に影響をおよぼす可能性のある水理地質構造の推定手法としての有効性が示唆され、水圧モニタリングを補充・補間する上で有効な手法となり得る可能性があることが明らかとなった。

成果の概要 ―岩盤水理―

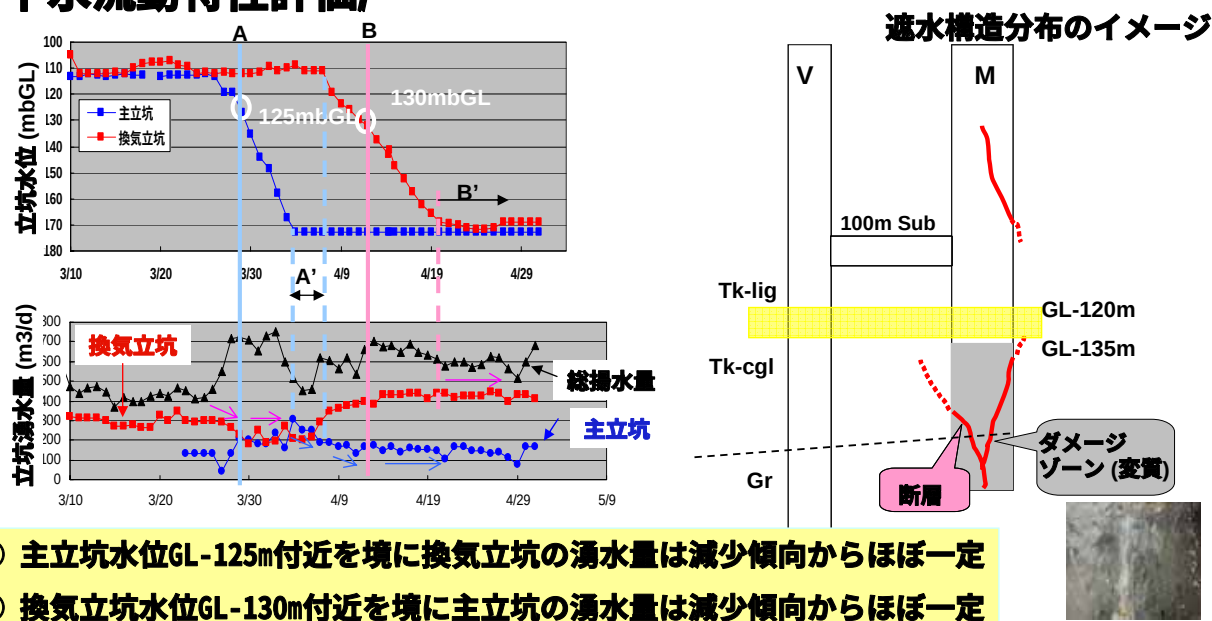
(立坑内の水位変化を利用した立坑近傍および立坑周辺の地下水流動特性評価)



19

成果の概要 ―岩盤水理―

(立坑内の水位変化を利用した立坑近傍および立坑周辺の地下水流動特性評価)



水平および高角の断水構造の影響?

20

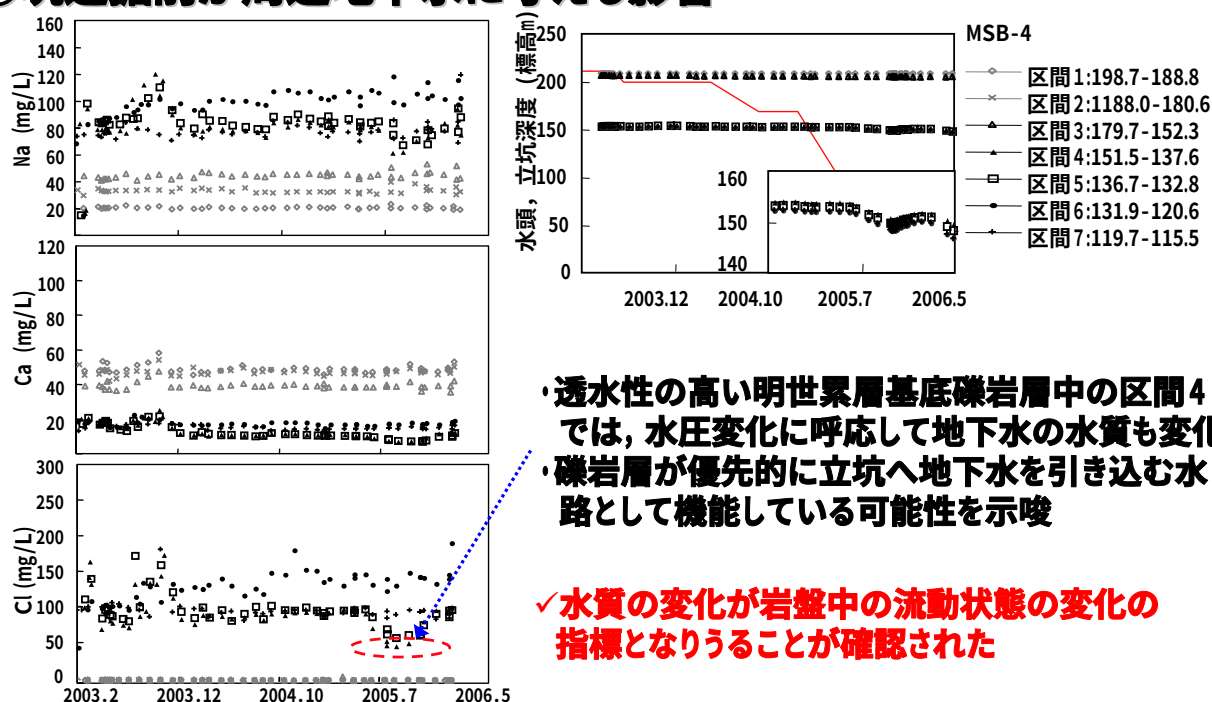
17年度実施内容 (地下水の地球化学)

【第2段階】

- ① 地表ボーリング孔 (MSB-2,4)での地下水の定期採水分析
- ② 坑内湧水 (壁面湧水・集水リング) の定期採水分析
- ③ 100m予備ステージボーリング孔 (掘削長100m程度) での多区間水質連続モニタリング装置による水質観測

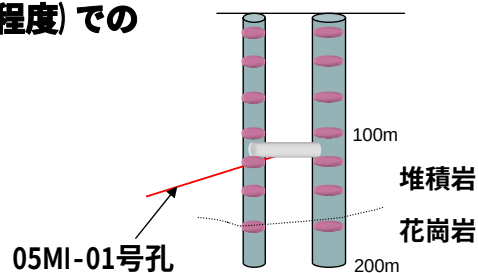
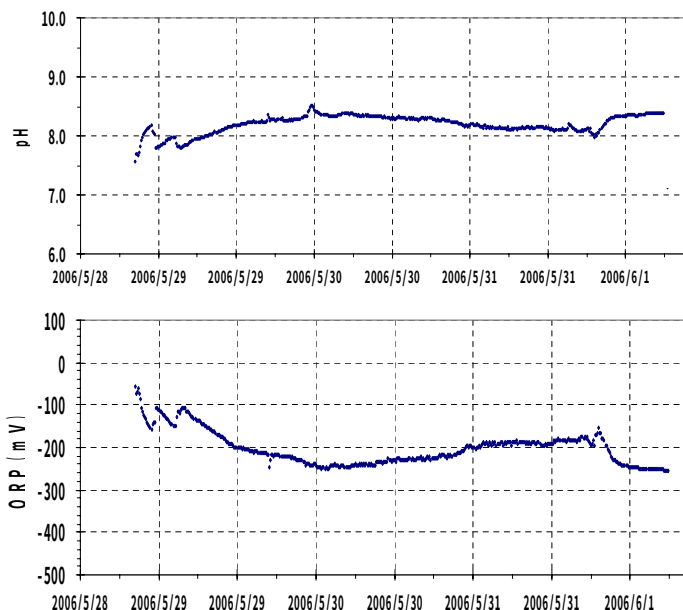
成果の概要 ー地下水の地球化学ー

①坑道掘削が周辺地下水に与える影響



成果の概要 ー地下水の地球化学ー

③ 100m予備ステージボーリング孔 (掘削長100m程度) での多区間水質連続モニタリング装置による水質観測



05MI-01号孔
・長さ: 約86m
・角度: 下向き25°
・測定区間の地層: 土岐夾炭累層
・測定区間: 5区間

・弱アルカリ性, 還元状態の地下水が分布することが明らかになった。

✓水質連続モニタリング装置により地下水の酸化還元状態の正確な測定が可能となった。

17年度実施内容 (岩盤力学)

【第1段階】

① 岩盤の物理・力学特性, 初期応力に基づく

研究所用地の岩盤力学概念モデルの構築

【第2段階】

② 100m予備ステージにおける岩盤力学ボーリング (未実施)

③ 岩盤力学概念モデルをベースとした坑道掘削影響解析

④ 三次元初期応力場の解析

⑤ プレグラウトおよび立坑掘削に伴う岩盤ひずみ計測計画 (追加実施)

成果の概要 —岩盤力学—

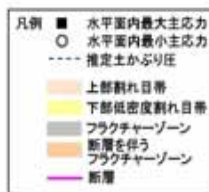
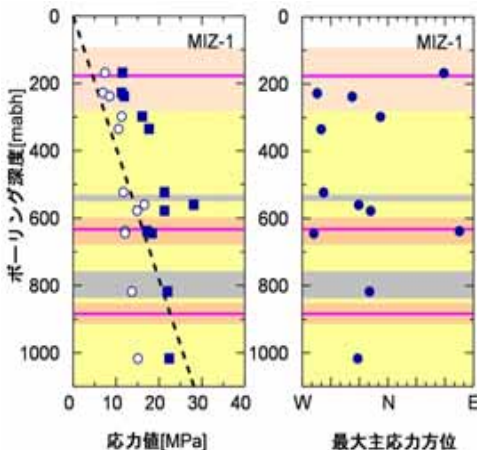
(岩盤の物理・力学特性, 初期応力に基づく研究用地の岩盤力学概念モデルの構築)
MIZ-1号孔等における物性試験・初期応力測定 —

深度630m近傍の断層の上下盤で, 推定土被り圧に対する水平面内の主応力の大きさが変化するストレスデカップリングを観測

コアの室内物性試験 (平均値)

	研究用地 (MIZ-1号孔) 深度:~1,000m	研究用地 の近傍 (DH-2号孔) 深度:~500m	正馬様用地 (AN-1号孔, MIU-1~4号孔) 深度:~1000m	文献データ (花崗岩)
見掛け比重	2.605 (2.623)*	2.623	2.624	2.63
有効空隙率	1.88 % (1.15 %)*	0.83 %	1.31 %	2.0 %
超音波速度 P波速度	5.36 km/s	4.80 km/s	5.27 km/s	4.75 km/s
S波速度	2.83 km/s	2.41 km/s	2.85 km/s	2.44 km/s
一軸圧縮強度	166 MPa	117 MPa	168 MPa	136 MPa
ヤング率(50%接線)	52 GPa	58 GPa	51 GPa	33 GPa
ポアソン比	0.26	0.33	0.34	0.23

* (): 深度 200mのデータを除外した平均



室内物性試験の結果:

- ・MIZ-1号孔の岩石は全国平均である文献データよりも一軸圧縮強度・ヤング率が高い
- ・正馬様用地内のデータとほぼ一致

MIZ-1号孔における水圧破碎試験結果

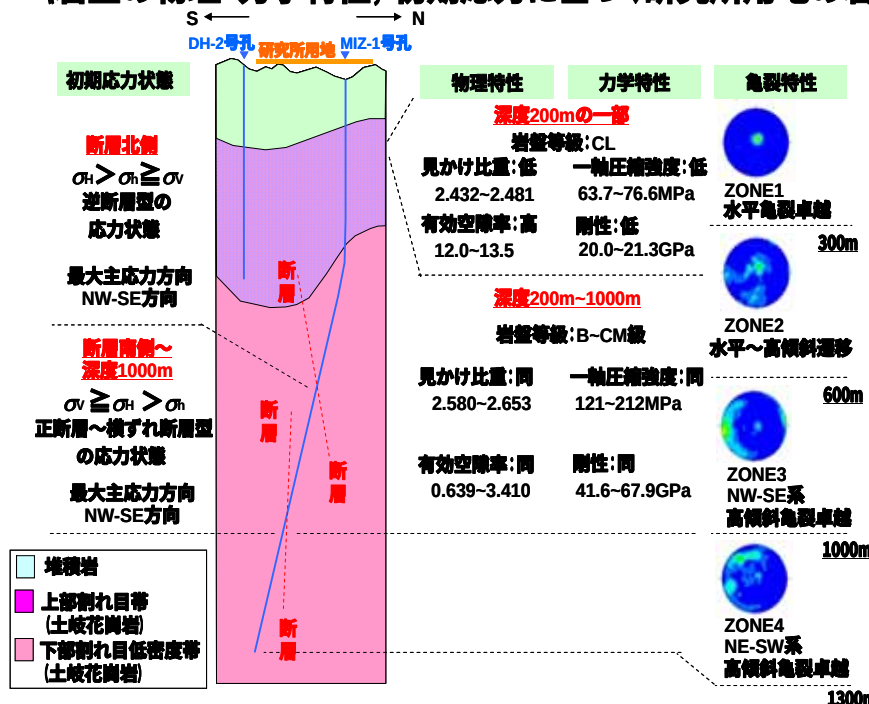
25



Tono Geoscience Research Unit
Geological Isolation R&D Directorate
Japan Atomic Energy Agency

成果の概要 —岩盤力学—

(岩盤の物理・力学特性, 初期応力に基づく研究用地の岩盤力学概念モデルの構築)



- ・断層などを境に応力状態が変化する場合がある



- ・岩盤空洞安定性予測解析の精度を向上させるために, より正確な力学モデルを構築する必要がある



- ✓断層が存在する場合には, 断層の上下 (前後) で水圧破碎試験などによる初期応力測定が必要な場合がある
- ✓今後ストレスデカップリングを起こす断層の抽出方法の検討が必要

26



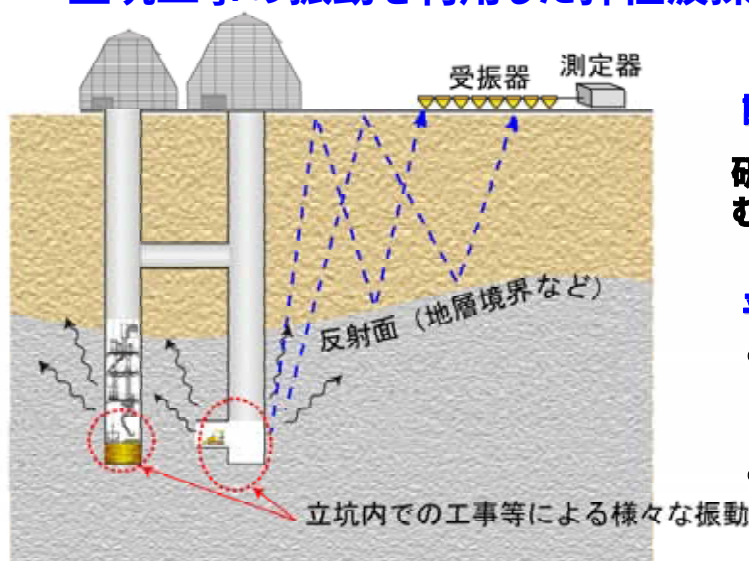
Tono Geoscience Research Unit
Geological Isolation R&D Directorate
Japan Atomic Energy Agency

平成18年度の予定 (地質環境特性調査・解析・評価技術)

- パイロット・ボーリング掘削、深度200m程度までの立坑掘削、200mの水平坑道(予備ステージ)の掘削に合わせて調査研究を実施
- 地表からの調査評価技術の整備
⇒地上からの調査予測研究段階(第1段階)の報告書作成
- 研究坑道掘削中および研究坑道における地質環境調査
 - 地質構造調査(壁面調査、立坑工事の振動を利用した弾性波探査等)
 - 地下水観測(地表や坑内からのボーリング孔等を利用した、間隙水圧・水質等のモニタリングの継続)
 - 岩盤力学に関する調査(深度100m予備ステージに掘削するボーリング孔を利用した、初期応力測定や力学試験等)

平成18年度の予定(地質・地質構造)

立坑工事の振動を利用した弾性波探査



調査研究目的

研究坑道周辺(坑底の前方を含む)の地質構造の把握

平成18年度 調査研究計画

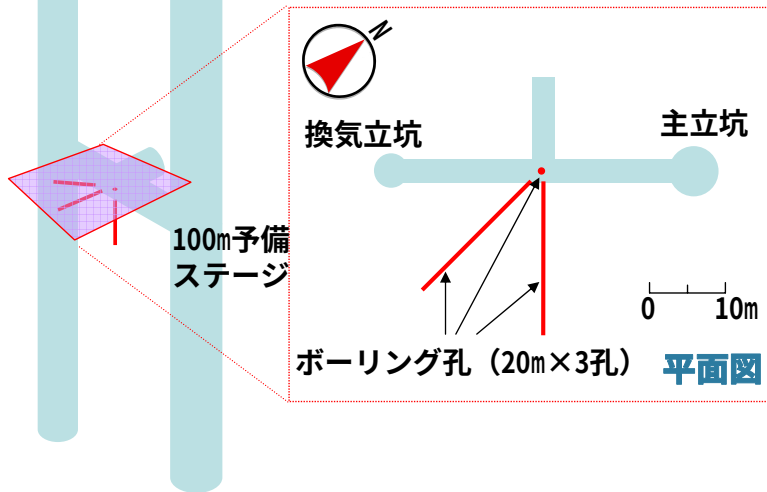
- ・パイロットボーリング中の振動を地表で受信し、その信号を解析
- ・解析結果を用いて地質構造を把握
- ・手法の適用性の確認

平成18年度の予定 (岩盤力学)

100m予備ステージにおける岩盤力学ボーリング調査

換気立坑

主立坑



調査研究目的

研究坑道周辺の岩盤力学に関する初期状態 (岩盤物性・初期応力) の把握

平成18年度 調査研究計画

- ・ボーリング孔の掘削(20m×3孔)
- ・コアの室内物性試験
- ・ボーリング孔およびコアを用いた初期応力測定

調査研究レイアウト (案)

深地層における工学技術の基礎に関する研究

工学技術：H17実施内容

- ① **設計・施工計画技術の開発**
岩盤分類の適用性評価
施工中の計測結果を設計・施工計画へフィードバックする技術の検討
- ② **建設技術の開発**
施工・設計設備の妥当性評価
- ③ **施工対策技術の開発**
大深度立坑における高抜け崩壊機構に関する調査・解析
(湧水抑制対策の立案：別途報告)
- ④ **安全を確保する技術の開発**
大深度地下施設の維持管理に関する検討

① 設計・施工計画技術の開発 (1/2)

1. 岩盤分類の適用性評価 (堆積岩部)

- 立坑掘削時の地山評価に既往岩盤分類法を適用

電力中央研究所 (田中) 式[A, B, C_H, C_M, C_L, D]の6段階評価]

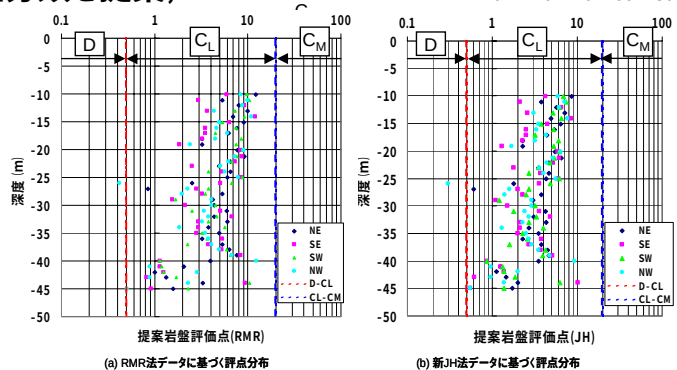
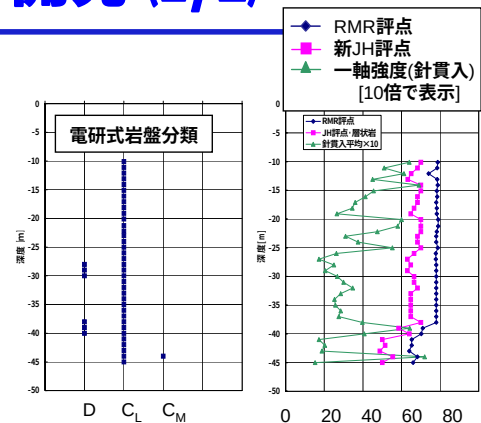
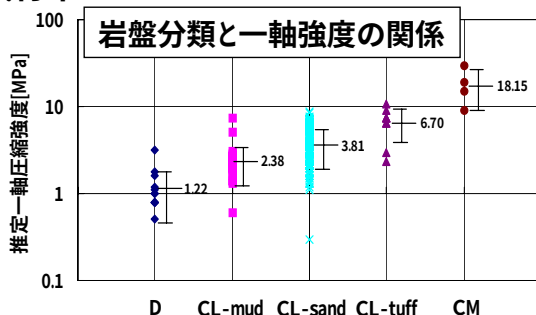
RMR (Rock Mass Rating) 法[岩石強度等5指標による評点法]

新JH(日本道路公団)切羽評点法[岩石強度等4指標による評点法]

- 当初設計において想定された岩盤等級 (CL~D級) は概ね妥当だが、堆積軟岩ではRMR法, 新JH法ともに高めに評価

- 岩盤等級と一軸強度との間に比較的良好な相関

- 一軸強度と割れ目間隔による新しい岩盤分類を提案, 試行中



33

① 設計・施工計画技術の開発 (2/2)

立坑一般部の計測項目 (力学関連)

2. フィードバック技術 (立坑一般部)

- 計測結果を評価
- 設計の妥当性を確認
- 事前設計, 修正設計: 平面ひずみモデル
- 予備設計: 軸対称モデル
- 応力解放率: 80%
- 修正解析結果に近い値が計測されているが, 主立坑, 換気立坑とも小さめの計測結果
⇒ 応力解放率, 覆工剛性の違いによると思われる

		150mレベル			
主立坑	岩級	事前設計	修正設計	予備解析	計測結果
	覆工コンクリート応力 (N/mm ²)	9.7 (最大値)	3.2 (最大値)	1.9	3.8
換気立坑	鋼製支保工線応力 (N/mm ²)	134.3	96.6	—	36.5
	岩級	事前設計	修正設計	予備解析	計測結果
	覆工コンクリート応力 (N/mm ²)	7.8 (最大値)	2.8 (最大値)	1.6	1.51
	鋼製支保工線応力 (N/mm ²)	99.6	100.8	—	20.5

34

② 建設技術の開発

1. 施工・設計設備の妥当性評価 サイクルタイムの設計値と実際 (単位:分) サイクルタイムの施工データを収集・整理・評価

(1) データ分析結果

・ずり出しと覆工作業のサイクルタイムが計画に比べ大きい

・ロスタイム (湧水処理のポンプ盛替、配管等の点検整備・修理) が大きい

(2) 改善案

- ・ずり替キブルの活用
- ・巻き上げ速度の増加
- ・切羽排水ポンプの能力向上
- ・シャフトマッカーのバケット旋回性の向上

掘削サイクル調査項目	主立坑			換気立坑		
	設計(CL)	実績	比率(%)	設計(CL)	実績	比率(%)
穿孔	346	376	109	240	348	145
装薬・発破	166	166	100	166	139	84
ズリ出し	668	1211	181	740	911	123
支保	180	172	96	180	186	103
壁面観察	180	260	144	180	268	149
覆工型枠	132	239	181	151	279	185
覆工打設	154	516	335	169	306	181
小計	1826	2940	161	1826	2437	133
その他作業	風管配管	165			162	
	計測	12	80	11	52	
	点検整備		123		75	
	ウォータリング	7	25	7	17	
	湧水処理		20		60	
	セントルファイヤ盛換		31		10	
	立会		0		8	
	小計	0	444	0	384	
	ロスタイム		198		99	
	見学他サイクル調整		6		6	
小計	60	204		60	105	
合計	1886	3588	190	1886	2926	155
注入		274			0	

③ 施工対策技術の開発

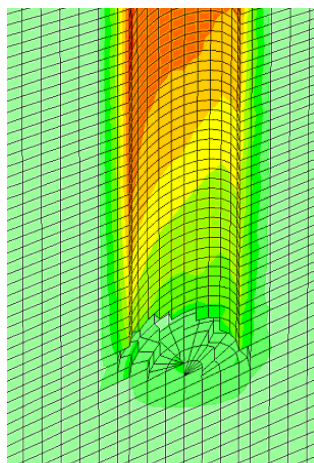
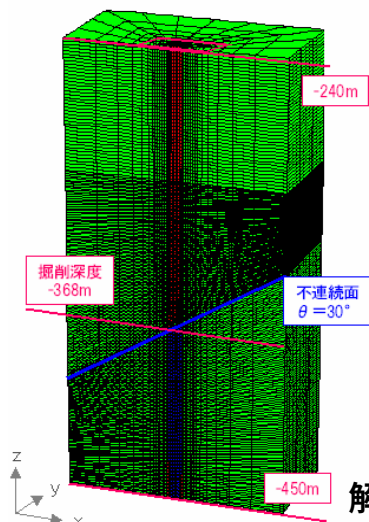
大深度立坑における高抜け崩壊機構に関する調査・解析

・解析に基づく「高抜け」崩壊の機構を解明

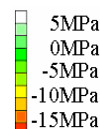
未覆工高さ大→地山塑性化→下部掘削→塑性域拡大→半径方向応力零→上部地山崩落

・MIUで予想される地層 (断層) 条件 (特に傾斜角) では、「高抜け」崩壊発生の可能性は小さい

・長期的安定性確保の観点からロックボルトによる縫い付けが対策案として考えられる



最小主応力
分布図



断層に関するパラメータ
物性 (垂直・せん断剛性)
および断層傾斜角

解析方法

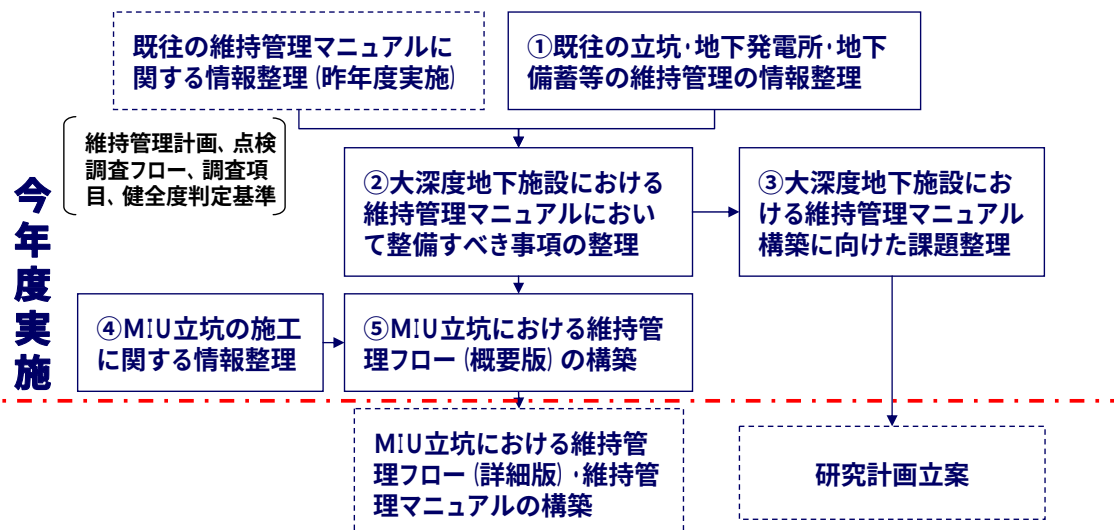
- ・有限差分法 (3次元)
断層挙動を境界要素で表現
- ・個別要素法 (2次元)
非連続体挙動を表現

解析モデルと解析結果 (有限差分法) (深度GL-368m掘削時: 破碎帯考慮)

④ 安全を確保する技術の開発

1. 大深度地下施設の維持管理に関する検討

- ・既往の土木構造物に関する情報に基づき、大深度地下施設における維持管理マニュアルで整備すべき事項を整理⇒長期間、高地圧、高水頭を考慮
- ・MIUの諸条件を勘案し、MIUにおける維持管理フローを作成



工学技術：平成18年度の予定

① 設計・施工計画技術の開発

- 岩盤分類の適用性評価 (継続：花崗岩部)
- フィードバック技術の検討 (継続：花崗岩部)

② 建設技術の開発

- 施工・設計設備の妥当性評価 (継続：花崗岩部)

③ 施工対策技術の開発

- グラウトの詳細計画立案・実施・有効性の評価

④ 安全を確保する技術の開発

話題提供

1. パイロットボーリング調査計画の立案
2. グラウト計画の立案・試験施工
3. 排水処理に関する検討
4. 今後の工程

1. パイロットボーリング調査計画の立案

背景

排水問題を契機に



- 今後の立坑掘削に伴う湧水量に対する排水処理設備の見直し
- 湧水量そのものの抑制対策としてのグラウト施工の詳細を検討



パイロットボーリング調査

これらの計画立案にあたっては、できるかぎり「立坑掘削地点」近傍で取得したデータに基づく、より信頼性の高い予測が必要不可欠。

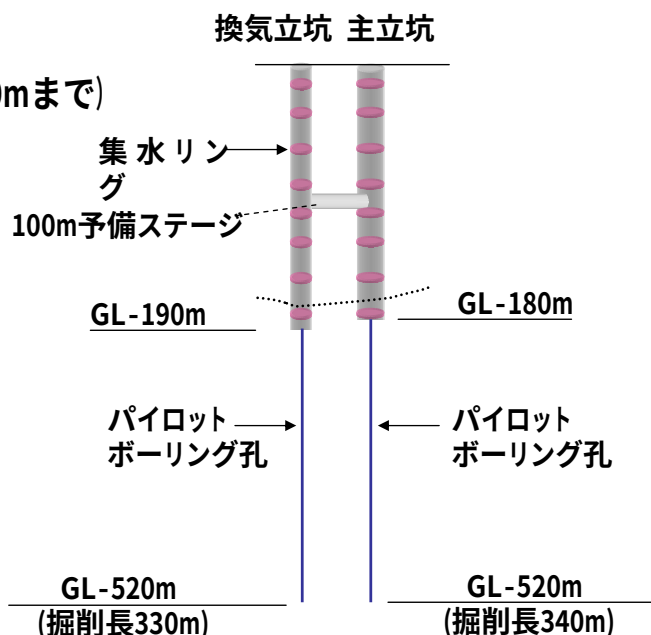
制約条件

- 平成18年10月末までに必要なデータを整理 ← 排水処理設備設計に反映, 年内に計画具体化
- 作業空間が狭い → 安全・効率的な作業のレイアウト, 想定されるトラブル対応
- 被圧状態下での掘削・計測 → 湧水対策 (孔口処理)

1. パイロットボーリング調査計画の立案

調査項目

- ①パイロットボーリング掘削 (深度520mまで)
- ②岩芯観察
- ③水理試験
- ④採水
- ⑤ボアホールテレビ観察
- ⑥物理検層



41



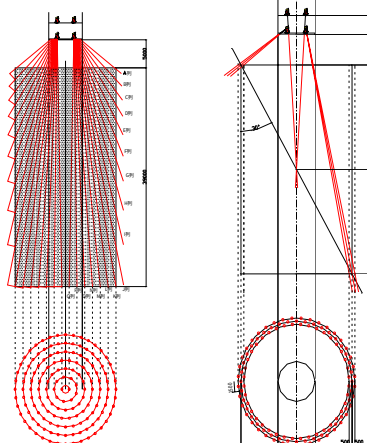
Tono Geoscience Research Unit
Geological Isolation R&D Directorate
Japan Atomic Energy Agency

2. グラウト計画の立案・試験施工

施工対策技術として、次の項目を検討

- ・突発湧水対策技術
- ・山はね予測・対策技術 等

突発湧水対策として、専用設備による大規模プレグラウト工の基本計画を立案



大規模湧水帯対策例 単一湧水割れ目対策例

排水問題を契機に、

- ・ 既掘削部の湧水抑制対策工 (ポストグラウト工)
- ・ 未掘削部の湧水抑制対策工 (シャフトジャンボを用いた小規模プレグラウト工)

を候補として選定

- ・ 基本的な考え方の検討
- ・ 施工方法の検討
- ・ 試験施工の計画立案
- ・ 試験施工の実施 (H18.4)

湧水抑制対策検討委員会

42

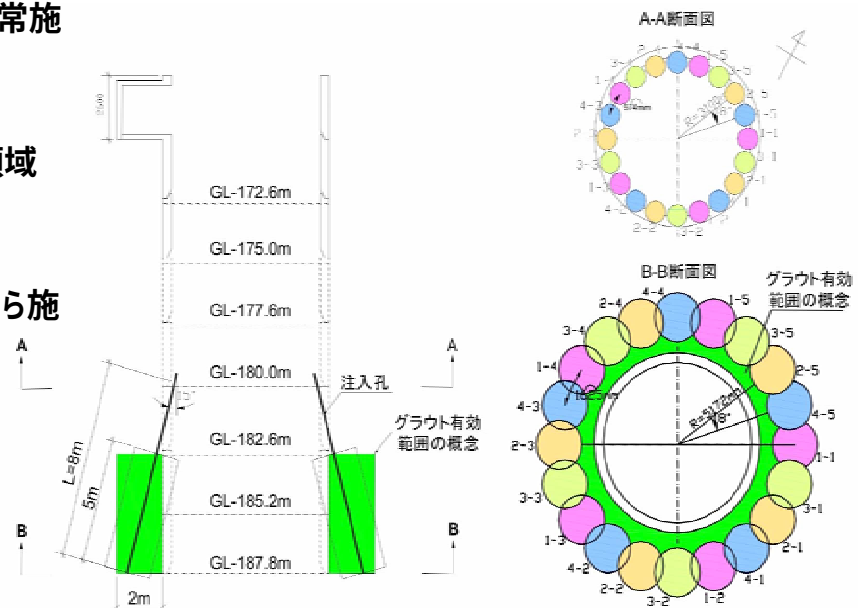


Tono Geoscience Research Unit
Geological Isolation R&D Directorate
Japan Atomic Energy Agency

2. グラウト計画の立案・試験施工

シャフトジャンボを利用した小規模プレグラウト工

- ・シャフトジャンボを用いた通常施工パターンを計画
- ・2.6mのカバーロック
- ・外周部に厚さ2.0mの注入領域
- ・外周部に20孔 (5孔×4次)
- ・透水性の評価 (水押し試験)
- ・次段の必要性を判断しながら施工を進める



主立坑における注入レイアウト

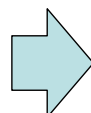
2. グラウト計画の立案・試験施工

小規模プレグラウト工試験施工 (主立坑)

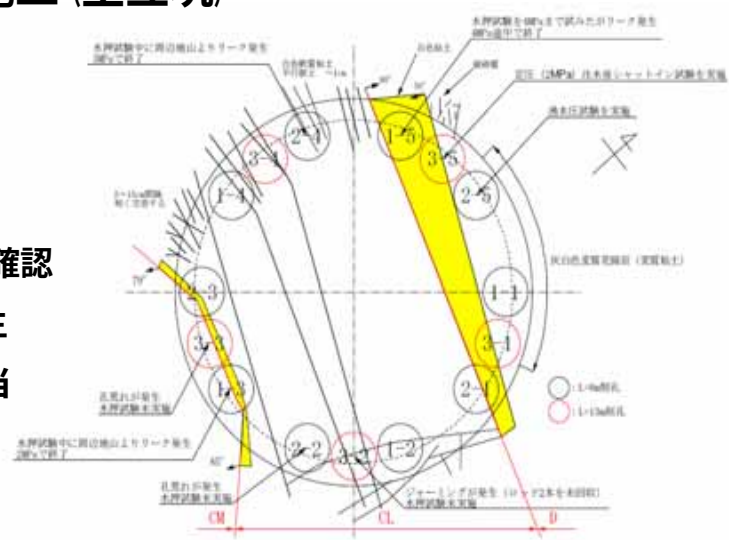
- ・地山の透水性が非常に低い
(Lu値<0.2, K=5.89E-10[m/sec])
- ・グラウト注入は未実施
- ・シャフトジャンボの施工性・削孔能力確認
→削孔長10m以上では孔壁崩壊発生
→削孔長10m程度以下の計画が妥当



パイロットボーリング調査
水理地質構造モデル
→湧水ゾーンの幅を想定



→小規模プレグラウト工の施工計画立案
→大規模プレグラウト工の施工計画立案



3. 排水処理に関する検討

排水処理技術，方策の整備

- ・排水中の環境基準項目フッ素，ホウ素イオンについては，吸着剤，凝集沈殿剤による除去を，排水が処理可能な水量（約1,200トン）を勘案しながら行なう。
- ・立坑の掘削深度が増加するにつれて，排水中の塩化物イオン濃度が増加することが予想され，周辺環境での塩害を防止するため，排水が現施設の処理可能水量に達する前に，逆浸透膜方式，電解濃縮方式の処理設備を設ける。
- ・新規の技術開発の一環として，量子ビームによるフッ素，ホウ素，重金属類の捕集剤開発を行なう（高崎研との共同研究）。

4. 今後の工程（平成18～19年度）

工程・実施内容		平成18年度				平成19年度			
		4月	7月	10月	1月	4月	7月	10月	1月
掘削・工事	立坑		GL-180～-200m					GL-200m～	
	予備ステージ				GL-200m				
	グラウト試験施工								
	パイロットボーリング				(地質環境調査ボーリング)				
湧水抑制対策検討委員会	委員会	○ 第1回	○ 第2回		○ 第3回	○ 第4回		○ 第5回	○ 第6回
グラウト施工	計画立案								
	試験施工								
	本施工								
	結果評価								
パイロットボーリング調査	計画策定								
	調査								
	湧水量・水質予測								
排水処理設備	処理能力	(720m ³ /日) → (既存設備増強720→1,200m ³ /日) → (平成19年度末に2,000m ³ /日へ)							
	検討・設置	基本検討							
		仕様検討							
		設計・設置							
	高崎研との共同研究								