

# 平成7年度地層科学研究成果報告会

## — 要旨集 —

1996年6月

動力炉・核燃料開発事業団

東濃地科学センター  
地質安定性研究室  
地質環境研究室  
超深地層研究所計画室  
技術開発課  
釜石事務所

東海事業所  
地層処分開発室

人形峠事業所  
環境資源開発課

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺959-31

動力炉・核燃料開発事業団

東濃地科学センター 技術開発課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Exploration  
and Mining Technology Development Section, Tono Geoscience  
Center Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 959-31, Jorinji,  
Izumi, toki-shi, Gifu, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation) 1996

# 平成7年度地層科学研究成果報告会プログラム

{ 東濃地科学センター：地質安定性研究室・地質環境研究室・超深地層研究所・計画室・技術開発課  
釜石事務所、東海事業所：地層処分開発室、人形峠事業所：環境資源開発課 }

日 時 平成8年6月25日(火) 10:30~17:25

平成8年6月26日(水) 9:30~14:50

場 所／土岐市セラトピア土岐(3階大会議室)

## プログラム

司会：地質環境研究室 坪田室長

I. 所長挨拶	10:30~10:35	5分	坪谷所長
II. はじめに	10:35~10:40	5分	湯佐室長
III. 研究成果報告会			
1. 釜石原位置試験の概要と今後の方針	10:40~10:50	10分	山崎所長
1-1 栗橋花崗閃緑岩中の割れ目形成に関する2、3の知見	10:50~11:05	15分	天野
1-2 釜石原位置試験場の栗橋花崗閃緑岩中の岩盤の力学的異方性と応力場の把握	11:05~11:20	15分	松井
1-3 トレーサ試験対象領域の水理地質構造の推定	11:20~11:35	15分	仙波
1-4 熱-水・応力連成試験	11:35~11:50	15分	杉田
1-5 坑道周辺におけるREDOX状態に関する調査研究	11:50~12:05	15分	笹本
《質疑応答》	12:05~12:25	20分	
《昼食》			
2. 岩盤の力学特性に関する研究の概要と今後の方針	13:40~13:50	10分	菊地
2-1 坑道周辺岩盤の空隙構造の調査研究 －微小き裂調査による掘削損傷領域の推定－	13:50~14:05	15分	石島
2-2 不飽和帯域の原位置計測手法に関する研究 －含水量測定に対する各種計測手法の適用性の検討－	14:05~14:20	15分	安達
2-3 周辺岩盤が受ける振動の掘削工法による違いについて	14:20~14:35	15分	佐藤
《質疑応答》	14:35~14:50	15分	
《休憩》			
3. 調査技術開発			
3-1 地球物理学調査技術開発の概要と今後の方針	15:20~15:30	10分	長谷川主査

3-1-1 試錐孔用広帯域レーダープローブの開発	15:30~15:45	15分	藪内
3-1-2 ハイドロフォンVSP調査における機械式震源の適用性	15:45~16:00	15分	藪内
3-2 水理・地球化学調査機器開発の概要と今後の方針	16:00~16:10	10分	中野
3-2-1 1000m対応水理式試験機器の結晶質岩への適用性	16:10~16:25	15分	竹内
《質 疑 応 答》	16:25~16:45	20分	
4. 超深地層研究所計画の概要	16:45~17:15	30分	大澤室長
《質 疑 応 答》	17:15~17:25	10分	
第1日目終了			
《懇親会》セラトピア土岐2階(花一木)	17:40~19:40		
第2日目			
5. 天然事象研究の概要と今後の方針	9:30~ 9:40	10分	中司主査
5-1 断層活動に伴う周辺地質環境の変化	9:40~ 9:55	15分	石丸
5-2 日本列島における第四紀侵食速度の解析	9:55~10:10	15分	藤原
5-3 日本全国地温勾配図の作成	10:10~10:25	15分	梅田
《質 疑 応 答》	10:25~10:40	15分	
《休憩》			
6. 広域地下水流动研究の概要と今後の方針	10:40~11:10	10分	小出主査
6-1 立坑掘削に伴う間隙水圧変化の長期観測	11:10~11:25	15分	尾方
6-2 フラクタル理論による地層中の透水係数分布の推定 (その2)	11:25~11:40	15分	前川
《質 疑 応 答》	11:40~11:55	15分	
《昼 食》			
7. 東濃地域における地球化学・ナチュラルアナログ研究の概要と今後の方針	12:50~13:00	10分	吉田主査
7-1 東濃地域における深層ボーリングによる地球化学的調査研究	13:00~13:15	15分	岩月
7-2 結晶質岩中の割れ目周辺の物質移行メカニズムに関する研究	13:15~13:30	15分	花室
7-3 鉄酸化細菌による黄鉄鉱の酸化と水質変化についての室内実験	13:30~13:45	15分	佐藤(人形)
《質 疑 応 答》	13:45~14:00		

8. 國際共同研究における地球化学的研究の概要と今後の方針	14:00~14:10	10分	吉田主査
8-1 スイス・グリムゼルテストサイトにおける物質移行研究 《質 疑 応 答》	14:10~14:25	15分	太田
	14:25~14:30	5分	
IV. 総合討論	14:30~14:45	15分	
V. おわりに	14:45~14:50	5分	山川副所長

# 平成7年度地層科学研究成果報告会要旨集

## 一目 次一

	ページ
1. 釜石原位置試験の概要と今後の方針	1
1-1 栗橋花崗閃緑岩中の割れ目形成に関する2、3の知見	6
1-2 釜石原位置試験場の栗橋花崗閃緑岩中の岩盤の力学的異方性と応力場の把握	10
1-3 トレー試験対象領域の水理地質構造の推定	14
1-4 熱-水・応力連成試験	17
1-5 坑道周辺におけるREDOX状態に関する調査研究	21
2. 岩盤の力学特性に関する研究の概要と今後の方針	24
2-1 坑道周辺岩盤の空隙構造の調査研究	25
-微小き裂調査による掘削損傷領域の推定-	
2-2 不飽和領域の原位置計測手法に関する研究	29
-含水量測定に対する各種計測手法の適用性の検討-	
2-3 周辺岩盤が受ける振動の掘削工法による違いについて	33
3. 調査技術開発	
3-1 地球物理学調査技術開発の概要と今後の方針	37
3-1-1 試錐孔用広帯域レーダープローブの開発	38
3-1-2 ハイドロフォンVSP調査における機械式震源の適用性	42
3-2 水理・地球化学調査機器開発の概要と今後の方針	46
3-2-1 1000m対応水理試験装置の結晶質岩への適用例	48

4. 天然事象研究の概要と今後の方針	52
4-1 断層活動に伴う周辺地質環境の変化	54
4-2 日本列島における第四紀侵食速度の解析	58
4-3 日本全国地温勾配図の作成	62
5. 広域地下水流动研究の概要と今後の方針	65
5-1 立坑掘削に伴う間隙水圧変化の長期観測	66
5-2 フラクタル理論による地層中の透水係数分布の推定（その2）	70
6. 東濃地域における地球化学・ナチュラルアナログ研究の概要と今後の方針	74
6-1 東濃地域における深層ボーリングによる地球化学的調査研究	76
6-2 結晶質岩中の割れ目周辺の物質移行メカニズムに関する研究	80
6-3 鉄酸化細菌による黄鉄鉱の酸化と水質変化についての室内実験	84
7. 国際共同研究における地球化学的研究の概要と今後の方針	87
7-1 スイス・グリムゼルテストサイトにおける物質移行研究	89

# 1. 釜石原位置試験の概要と今後の方針

山崎眞一（釜石事務所）

## 1. はじめに

釜石鉱山は、岩手県釜石市の西部、遠野市との境界付近に位置する、わが国有数の鉄-銅鉱山(平成 5 年 3 月終掘)である。事業団はその 140km に及ぶ坑道の中、最も北に位置する、鉱山活動の影響が小さい領域において昭和 63 年から調査研究を実施してきている。対象としている岩石は、この地域(北上山地)に広く分布する、前期白亜紀に形成された栗橋花崗閃綠岩である。

現在実施している第 2 フェーズ(平成 5 年度から平成 9 年度までの 5 ケ年)の試験研究では、坑道掘削影響領域を含む坑道の比較的近傍領域の構造の把握とそこで起こる現象の理解に焦点が当てられている。より具体的には、以下の目標(Task)を設定して試験研究を進めている。

- ①地下の地質環境条件をより詳細に把握すること(Task 1).
  - ②より深い深度(250m レベル坑道、地表下約 730m)での化学環境の変化を含めた坑道掘削の影響を詳細に把握すること(Task 2).
  - ③坑道周辺岩盤の割れ目の分布や割れ目中の地下水流动/割れ目面からの拡散現象を含めた物質移行固定現象を詳細に把握すること(Task 3).
  - ④粘土系グラウト技術の適用性の検討/緩衝材であるベントナイト粘土と周辺岩盤/地下水の間での熱-水-応力連成現象を明らかにすること(Task 4).
  - ⑤地震動の地下低減特性の実証データの蓄積/地震の地下水系に与える影響を確認すること(Task 5).
- また、これらの調査試験を通して
- ⑥深部岩盤の調査/試験技術の改良/高度化.
- を目指している。

## 2. 平成 7 年度調査研究の概要

調査試験の実施場所は、550m レベル坑道、250m レベル坑道の北端部領域である(図-1)。実施内容、成果を表-1 に示した。

それぞれの Task の進捗という面からは、平成 7 年度には、Task 2 の掘削影響試験のための計測坑道の掘削(図-3)、Task 4 の熱-水-応力連成試験のためのピットの掘削(図-4)が工事としては大きなものであった。これらに Task 3 のトレーサ試験(図-5)を加えた 3 大プロジェクト

タクトは準備段階をほぼ終了し、いよいよその主工程を迎えるようとしている。地質学的情報として、K-Ar 法、Rb-Sr 法、CHIME 法、FT 法による絶対年代測定や古磁気測定により栗橋花崗閃緑岩およびその割れ目の形成年代等について、いくつかの知見が加わった(表-2)。

岩盤力学の観点からは、水圧破碎法により 550m 坑道から深部 500m 間について、これまでの成果と整合的な初期応力分布が得られ、一方、試錐コアスケルにおける 10% 程度の力学特性の異方性を認めた。

水理地質学的観点からは、トレーサ試験実施領域の極めて興味深い水理(地質)場の理解が進んだが、一方で、人工川ア試験場領域の水理場の奇怪さは説明できていない。また、割れ目帯を対象として掘削した試錐孔からは予想を遥かに上回る  $400 \ell/\text{min}$  以上の湧水があった(図-6)。

地下水の地球化学的な観点からは、古い探査試錐孔(TK-24 孔)からの湧水について長期間安定した還元状態( $Eh \approx -340\text{mV}$ )を示すデータが得られている。反面、坑道壁面から近傍岩盤内部へ向かっての地下水の DO あるいは Eh のより定量的なプロファイルを得ることは課題として残されている。

調査技術/手法の観点からは、花崗閃緑岩の古地磁気測定、試錐孔と坑道壁面を使って透水割れ目を推定するために実施した流体流動電位法(図-7)、トレーサ試験のために掘削された試錐孔について行われたダブルパッカ式流量検層、計測坑道掘削時に振動計、AE センサー、Pac-ex を用いた予備計測(図-8)、熱-水-応力連成試験ピットへの微量湧水測定のためにおむつを使ったことなどがトピックスと言える。

### 3. 平成 8 年度の計画

平成 8 年度に実施する主要な調査試験を列記する。

坑道掘削影響試験では、影響を発生させる試験坑道の掘削および計測を行う(Task 2)。

坑壁近傍の割れ目を対象に空隙構造把握のための原位置でのレジン注入試験を実施する(Task 3-1)。

トレーサ試験については、対象単一割れ目を選定し、平成 9 年度実施のトレーサ試験に先立った予備的なトレーサ試験まで実施する(Task 3-2)。

熱-水-応力連成試験では、いよいよピットへのバント付と電気ヒータの充填設置を年内に終了し、年明けにはモニタリングを開始する(Task 4)。

表-1 釜石原位置試験 調査研究の概要 (平成7年度)

調査研究課題	実施場所	実施内容	結果概要
Task 1: 深部岩盤の地質構造・力学特性・水理特性・地球化学特性の把握			
1) 地質構造の把握	550/250m 坑道, KF-1, 2	* 剥れ目帶形成年代測定 (K-Ar: 2 件 (変質部 Kfd), FT: 16 件 (母岩ジルコン 3, アバタイト 1, 変質部ジルコン 1, 剥れ目充填物ジルコン 8, 7N タイト 3))。 * 剥れ目帶試鉄孔 KF-1 (60.3m), 2 (40.53m)掘削, 剥れ目 (帯)検出物理探査 (流電位法/流体流動電位法)。	* 剥れ目充填物→変質部→母岩の順に若い形成年代。 * 対象剥れ目帶で高水圧/大湧水確認。流体流動電位法により湧水割れ目集中部に対応する SP 応答確認。 * 力学特性の深度依存性認めず。水平面内最大主応力 NS。
2) 力学特性の把握	550m KH-1 250m KM-3	* KH-1 孔コア採取、CT を用いた室内試験 (一軸/三軸/圧裂引張試験、一軸クリープ試験 (各試験 3 試料*10 深度=120 試料), 各弾性波速度/密度/隙間率測定。孔内載荷試験 (10点*2 方向, 追加 1 点*2 方向)。 * KH-1 孔水圧破碎法初期応力測定 (9 区間)。 * KM-3 孔掘削 (30m), CT を用いた力学試験 (一軸圧縮試験/圧裂引張試験+弾性波速度/密度/空隙率, 3 ケ所*8 方向*2 試験+3 ケ所*3 寸法*2 試験=66 試料) 実施、異方性、供試体寸法効果の把握。 * AE 法による初期応力測定手法に関して、手法間の比較の観点から、同一先行載荷後異なるしきい値について AB 計測 (9 試料)。 * KM-0, 1 孔コアを用いて薄片剥れ目観察 (各 3 ケ所*3 方向)、微小剥れ目頻度/方向と DSCA 法/AE 法初期応力測定結果の対比。	* 約10%の力学特性の異方性を認める。供試体の寸法効果は確認できず。 * 先行応力は明瞭に再現。
3) 水理特性の把握	550/250m 坑道 550m KH-1 KD-90 holes	* 掘による坑道湧水量測定 (4 分所), 既存試鉄孔 (84 区間: KD-90 Boreholes, KF-1, 2; ひずみゲージ式 65 区間, アル・ソ音 19 区間) 間隙水圧モニタリング。 * KH-8 孔パッカー設置。KH-1 孔パッカー再設置。簡易透水試験 (46 区間, KD-90 領域試鉄孔)。 * KH-1 孔透水試験 (10 区間, 区間長原則 2.5m, 注入パルス法、回復パルス法、回復法)。 * 圧力伝播試験 (KD-90 領域試鉄孔)。透水場異方性/不均質性を考慮した岩盤浸透流解析 (KD-90 領域)。	* 近傍でのイエントラル試験, KH-1 孔での流体流動電位法等の水圧応答確認。 * 透水係数 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-10}$ m/s 実施割れ目の多い区間 (19~29m) の透水係数 $3.1 \times 10^{-4} \sim 1.4 \times 10^{-6}$ m/sec。KH-1 孔、孔口から静水圧分布。 * 注入区間近傍区間にほど等方的伝播するが、局部的不伝播区間も存在。
4) 地球化学特性の把握	550m / 250m 坑道 KH-1/地上	* 既存探鉄試鉄孔/坑壁湧水物理化学パラメータ測定 (7 分所)、採水 (4 分所) * KH-1 孔地下水、14C 年代測定 (4 区間)、バケツリ分析 (2 区間)、一般水質/同位体分析 (4 区間) 実施。 * KG-1 孔 (1 区間, 785.4~793.0m) 採水 (~12/26, 予備採水量 12.647L, 本採水 8.813L)、分析 (主要成分等 26 成分/同位体/バケツリ/溶存ガス)。	* 深部地下水についても浅層地下水とより古い滞留地下水の混合が推定される。 * 全菌数 KG-1 (492, 740, 788a) $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^7$ cells/ml (地表水の 30~1000 倍), KH-1 $1 \times 10^2$ cells/ml, KH-1 有機物量極少と調和的。
Task 2: 深部岩盤における掘削影響領域の評価			
1) 坑道掘削影響試験	250m 坑道	* AE/振動/Pac-Ex 予備試験、計測坑道掘削 (30.8m)、計測用試鉄孔掘削 (17 孔, 342.0m)、計測坑道壁面弾性波屈折法、 * 再調査/PS 検層。試錐コア室内試験 (弾性波速度/密度/空隙率測定、一軸/三軸/圧裂引張試験)。岩盤挙動予測解析 (FEM/DEM (UDEC-BB))。	* AE 発生領域把握可、Pac-Ex 間隙水圧/変位計測可→有効性確認。振動センサ仕様決定。 * 弹性波屈折法により発破工法違いに対応した低速度帯分布を確認。
2) 既存坑道掘削影響調査		* ゆるみ領域透水試験 (非定常法 6 区間 (中 2 区間は定常法重複実施)、比抵抗トモグラフィー調査 (KDT-1/2/坑壁))。	* 定常法/非定常法間の明瞭な差を確認。既存坑道周辺のゆるみ領域同定手法としての有効性確認できず。
3) 坑道周辺地下水 Redox 調査		* TK-24 孔パッカー設置/モニタリング開始 (12/17)、新規モニタリング孔 (KRE-3) 掘削 (10m)。	* TK-24 孔で安定した Eh-240mV 土を計測。
Task 3: 結晶質岩中の水理・物質移行に関する研究			
Subtask 3-1: 収着・ドリッキス拡散に関する研究	250m 坑道	* 250m レベル坑道の剥れ目調査 (タイプ C 剥れ目の抽出); * 剥れ目 (B) 対象収着試験 (東海)/剥れ目 (B) 対象から拡散試験 (東濃, 東海); * 室内染色試験 (東濃, 室内, A/B/C)。	* A/B/C 出現頻度、充填物鉱物/化学組成から区分の有意性確認。
Subtask 3-2: 移流および分散に関する研究	250/350m 坑道	* 孔間透水試験装置性能試験 ('96 下期実施予定) 位置 /I(7) で検討。 * 試錐孔 (KH-23, 21) 掘削、掘削時周辺孔水圧応答観測、BTIV/孔曲り検査/流量検査/レーダー調査、パッカー設置。KH-25 孔掘削、掘削時周辺孔水圧応答観測、BTIV/流量検査/透水試験。KH-21, 25 パッカー再設置。間隙水圧継続観測中 (36 区間: KH-19, 20, 23, 21, 25)。	* 550m (H8), 250m (H9) で実施。 * 剥れ目の連続性/透水性同定のための複数の手法の組み合わせにより、水理学的に独立性の高い 6 領域が識別された。
Task 4: 人工ドリル試験			
Subtask 4-1: 剥れ目帶のグラット技術適用試験	550m 坑道	* 試錐掘削 (6 孔, 38m), 試錐孔内水押試験 (剥れ目の連続性の確認), 電磁波トモグラフィー調査, 比抵抗トモグラフィー調査, 低圧ドリル試験, グラット注入試験, 事後ドリル調査 (電磁波/比抵抗), 事後低圧ドリル試験。天蓋漏水/ゾンド 水位観測 (1 回/月)。	* 粘土グリットの濃度、注入圧力/注入量、透水性の改善程度等についての基礎的数据を取得、グラット注入の確認のためのトモグラフィー法の有効性を確認。
Subtask 4-1: 粘土充填・熱負荷試験 (T-H-M 試験)	550m 坑道	* 試錐掘削 (14 孔, 100m)/BTIV (9 holes)/透水試験 (7 孔, 29 区間)/孔内載荷試験 (KH-7 孔: 3 点, S200 孔: 3 点)。孔内岩盤変位計測 (2 孔, 各 10 点)。孔内間隙水圧 (6 孔, 29 点)/ひずみ (3 孔, 9 点)/亀裂変位 (2 孔, 2 点)計測。床面亀裂変位計測。	* 試験場領域初期条件 (含む水理場の複雑さ、ピットへの湧水極少) を把握。
Task 5: 地震に関する調査研究			
1) 地震動観測 (加速度計 7 台)	250m~地表	* 地震計ゲイン変更 (500gal to 100gal)。(*)地下深部地震動特性に関するモデル解析 (重複反射理論コード "SHAKE", 2 次元複素応答解析 (FLASH))。	* 地震情報 (11/6 宮城県沖: M=4.8、震度3 (大船渡), 2/17 福島県沖: M=6.6、震度4 (大船渡)) 釜石市へ提供。
2) 地震時地下水観測	550m NE/NW	* pH/EC 観測用試錐孔 (3 孔, 1.8m) 掘削 (中 1 孔よりの地下水モニタリング開始)。* KWP-2 孔水圧チェック。KWP-1, 2, 3 孔水圧観測継続。* 天蓋漏水量観測継続。 * 自動採水装置/地震観測データ収録部修理。* 大雨/大潮時採水分析実施。 * 岩盤ひずみ計補修。	* KWP-2 孔水圧の長期漸減傾向、一応水圧計のドリフトは否定。 * 地震前後での HC03, SO4 付の変動の有意性裏付データ蓄積。
その他	250m 坑道 >>	* 古地磁気 (残留磁気) 測定用試料採取 (45 件)、測定 (17 件)。* 剥れ目充填物ジルコン FT 年代測定 (10 件)。	* 質の高い花崗閃緑岩の残留磁気測定による岩石の回転運動推定、FT 年代測定結果と総合した構造発達史推定手法としての有効性確認。

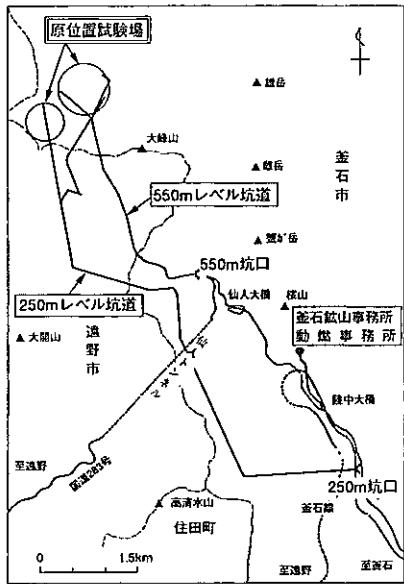


図-1 釜石鉱山坑道と原位置試験場

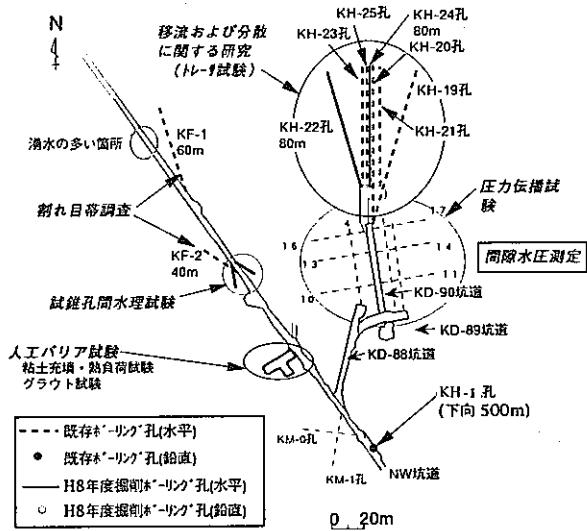


図-2 550m レベル NW 坑道原位置試験場領域の坑道/試錐孔

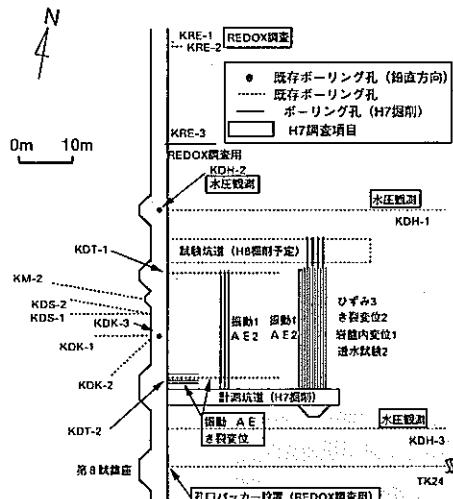
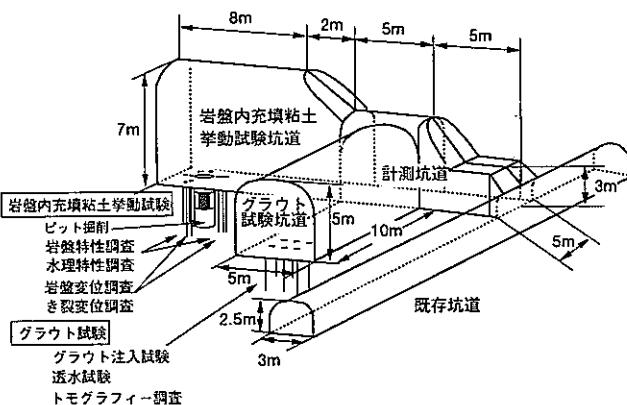


図-3 坑道掘削影響試験実施領域の試験レイアウト(250m 坑道)  
TK-24 孔湧水は安定した酸化還元電位  $Eh = -340\text{mV}$  を示す。



#### 図-4 人工バリア試験場概念図と平成7年度実施内容

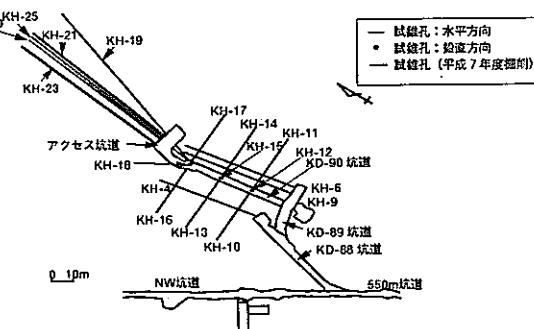
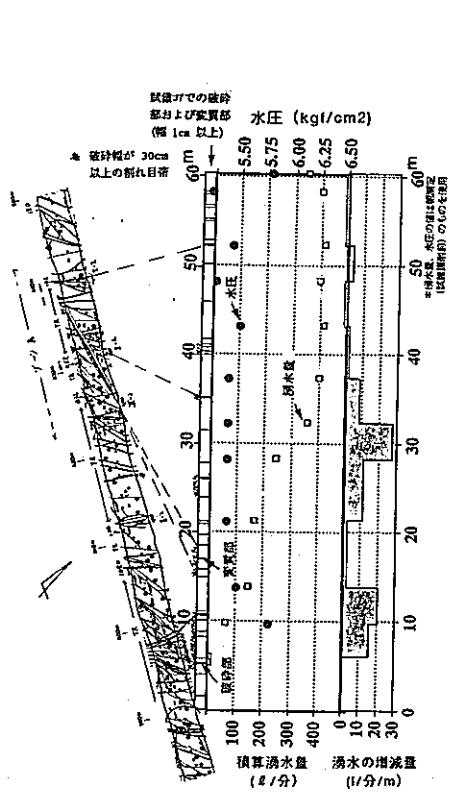


図-5 トレーザ試験実施予定領域の試錐孔配置

表-2 絶対年代測定結果一覧

	測定手法	測定試物	年代値(Ma)
栗橋花崗閃綠岩	Bb-Br 法	全岩	112.6±0.53
	K-Ar 法	角閃石	114.8±2.8
	K-Ar 法	黑雲母	114.3±2.7
	K-Ar 法	カリ長石	59.5±1.6
	K-Ar 法	カリ長石	60.9±1.8
	フィヨンドラッグ	ジルコン	98.0±4.2
	フィヨンドラッグ	ジルコン	91.5±4.1
赤色玄武岩	フィヨンドラッグ	ジルコン	97.4±4.1
	フィヨンドラッグ	ジルコン	103.0±5.0
	フィヨンドラッグ	ジルコン	94.9±4.5
	フィヨンドラッグ	ジルコン	96.2±4.8
	フィヨンドラッグ	ジルコン	110.0±6.0
	フィヨンドラッグ	ジルコン	103.0±5.0
	フィヨンドラッグ	ジルコン	92.0±4.3
西れ日光頂部	フィヨンドラッグ	ジルコン	97.3±4.8
	フィヨンドラッグ	ジルコン	97.9±4.8
	フィヨンドラッグ	ジルコン	88.9±4.3
	フィヨンドラッグ	ジルコン	88.8±4.3
	フィヨンドラッグ	アバタイト	88.9±5.2
	フィヨンドラッグ	ジルコン	68.0±4.6
	K-Ar 法	カリ長石	93.7±4.7
西れ日光頂部	K-Ar 法	カリ長石	97.1±4.9
	フィヨンドラッグ	ジルコン	73.7±3.2
	フィヨンドラッグ	ジルコン	88.1±3.9
	フィヨンドラッグ	ジルコン	81.8±4.4
	フィヨンドラッグ	ジルコン	83.5±4.1
	フィヨンドラッグ	ジルコン	86.2±4.3
	フィヨンドラッグ	ジルコン	77.1±3.8
西れ日光頂部	フィヨンドラッグ	ジルコン	73.7±3.2
	フィヨンドラッグ	ジルコン	88.1±3.9
	フィヨンドラッグ	ジルコン	83.0±3.5
	フィヨンドラッグ	ジルコン	88.3±3.8
	フィヨンドラッグ	アバタイト	90.1±7.8
	フィヨンドラッグ	アバタイト	78.3±5.8
	フィヨンドラッグ	アバタイト	88.0±6.2

参考：葉桜花幽閃燈名境界(桂賀)近傍の定期ランプバス中のモード付の CHIE 法年代  
118.5±8.6 年(即 SUZUKI、未発表)



### 図-6 割れ目帯調査試錐 KF-1 孔掘削時の湧水量と間隙水圧

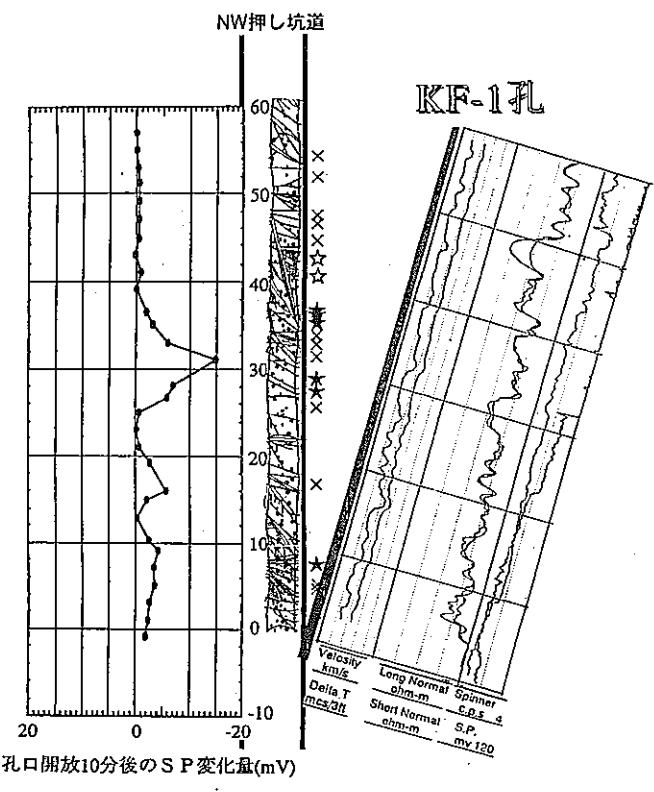


図-7 流体流動電位法調査結果

坑道壁面で湧水割れ目の集中する位置で、KF-1孔口解放に伴って誘起されたと考えられる電位の変化を捉えている。

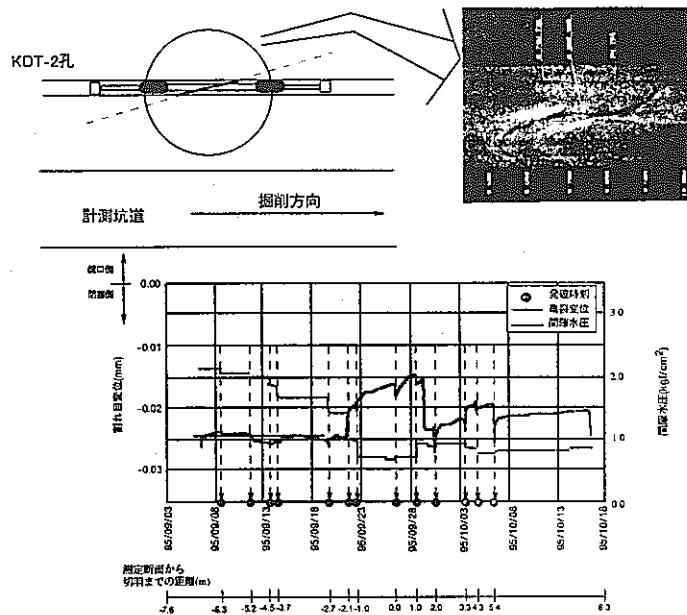


図-8 Pac-ex によって測定された計測坑道  
掘削中の割れ目変位と間隙水圧変化

- ・は発破を示し、全体としては発破に対応してランダム状に割れ目変位、間隙水圧の変化が発生している。例外的に 95/09/28 の発破から明らかに遅れた変化も読み取れる。

# 1 - 1. 栗橋花崗閃緑岩中の割れ目形成 に関する 2, 3 の知見

( : 天野健治\*, 吉田英一\*\*)

\* : 釜石事務所, \*\*: 東濃地科学センター

## 1. 目的

栗橋花崗閃緑岩体中に認められる割れ目および断層破碎帯の形成機構を把握すること。

## 2. 実施内容

釜石原位置試験場 250mL坑道の約400m区間において3m以上の連続性を有していると認められる356本の単一割れ目および断層破碎帯について、以下の坑道壁面調査および室内分析等を実施した。

### ① 坑道壁面における割れ目の形態・頻度分布調査

- ・割れ目充填鉱物の組織（充填鉱物幅の測定）
- ・割れ目に伴う変質の有無（変質幅の測定）

### ② 坑道壁面における単一割れ目の側方連続性調査

原位置試験場 250mL坑道の起点から8mの地点に、割れ目の走向方向とほぼ平行に掘削された坑道（坑道掘削影響試験の計測坑道）において、坑壁観察による単一割れ目の連続性調査を実施した。

### ③ 割れ目充填鉱物の鉱物学的・地球化学的調査

- ・光学顕微鏡による割れ目充填鉱物の微視的組織の観察
- ・粉末X線回折法による割れ目充填鉱物の同定および割れ目充填物の全岩化学組成の分析

## 3. 主な成果

### ① 坑道壁面における割れ目の形態・頻度分布について

・観察されるすべて割れ目には、幅1mmに満たない程度から数cmの二次鉱物の充填が認められた。これらの割れ目充填組織の形態および変質の有無から、次の3タイプに分類することが可能と考えられる（図-1）。

タイプA：充填鉱物のみを伴う単一割れ目

タイプB：充填鉱物および赤色変質部を伴う単一割れ目

### タイプC：断層破碎帯

- ・割れ目タイプのA, B, Cにおいては、AからB, Cへと充填鉱物幅が増大するにつれて出現頻度の減少傾向が認められることから(図-2)、割れ目の形成過程を反映した頻度の階層分布を示している可能性が考えられる。

#### ② 坑道壁面における単一割れ目の側方連続性について

- ・新規に掘削したドリフトの坑壁から、赤色変質を有するタイプB割れ目は、坑道総延長30mの区間内では、切れ目なく連続していることが認められた。赤色変質を有しないトレース長の短いタイプA割れ目は、タイプB割れ目に収束していくステップ構造を示し、連続性は数m程度である(図-3)。

#### ③ 割れ目および断層破碎帯の充填鉱物の鉱物学的・地球化学的特性について

- ・割れ目充填鉱物の充填組織および構成鉱物の同定の結果、各割れ目タイプは以下のようない鉱物組み合わせと組織を有していることが明らかになった。

タイプA：方解石、方沸石、濁沸石、緑泥石

－单層が主体の脈状・晶洞状充填組織

タイプB：方解石、方沸石、濁沸石、緑泥石、緑れん石、ぶどう石

－複層の脈状充填組織

タイプC：緑泥石、白雲母、モンモリロナイト、方沸石

－角礫状、粘土状破碎組織

- ・タイプB割れ目は緑れん石+ぶどう石の組み合わせが、タイプA割れ目の構成鉱物に付加される鉱物組み合わせで特徴づけることができる。これは熱力学的平衡論の観点から述べるならば、タイプB割れ目がタイプA割れ目より高温の形成過程を経てきたことを示すものと思われる(図-4)。

- ・割れ目充填鉱物の全岩化学組成を検討した結果、各割れ目タイプの分類は鉱物学的にも妥当と考えられる(図-5)。

## 4. 今後の予定

- ① 各種年代測定法による、岩体冷却過程における各割れ目タイプ形成順序の把握
- ② タイプC割れ目(断層破碎帯)の連続性(地表、550mL、250mL坑道)および深度による地球化学的特性の把握
- ③ 古地磁気測定による、栗橋花崗閃緑岩体の変形史(回転運動とその時期)の把握

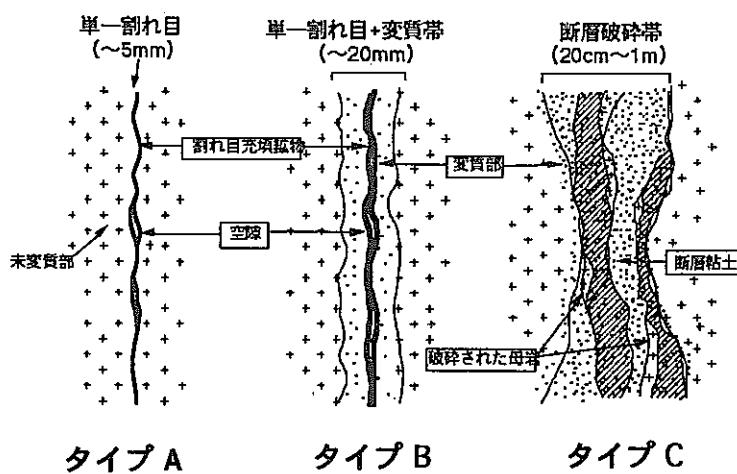
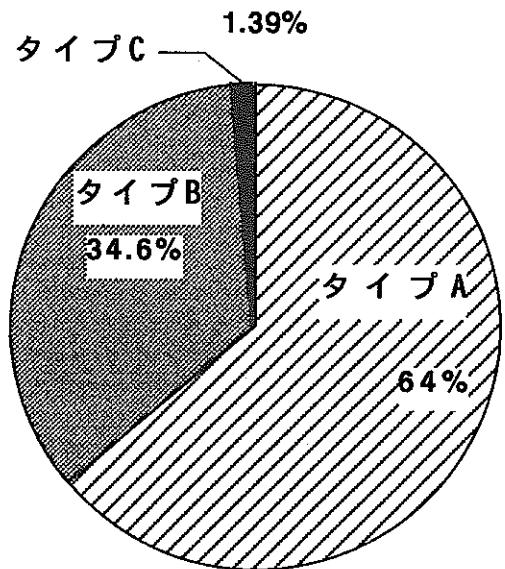
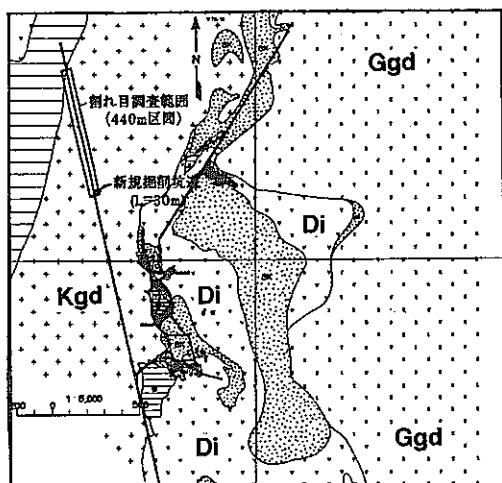


図-1 形状によって分類された割れ目タイプ

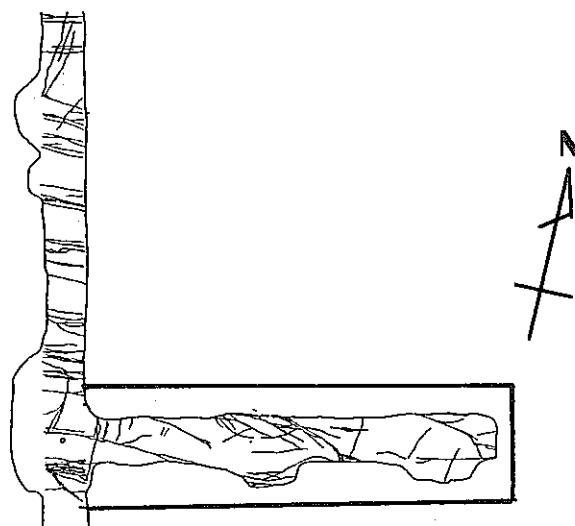


N= 356

図-2 各割れ目タイプの頻度



割れ目調査範囲および新規掘削坑道位置図



新規掘削坑道全体図

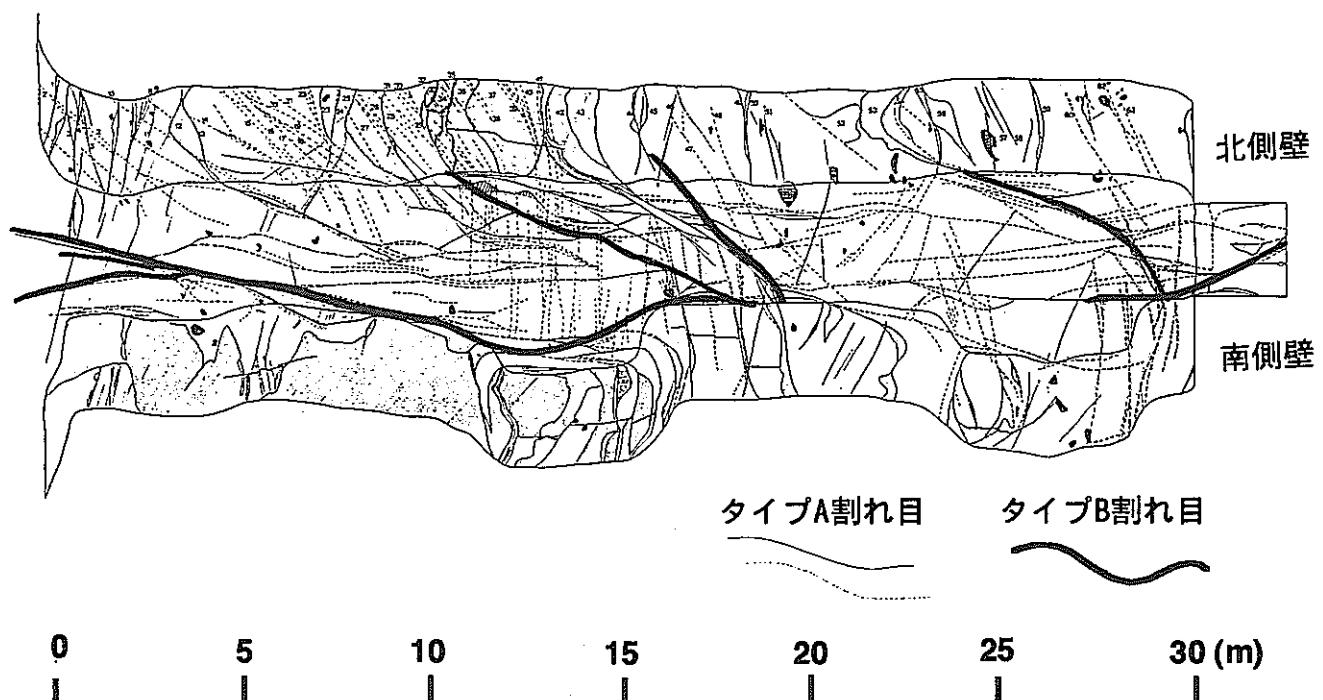


図-3 単一割れ目の走行方向に掘削された坑道壁面における割れ目スケッチ

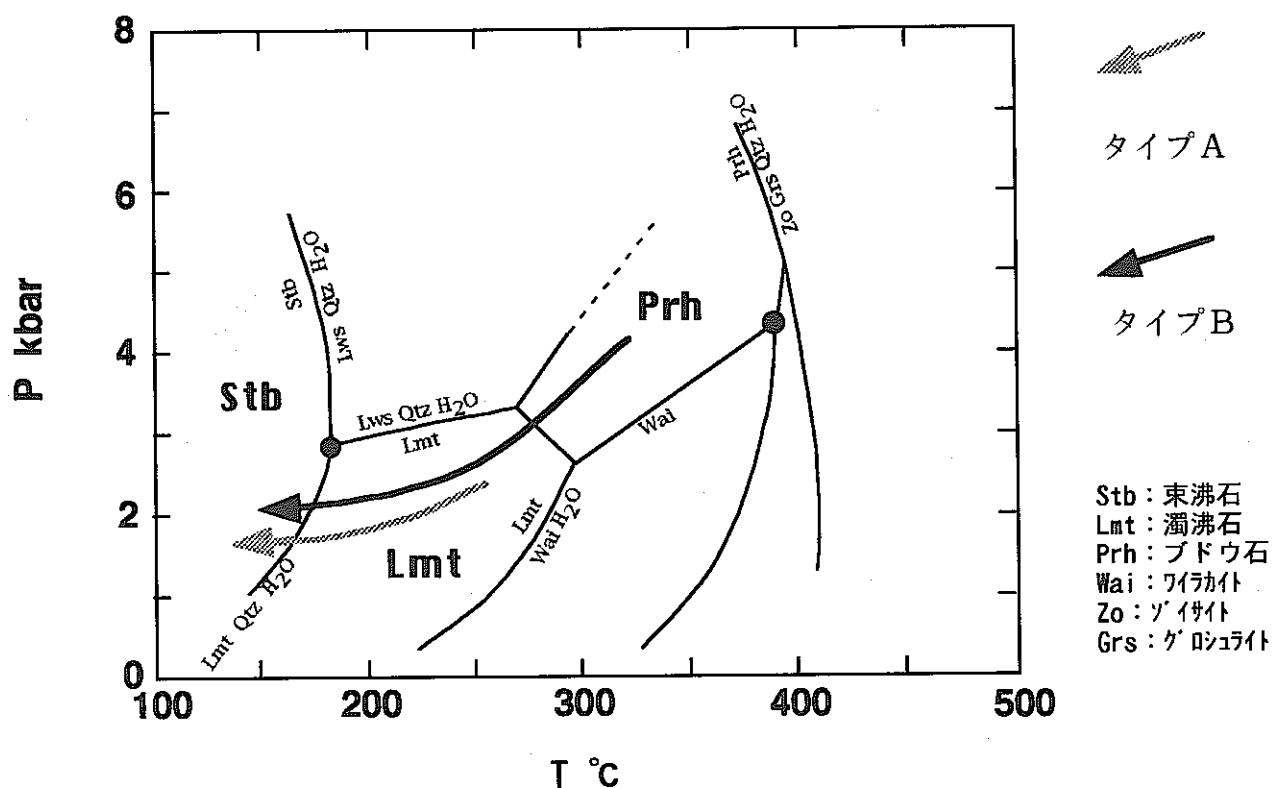


図-4  $\text{SiO}_2\text{-Al}_{10/2}\text{-CaO-H}_2\text{O}$ 系の方沸石, 濁沸石, ブドウ石の安定領域 (Liou, 1971) から推定されるタイプA, B割れ目の充填鉱物形成時の温度・圧力経路

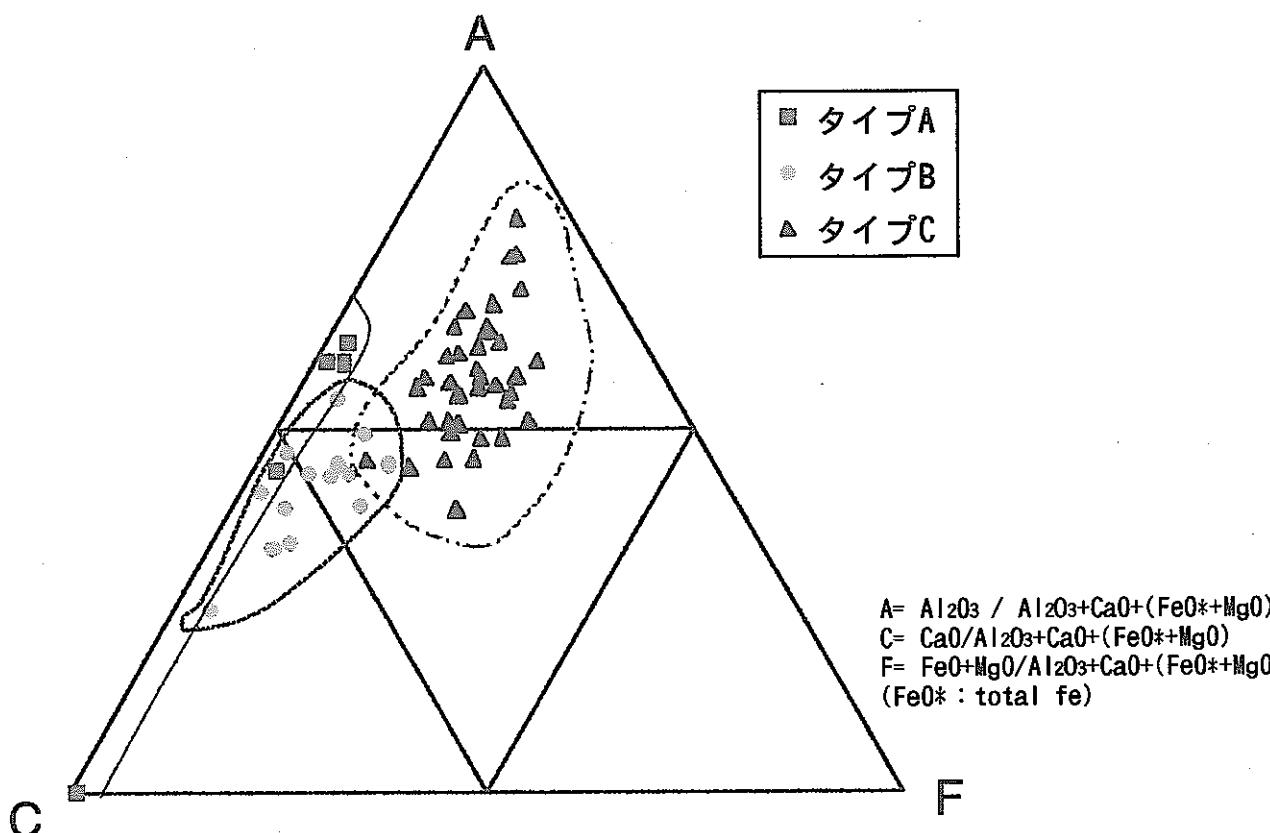


図-5 各割れ目タイプごとの充填鉱物の化学組成を示すACF図

# 1 - 2 釜石原位置試験場の栗橋花崗閃緑岩中の岩盤の力学的異方性と応力場の把握

( 担当者: 松井裕哉)

## 1. 概要

本調査は、釜石鉱山550mレベル坑道（土被り約300m）、250m レベル坑道（土被り約730m）及び550mレベル坑道より掘削した深度500mのKH-1孔の3箇所において昭和63年度より継続的に実施してきた。調査は室内試験と原位置試験に分れており、室内試験としては物理試験（空隙率、比重等）及び力学試験（弾性波速度測定、一軸・三軸・圧裂試験、クリープ試験）を、原位置試験としては、孔内載荷試験及び初期応力測定を実施した。

## 2. 目的

本調査の目的は、①深部岩盤の力学特性及び初期応力場の把握、②力学特性の深度依存性の検討、③①に対する既存の調査手法の適用性の検討、の3点である。

## 3. 実施内容

平成7年度の本調査対象地域を図-1に示す。平成7年度の調査内容は、以下の3項目である。

### ①KH-1孔のコアを用いた室内試験（力学的特性の深度依存性の把握）

物理試験及び力学試験（KH-1孔0～500m間で約50m毎にコアを採取、採取位置：図-2）

### ②KH-1孔における原位置試験（原位置岩盤の力学特性の深度依存性及び応力場の把握）

・孔内載荷試験（KH-1孔の0～300mの間で全11点、等変位型の試験機を用い、最大荷重170 kgf/cm<sup>2</sup>まで載荷。載荷方向は東西及び南北の2方向、試験位置：図-2）

・水圧破碎法による初期応力測定（KH-1孔の0～500m間で全9点、試験位置：図-2）

### ③KM-3孔のコアを用いた室内試験（力学的特性の異方性把握）

物理試験及び力学試験（異方性試験：3箇所で各8方向よりコアを採取）

## 4. 主な成果

### ①KH-1孔のコアを用いた室内試験

図-3に室内試験結果の一例を示す。図-3は、同じKH-1孔から採取したコアを用い、昭和63年度及び平成7年度に実施した一軸圧縮試験で得られた静弾性係数の深度分布を示している。平成7年度の試験結果では、弾性係数の深度変化は認められない。この傾向は、一軸圧縮強度についても同様である。また、変質部から採取したコアによる試験結果を除く

と、昭和63年度の結果と平成7年度の結果に有為な差は認められない。一軸圧縮強度についても同様の傾向が得られており、岩石コアレベルでの力学的特性の経年変化は、数年程度であれば無視できると考えられる。

### ②KH-1孔における原位置試験

図-4に孔内載荷試験で得られた変形係数の深度分布を示す。昭和63年度に実施したKH-1孔のコア観察から割れ目や変質部の存在が推定される箇所を除き、原位置岩盤の変形係数の深度変化及び載荷方向による変形特性の違いはないと考えられる。また、変形係数値は概ね 5～15GPa の範囲内に分布しており、コアの静弾性係数と比較すると1/12～1/4 程度の値を示している。

水圧破碎法による応力測定結果を図-5に示す。水平面内の最大主応力は、土被りから推定される鉛直応力に比べ約1.5～2倍程度の値となり、その方向はほぼ南北である。この結果は、過去550m及び250mレベル坑道において実施された応力測定結果（応力解放法）の最大主応力方向とほぼ一致している。水平面内の主応力値を比較すると、最小主応力はほぼ等しいが最大主応力は、応力解放法の値が水圧破碎法の値より2倍程度大きい。また、主応力の深度勾配は、最小主応力が0.0234、最大主応力が0.0358であり、最大主応力の勾配が大きくなっている。

### ③KM-3孔のコアを用いた室内試験

図-7は、一軸圧縮試験により得られた方向別の静弾性係数及びその平均値の分布を示している。この図中に示される静弾性係数の平均値の分布から、XY及びYZ面内で弾性係数の異方性があることが推定される。この異方性の程度は、7～12% であり、東西・南北・鉛直方向の順に静弾性係数が大きくなっている。また、異方性の主軸は、ほぼ鉛直・東西・南北の方向であると推定される。

一方、同孔近傍と平行に掘削したKM-2孔のコアを用いた薄片観察から、KM-3孔周辺にある岩石中には、走向が東西方向で、傾斜がほぼ垂直のマイクロクラックが多く認められる（図-8）。このマイクロクラックの卓越方向は、前述の異方性の主軸の方向と整合的である。従って、本試験で得られた力学的異方性の主要因は、マイクロクラックの分布状態に起因する可能性が高いと考えられる。

## 5. 今後の予定

既存データ整理を整理し、釜石鉱山の花崗閃緑岩体の力学特性やその深度依存性に関する評価を行うとともに、既存調査手法の適用性評価を実施する。

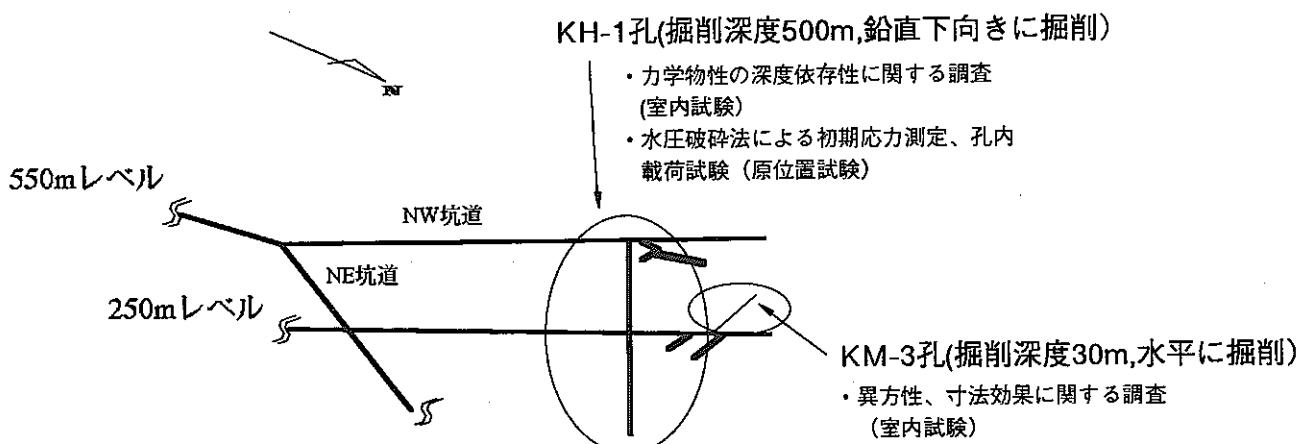


図-1 平成7年度力学特性調査試験位置図

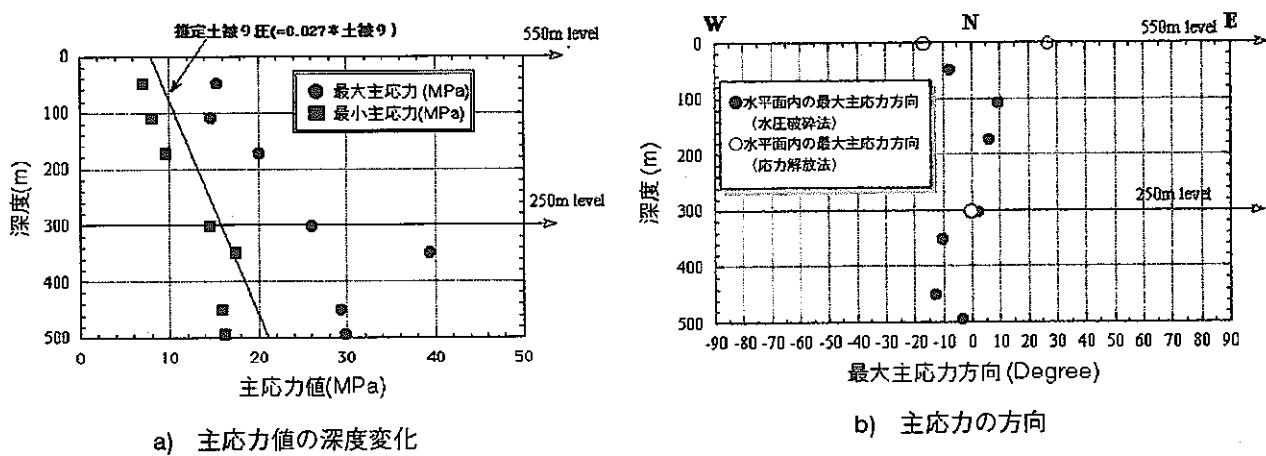
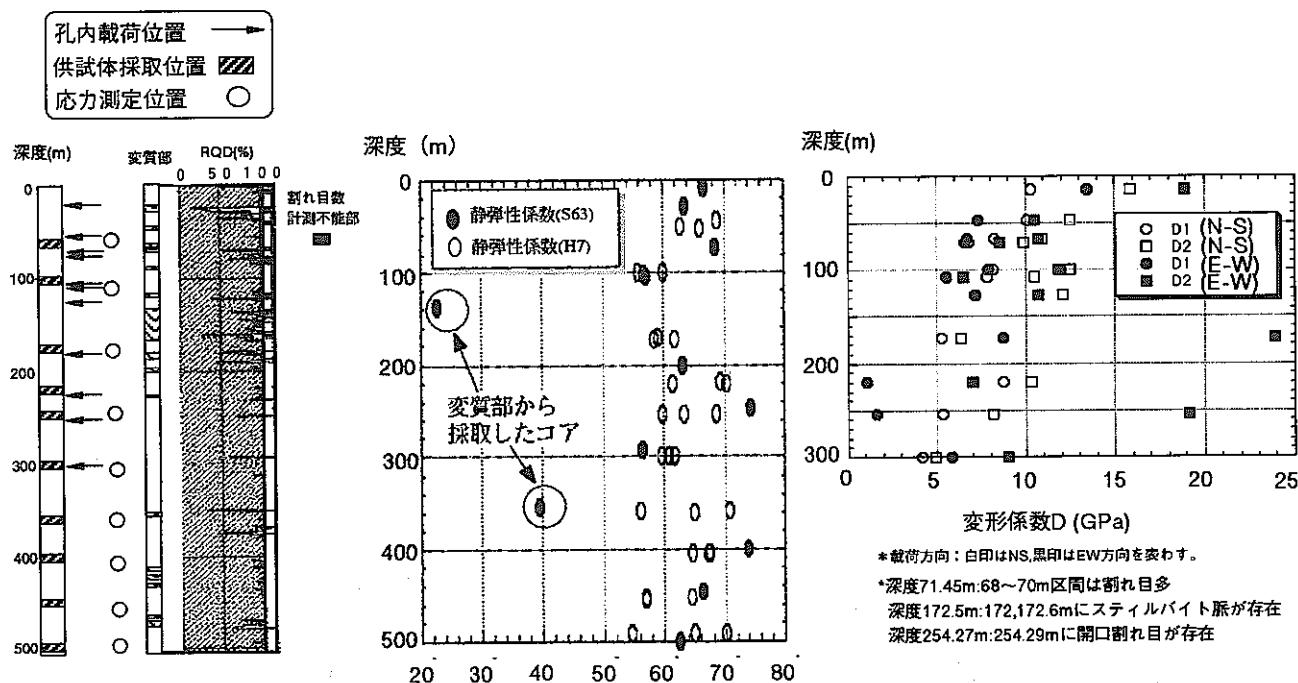


図-5 KH-1孔における初期応力測定結果（水圧破碎法）

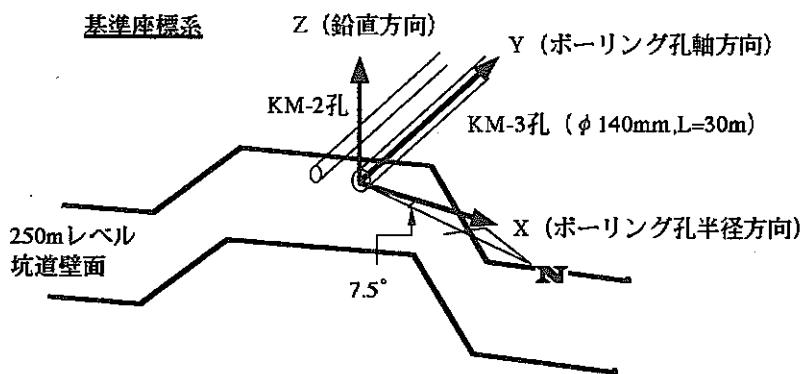
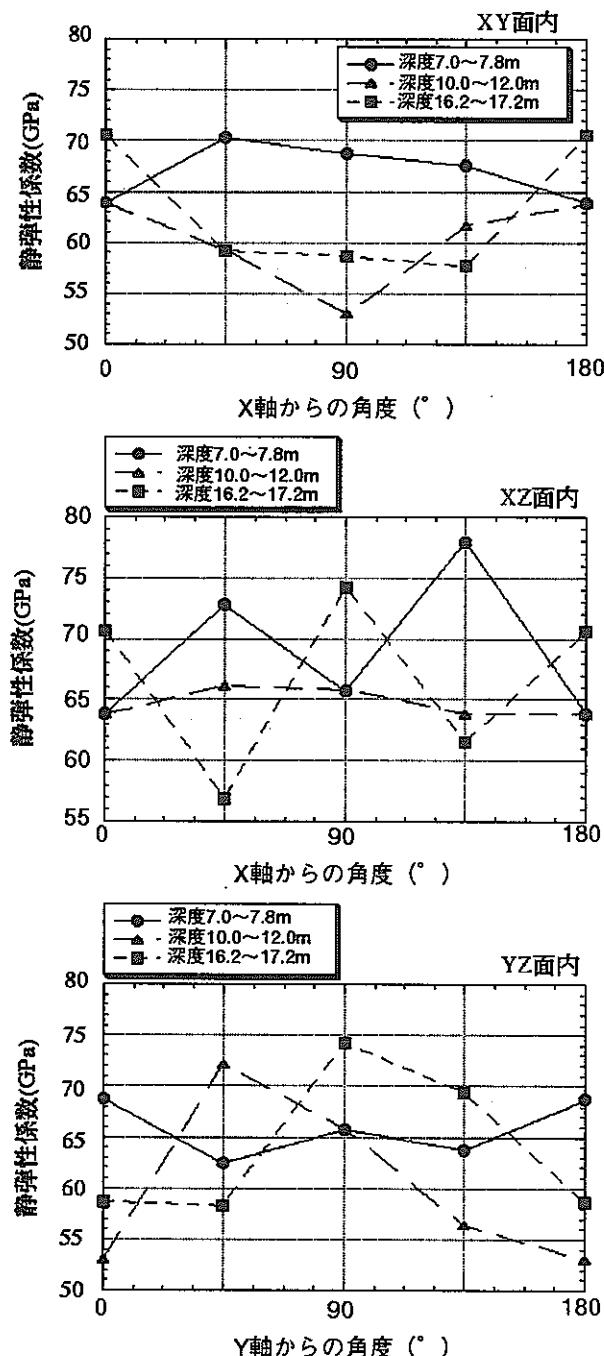


図-6 異方性に関する試験における基準座標系



\*回転方向は、X,Y軸から反時計回り

図-7 異方性に関する試験結果（一軸圧縮試験）

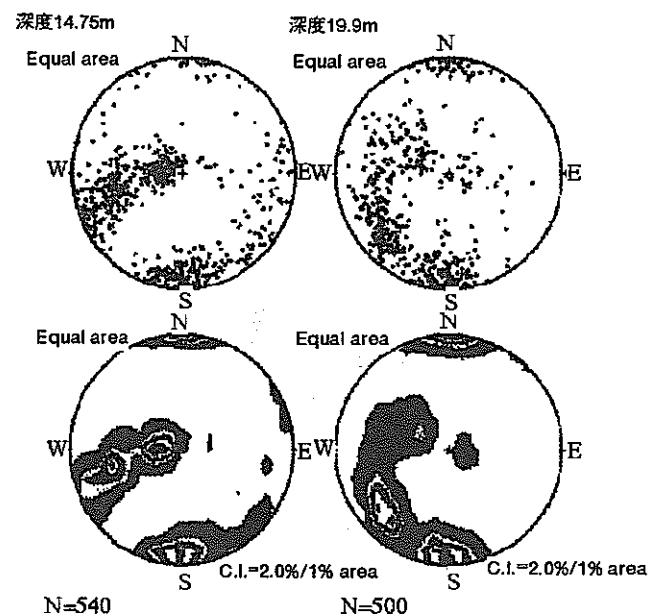
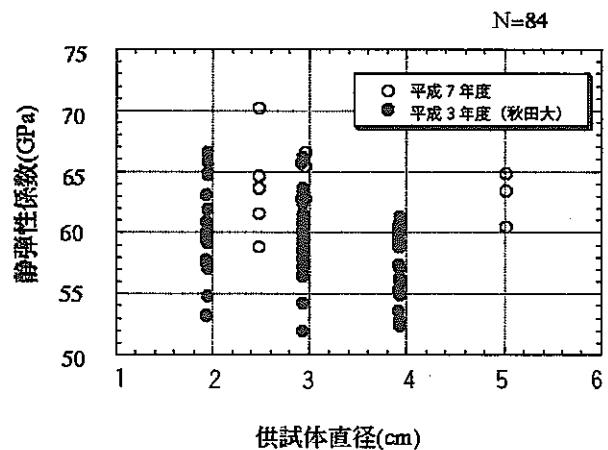


図-8 KM-2孔におけるマイクロクラック観察結果



\*供試体は、直径:高さ=1:2のサイズ比で成形

図-9 尺法効果に関する試験結果（一軸圧縮試験）

### **1-3. トレーサー試験対象領域の水理地質構造の推定**

(担当者：内田雅大、澤田 淳、仙波 肇)

#### **1. 目的**

釜石原位置試験「移流および分散に関する研究」では、物質の移行経路となる透水性割れ目の透水量係数・物質移行上の開口幅等の水理・物質移行パラメータを取得するために非吸着性トレーサー試験やクロスホール透水試験を行うことを計画している。最終的なパッカーポジションの選定・トレーサー試験対象割れ目の選定等に必要不可欠な、試験対象領域の水理地質構造を推定するために下記の項目を目的として原位置試験を実施している。

- ① 透水性割れ目の分布およびその連結性の把握。
- ② 透水性割れ目に作用する動水勾配の把握。
- ③ 透水性割れ目に挟まれた比較的透水性が低いブロックの分布・大きさの把握。
- ④ 高間隙水圧ゾーンと低間隙水圧ゾーンを隔てる境界（水理境界）の把握。

#### **2. 実施内容**

##### **① 3本の試錐孔の掘削と試錐孔掘削中の調査**

平成7年度は、新たに3本の試錐孔を掘削した（図-1）。試錐孔掘削中には、周辺の既存試錐孔に設置してあるパッカーシステムを用いて間隙水圧を観測し、その変化から、試錐孔間の透水性割れ目の連結性を把握した（圧力応答の観測）。また、試錐孔の掘削深度をエンコーダーにより測定し、圧力応答の観測結果とともに透水性割れ目の位置を検討した。

##### **② 試錐孔掘削後の調査**

試錐孔掘削後には、割れ目の位置・方向を把握するために、コア観察・ボアホールテレビ（BTV）を実施した。また、ダブルパッカ法による流量検層を実施し、試錐孔内の湧水量分布を把握した。

##### **③ 単孔式透水試験**

平成7年度掘削した試錐孔の内の1本（KH-25孔）において、単孔式透水試験を実施した。

##### **④ 間隙水圧観測**

それぞれの試錐孔について、各種調査実施終了後にパッカーシステムを設置し、間隙水圧の分布を把握した。

### 3. 主な成果

#### ① 割れ目分布について

コア観察・BTVにより、試験対象領域の割れ目は、3つの卓越方向があることが明らかになった。（図-2）。

#### ② 透水係数分布について

流量検層から、試錐孔周辺の透水性割れ目の位置を簡便かつ迅速に把握することができた。流量検層結果から概算した透水係数の分布によると、試験対象領域は、東側から西側に向かって透水性が低くなる傾向があることがわかった（図-3）。

#### ③ 間隙水圧分布について

試錐孔掘削中および単孔式透水試験中の圧力応答、パッカー設置後の間隙水圧分布から、試験対象領域は異なる間隙水圧を保持し、互いに独立した6つのゾーンに区分できることがわかった（図-4）。

### 4. 平成8年度の予定（図-1）

#### ① 孔長80mの試錐孔を2本掘削。

- 主要な透水性割れ目の連続性と試験領域の境界条件を把握することを目的として、KH-22孔を掘削する。
- 単一割れ目のトレーサー試験用試錐孔として、KH-24孔を掘削する。

#### ② 試錐孔掘削時には、既存の試錐孔への圧力応答を観測し、透水性割れ目の位置や連続性を把握する。

#### ③ 各試錐孔掘削終了後に、流量検層、ボアホールテレビ観察、コア観察等を実施し、試錐孔掘削中の圧力応答と合わせて、試験対象領域の水理地質構造をより詳細に把握するとともに、トレーサー試験対象割れ目を選定する。

#### ④ トレーサー試験対象割れ目において試錐孔間透水試験を行い、割れ目の水理特性を把握する。

#### ⑤ 平成9年度実施するトレーサー試験の試験条件を決定するために、予備的なトレーサー試験を実施する。

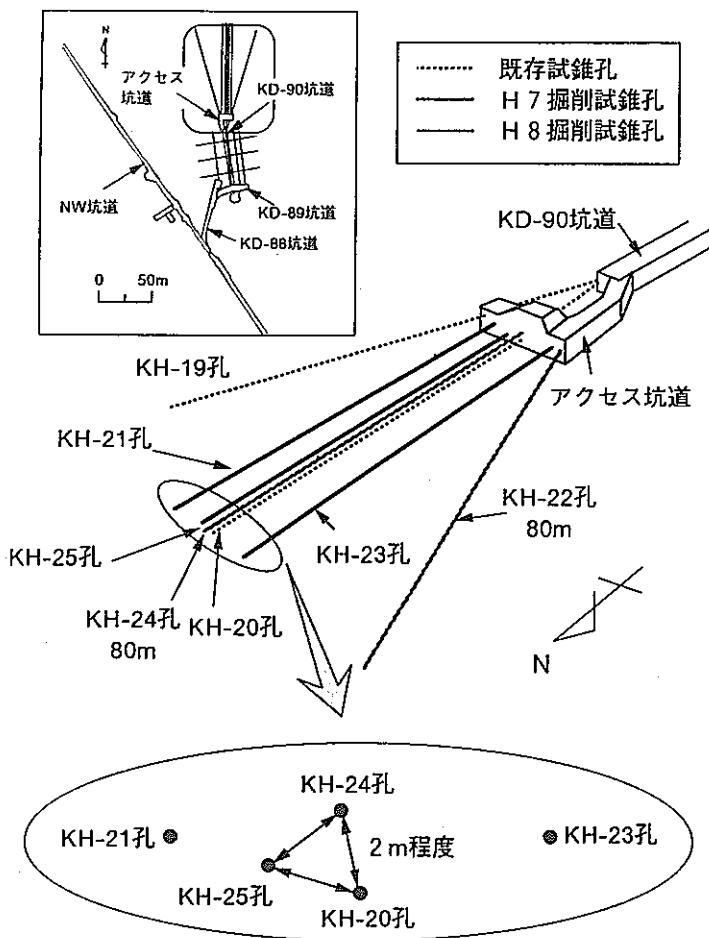


図-1 TASK 3-2 試験孔および坑道レイアウト

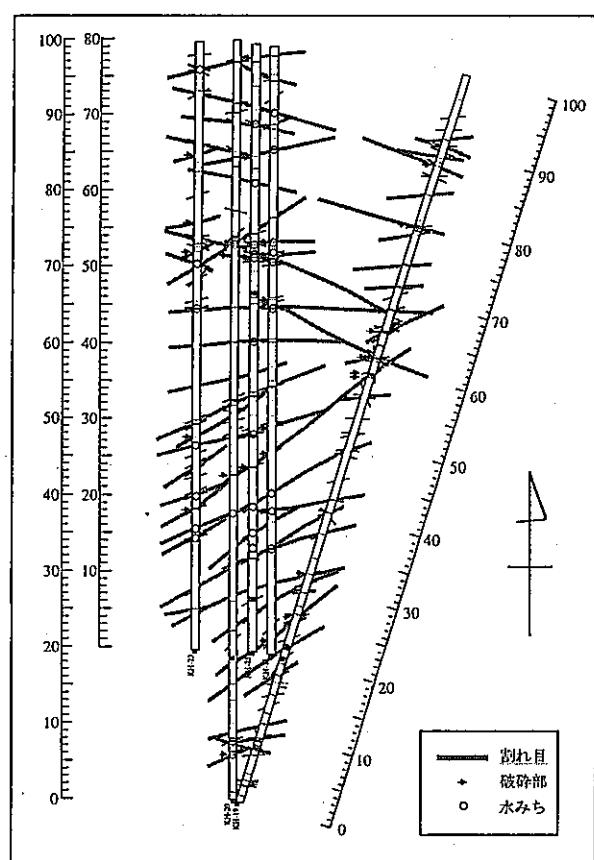


図-2 透水性割れ目の位置と割れ目の  
連続性の推定

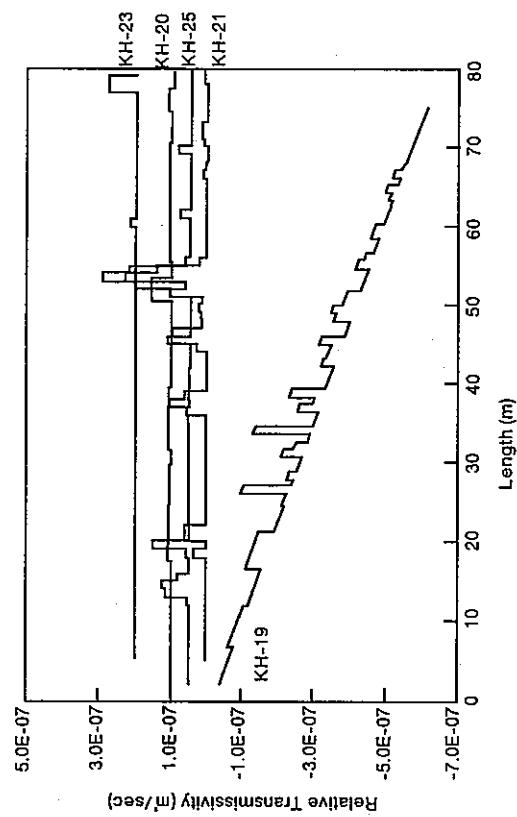


図-3 流量検層結果から概算した  
透水量係数分布

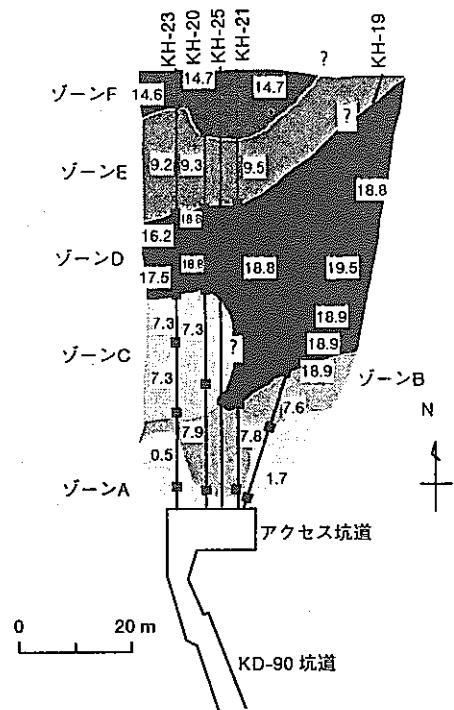


図-4 試験対象領域の間隙水圧分布と  
6つのゾーン

# 1 — 4 熱—水—応力連成試験

(担当者；藤田朝雄, 杉田 裕, 千々松正和)

## 1. 目的

実岩盤条件下での人工バリアの施工方法とその品質は、規模および環境条件（湧水量や岩盤と人工バリアの接合面の条件）に依存するため、原位置で実規模の人工バリア試験を行い施工性とその品質を確認するとともに人工バリアと岩盤における熱—水—応力連成現象を把握することを目的とする。これにより、人工バリア技術の信頼性向上を図るとともに人工バリア設置初期の連成挙動を観察することで連成モデルの妥当性を確認し、長期の人工バリア挙動予測の信頼性を高める。

## 2. 実施内容

連成試験のレイアウトを亀裂調査結果に基づき決定した。試験領域には図-1に示すように多数の亀裂が存在し、場の水理状態は複雑なものと考えられることから、その透水性を把握するために各試験孔において透水試験および掘削したピット内（直径1.7m, 深さ5.0m）への湧水量の計測を実施した。

### ①「透水試験」

それぞれの試錐孔において、初期水位を計測した後、亀裂観察の結果に基づきマルチパッカーシステムの間隙水圧計をKBH-1, 3, 5孔に設置した。KBH-2, 4, 6, 7孔においてダブルパッカー方式の透水試験を実施し、各区間における透水係数を算定するとともに水の移動経路の把握の一助としてKBH-1, 3, 5孔において圧力応答を観測した。

透水試験は定圧力注入試験および定流量注入試験を実施した。定圧力注入試験における注入圧力は0.3MPaとした。透水係数の算定は定圧力注入試験では注入流量が $1.0 \text{ cm}^3/\text{min}$ を越えた区間で行った。定流量透水試験は定圧力試験の結果を踏まえ、各試錐孔において比較的透水性の高い区間（2, 3区間）において実施した。

### ②「湧水量の計測」

ピット内への湧水量は微量であったため、微量の湧水量を把握する方法として以下の計測を実施した。

- a. ティッシュ法；ピット壁面に観察された亀裂上のポイント湧水量を把握するため、ティッシュペーパーを用いた計測を行った。（ピット掘削後14日目）
- b. おむつ法；ピット壁面からの湧水分布状況を把握するため、吸水性の高い“おむつ”を用いた20時間累積吸水量計測を行った。（ピット掘削後85日目）

### 3. 主な成果

#### ① 「透水試験」（表-1, 2, 図-2～5）

各試錐孔の水位は大きく異なり、場の水理状態が一様でなく、水頭分布も複雑であり静水圧状態ではないことが分かった。

圧力応答の結果では、透水係数の高い区間を起点とした時に周辺の試錐孔で反応が見られた。圧力応答の見られた区間にはコア観察およびBTVで観察された開口亀裂が存在した。

#### ② 「湧水量の計測」（図-6）

a. ティッシュ法；ピット内壁面の亀裂に沿って(1cm×3cm) 4点で各30分（一点のみ5分）測定した。湿っている1点で $1.2\text{g}/\text{min}$  ( $=6.6\text{E}-3\text{cm}/\text{s}$ )、他点は $0.03\text{g}/\text{min}$  ( $=1.7\text{E}-4\text{cm}/\text{s}$ ) 以下と極微量であった。

b. おむつ法；ピット壁面からの湧水はB-C方向で多くD-A方向で少なく、初期の試錐孔の水位分布を反映した傾向を示した。湧水状況は、必ずしも亀裂に沿って湧水が多いのではなく、壁面全体から滲み出るように発生していることが分かった。

### 4. 今後の予定

#### ① 「湧水量の計測」

連成試験中、周辺岩盤を坑道埋め戻し後の水位回復に伴うような疑似飽和状態とするため床盤にプールを設置する。試験中における岩盤から緩衝材への地下水の浸透状況を把握するため、プール設置状態下でのピット内への湧水量を測定する。

a. 全体量測定；プール設置直後からピット内の湧水量および周辺岩盤の間隙水圧を測定し、坑道床面から供給した水の岩盤内への浸透状況を把握する。ピット内の湧水量は水位計を用いて水位変化を計ることにより測定する。ピットが湧水で満水になった後、周辺岩盤の間隙水圧が安定するまで水位を維持する。間隙水圧の安定後ピット内の水を一旦排水し、水位の回復を測定する。

b. おむつ法；プール設置後、ピット内の水を排出した状態でピット壁面の湧水量を測定し、ピット内の湧水量分布およびプール設置前後でのその変化を把握する。

c. とい法；ピット内をといによって数段面に区切り、プール設置後、ピット内の水を排出した状態でといで仕切られた区間毎の湧水量を測定する。

#### ② 「連成試験」

緩衝材、ヒーター、ふた等を設置し、連成現象のモニタリングを開始する。

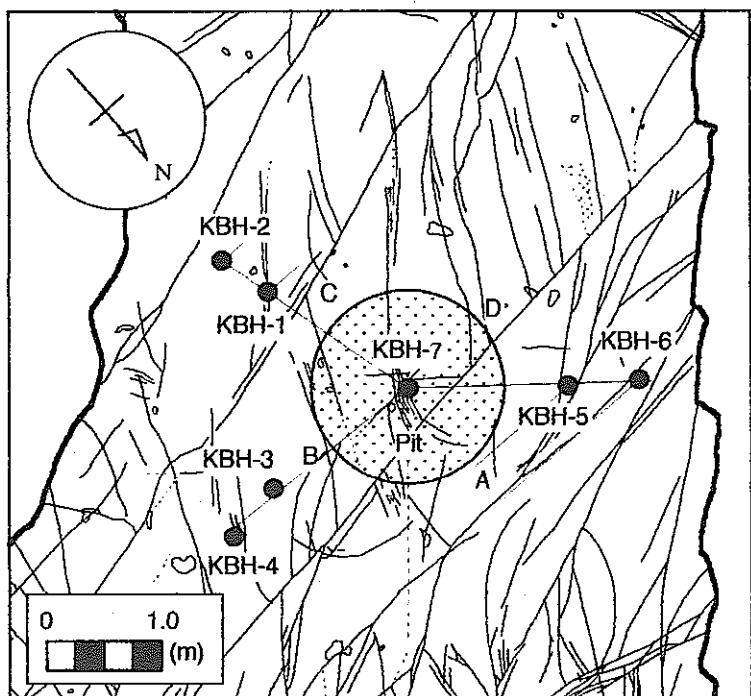


図-1 試験領域レイアウト

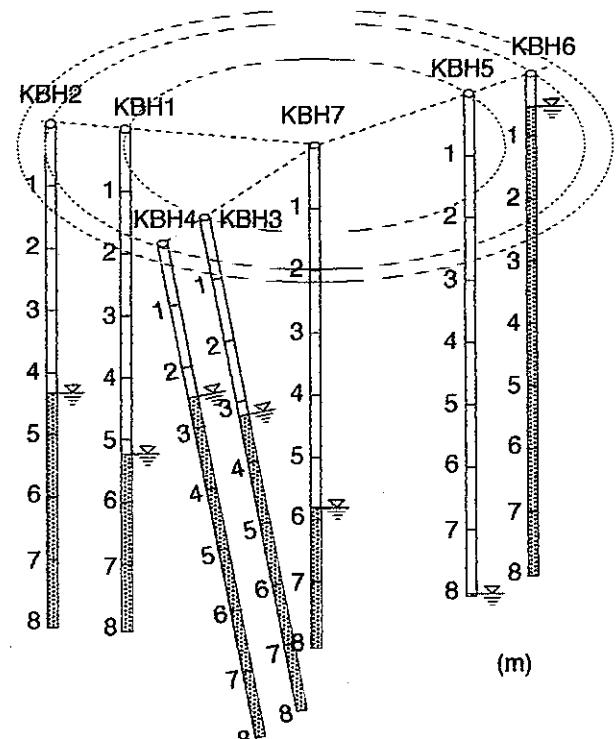


図-2 初期水位分布

表-1 透水係数一覧（定圧力試験）

	区間 (m)	透水係数 (cm/s)
KBH-2	1-2	2.7E-7
	2-3	—
	3-4	1.2E-4
	4-5	—
	5-6	—
	6-7	—
	7-8	2.0E-7
KBH-4	1-2	—
	2-3	2.3E-5
	3-4	—
	4-5	1.8E-7
	5-6	1.0E-7
	6-7	—
	7-8	—
KBH-6	1-2	7.4E-8
	2-3	8.6E-8
	3-4	8.5E-5
	4-5	—
	5-6	—
	6-7	—
	7-8	—
KBH-7	2-3	2.9E-6
	3-4	4.2E-5
	4-5	1.4E-7
	5-6	2.1E-7
	6-7	1.2E-8
	7-8	—

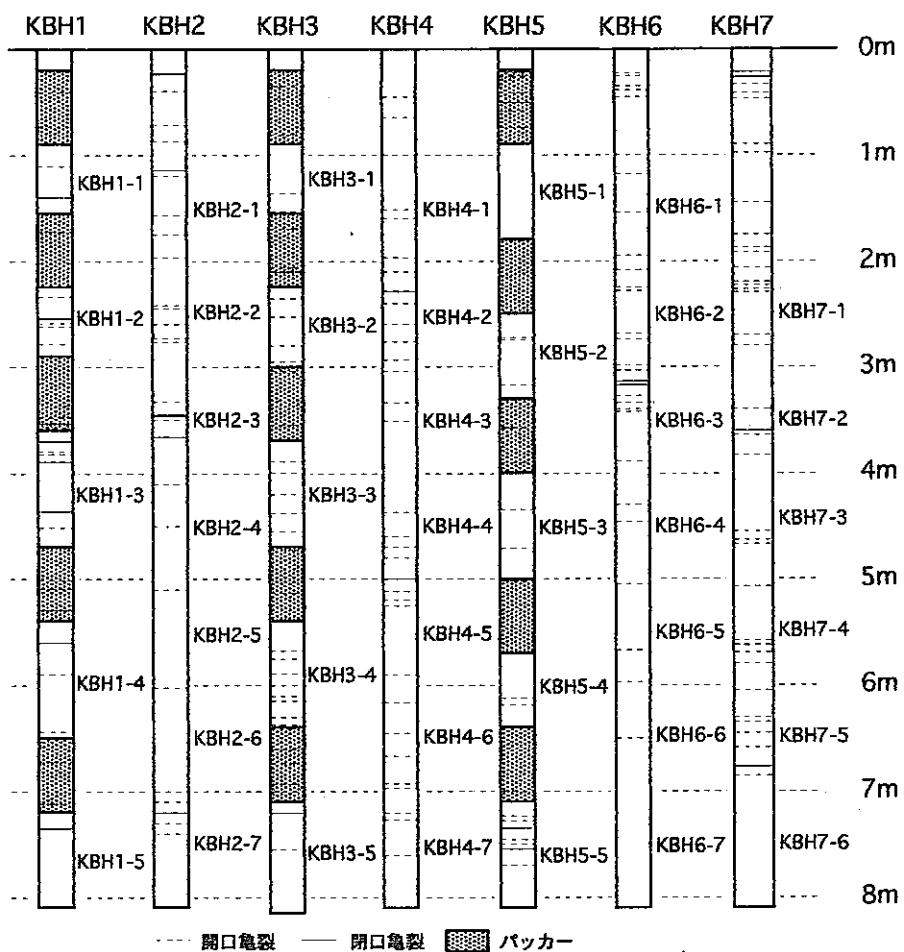


図-3 試験孔内の亀裂の位置およびパッカー設置位置

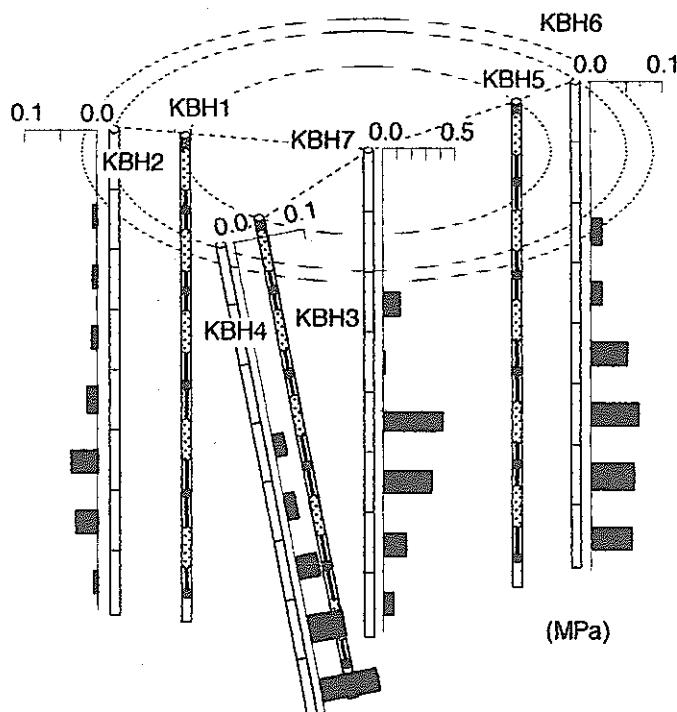


図-4 初期水頭分布  
(透水試験実施区間における初期水頭)

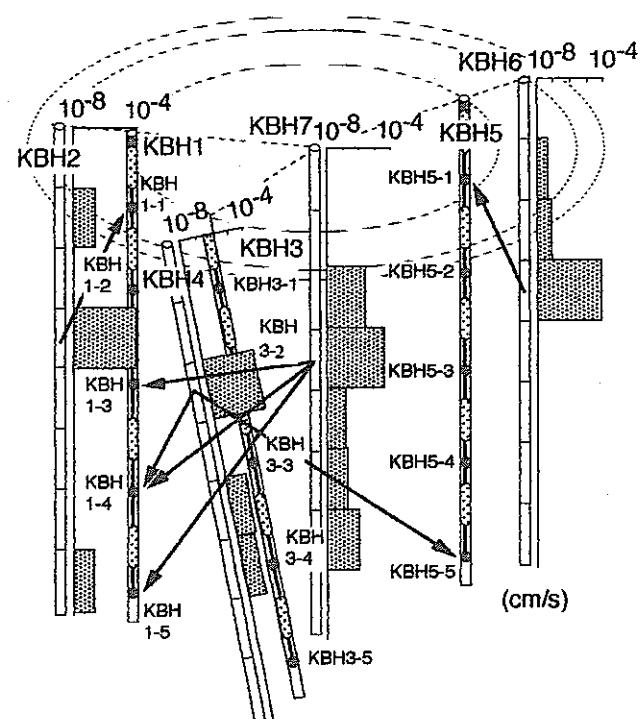


図-5 圧力応答試験結果

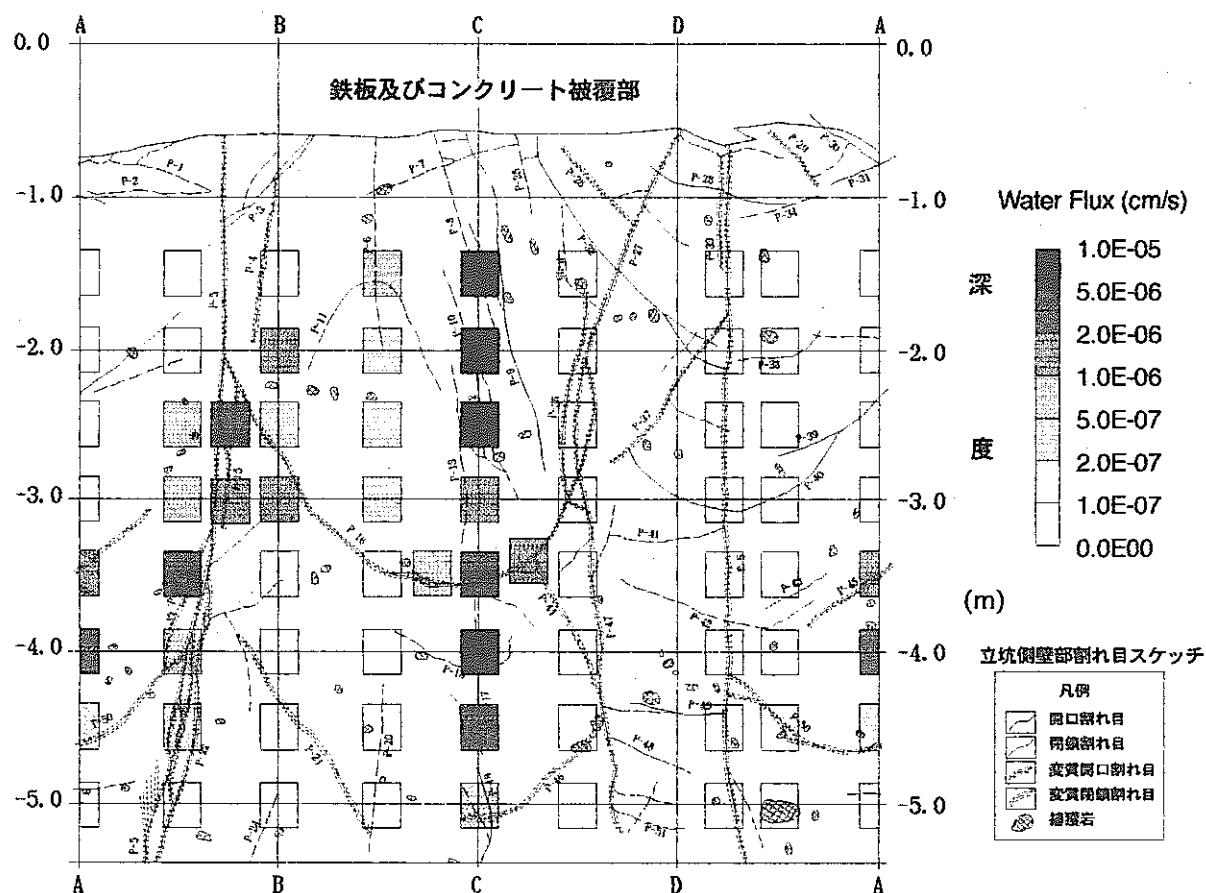


図-6 ピット壁面の湧水分布(おむつ法)  
図中のA-Dは図-1のA-Dに対応する

# 1 — 5 坑道周辺におけるREDOX状態に関する調査研究

(笹本 広<sup>1)</sup>, 瀬尾俊弘<sup>2)</sup>, 油井三和<sup>1)</sup>, 吉田英一<sup>3)</sup>)

1)東海GIS, 2)本社環境本部, 3)東濃地科学センター

## 1. 目的

既存坑道周辺岩盤中の地下水の地球化学的特性の変化を把握すること。

## 2. 実施内容

### ① 原位置における水質モニタリング（図-1）

既存坑道から掘削された試錐孔（KRE-1 およびTK-24 孔）を用いて、坑壁から岩盤内部への地下水の地球化学的特性（物理化学パラメータ）のプロファイルを取得するため、水質モニタリングを実施した。

### ② 解析手法の検討

原位置で得られた、坑道周辺地下水の地球化学的特性のプロファイルをもとに、坑壁から岩盤内への酸素の侵入範囲を推定するための解析手法（解析モデルおよび解析コード）を検討した。

## 3. 主な成果

① 原位置における水質モニタリングの結果、坑壁から 2 m程度で地下水中の溶存酸素濃度は0.3ppm程度まで低下し、坑壁からの湧水（W7：溶存酸素濃度= 6.5~9.5 ppm）に比べて非常に低くかった。また、250mレベル坑道から斜め下向きに約300mされた試錐孔からの湧水は、溶存酸素濃度≈~0ppb、Eh≈-240mVであり還元性であることから坑壁からの酸素の侵入範囲は、坑壁から数m程度である可能性の高いことが示唆される（表-1）。

② 坑道周辺で生ずる現象の解析モデルとしては、坑道側からの酸素の拡散・消費、岩盤側からのFe<sup>2+</sup>の移流拡散・消費を考慮したモデルを考える必要があり、これらの現象を岩盤マトリクスおよび割れ目部を対象として、二次元で解析が可能なコードを開発した。

## 4. 今後の予定

- ① 坑壁から20m付近での水質モニタリングを実施し、これまでに取得したデータ間を補完するデータを取得する。
- ② 坑壁から岩盤内への酸素の侵入範囲を推測するための解析を実施する。

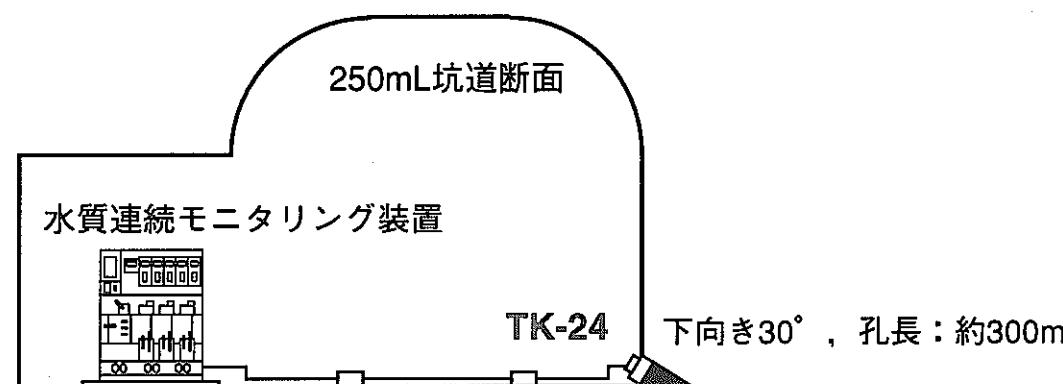
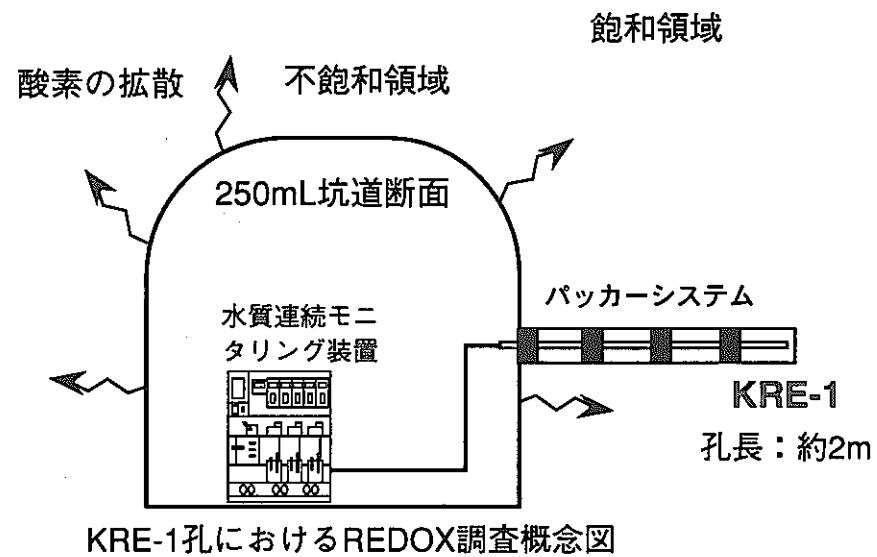
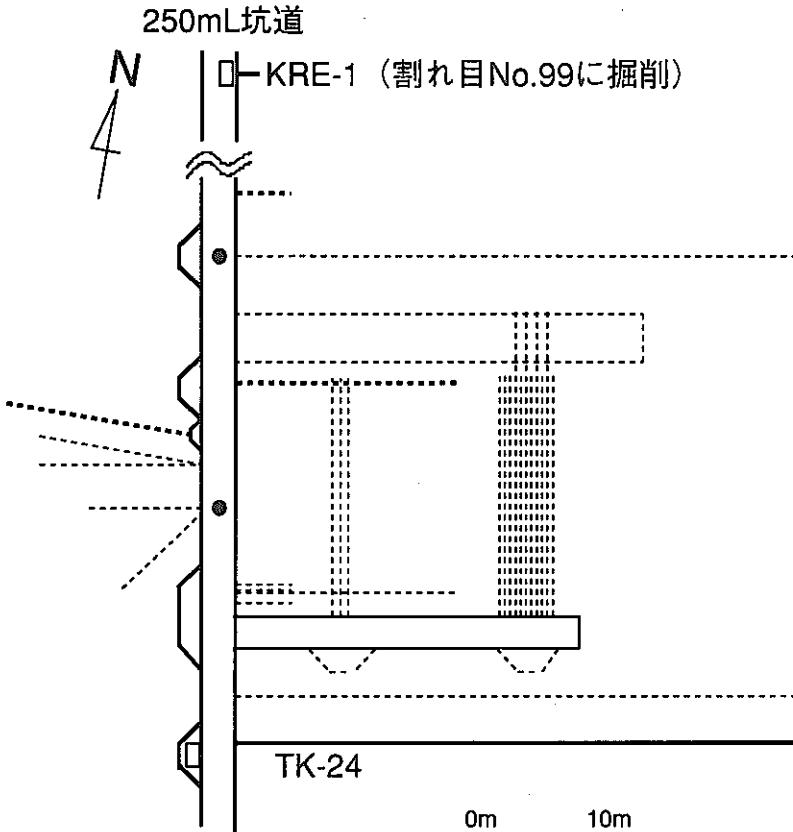
表-1 地下水の物理化学パラメータ測定結果及び水質分析結果

測定および分析項目	W 7 <sup>1)</sup> 坑道壁面湧水	KRE-1 孔 <sup>2)</sup> 坑壁から 2 m	TK-24 孔 <sup>3)</sup> 岩盤深部
水温	15°C	14°C	15°C
pH	9.4 ~ 9.9	9.6	7.3
Eh (Pt, SHE) (Au, SHE)	218 ~ 358mV	106 ~ 363mV 11~313mV	-244mV -245mv
EC (25°C)	78~82 μS/cm	89 μS/cm	104 μS/cm
DO	6.5~9.5ppm	0.3ppm	~ 0 ppb
Na <sup>+</sup>	10.50ppm	9.20ppm	5.50ppm
K <sup>+</sup>	0.30ppm	0.28ppm	0.20ppm
Mg <sup>2+</sup>	<0.01ppm	<0.01ppm	<0.01ppm
Ca <sup>2+</sup>	5.00ppm	5.81ppm	8.40ppm
Al <sup>3+</sup>	<0.1ppm	<0.1ppm	<0.1ppm
全Fe	<0.02ppm	<0.02ppm	<0.02ppm
Si	5.80ppm	5.74ppm	7.50ppm
Cl <sup>-</sup>	2.00ppm	1.71ppm	2.00ppm
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10.40ppm	8.62ppm	13.30ppm
F <sup>-</sup>	0.10ppm	0.06ppm	0.30ppm
TOC	1.40ppm	0.89ppm	0.40ppm
IC	3.90ppm	3.60ppm	5.80ppm

1):物理化学パラメータの値は、1993年10月～1994年5月までに1回／週間の割合で測定した結果。水質分析値は、1993年12月9日に採取した地下水の分析結果。

2):物理化学パラメータの値は、1994年3月～1994年10月までの水質連続モニタリング結果。水質分析値は、1994年2月9日に採取した地下水の分析結果。

3):物理化学パラメータの値は、1996年2月2日の測定値。水質分析値は、1995年2月14日に採取した地下水の分析結果。



TK-24孔における水質モニタリングレイアウト

250m レベル坑道平面図

図-1 原位置におけるモニタリング（位置およびレイアウト）

## 2. 岩盤の力学的特性に関する研究の概要と今後の方針

(担当者：杉原弘造、菊地正、安達哲也、佐藤稔紀、石島文代)

### 1. 目的

岩盤の力学特性、掘削影響領域の範囲と特性、岩盤の長期挙動を把握し、その成果を以下に反映する。

- ・地下施設の設計および建設のための基礎情報の提供。
- ・力学的安定性評価モデルの開発。
- ・坑道周辺岩盤モデルの開発。

### 2. 実施内容

#### ①岩盤の力学特性研究

強度・変形特性の関するデータ蓄積のために、岩石コアを用いて室内試験を実施した。

#### ②掘削影響研究

##### (1) 北延NATM坑道での研究（機械掘削による影響評価試験の坑道掘削及び掘削中の調査）

平成6年度の事前調査・解析に引き続き、ロードヘッダーによる坑道掘削を実施した。

掘削中の調査として、坑道壁面の地質観察、掘削振動計測及び岩盤応力、岩盤内変位、内空変位、間隙水圧の測定を実施した。

##### (2) 第2立坑第1計測坑道での研究（掘削影響試験の予備調査）

掘削影響試験の予備調査として明世界層で坑道近傍における透水試験を実施した。

#### (3) 掘削影響の重要事象の研究

不飽和領域の原位置計測手法の研究と、坑道周辺岩盤の空隙構造の調査研究として、岩石コアおよび岩石ブロックを用いて室内試験を実施した。

#### (4) 長期観測

第2立坑および水平坑道における岩盤変位などの観測を継続して実施した。

#### ③長期岩盤挙動の研究

長期岩盤の力学的挙動を評価するために、平成6年度に引き続き、室内試験とモデル化手法の検討を実施した。

### 3. 今後の方針

- ①岩盤の力学特性研究（強度・変形特性に関するデータの蓄積）
- ②機械掘削による影響評価試験の掘削後の調査（北延NATM坑道における研究）
- ③掘削影響の重要事象の研究（不飽和領域および空隙構造の研究）
- ④長期岩盤挙動の研究（室内試験とモデル化手法の検討）

## 2 — 1 坑道周辺岩盤の空隙構造の調査研究

### ～微小き裂調査による掘削損傷領域の推定～

(担当者：石島文代)

#### 1. 目的

坑道周辺岩盤は、一般に、掘削による損傷を受けて岩盤特性が変化すると考えられている。このような変化の要因のひとつとして、坑道周辺岩盤の空隙構造に着目し、岩盤特性と空隙構造との関連性について評価する。昨年度は、坑道壁面からの距離と微小き裂の入り方の関係を概略的に把握した。今年度は、岩盤中の微小き裂の計測から、掘削損傷領域の範囲を推定した。

#### 2. 実施内容

##### (1)試料の作成

試験に用いた試料は、釜石鉱山250mレベル坑道（深度730m、昭和50年度に発破工法により掘削）に穿孔した試錐孔（KDK-1孔）のコア（栗橋花崗閃緑岩）である。KDK-1孔は、平成6年度に穿孔した直径76mm、長さ10mの試錐孔である。試料は坑壁からの距離が異なる7ヶ所（図-1）から採取し、蛍光剤を添加した染色・固化剤を浸透させて薄片を作成し、蛍光法により微小き裂の観察を行った。これは、染色・固化時に存在している微小き裂と試料作成時に生じる微小き裂を識別し、微小き裂の観察を容易にするためである。

##### (2)試料の観察

各薄片について、任意の位置における1辺1cmの正方形領域の顕微鏡写真を作成した。これらの写真上に、坑道壁面に対して垂直方向と平行方向の2方向に2mm間隔で長さ10mmの直線（スキャンライン）を引き、これに交わる微小き裂を計数した。

栗橋花崗閃緑岩の主要構成鉱物は、石英、長石および黒雲母や角閃石などの有色鉱物であること、また、坑道掘削に伴う微小き裂の発生しやすさは、鉱物の種類や粒子の内部か粒界かでそれぞれ異なると考えられるので、計数した微小き裂を、①石英粒子内部の微小き裂、②長石粒子内部の微小き裂、③有色鉱物粒子内部の微小き裂、④粒界に存在する微小き裂、⑤複数の鉱物粒子に交差する微小き裂、の5タイプに分類した。各薄片の鉱物含有率はそれぞれ異なっているため、各タイプごとに、スキャンライン1mmあたりに存在する微小き裂の数（微小き裂頻度）を求めた。

### 3. 主な成果

- (1)図-2、3に、坑道壁面からの距離が0.25mと1.00mの部分の顕微鏡写真を示す。図-2では、石英や長石粒子の内部、および複数の粒子に交差する明瞭な微小き裂が認められる。これに対して、図-3ではそのような微小き裂は認められず、その他の薄片についても同様にそのような微小き裂は認められなかった。
- (2)図-4に坑道壁面からの距離と微小き裂頻度の関係を示す。微小き裂頻度は、各スキャンラインごとに計測した値の平均である。坑壁から0.25、1.45、3.00mでは、他の部分と比較して微小き裂頻度が大きくなっている。
- (3)坑壁から0.25mの部分で微小き裂頻度が大きくなったのは、図-2に見られる明瞭な微小き裂が数多く存在するためである。この部分が最も坑壁に近いことや、このような微小き裂が他の部分では認められないことから、これらの明瞭な微小き裂は、発破によって生じた損傷と考えられる。
- (4)坑壁から1.45mの部分では、岩石が赤色に変質しており、顕微鏡観察でも変質した鉱物粒子や石英粒子中の粒内き裂が認められた(図-5)。この部分で微小き裂頻度が大きくなったのは、変質作用によって生じた微小き裂が数多く存在していたためと考えられる。
- (5)坑壁から3.00mの部分では、粒子内部の比較的細かい微小き裂が多く観察された。この部分は、変質のない健岩部であり、図-2のような明瞭な微小き裂は認められない(図-6)。また、坑道壁面に垂直な方向と水平な方向とで微小き裂頻度の差がほとんどない。これらのことから、微小き裂頻度が大きくなった原因是、坑道掘削(発破損傷、応力再配分)や変質とは別の要因であると考えられる。
- (6)以上のことから、坑道周辺岩盤では、発破損傷によって石英や長石粒子の内部、および複数の鉱物粒子に交差するような明瞭な微小き裂が新たに発生し、その範囲から、掘削損傷領域の範囲は、坑道壁面から0.50m以内であると推察される。

### 4. 今後の予定

- (1)新規掘削坑道周辺の岩盤で同様な調査を行い、坑道掘削後の経過時間と微小き裂数の変化の関係を評価する。
- (2)コア採取中に生じたき裂と岩盤中に存在しているき裂を区別するため、原位置で染色・固化を行って試料を採取する方法を検討する。
- (3)微小き裂の数や方向の定量的評価のための画像解析手法を検討する。

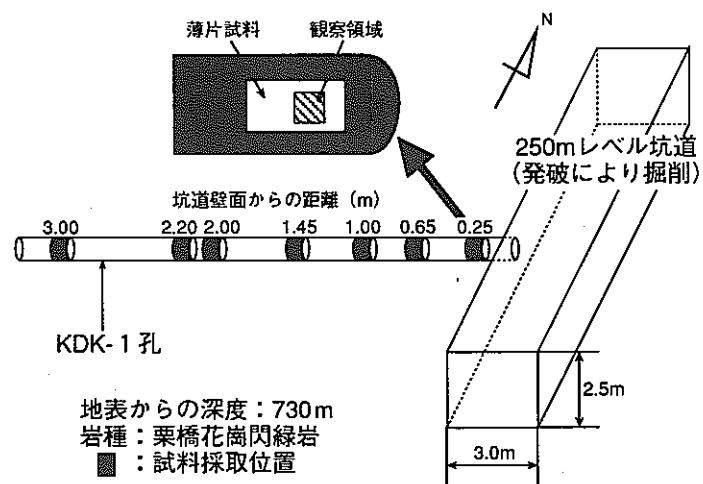


図 - 1 試料の採取位置と薄片試料の作成方向

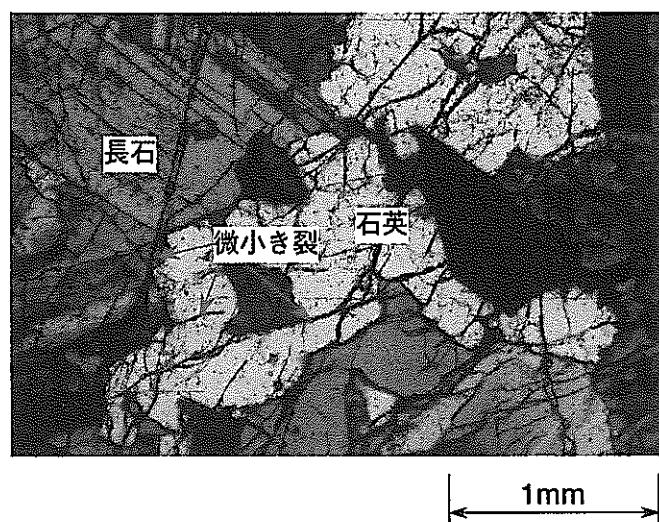


図 - 2 偏光顕微鏡写真（坑道壁面から0.25m）

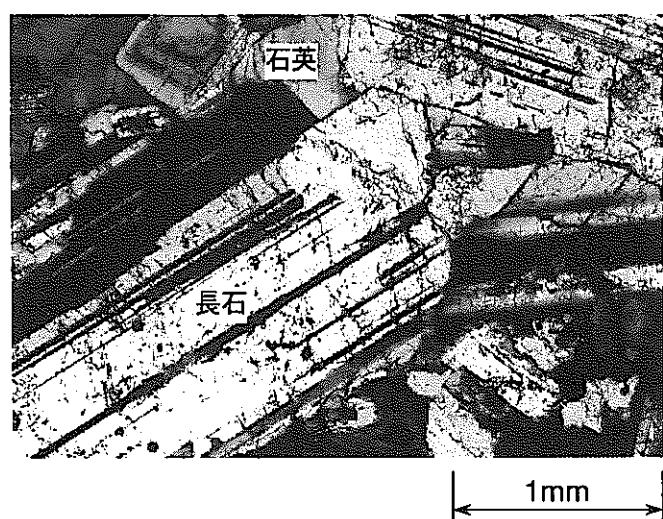


図 - 3 偏光顕微鏡写真（坑道壁面から1.00m）

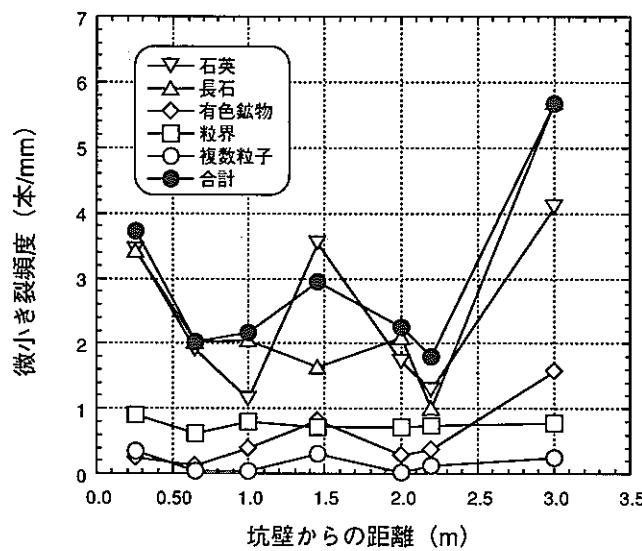


図-4 坑道壁面からの距離と微小き裂頻度の関係

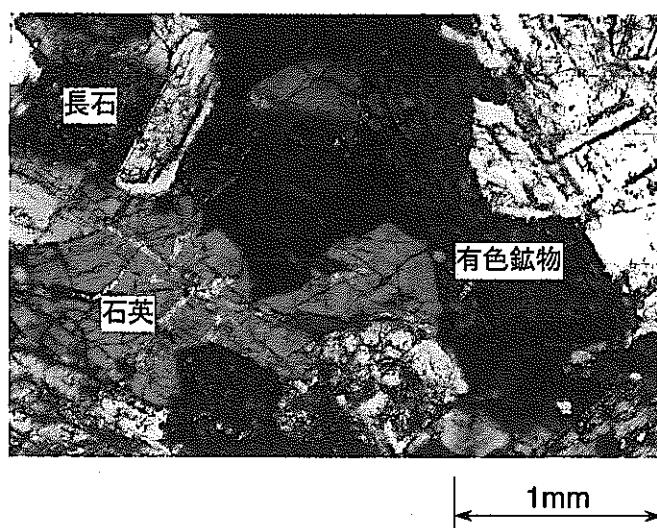


図-5 偏光顕微鏡写真（坑道壁面から1.45m）

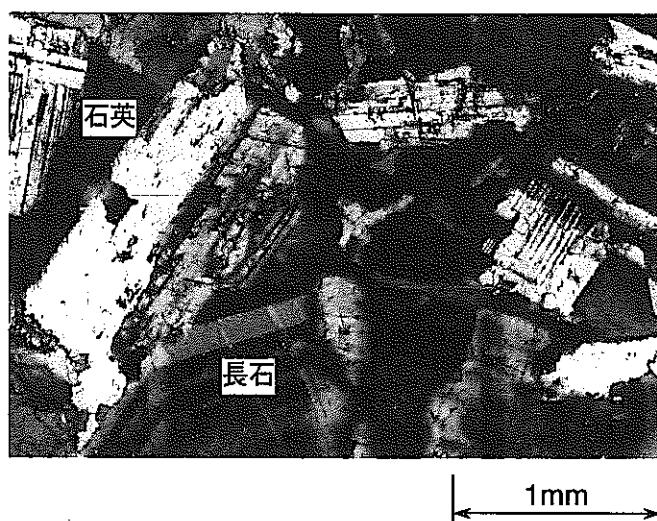


図-6 偏光顕微鏡写真（坑道壁面から3.00m）

## 2-2 不飽和領域の原位置計測手法

### に関する研究

～含水量測定に対する各種計測手法の適用性の検討～

(担当者：安達哲也)

#### 1. 目的

坑道周辺の岩盤内に発生すると考えられる不飽和領域の広がりを、原位置で計測する手法を開発するための基礎研究として、岩石の含水量を計測するための手法を開発する。

#### 2. 実施内容

岩石コアを用いて、比誘電率、比抵抗および超音波速度の3つの物理量と含水量の関係を計測し、含水量を測定する手法としての適用性の検討を行った。

比誘電率の測定にはTDR法（Time Domain Reflectometry）を用いた。TDR法では、前年度の問題点を考慮し、本計測に先だって予備試験を実施した。

(1) 予備試験は以下の項目について実施し、TDRプローブの設置方法および波形の読み取り方法を決定した。

- ・水中と空气中でプローブの長さ、径および本数を変えて計測する。計測された波形の立ち上りの読み取りやすさからプローブの長さ、径および本数を決定した。
- ・プローブを伝播する電磁波の影響範囲を測定し、岩石試料のコアサイズを決定した。
- ・プローブの岩石試料への設置方法の検討を行った。
- ・波形をデジタル値として記録し、読み取り方法の検討を行った。

(2) 本試験は、4岩種（来待砂岩、白浜砂岩、白河熔結凝灰岩、稻田花崗岩）の各2供試体に対して、以下の手順で実施した。ただし、比誘電率測定は(1)の結果から図-1に示す設置方法で行い、図-2に示す方法で波形の読み取りを行った。また、比抵抗測定は、GS社方式の4電極サンプルホルダーを用い、超音波速度測定は市販の測定器を用いP波(63kHz,400kHz)およびS波(33kHz,400kHz)について測定した。

- ・含水量を徐々に変化させ、比誘電率、比抵抗および超音波速度の3つの物理量を計測し、物理量と含水量の関係を求めた。
- ・各物理量と含水量の間に、有意な関係があるか、また、岩種に対しどのように変化するのかに着目し、含水量計測への適用性の検討を行った。

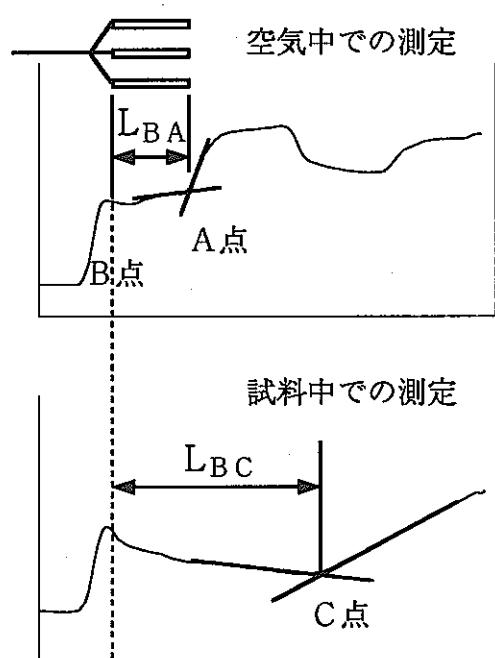
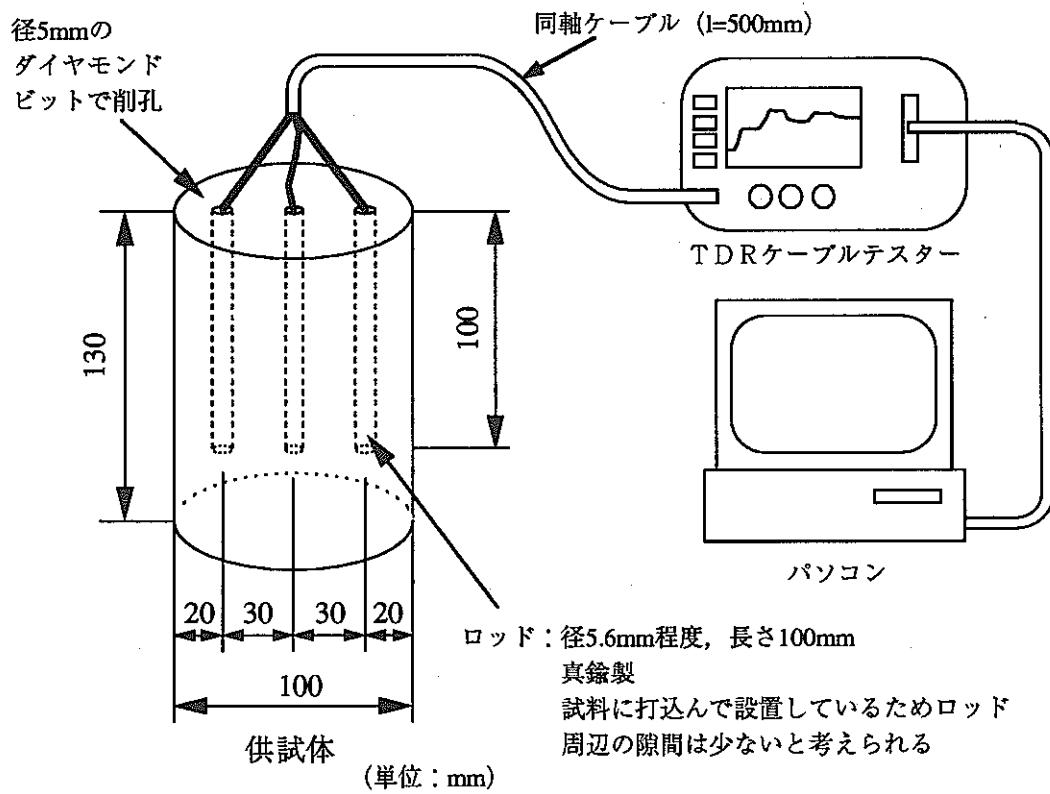
### 3. 主な成果

3つの物理量と含水量との関係を図-3 a ~ 5 b に示す。ただし、含水量については、飽和度と体積含水率の両方で示した。

- (1) 比誘電率測定は、予備試験を行い、ロッドの設置条件や測定範囲などについて検討したため、より精度のよいデータを得ることが出来た。ただし、波形の読み取りに関しては接線の引き方に個人差が生じるため、多少の誤差を生じる可能性はある。
- (2) 図-3 a, b より比誘電率は、含水量の変化にともなう変化が有意であり、さらに、体積含水率と比誘電率の関係は、岩種によるばらつきが少ない。よって、比誘電率から含水量を推定するのは信頼性が高いと考えられる。
- (3) 図-3 a より比誘電率は全ての岩種に対して飽和付近で急激に大きくなる傾向がある。土壌ではこのような傾向は見られないため、この傾向が岩石特有の特徴なのか、プローブの設置方法等に起因するものか、現時点では、不明である。
- (4) 図-4 b より比抵抗は、体積含水率との関係で見ると岩種によるばらつきは少ない。しかし、体積含水率0.05以上で含水量の変化にともなう有意な変化がない。また、飽和度（図-4 a）で見ると、花崗岩以外で飽和度30%以上、花崗岩で飽和度70%以上で含水量の変化にともなう有意な変化がなく、その差は計測値のばらつきの範囲に入る。よって、比抵抗値から含水量を推定するのは信頼性が低いと考えられる。
- (5) 図-5 a, b より超音波速度は、花崗岩以外では含水量の変化にともなう有意な速度変化がない。また、岩種によるばらつきも大きい。よって、超音波速度から含水量を推定するのは信頼性が低いと考えられる。
- (6) 岩種によらず、また乾燥状態から飽和状態までの広い範囲の含水量を測定する手法として、上記(2), (4), (5)から比誘電率が最も有効であると考えられる。

### 4. 今後の予定

- (1) TDRを原位置で適用する際、今回のようにプローブと岩の隙間をなくすことは困難であると考えられるため、原位置への設置方法の検討を行う。また、波形の読み取りに関してデジタル値を処理することにより、個人差の生じない方法を検討する。
- (2) 今回用いなかったような間隙率の大きい（25%以上）岩石試料について、比誘電率～含水量の測定を行い、より多くの岩種に対し比誘電率の含水量計測への適用性を検討する。



- 手順1：空気中でTDR測定を行い、反射点（波形の立上り点）の前後に接線を引き、その交点を反射点とする。  
(A点)
- 手順2：A点からプローブの長さを戻した点を読む。この点が電磁波がプローブに入射した点である。(B点)  
(B点は、同じプローブを使用すれば移動しない。)
- 手順3：試料中で計測し、反射点（波形の立上り点）の前後に接線を引き、その交点を反射点とする。(C点)
- 手順4：以下の式により供試体の比誘電率を求める。  
ただし、空気中の比誘電率を1とする。

$$\epsilon = (L_{BC}/L_{BA})^2$$

$\epsilon$  : 試料の比誘電率

$L_{BA}$ : BA間の長さ (プローブの長さ) [L]

$L_{BC}$ : BC間の長さ (測定値) [L]

図-2 波形読み取り方法の概要

○	来待砂岩
●	白浜砂岩
□	白河熔結凝灰岩
△	稻田花崗岩

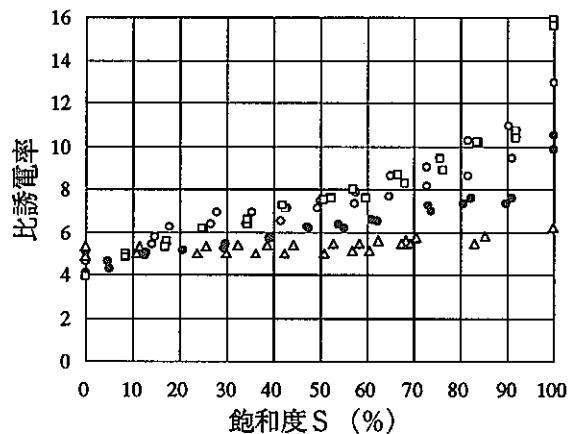


図-3 a 比誘電率と飽和度の関係

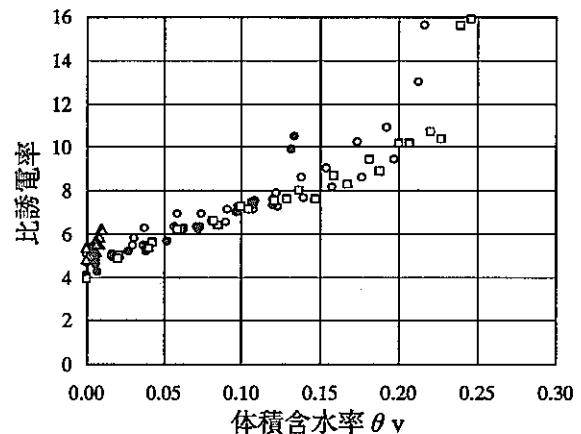


図-3 b 比誘電率と体積含水率の関係

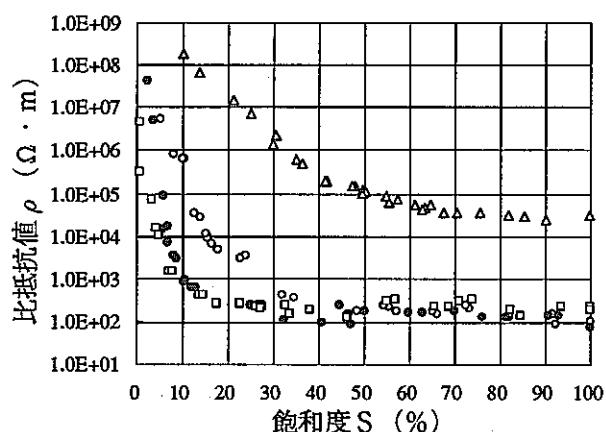


図-4 a 比抵抗値と飽和度の関係

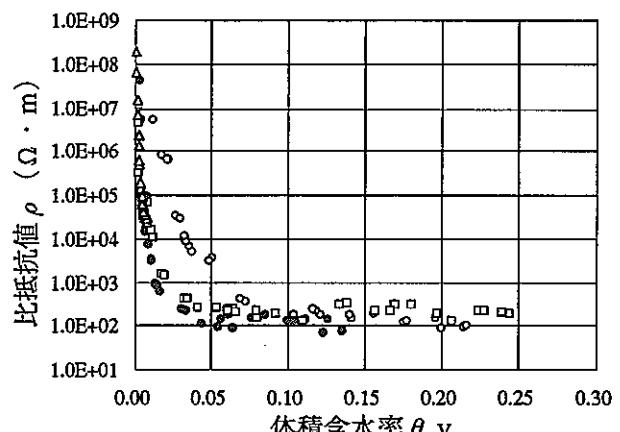


図-4 b 比抵抗値と体積含水率の関係

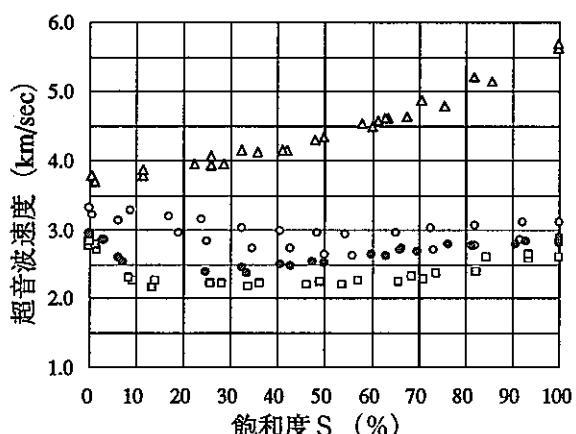


図-5 a 超音波速度と飽和度の関係  
(P波 400kHz)

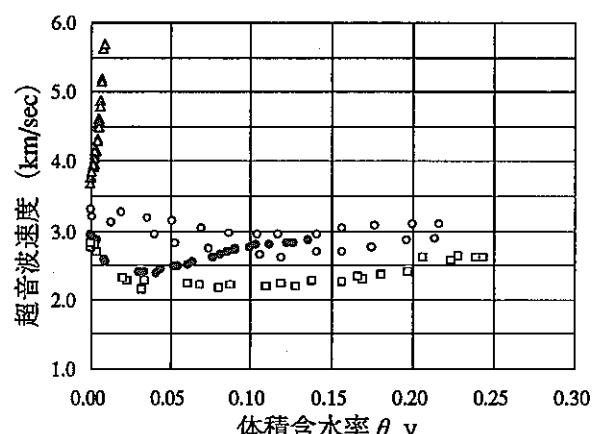


図-5 b 超音波速度と体積含水率の関係  
(P波 400kHz)

## 2 - 3 周辺岩盤が受ける振動の掘削工法による違いについて

(担当者：佐藤稔紀)

### 1. 目的

坑道を掘削する際の発破や切削等の作業によって、坑道周辺の岩盤に新たなき裂が生じる等の損傷が発生すると考えられる。これに伴い、岩盤の特性は初期の状態から変化することがこれまでの調査から分かっている。損傷の原因のひとつは掘削振動によるものと考えられることから、本研究の目的を以下のように設定した。

- ①坑道掘削時に周辺岩盤が受ける振動加速度の大きさを把握する。
- ②発破掘削と機械掘削で、それぞれの振動加速度の相違を評価する。

### 2. 実施内容

#### (1)発破掘削時の振動計測

図1～3に計測のレイアウトを示す。坑道を発破工法で掘削する際に、計測坑道から掘削したボーリング孔内に設置した加速度計で振動を計測した。計測位置は坑道壁面から、0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0mの5点とした。使用した機器の計測レンジは、既往の文献を参考に、発破位置から50cm離れた位置で生じる加速度を見積もった上で決定した。また、今回の計測では、発生する振動の方向による相違を検討するために、受振は坑道軸方向(X), 鉛直方向(Y), 坑道の半径方向(Z)の3方向とした。発破掘削は3回実施し、振動計測も各発破毎に実施した。

#### (2)機械掘削時の振動の計測

ロードヘッダーにより坑道を掘削する際に、図1に示すように、発破振動計測と同様のレイアウトで振動加速度を計測した。機器のレンジは異なるが、機器の設置位置（坑壁からの距離）と受振方向は発破掘削時と同様である。計測は切羽が機器設置位置を通過する前後で、計5回実施した。なお、岩盤の振動計測と同時刻で機械本体の振動も計測した。

### 3. 主な成果

#### (1)発破掘削時の振動計測

計測された振動加速度の波形の一例を図4に、最大加速度（各々の計測で各センサーが受振した加速度のうち最大のもの）と発破位置からの距離の関係の一例を図5に示す。

計測された最大加速度は、第1回目の発破では、切羽中央の第1段が800G、坑壁に近い第3段と第4段がそれぞれ5,000G、6,000Gであった。坑壁に近い段数の発破の加速度が坑壁から離れた段数に比べて大きい傾向が認められた。最大加速度と発破位置からの距離と

の関係は、最大加速度は距離が離れるにつれて両対数で直線的に減少するという既往の経験式（式1）が発破位置の近傍においても成立することが明らかになった。

$$\text{振動加速度 } A = A_0 W^\alpha R^{-\beta} \quad W : \text{薬量}, R : \text{距離}, A_0, \alpha, \beta : \text{定数} \quad (\text{式1})$$

切羽が通過するまでの第1回目と第2回目の発破のデータを用いて、図7で示される両対数の直線の傾き（回帰定数： $\beta$ ）を最小2乗法で求めると2.0~3.2となり、既往の計測結果（最大2.0）と比較すると若干大きくなつた。この原因としては、発破位置の近傍においては、高周波成分が卓越した波を受振しており、高周波の波は減衰しやすいため、今回算出したように大きな回帰定数となつたことが考えられる。

### (2)機械掘削時の振動計測

振動波形の一例を図4、最大加速度と切削位置からの距離の関係の一例を図6に示す。

計測された加速度のうち最も大きいのは2.5Gであり、発破振動と比較すると3オーダー小さい。また、振動波形から、発破振動が単発的に生じているのに対し、機械掘削時の振動は断続的であることが分かる。最大加速度は、発破掘削同様、ロードヘッダーの切削ドラムの位置から離れるにつれて両対数でほぼ直線的に減少する傾向が認められた。

ロードヘッダーの切削機構を考えた場合、ドラムの回転方向である坑道の半径方向(Z)と鉛直方向(Y)の振動が大きいことが予想されるが、計測結果はそのような傾向は認められず、かつ、機械本体の振動についても方向による違いが認められなかった。

### (3)振動によって生じる損傷の推定

発破振動がトンネルの覆工コンクリートに与える影響に関する経験式によると、発破によって覆工に破壊が生じない限界の振動速度がコンクリートの物性値から求められる。

$$\text{限界振動速度 } V = \sigma / \rho C \quad \sigma : \text{引張強度}, \rho : \text{密度}, C : \text{弾性波速度} \quad (\text{式2})$$

この経験式に岩盤の物性値を代入すると、限界振動速度は400mm/sec程度となる。一方、今回の振動加速度の計測結果から振動速度を算出し、振動速度と距離の関係を求めると、振源位置から1.0~1.5mの距離において限界速度に達していることが推定される。

これまでの掘削影響試験において、発破によって、岩盤の物性が変化する領域は坑壁から1m以内程度と推定されている。今回の振動計測結果から推定される岩盤が限界振動速度に達している領域の範囲と岩盤物性が変化した領域の範囲はほぼ一致している。

## 4. 今後の予定

機械振動についても（式2）が適用することができると仮定して算出した限界振動速度に達している範囲（0.1m以内）と、今後実施する各種試験調査から推定される物性値が変化した範囲とを比較する。

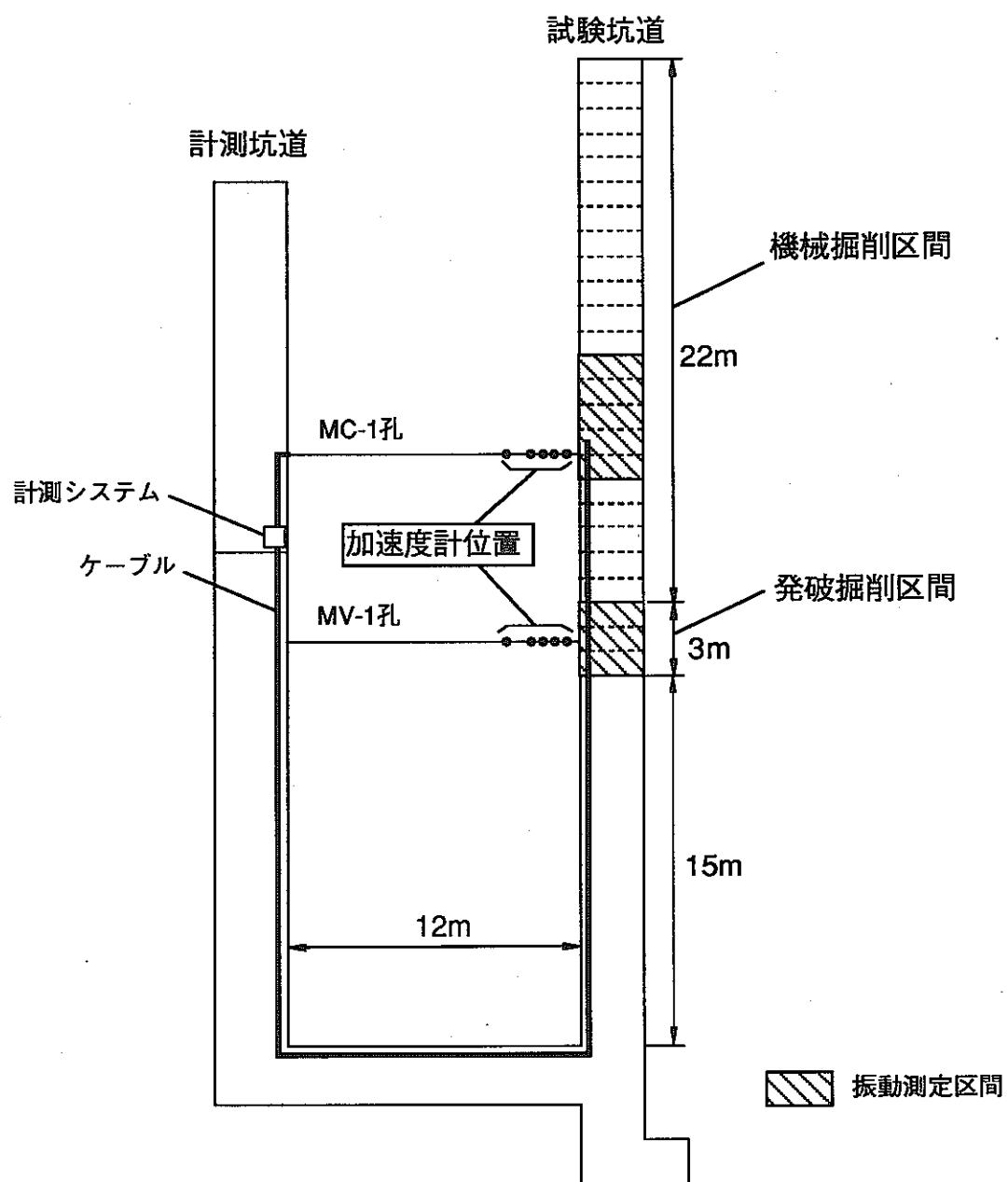
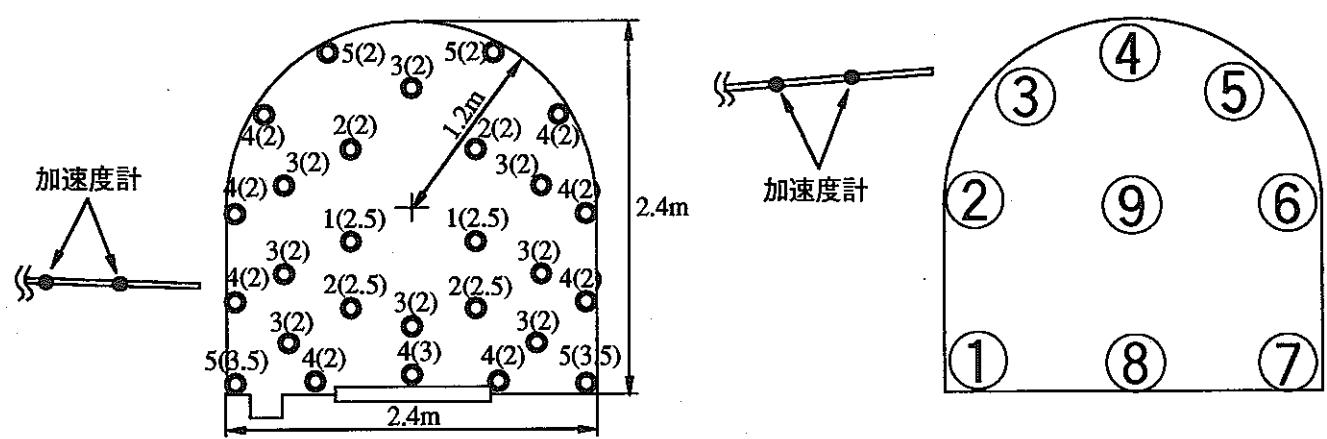


図1 振動計測レイアウト



図中の数字は段数、括弧内は薬量（単位100g）

図2 発破パターンと薬量

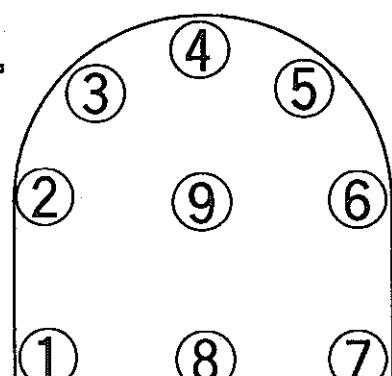
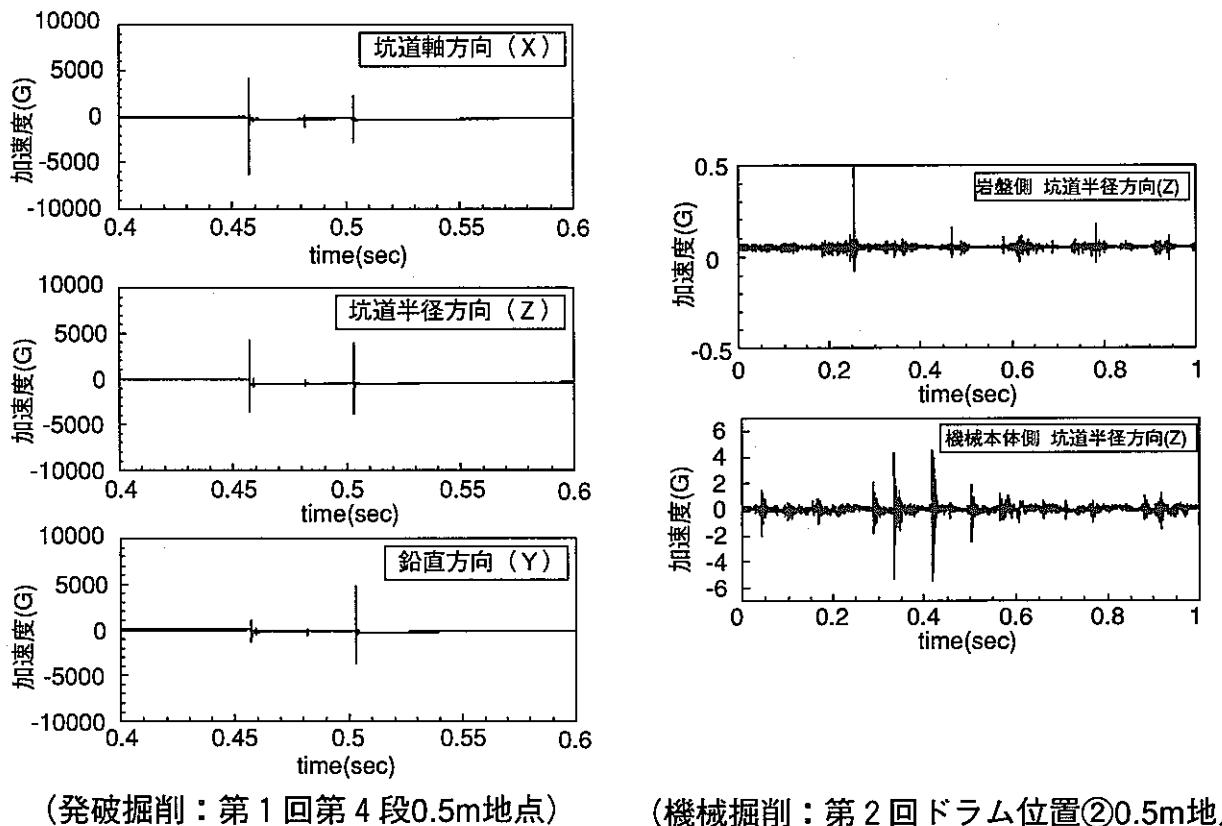


図3 振動計測時の切削ドラムの位置



(発破掘削：第1回第4段0.5m地点)

(機械掘削：第2回ドラム位置②0.5m地点)

図4 振動加速度の波形

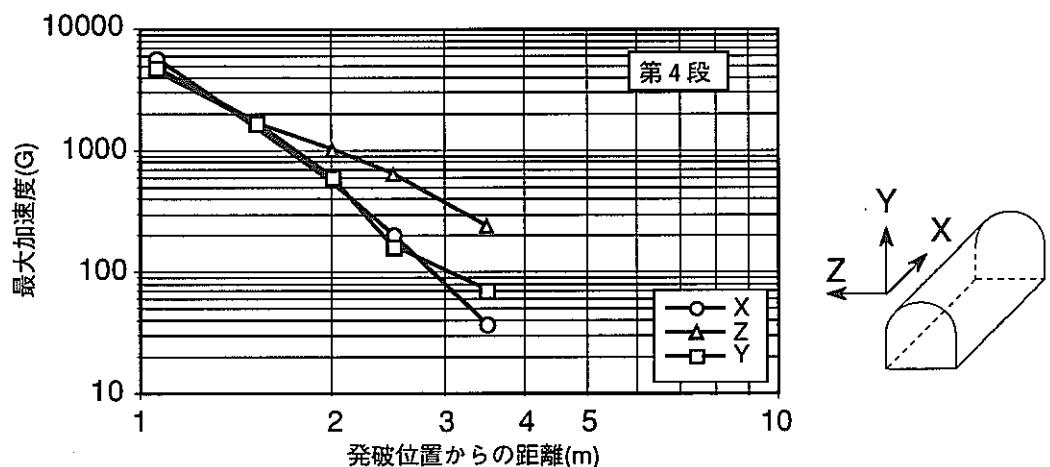


図5 最大加速度と発破位置からの距離との関係（発破振動：第1回、第4段）

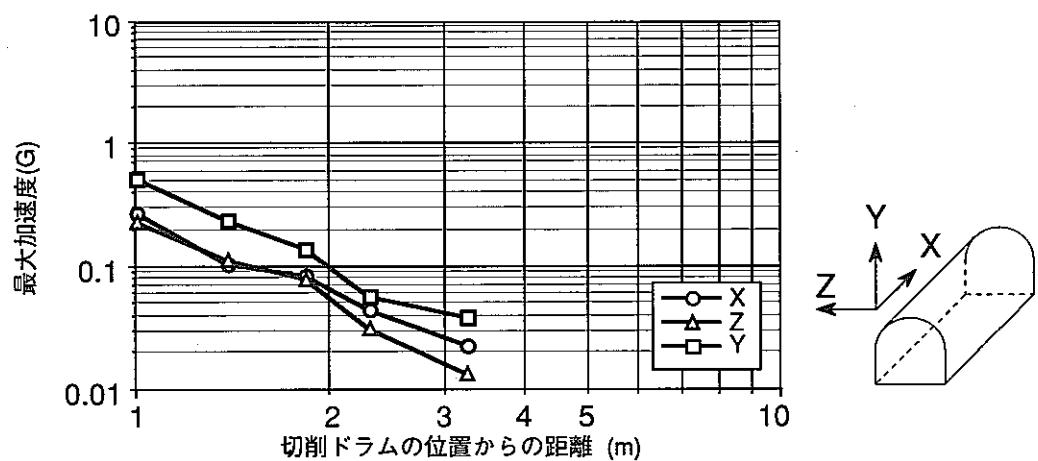


図6 最大加速度と切削位置からの距離との関係（機械振動：ドラム位置②）

### 3. 調査技術開発

#### 3-1 地球物理学的調査技術開発の概要と 今後の方針

(担当者: 長谷川 健, 蔵内 智)

##### 1. 目的

できるだけ非破壊で地質環境を把握するために、

- ① 必要となる地球物理学的調査技術を調査の目的に応じて開発・高度化する。
- ② 表層から地下深部までをできるだけ効率よく調査できる地球物理学的調査の体系化を目指す。

##### 2. 実施内容

平成6年度の主な業務を以下にしめす。

- ① 坑道周辺のき裂調査のためのレーダー法シングルホール調査技術の高度化
  - ・試錐孔用広帯域レーダープローブを開発し、その適用試験を釜石鉱山原位置試験場において実施した。
- ② 透水性き裂調査を目的としたハイドロフォンVSP調査法の適用性に関する研究
  - ・ハイドロフォンVSP調査をより効率的にかつ安全に実施するために、重錘落下式機械震源の適用試験を実施した。
- ③ 比抵抗トモグラフィデータ解析プログラムの改良
  - ・坑道を利用する場合等、調査対象領域の境界条件が複雑な場合についての解析法について検討した。

##### 3. 今後の方針

地質環境を非破壊で把握するための技術開発の一環として、

- ① 各種地球物理学的調査技術の開発
  - ② 地球物理学的調査に関する既存技術の適用性の把握および高度化
  - ③ 地球物理学的調査の体系化
- を行う。

プローブの開発

(担当者: 藤内聰, 長谷川健)

## 1. 目的

試錐孔を用いて岩盤内部の割れ目の位置や、その空間的広がりを調査する試錐孔用レーダーシステム(RAMAC)を構成する機器の内、レーダープローブを改良し、従来のレーダープローブと比較して、全長が半分以下で、周波数帯域が広く、さらに指向性を有する試錐孔用広帯域レーダープローブを開発する。

## 2. 実施内容

- ① 平成5年度に試錐孔用広帯域レーダープローブの設計を実施した。
- ② 平成6年度に試錐孔用広帯域レーダープローブの製作を実施した。
- ③ 平成7年7月10日～7月13日にかけて、釜石鉱山原位置試験場250mレベル坑道内、KDT-1孔およびKDT-2孔(どちらも掘進長は20m)を使用して、試錐孔用広帯域レーダープローブの適用試験を実施し、シングルホール調査のデータを取得した。図-1にシングルホール調査の概念図を示す。

測点間隔は50cmとした。測定方法は、まず、電磁波の放射方向を下向きにセットし、孔口から孔奥までプローブを挿入しながら測定を行った。次に、プローブを時計回りに90°回転させて放射方向を左向きにセットし、今度はプローブを引き抜きながら測定を行った。再びプローブを90°回転させて上方向を挿入で測定し、最後に右方向を引き抜きで測定した。

- ④ 取得データにフィルター処理を施し、岩盤内を伝播する電磁波速度を110m/ $\mu$ sとして反射面の読み取りを実施した。図-2にレーダー反射図および反射面抽出の一例を、表-1に反射面の読み取り結果を示す。表は、それぞれの測定方向で抽出された反射面が試錐孔と交差する深度(孔口を0mとする)を記しており、負の深度および20m以上の深度は、試錐孔が孔口側および孔奥側に延長していると仮定した時

に反射面が交差する深度である。

### 3. 主な成果

- ① 試錐孔用広帯域レーダープローブは、現場においても何ら異常なく作動し、RAM AC地上装置（コントローラー、コンピューター）と接続して正常にデータを取得することができた。
- ② 試験場の花崗岩においては、試錐孔から 6 m程度までの距離で反射面の抽出が可能であることと指向性が十分に確保されていることを確認した（図-2）。
- ③ 同じく、試験場の花崗岩内で 200 MHz 以上の周波数帯域が確保できることを確認した（図-3）。
- ④ 試錐孔と交差する反射面の数は、測定方向により KDT-1 孔で 4～6 本、KDT-2 孔でも同じく 4～6 本であった（表-1）。

### 4. 今後の予定

地層科学研究として実施される調査に適用してゆく。

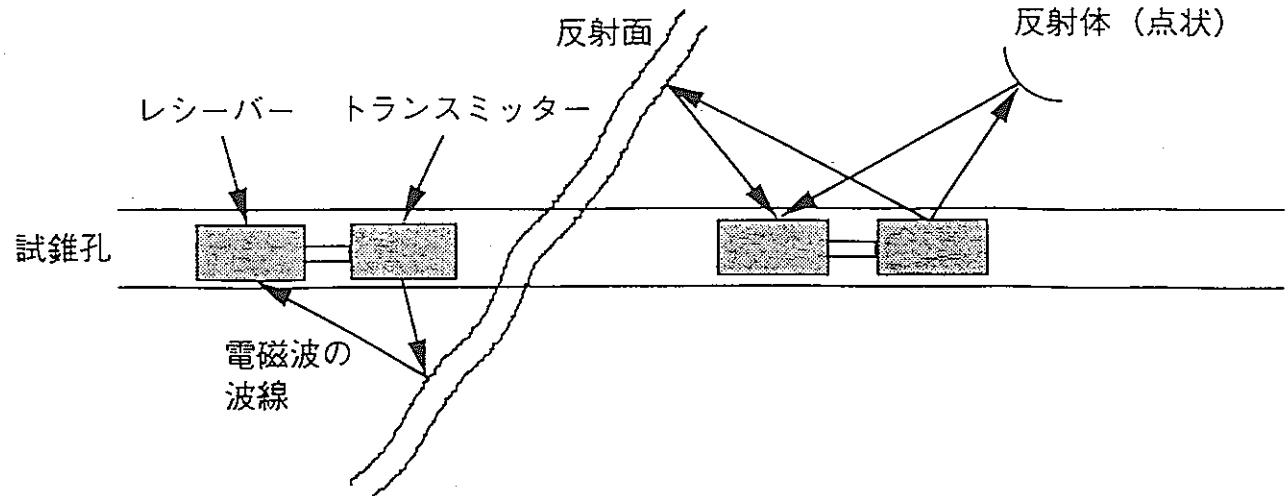


図-1 シングルホール調査概念図

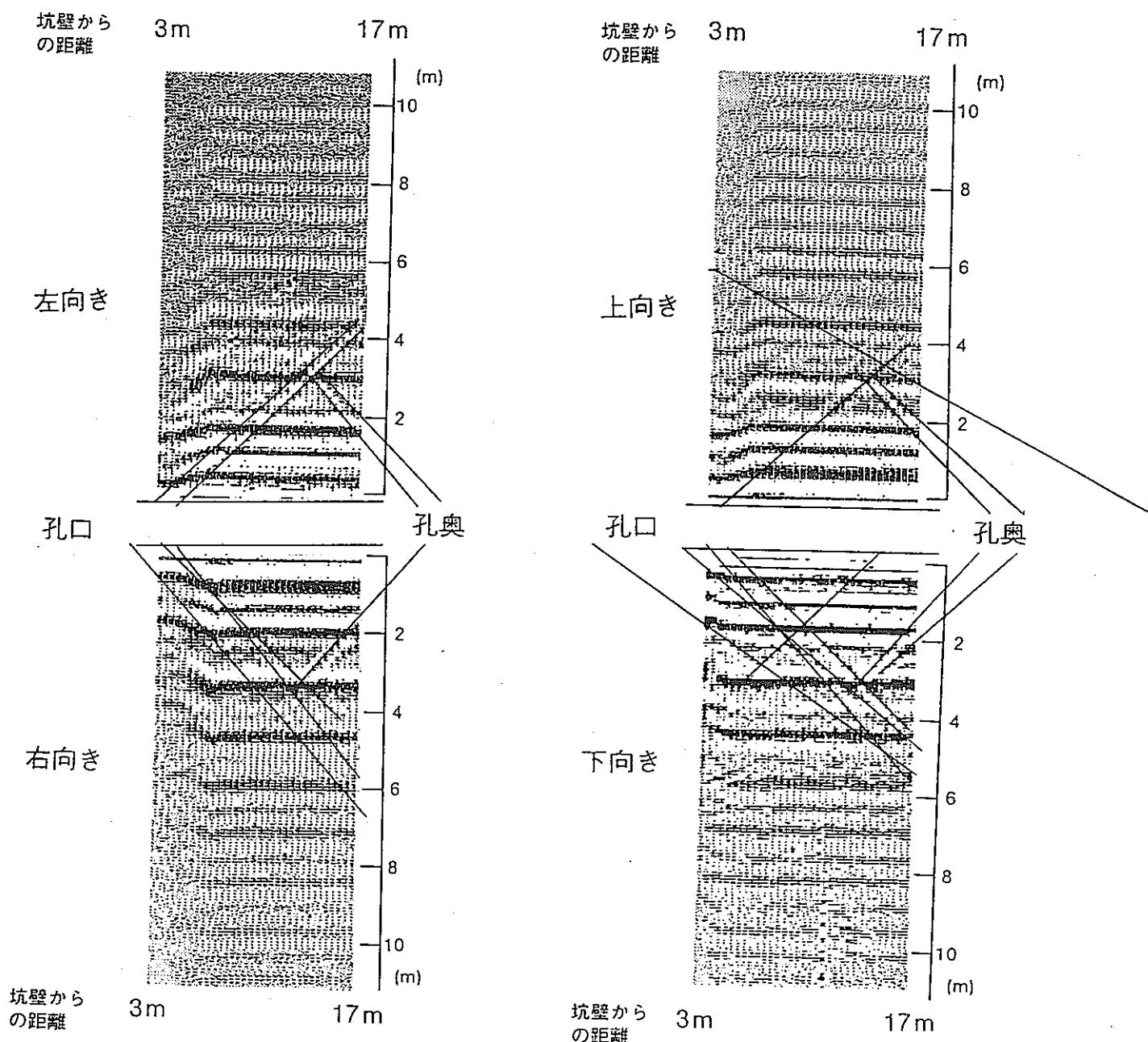


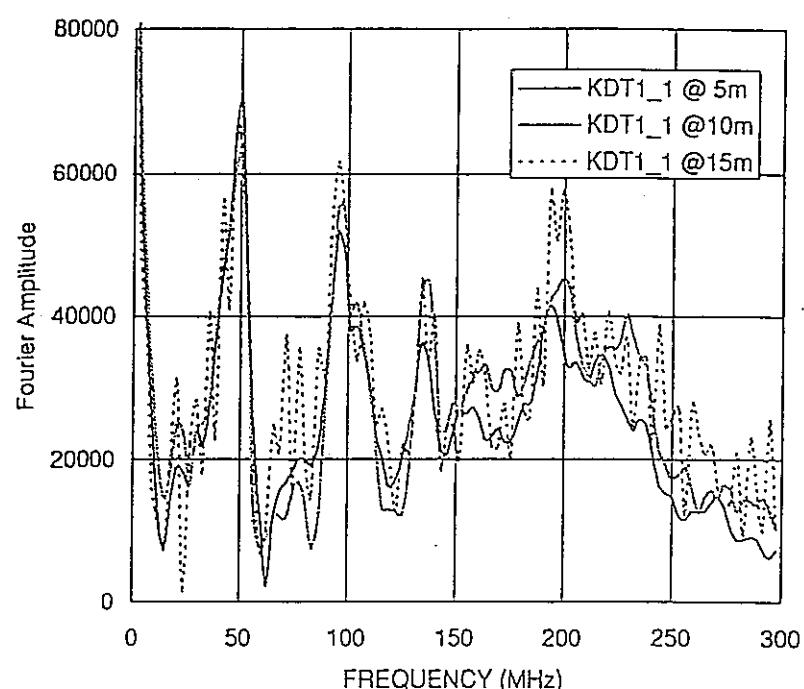
図-2 レーダー反射図の例

表一 1 反射面読み取り結果

KDT-1			
下向き	左向き	上向き	右向き
-3.5 m			
			1.5 m
2.0 m			
	3.0 m		
4.0 m		4.0 m	4.0 m
	4.5 m		4.5 m
13.5 m			
20.0 m			
			20.5 m
21.0 m	21.0 m		
22.0 m			
22.5 m			
		23.0 m	
		31.5 m	

KDT-2			
下向き	左向き	上向き	右向き
			2.0 m
			2.5 m
		3.0 m	
		6.0 m	
8.0 m			
	8.5 m (2本)		8.5 m
9.0 m (2本)		9.0 m	
9.5 m	9.5 m		
	10.0 m		
			10.5 m
		11.5 m	
		22.0 m	
			25.0 m
			26.5 m
27.5 m			



図一 3 アンテナの周波数特性

3-1-2 ハイドロフォンVSP調査における  
機械式震源の適用性

(担当者: 藪内聰, 長谷川健)

1. 目的

地表から掘削された試錐孔を用いて岩盤中の透水性割れ目を抽出できるハイドロフォンVSP調査法の技術開発の一環として、本調査をより効率的にかつ安全に実施するためには必要不可欠な機械式震源の適用性を評価する。

2. 実施内容

- ① 昨年度に引き続き、平成7年11月13日～11月21日にかけて、正馬様洞AN-1号孔周辺にてハイドロフォンVSP調査法の適用試験を実施した。

(a)ハイドロフォンVSP調査法の原理

震源から発生したP波が透水性割れ目に入射すると割れ目が圧縮され、割れ目内の地下水が試錐孔内に押し出されることによりチューブ波が励起される。このチューブ波は試錐孔に沿って上方および下方に伝播し、これをハイドロフォンを用いて観測することにより、チューブ波を発生させた割れ目を抽出できる。図-1にチューブ波発生のメカニズムを模式的に示す。

(b)取得データ

AN-1号孔にハイドロフォンを設置し、今回は火薬震源と機械式震源(ガードレール工業製 オートハンマーWAH3400型)の2種類の震源を用いて、深度20m～609mまでのデータを取得した。ハイドロフォンの間隔は1mである。図-2に震源および受振孔の位置を示す。また、図-3に両方の震源を用いて取得したデータの一例を示す。各トレース上で、波の列が右上および右下方向に連続している部分がチューブ波の伝播を表している。

- ② 火薬震源および機械式震源で得られたデータの質(周波数および振幅)を比較した。

- ③ 取得データの処理・解析を行いチューブ波の発生深度を求め、火薬震源による結果と機械式震源による結果を比較した。求めたチューブ波発生深度を表-1に示す。

### 3. 主な成果

- ① 火薬震源によるデータの中心周波数は約200Hzであるのに対し、機械式震源によるデータのそれは約50Hzであった。また、火薬震源によるデータの振幅は機械式震源によるデータの振幅の約2.5倍であった（深度509mのデータで比較）。
- ② 機械式震源によるデータは、火薬震源によるデータと比較して、低周波、小振幅であるため分解能は劣り、S/N比も良くなかったが、機械式震源によるデータでも、適切なデータ処理を行うことにより、火薬震源と同程度にチューブ波発生深度を求めることができた。
- ③ 調査深度が500m程度であれば、今回使用した機械式震源を用いて、チューブ波発生深度を求めることが可能なデータが得られたことから、ハイドロフォンVSP調査に機械式震源を適用することは可能である。

### 4. 今後の予定

- ① 取得データの解析をさらに実施し、透水性割れ目の深度のみならず、その走向・傾斜および透水係数の推定を実施する。
- ② 推定された透水性割れ目の走向・傾斜および透水係数の精度を確認するため、BT-Vデータとの比較ならびに水理試験を実施する。

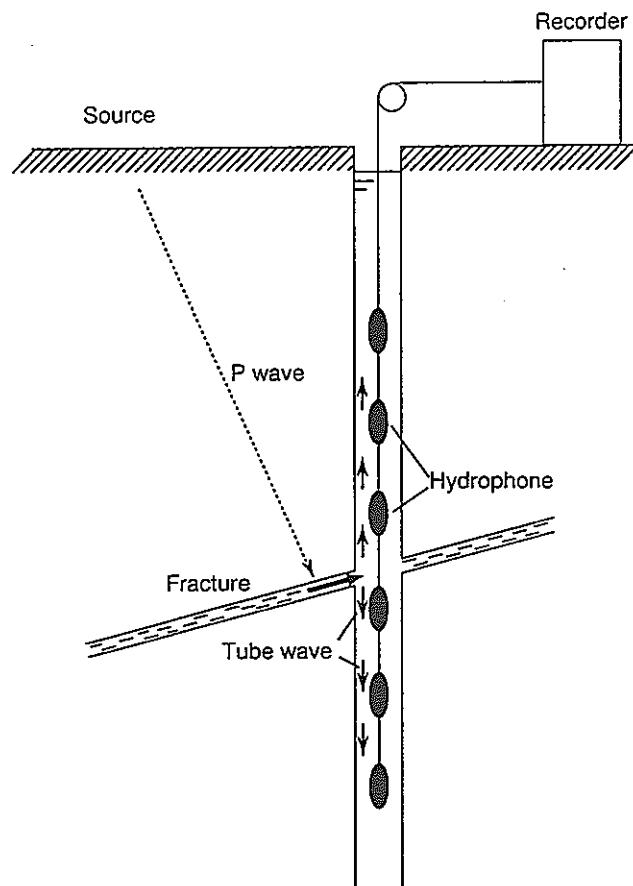


図-1 チューブ波発生のメカニズム

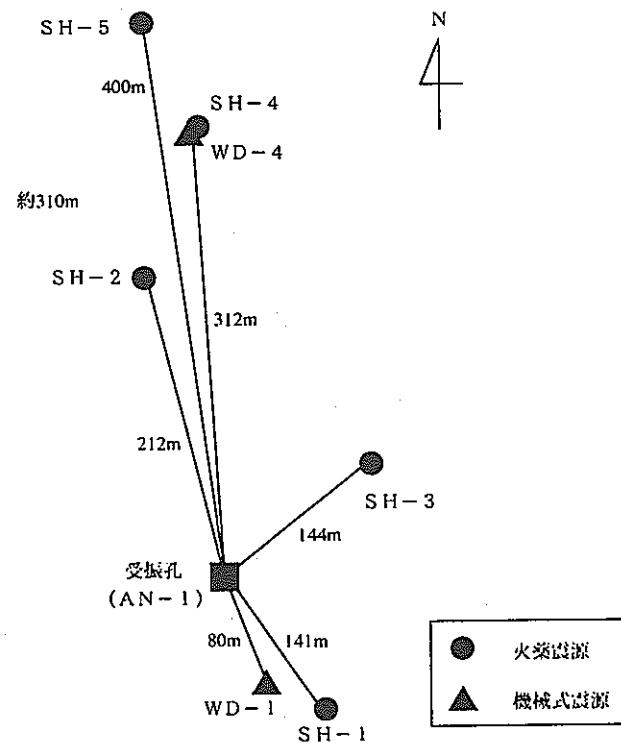
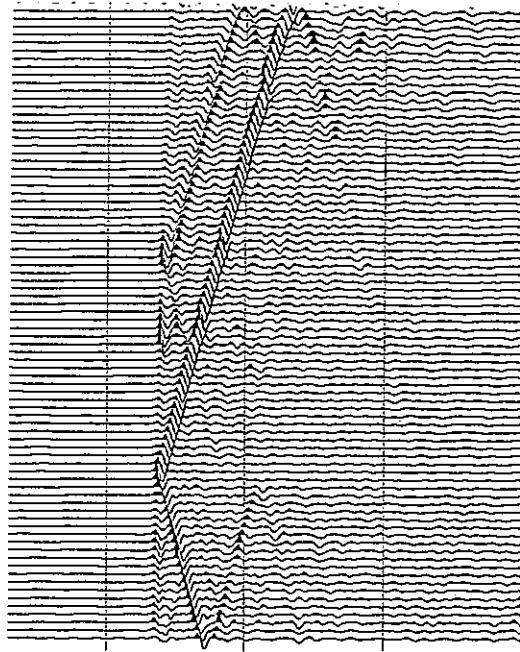
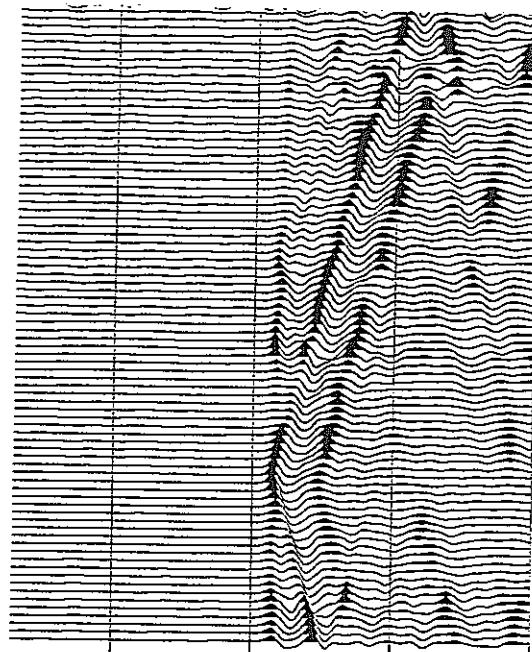


図-2 震源位置図



火薬震源



機械式震源

図-3 取得データの例

表-1 チューブ波発生深度

機械式WD-1 20~559m	機械式WD-4 20~509m	火薬SH-5 50~609m
40	39	
52	52	52
61	62	62
79	79	79
103	103	103
121	121	121
	123	
129		130
164	164	164
	175	
209		
221	219	219
223	223	224
254	253	
264	264	263
	270	270
296	296	295
	304	305
468	467	467
478	478	478
482	482	482
490	492	492
		529
		535
551		550

単位 (m)

## 3-2 水理 - 地球化学調査機器開発の

### 概要と今後の方針

(担当者：中野 勝志)

#### 1. 目的

地表から地下深部までの水理学的特性と地下水の地球化学的特性を、精度良くかつ効率的に把握するための調査機器を開発する。

#### 2. 実施内容

##### ①地表から掘削した試錐孔で用いられる調査機器の開発

###### (a)1,000m対応地下水調査機器

- ・1,000m対応水理試験装置（タイプI）が備える水理試験法の測定範囲と測定精度等の詳細な把握等を目的とした現場適用試験
- ・適応温度環境の拡大と性能向上を目指した1,000m対応水理試験装置、1,000m対応採水装置および地球化学検層ユニット（タイプII）の設計

###### (b)大深度対応地下水モニタリング装置

岩盤中の間隙水圧や水質変化を長期間連続して観測するための深度1,000m対応の観測装置の一部設計

###### (c)移動調査システム

1,000m対応地下水調査機器による現場調査を安全かつ円滑に進めるための補助的役割を担う移動型の現場調査システムの設計・製作（現在継続中）

##### ②坑道で用いられる調査機器の開発

###### (a)試錐孔間水理試験装置

岩盤の空間的な水理特性を把握するための孔間水理試験装置の製作（現在継続中）

#### 3. 今後の方針

##### ①1,000m対応地下水調査機器（タイプII）の製作と適用試験

##### ②大深度対応地下水モニタリング装置の設計・製作

##### ③試錐孔間水理試験装置の製作と適用試験

##### ④試錐孔間水理試験と単孔式水理試験の解析手法の高度化

# 水理・地球化学的調査機器開発の現状

(平成8年3月現在)

(開発状況の凡例) 実一 実用 改一 改良中 開一 開発中		開 発 状 況	水 理 試 験				地球化学パラメータの測定					採 水	使 用 温 度 環 境 孔 (°C)	測 定 可 能 深 度 (m)	使 用 可 能 試 錐 孔 径 (mm)	使 用 箇 所			
			間隙水圧	透水係数測定			蒸発量測定	3次元水理特性	水温	電気伝導度	pH	Eh	溶存酸素	コロイド	有機物等の濃度				
				測定可能な岩盤の透水係数 (cm/s) 『10の乗幂の指數で示す』	定常法	非常常法													
水理学的調査機器	200m対応低圧ルジオン水理試験装置	実	○	-3～-7	○										-	200	66～100	地表, 坑道内	
	500m対応動燃式低水圧制御水理試験装置	実	○	-4～-9		○									-	500	66～100	地表, 坑道内	
	1,000m対応水理試験装置(タイプI)	実	○	-4～-10	○	○									50	1,000	76～100	地表	
	1,000m対応水理試験装置(タイプII)	設	○	-4～-10	○	○									70	1,000	76～100	地表	
	大深度対応地下水モニタリング装置	設	○			△								○	70	1,000	76～100	地表	
	表層水理定数測定システム	実	地下水位, 土壌水分, 河川流量, 気象観測データを収集												-			地表	
	室内透水試験装置	実		-4～-12	○	○									-			室内	
	試錐孔間水理試験装置	製	○	-4～-7	○		○								100	数10	66～100	坑道内	
	蒸発量測定装置	実	難透水性岩盤			○									-		坑壁	坑道内	
	水理学的緩み領域計測装置	実	○	-5～-9	○	△									-	12	55～86	坑道内	
地球化学的調査機器	500m対応パッカー式地下水サンプラー	実	○											○	-	500	76～140	地表, 坑道内	
	1,000m対応採水装置(タイプI)	実	○											○	○	50	1,000	76～140	地表
	1,000m対応採水装置(タイプII)	設	○											○	○	70	1,000	76～140	地表
	地球化学検層ユニット(タイプI)	実	○					○ ○ ○ ○								50	1,000	76～140	地表
	地球化学検層ユニット(タイプII)	設	○					○ ○ ○ ○								70	1,000	76～140	地表
	水質連続モニタリング装置	実						○ ○ ○ ○ ○							-	100	76～140	坑道内	
	移動調査システム	設	現場調査の補助的機能(計測管理ユニット, 昇降ユニット, メンテナンスユニット等から構成する)														地表		

## 3-2-1 1,000m対応水理試験装置の

### 結晶質岩への適用例

(担当者: 竹内竜史, 田村雅彦, 豊嶋賢治, 中野勝志)

#### 1. 目的

水理・地球化学特性調査機器開発の一環として、平成6年度までに設計・製作を終えた1,000m対応水理試験装置の性能（各透水試験方法の測定範囲と測定精度）を把握し、現場試験を通して各試験方法の実用性を確認する。

#### 2. 実施内容

##### ① 1,000m対応水理試験装置の透水係数の測定範囲と測定精度に関する事前検討

透水係数の測定範囲や測定精度を支配する試験装置の構造的な要因である配管系の圧力損失やパッカー圧の安定時間および圧力センサーの精度などを把握した上で、試験開始時の最大水頭差・最小水頭変化量・最長試験時間など実際の現場調査を考慮して設定した基本的な試験条件を基に、各透水試験方法の透水係数の測定範囲と測定精度について検討した。

##### ② 現場試験による各透水試験方法の実用性の確認

①の検討結果を基に、各透水試験法の測定範囲の重複部分に相当する透水係数を有する岩盤を選択して、同一区間で繰り返し複数の透水試験を実施し、得られた試験結果より各試験法の実用性に関して検討した。なお、試験場所は東濃地科学センター正馬様洞試験場の試錐孔AN-1号孔で、岩質は花崗岩である。

なお 1,000m対応水理試験装置の概念を図-1に基本仕様を表-1に示す。

#### 3. 主な成果

① 試験装置の透水係数の測定範囲と測定精度に関する検討過程で設定した基本的な試験条件を表-2に示す。この試験条件と測定範囲や測定精度を支配する試験装置の構造的な要因を考慮して、実測データの誤差が及ぼす透水係数への影響を一定の範囲内（約30%）に止まるように各透水試験法の測定範囲に関する検討を行い図-2に示す結果を得た。図より3種類の透水試験法を組み合わせると透水係数 $10^{-4}$ cm/secオーダーから $10^{-10}$ cm/sec オーダーまでが測定でき、各透水試験法の測定範囲は $10^{-6}$ cm/sec オーダーから $10^{-8}$ cm/sec オーダーで重複することが分かった。

② ①の結果を基に、定流量揚水試験と2種類のパルス法〔事業団でこれまで用いられてきたパルス法と試験区間体積を小さくすることにより試験の迅速性向上を目指した新たなパルス法（迅速パルス法）〕の実用性を確認するために、試錐孔内の同一区間で3種類の試験を繰り返し実施した。

試験結果を表-3に示す。試験は測定深度の異なる2区間で実施した。第1・2区間とも2種類のパルス法により得られた透水係数値は良く一致した。しかしながら、定流量揚水試験により算定された透水係数値はオーダーは一致しているものの、2区間とも2種類のパルス法に比べてやや低めの値となった。この原因は明らかではないが、試験手法または解析式が異なることによる固有誤差と考えられる。また、図-3に第1区間で実施した各試験の実測データを示す。この図より、迅速パルス法は従来のパルス法と比較して試験時間を10数分の1程度まで短縮できたことが分かる。なお、透水係数の算出には定流量揚水試験にJacobの解析式、パルス法にHvorslevの非定常解析式を用いた。

次に、定流量揚水試験と水位回復法およびパルス法を同一区間で実施した試験結果を表-4に、各試験の実測データを図-4に示す。この試験結果では3種類の試験法毎に算定した透水係数値は良く一致した。ただし、定流量揚水試験の実測データを用いた透水係数の算定結果は参考値である。この理由は、パッカーの安定時間を考慮して試験開始時から60秒後までのデータは解析に用いないことを前提条件としたために、この試験では直線勾配で近似する際の十分なデータ数が確保できなかったことによる。なお、水位回復法の透水係数の算出にはHvorslevの非定常解析式を用いた。

#### 4. 今後の予定

- ① 開発した試験装置の堆積岩系の岩盤への適用を図り、これまでと同様に各水理試験方法の実用性を確認するとと共に、より多くの現場調査へ適用して地下深部岩盤の水理特性に関するデータを取得する。
- ② これまでの経験を基に、試験装置を高度化するための改良等を進めると共に、高温度環境へ適応できる試験装置の開発を進める。
- ③ 岩盤の貯留性の評価手法など、より詳細な解析手法に関する検討を行う。

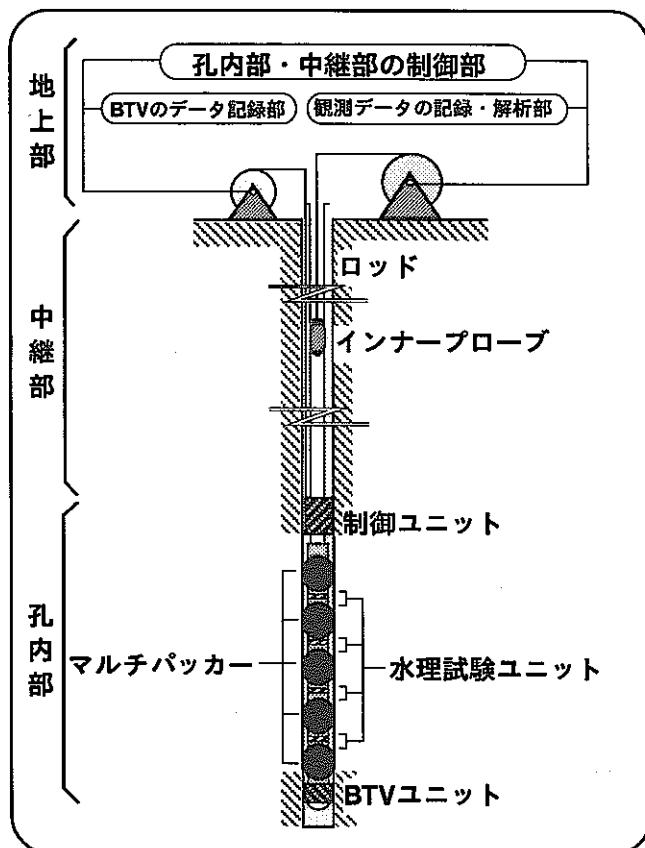


図-1 1,000m対応水理試験装置概念図

表-1 試験装置の基本仕様

適応深度	G.L.-1,000mまで
適応孔径	φ 75mm~100mm
挿入方式	パイプ方式
透水試験法	定常法：定流量揚水試験 非定常法：水位回復法 パルス法
地下水位の低下限界	G.L.-300m
耐温度性能	50°Cまで
特殊機能	BTV（前方・側方同時観察型） マルチパッカ（最大4区間）

表-2 基本的な試験条件

最大水頭差	1,000 cm
最小水頭差	100 cm
計測時の最小水頭	100 cm
試験時間	最長 28,800 秒 最小 90 秒
試験区間長	250 cm
試験孔径	10 cm

図-2 各試験法の測定範囲

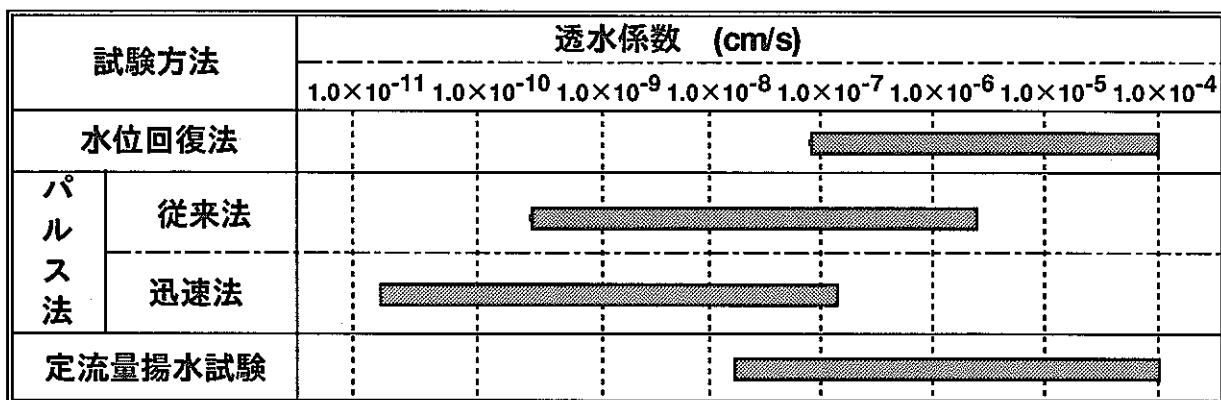


表-3 試験結果の比較  
(従来のパルス法、迅速パルス法、定流量揚水試験)

		透水係数 (cm/sec)	
		第1区間	第2区間
水位回復法		—	—
パルス法	従来法	$7 \times 10^{-8}$	$6 \times 10^{-8}$
	迅速法	$7 \times 10^{-8}$	$7 \times 10^{-8}$
定流量揚水試験		$3 \times 10^{-8}$	$3 \times 10^{-8}$

(単位 : cm/sec)

表-4 試験結果の比較  
(水位回復法、従来のパルス法、定流量揚水試験)

		透水係数 (cm/sec)
水位回復法		$5 \times 10^{-7}$
パルス法	従来法	$3 \times 10^{-7}$
	迅速法	—
定流量揚水試験		$4 \times 10^{-7}$

(単位 : cm/sec)

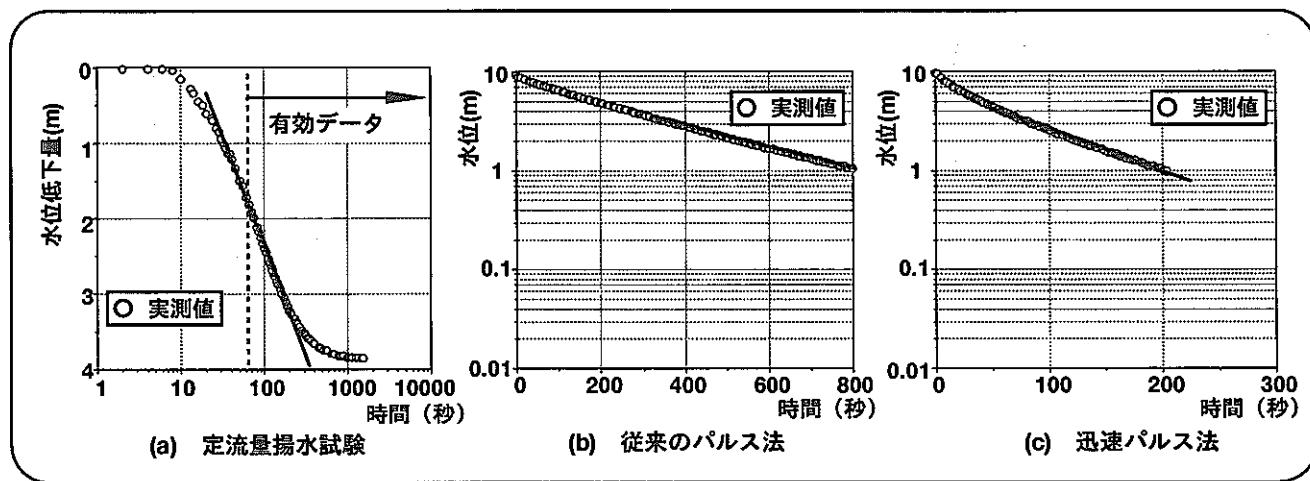


図-3 実測データの一例 (第1区間)

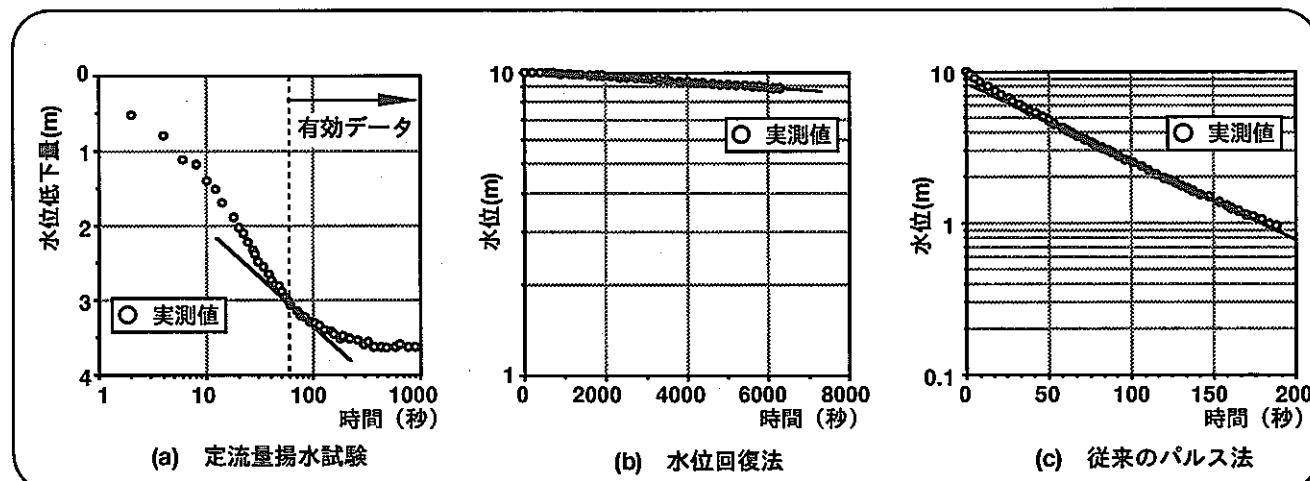


図-4 実測データの一例

## 4 天然事象研究の概要と今後の方針

(担当者：中司 昇)

### 1. 経緯

地質環境の長期安定性に影響を与える可能性のある天然事象として、地震活動／断層運動、隆起・沈降運動／侵食作用、火山活動、気候・海水準変動をとりあげ、各事象の諸特性の把握とそれらが地質環境に与える影響に関する研究を進めている。

これらの研究を進めるにあたっては、地球科学の専門家からなる地層科学研究検討会及び、各天然事象の専門家からなる隆起・沈降部会、地震・断層部会、火山部会の3部会と気候・海水準変動ワーキンググループを設け、技術的な評価を受けつつ実施している。

### 2. 地質環境の安定性の考え方と研究の進め方

本研究の目的は、個々の事象がいつ、どこで、どの規模で発生するかを予知することではなく、将来、起こると考えうる現象によって引き起こされる地質環境への影響を予測し、その範囲と程度を明らかにすることである。

隆起／侵食、断層活動および火山活動による直接的な影響については、将来、活動が起こりうる地域とその影響の及ぶ範囲を明らかにする必要がある。また、活動の場の変遷などのため、現在とは異なる場で新たに活動が起こる可能性を検討することも重要な研究テーマである。本研究では、過去の事例などの研究から規則性を見いだし、それに基づき、将来の発生予測を行うというアプローチをとる。

天然事象が地質環境に与える間接的な影響としては、地震、隆起／侵食、地熱活動などに伴う地下水の水理や地球化学的な影響が考えられる。地質環境の長期安定性という観点からの課題は、これらの変化の幅と変動の時間的関係を明らかにすることが重要である。

### 3. 平成7年度調査研究の概要

第四紀における天然事象の特性を全国規模で取りまとめるとともに、調査手法や解析手法の検討を行った（表-1の通り）。

### 4. 研究の目標と今後の方針

我が国における天然事象の変動量などの正確な情報を得るとともに、事例研究を通じて、天然事象による地質環境の変化を把握する（表-1の通り）。

表-1 天然事象に関する研究の目標と進捗状況

研究項目	主な研究目標	研究の進捗状況および平成7年度成果
隆起・沈降・侵食に関する研究	・隆起・沈降運動の範囲と変動量の予測。	・全国規模での隆起・沈降量のデータベースを作成した。 ・隆起・沈降運動の解析法を改良した。
	・第四紀の侵食量の把握と地形変化の予測。	・ダム堆砂量及び段丘地形解析により侵食速度を定式化した。
気候・海水準変動に関する研究	・気候・海水準の変動幅の予測。	・第四紀の気温・海水準変動データを収集した。
地震・断層に関する研究	・第四紀断層の活動特性と地域性の把握と断層活動の場の移動範囲の予測。	・活断層の分布・平均変位速度等のデータベースを作成した。 ・断層活動の場の移動に関する調査を開始した。
	・伏在活断層の調査手法の確立。	・海域音波探査、反射法探査の適用範囲を確認した。
	・断層活動による地質環境への影響の把握。	・空中電磁探査により、地下の比抵抗構造を把握し、活断層周辺の地下水理の変化を解析した。
	・地震による地下水への影響の把握。	・釜石鉱山での地震・地下水の長期モニタリング及び兵庫県南部地震に伴う地下水変化の情報を整理した。
火山活動に関する研究	・将来の火山活動域の移動及び火山活動の再開の予測。	・日本全国の火山のデータベースを作成した。 ・東北日本の第四紀火山活動域の変遷を検討した。
	・火山活動が及ぼす力学的影响範囲の把握。	・地形解析により、一つの火山の活動範囲とマグマ供給系を推定した。
	・日本列島の地下の温度構造の把握。	・温度検層データを収集、日本全国の地温勾配データを収集した。
	・地熱活動が地質環境に与える影響の把握。	・仮想的なモデルを用いて熱源周辺環境の感度解析を実施した。

## 4-1 断層活動に伴う周辺地質環境の変化

—野島地震断層（淡路島平林地区）を対象とした2次元水理解析—

(担当者：石丸 恒存、梅田浩司)

### 1. 目的

断層の活動により断層周辺の地質環境がどの様に変化したかを把握することは、地質環境の将来変化を考える上で重要である。

本研究では、収集データに基づく2次元の浸透流解析により、特に断層活動による地下の地下水流动の变化について検討する。

### 2. 実施内容

#### (1) 地下水変化に関する情報収集

兵庫県南部地震（1995.1.17 発生：M7.2）前後の淡路島北部地域における井戸の水位変化や湧水箇所の情報を現地調査等により収集した。

#### (2) 地下の比抵抗分布調査

ヘリコプターを用いた空中電磁探査により、野島地震断層周辺（約2km×約13kmの範囲）の地表から地下100m程度までを対象として、比抵抗分布調査を実施した。

#### (3) 2次元浸透流解析による地下水流动解析

野島地震断層（平林地区）に直交し淡路島を横断する東西断面を解析対象として、ダルシー則に基づく有限要素法を用いた2次元飽和不飽和浸透流解析により、断層近傍の湧水量の変化について予察的な検討を行った。

### 3. 主な成果

#### (1) 地下水変化に関する情報収集

現地調査等により得た主な知見は以下のとおり。

①地震発生直後に野島地震断層近傍（断層から数m程度西側）から幾つかの湧水が生じた（図1）。

②平林地区で地震直後に生じたの新たな湧水は、2ヵ月後には停止していた。

③淡路島の脊梁山地部では、幾つかの地域で井戸枯れが生じた。

#### (2) 地下の比抵抗分布調査

①地表から地表下100mまでの10m毎の見掛け比抵抗分布平面図および主要カ所での見掛け比抵抗分布断面図を作成した（図2）。

②見掛け比抵抗分布は、堆積岩類と花崗岩類の境界を成す野島地震断層付近では、漸移的に大きく変化した。全体的に、堆積岩分布域の見掛け比抵抗値は200～300  $\Omega \cdot m$  以下であり、花崗岩分布域ではそれ以上であった。

### (3) 2次元浸透流解析による地下水流动解析

①地質調査所が掘削した試錐孔（平林地区の断層露頭から約75m 東側：746.7m）のボーリングデータ（伊藤他, 1996）および比抵抗分布調査結果等の地質情報に基づいて、2次元水理地質構造モデルの作成を行った（図3）。

②断層活動に伴い断層破碎帯の透水性が変化したとの仮説を立て、地震前後で断層破碎帯（幅 10m）の透水係数を  $5.0 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$  から  $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$  に変化させた（ケースI）。その結果、地下水は破碎帯を通って地表に湧出し、地震直後の湧出量は約  $1.4 \text{ m}^3/\text{日}/\text{m}$  であった（図4）。また、破碎帯の透水係数を、地震後  $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$  に変化させた場合（ケースII）では、地下水の地表への湧出は無視できる量（約  $0.002 \text{ m}^3/\text{日}/\text{m}$ ）であった（図4）。

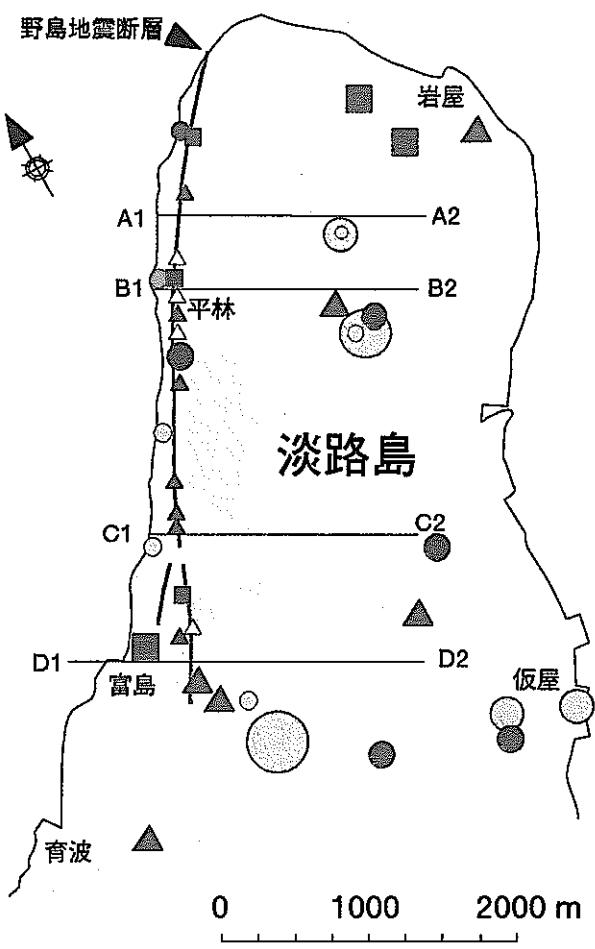
③ケースIの場合の短期的な変化について、断層破碎帯からの湧水は、地震直後にピークがあり、10日で  $1/5 \sim 1/4$  程度に激減した（図4）。この解析結果は、観測事実と整合的であった。

④ケースIの場合の長期的な変化について、解析領域の全水頭等高線は、地震前と比較して、地震後には、時間の経過とともに断層付近で断層に並行に配列した。地震前後の全水頭の変化は、断層に近いほど大きく、また、深度が大きいほど断層から離れた地点まで変化することがわかった（図5）。

⑤2次元飽和不飽和浸透流解析により、地震直後の断層近傍における突発的な湧水の発生は、断層破碎帯の透水性の増大（2オーダー以上の透水係数の増加？）が関与していることが推察された。

## 4. 今後の予定

- (1) 野島地震断層周辺の地質環境に関する情報（断層破碎帯の透水係数等）を現地調査等にて追加収集し、特に長期的な観点から、断層破碎帯が有意な水みちとなるかどうかについて検討を行う。
- (2) 他の断層についても事例研究を行い、活断層周辺の地質環境（力学的、水理学的、地球化学的）に関する知見を収集する。



凡例

	現地調査 結果	既往文献 資料
井戸 井戸水の増加	●	●
井戸水の減少	○	
変化なし	●	
井戸水の減少した地区 (新聞報道にもとづく)	●	
湧水 新たに生じた湧水	▲	▲
湧水量の増加	▲	
湧水地点 (地震直後の変化不明)	△	
河川 河川水の増加	■	■

図1 淡路島北部における兵庫県南部地震前後の地下水変化

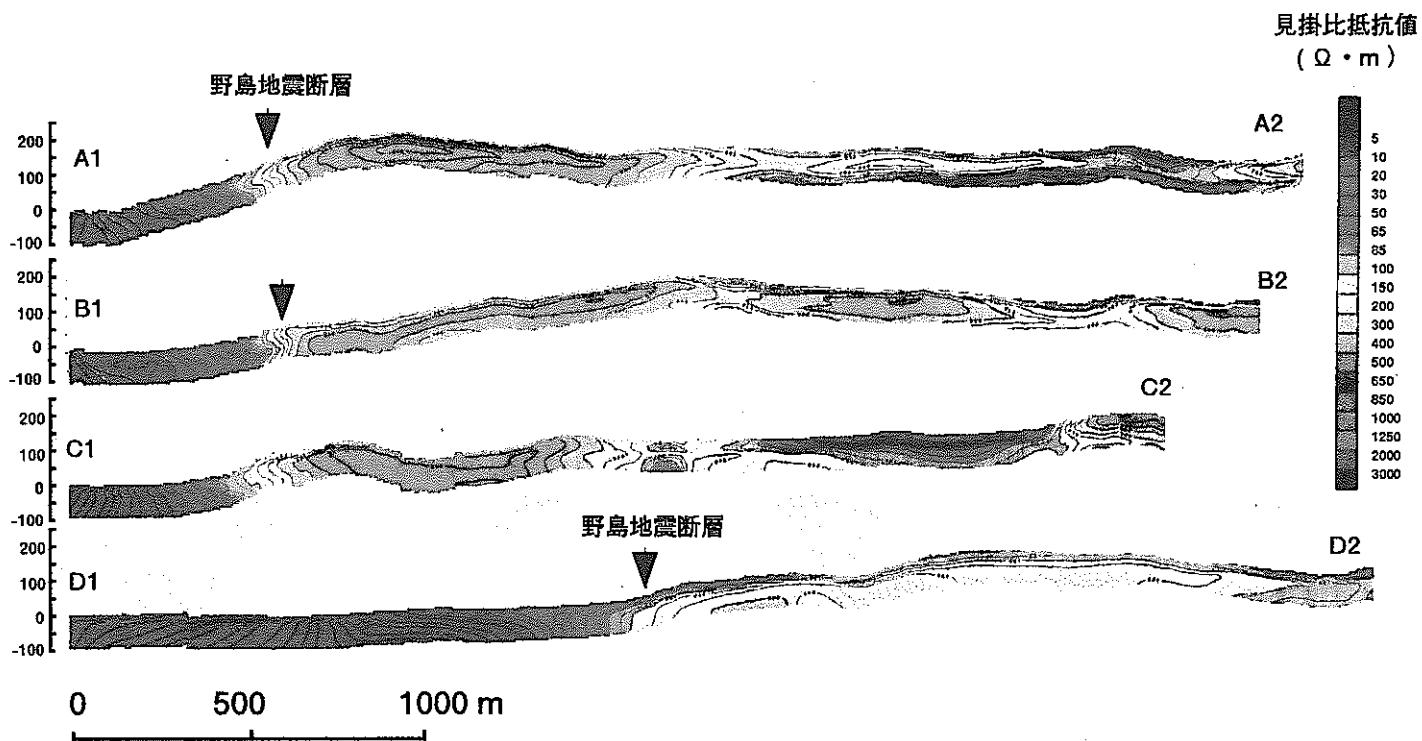


図2 淡路島北部の見掛け比抵抗分布（断面図）

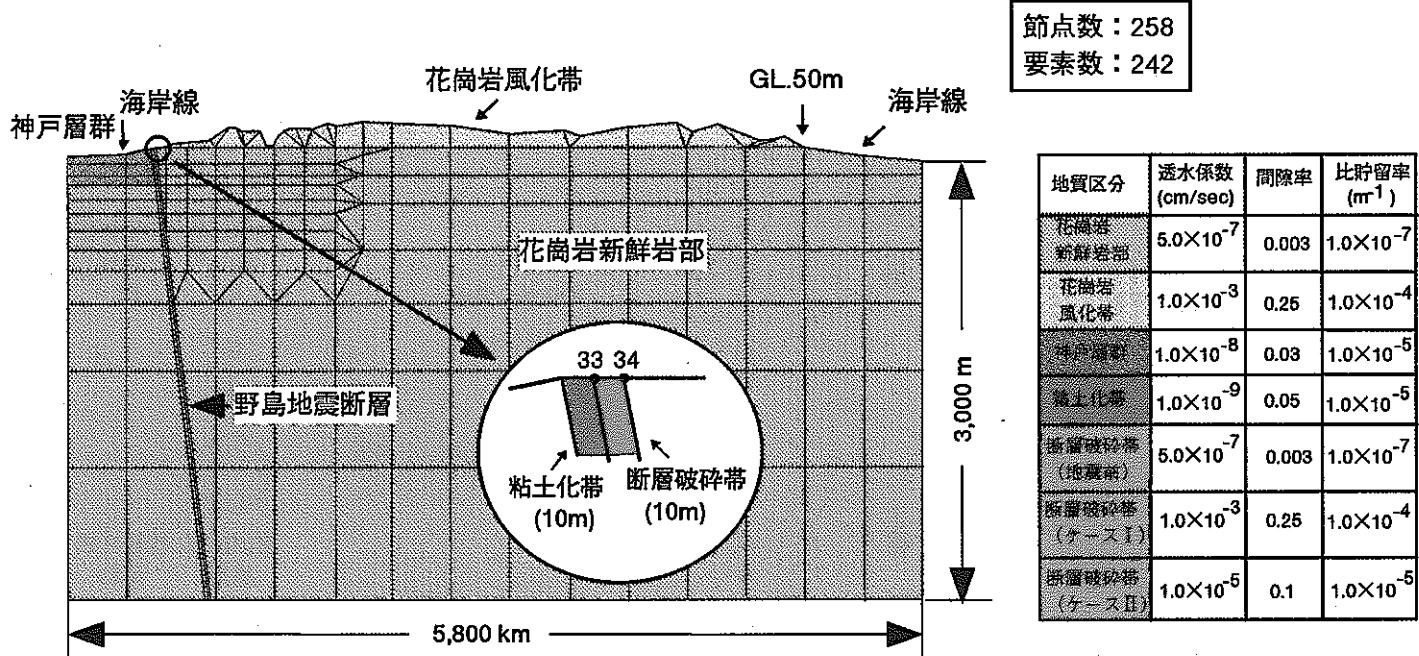
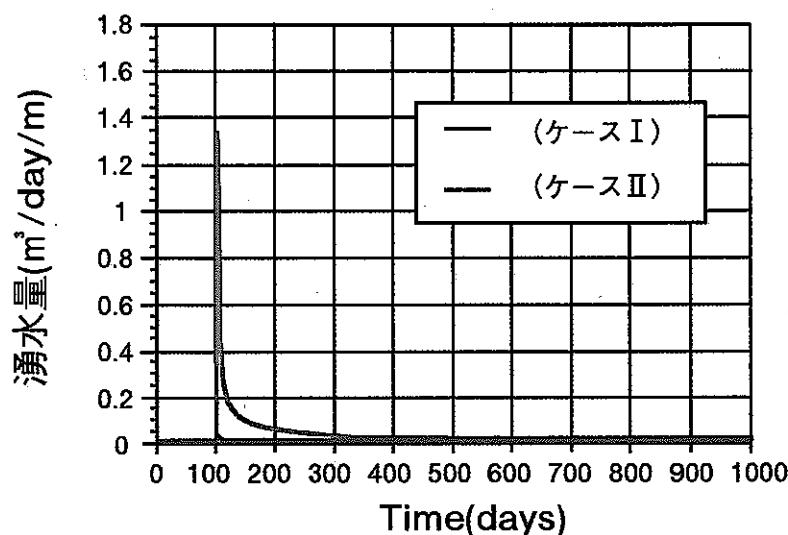


図 3 2 次元水理地質構造モデル



- ・100日目に地震の発生を想定し、断層破碎帯の透水係数等を変化させた。
- ・湧水量は、断層破碎帯の地表の節点33, 34における流出量（解析断面奥行き1m当たり）の合計である。

図 4 断層破碎帯からの湧水量

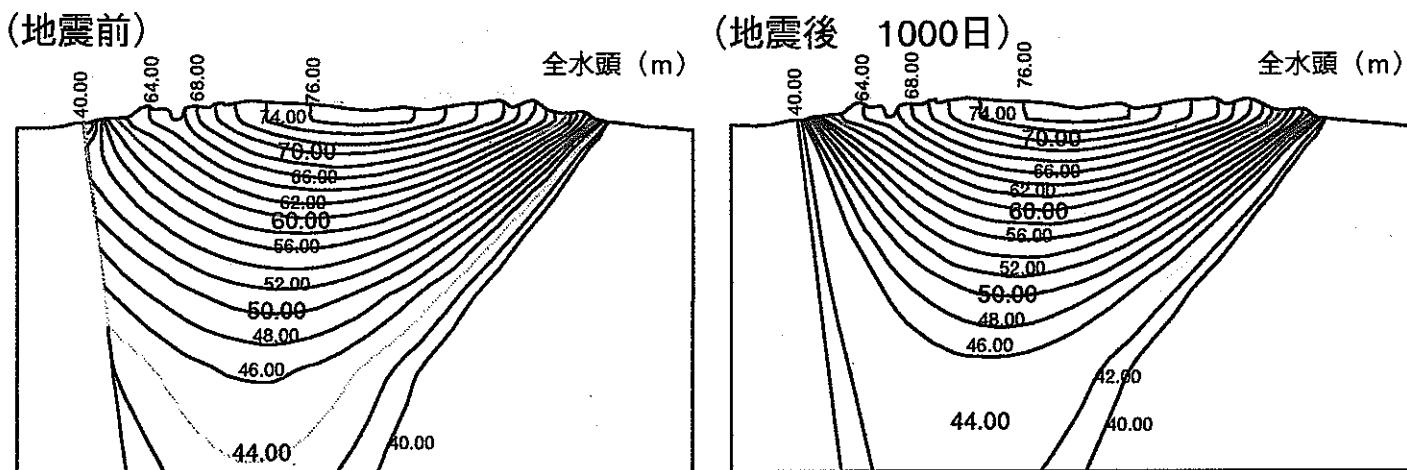


図 5 地震前後の全水頭等高線分布（ケース I）

## 4 - 2 日本列島における第四紀侵食速度 の解析

(担当者： 藤原 治)

### 1. 目的

長期にわたる侵食作用の結果、地形が変化するとともに地盤の厚さが減少し、地質環境の物理的・化学的特性（地下水の流動や水質など）が変化する可能性がある。地質環境の変化の範囲や程度を予測するためには、侵食の範囲や量を見積もる必要がある。

本研究では将来の侵食量を予測するため、第四紀における侵食量を把握し、侵食速度を定式化した。

### 2. 実施内容

段丘が形成された後、侵食が始まり経過年数とともに段丘の体積が減少する。形成年代が異なる段丘が隣接して分布する地域で、経過年数と段丘の侵食量との関係を解析し、侵食速度を定式化した。北海道（十勝平野周辺）、中部地方（鈴鹿山脈周辺）、九州（宮崎平野周辺）の3地域を研究対象とし（図1）、隆起量による侵食速度の違いを検討した。調査範囲は各地域とも200～400 km<sup>2</sup>である。

#### (1) データ収集

- 空中写真判読により段丘面を区分し、文献から段丘形成後の経過年数を求めた。
- 1/2.5 万地形図上で、各段丘の接峰面図を作成した（図2 a）。
- 接峰面図を250mメッシュに区切り、各メッシュごとに現地形面との標高差を求めた（図2 b）。
- メッシュ面積と標高差の積をメッシュの侵食量とし（図3 c）、各段丘ごとにメッシュの総侵食量を求めた。
- 総侵食量を段丘の面積で除して各段丘の平均侵食量を求めた。
- 各地域について、過去1.5 万年間に堆積した沖積層の体積から、その間の流域の侵食速度を求めた。

#### (2) 解析

- 各地域の段丘について経過年数と平均侵食量の回帰式を求めた。
- 回帰式から求めた侵食速度を検証するため、沖積層の体積から求めた侵食速度と比較した。

- ・回帰式から求めた侵食速度と隆起量との関係を検討した。

### 3. まとめ

#### (1) 侵食速度の定式化

経過年数と平均侵食量との関係を図3に示す。段丘の形成後早い時期に侵食が急速に進み、侵食速度は時間とともに減少する。

#### (2) 回帰式の検証

回帰式から求めた侵食速度は、沖積層の体積から求めた侵食速度とほぼ同じであり（表1）、回帰式から侵食量を推定できると考えられる。

#### (3) 山地部の侵食速度との比較

回帰式から求めた侵食速度は、ダムの堆砂量から推定した山地中央部の侵食速度より小さい値となった（表1）。この理由は起伏が大きいほど侵食速度が大きくなるため（Ohmori, 1978）と考えられる。

#### (4) 侵食速度と隆起量との関係

隆起量が大きいほど侵食速度が大きくなる傾向が認められた（表1）。また、過去12万年間の侵食量は、隆起量の2割程度である。

### 4. 今後の方針

地域や岩質による侵食速度の違いを明らかにし、日本列島における侵食量がどの程度になるかを予測するため、下記の調査を行う。

- ・東北地方と中部・北陸地方の段丘を対象とした調査・解析を行い、気候や地形による侵食速度の違いを明らかにする。
- ・今回の解析は未固結層が対象であり、侵食速度が過大評価されている可能性がある。固結層（火碎流台地や溶岩台地）を対象とした調査・解析を行い、固結層と未固結層による侵食速度の違いを明らかにする。

引用文献： Ohmori, H. (1978): Relief Structure of the Japanese Mountains and their Stages in Geomorphic Development. Bull. Dep. Geogr. Univ. Tokyo, 10, 31-85.

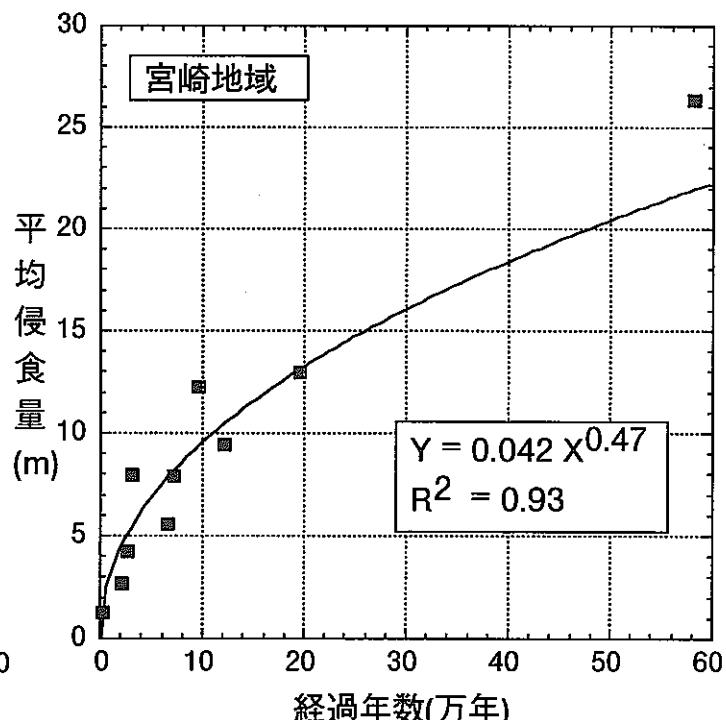
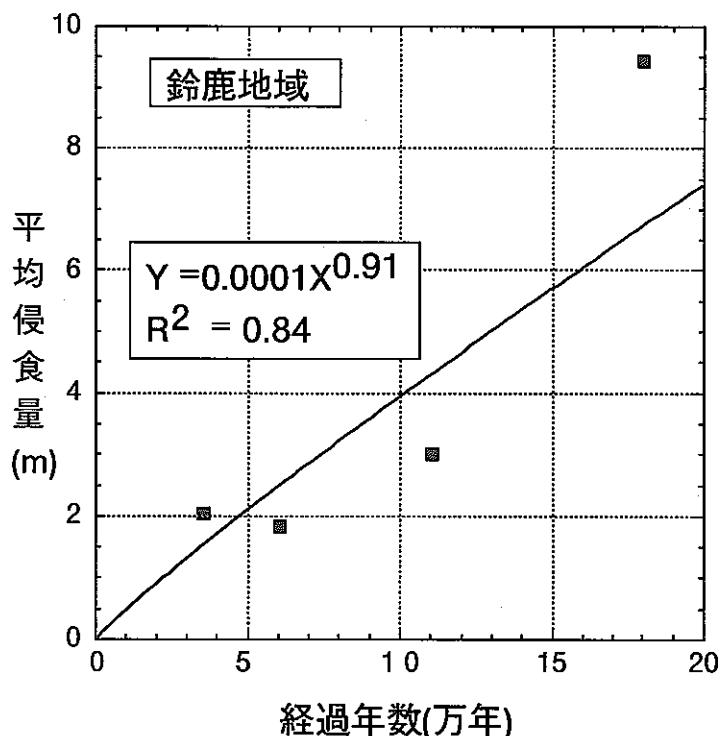
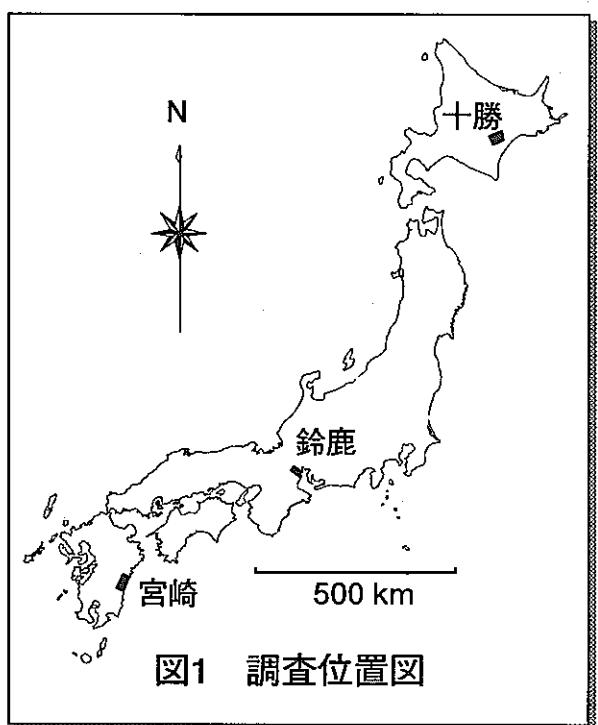
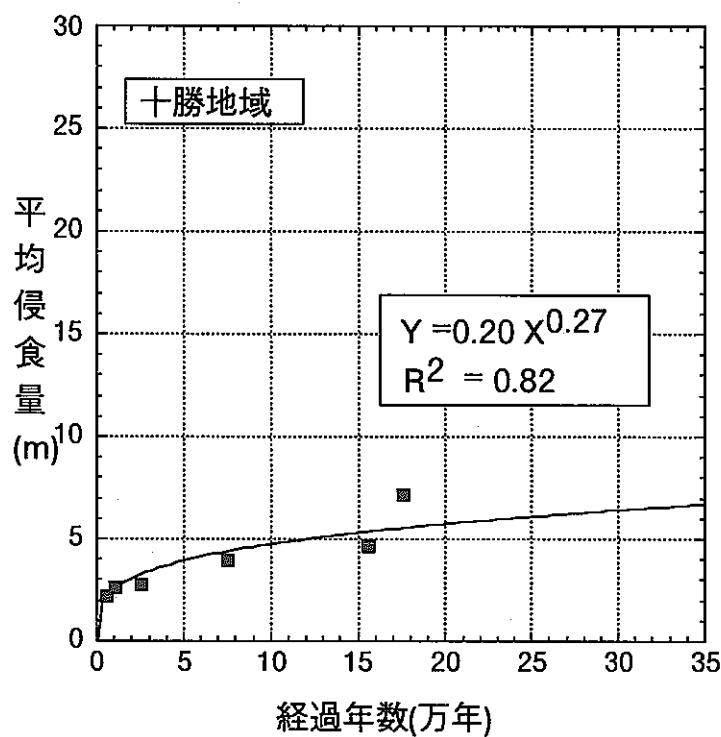


図3 経過年数と侵食量との関係

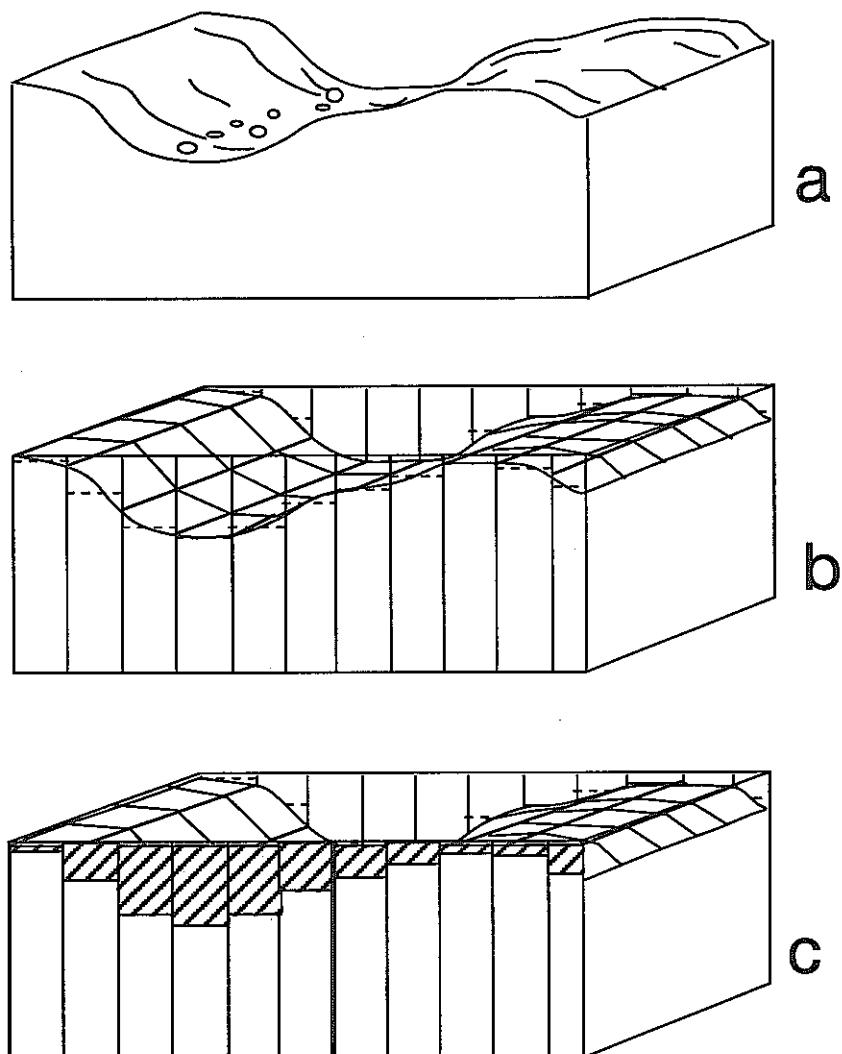


図2 侵食量の算定

侵食速度	12万年間 (回帰式)	1.5万年間 (回帰式)	1.5万年間 (沖積層)	山地部 (ダム堆砂)	12万年間 (隆起量)
十勝地域	0.04 mm/y	0.21 mm/y	0.18 mm/y	0.22 mm/y	20m
鈴鹿地域	0.03 mm/y	0.04 mm/y	0.13 mm/y	0.32 mm/y	?
宮崎地域	0.09 mm/y	0.26 mm/y	0.05 mm/y	0.35 mm/y	100m

表1 各地の侵食速度と隆起量

## 4-3 日本全国地温勾配図の作成

(担当者：梅田浩司)

### 1. 目的

火山活動による地質環境への間接的な影響として、マグマあるいは貫入岩体などの熱による地下水への影響（流動系、水質の変化）が考えられる。地下に賦存する熱源が周辺の地質環境にどの程度の影響を及ぼすかを明らかにするためには、熱源の規模とそれに伴う地熱地帯の広がりを把握する必要がある。本研究では、火山活動による熱的影響の範囲を明らかにするための第一段階として、坑井を対象に取得された温度検層データに基づき地下2,000m程度までの地温構造を把握し、日本列島における地熱地帯の分布を定量的に示すことを目的とする。

### 2. 実施内容

- ① 坑井を対象に取得された温度検層データを文献調査、聞き取り調査などによって収集し、データファイルを作成した。なお、温度検層データに関する調査項目は、矢野・花岡（1987）による地熱情報データベースに準じた（緯度、経度、掘削深度、坑底温度など）。
- ② 地温勾配値（ $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）は、通常、坑井温度プロファイルの傾きから算定するが、直線性が高い伝導型のプロファイルが得られているデータが少ないため、今回は、各地域ごとの坑口の基準温度と坑底温度から算定した。
- ③ 上記のデータ（位置、地温勾配値）からダブルリニア格子補完法によって格子間隔2,500mのグリットデータを作成し、4グリット分割法によって地温勾配図のセンターの作図を行った。なお、センターの間隔は、 $2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ である。

### 3. 主な成果

#### 3. 1 データ収集

- ① 今回収集したデータ数は、1494件である（このうち公開されているものが1051件、未公開のものが443件）。
- ② 地温勾配値の度数分布（図1）によると $2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下が全体の7%， $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ が40%， $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ が30%， $10^{\circ}\text{C}$ 以上が23%である。この結果は、日本列島の平均的な地温勾配が $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度という従来の知見と整合的である。

#### 3. 2 地熱地帯の分布

高地温勾配（ $>10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）を示す地域は、北から知床、阿寒、大雪－十勝岳、豊羽、

ニセコ、支笏、洞爺、熊石、濁河、奥尻、下北、八甲田、十和田、八幡平、駒ヶ岳、上の岱、鬼首、月山、吾妻山、那須、浅間、北アルプス、箱根、伊豆、吉野、九重、雲仙、霧島、指宿などに認められる（図2）。

### 3. 3 第四紀火山の分布と地温構造の特徴

上記の高地温勾配地域と第四紀火山の分布は、ほぼ一致するが、奥尻、吉野など第四紀火山が存在していないところにも高地温勾配地域が認められる。また、火山フロント付近に高地温勾配地域が多く存在するのに対して背弧側の第四紀の大型火山（例えば、利尻、岩木、鳥海、大山など）の周辺には高地温勾配地域が存在しない。

### 3. 4 新第三系の分布と地温構造の特徴

地温勾配が $>5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の地域（中地温勾配地域）は、東北日本に広く分布するが、西南日本では、その範囲が限られる。この地域は、新第三系の分布とほぼ一致する（図2、図3）。この原因として、(1)新第三紀の火山に伴う熱源による影響、(2)新第三系が有望な地熱貯留層となっていることなどが考えられる。

## 4. 今後の予定

センターの精度をさらに向上させるため、データ数を蓄積とともに、地下水の温度、湧出量、化学組成等から地温勾配を推定する方法を検討する。

## 引用文献

矢野・花岡（1987）：地熱情報データベース・システムSIGMA の研究開発とその成果、物理探査、40、129-141。

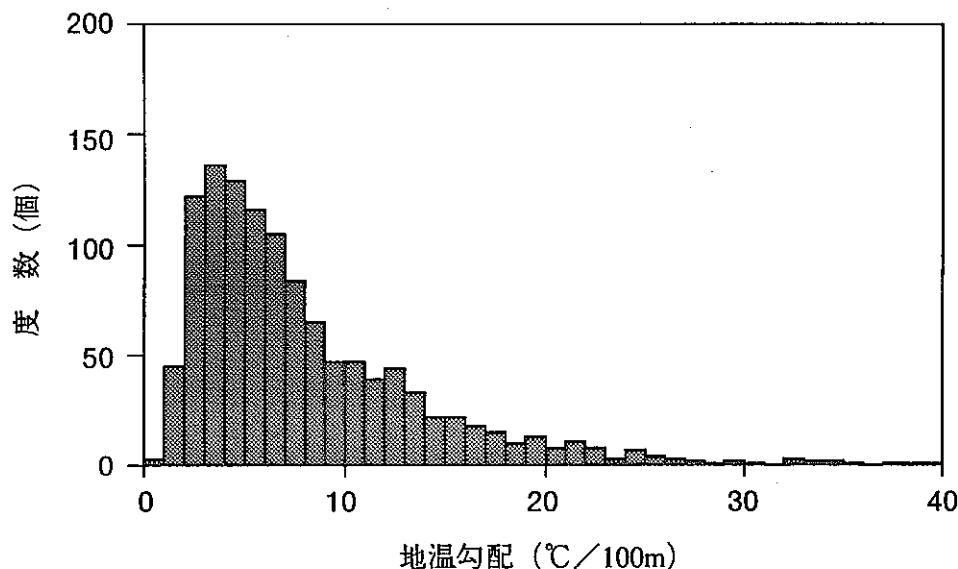


図1 日本全国における地温勾配値のヒストグラム

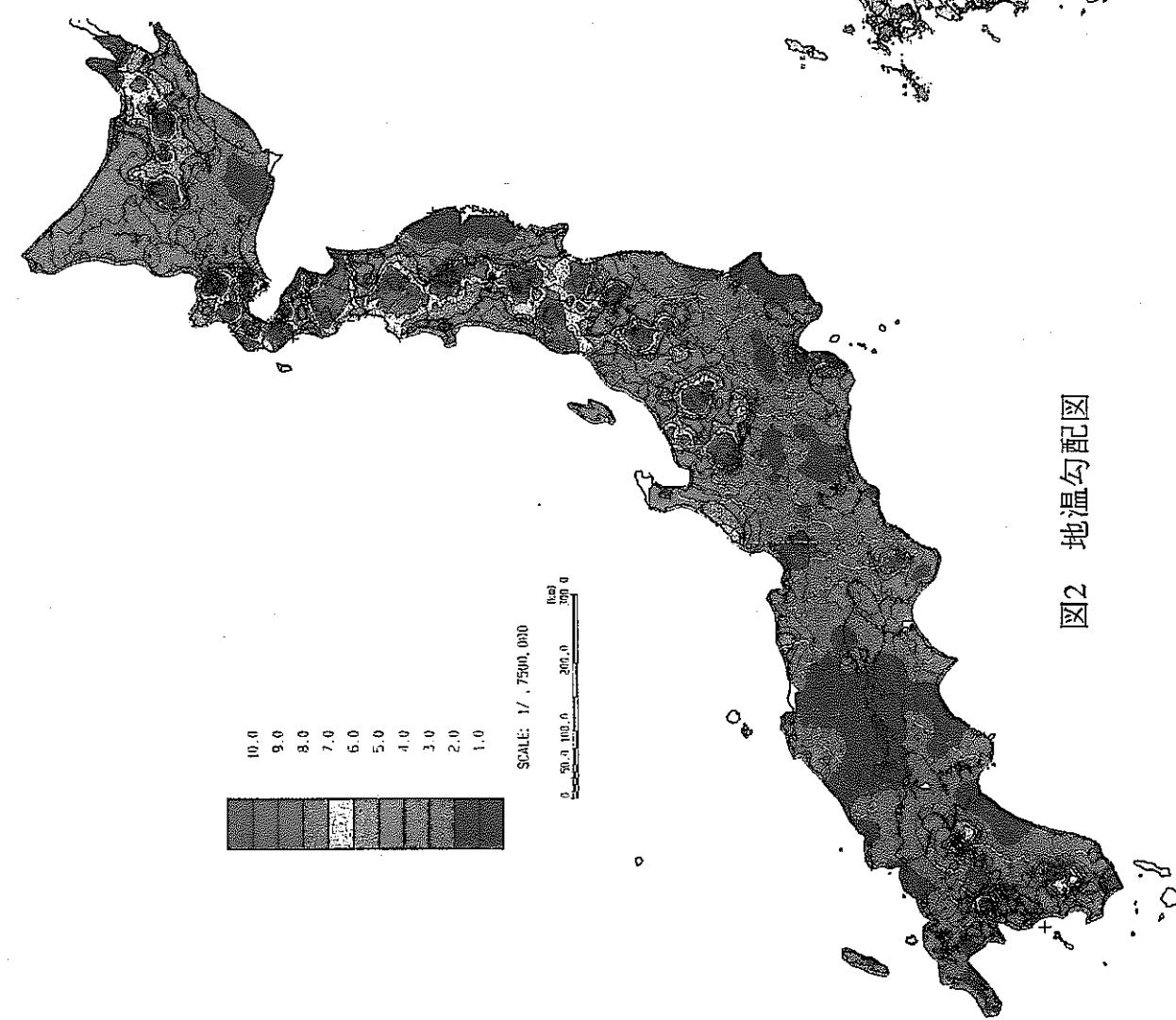


図2 地温勾配図

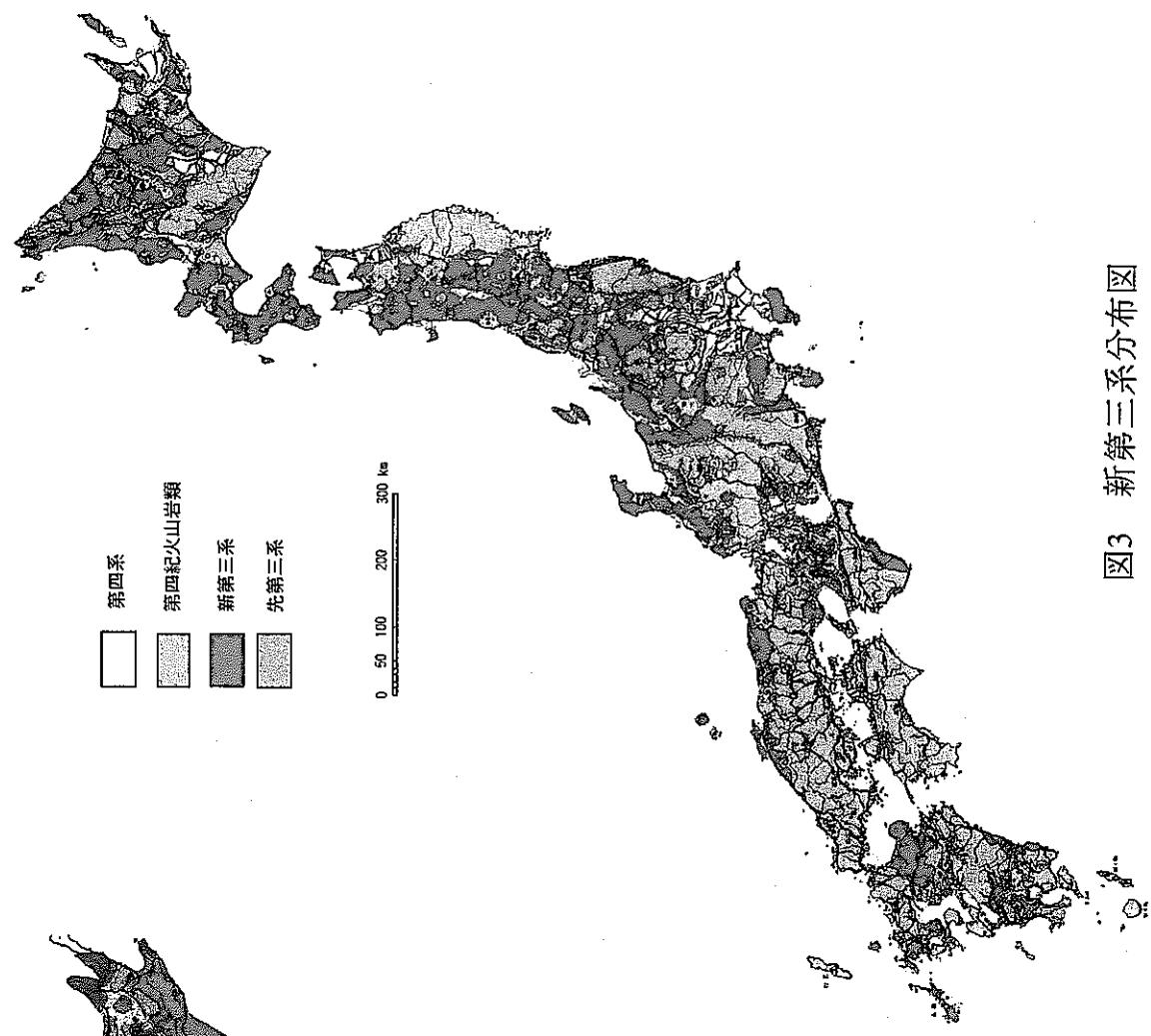


図3 新第三系分布図

## 5. 広域地下水水流動調査研究の概要および 今後の方針

(担当者: 小出 騰)

### 1. 目的

本調査研究は、地表から地下深部にいたる地下水水流動に関わる現象の把握ならびに広域の地下水水流動を解明するための調査・解析・確証に関する手法の構築を目的とする。

### 2. 実施内容

平成7年度の主な業務は以下の通りである。

#### (1) 地下水流動モデル（数学モデル）および解析手法の開発

##### ①地球統計学的手法等による水理場のモデル化手法の検討

- ・フラクタル理論による堆積岩層の透水係数分布の推定
- ・地球統計解析手法を用いた間隙水圧の3次元分布の推定

##### ②検層データ等による水理定数分布の推定手法の検討

- ・物理検層データを用いた花崗岩の透水係数の推定

#### (2) 広域地下水水流動調査解析

##### ①表層水理調査

- ・表層水理調査（表層水理定数観測：東濃鉱山・正馬様洞）

##### ②深部水理調査

- ・試錐孔を利用した水理試験（DH-4）、物理検層（BTVを含む）（DH-2, DH-4）
- ・間隙水圧長期観測（TH-1～8, SN-4, AN-6）

##### ③地下水水流動解析

- ・東濃地域（10km四方および3km四方）を対象とした地下水水流動解析の実施

#### (3) 我が国全体の水理学的特性調査研究

- ・解析資料の整備（地質水平断面図の作成など）

### 3. 今後の方針

花崗岩を対象とした涵養量、浅部から深部の水理学的特性（透水係数、貯留係数など）、および地下深部における動水勾配などに関する実測データを取得していく。また地下水水流動を把握するために必要な調査・解析・評価手法の構築を目指した開発・改良を実施していく。

立坑掘削に伴う間隙水圧変化の長期観測

(担当者: 尾方伸久, 山根正樹, 小出 馨)

## 1. 目的

立坑掘削影響試験の一環として、平成元年より平成7年3月までに試錐孔において取得された間隙水圧の長期観測結果を基に、立坑掘削による周辺岩盤への水理学的影響の経時変化（水頭変動量）を把握し、掘削による影響および断層の影響を確認する。

## 2. 実施内容

間隙水圧の長期観測結果は、図-1に示す試錐孔(TH-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, SN-4, AN-6)に設置されたMPシステム（単一孔で多区間の間隙水圧測定および採水が可能）に合計251点（試錐孔掘削延長2137.2m, 平均約8.5m間隔）の観測区間を設けて、立坑掘削前の平成元年から平成7年3月（掘削終了後約1300日）までに取得された間隙水圧の測定結果を用いた。

## 3. 主な成果

長期観測の結果として以下のことが得られた。

## (1)立坑掘削による水頭変動

- 立坑掘削の影響によるピエゾ水頭の変動は、立坑掘削終了直後から平成7年3月（掘削終了後約1300日）まで大きな変動が見られないことから、掘削による影響は掘削終了直後にはほぼ定常に達したものと考えられる（図-2）。

## (2)立坑掘削開始前のピエゾ水頭分布

立坑掘削開始前のピエゾ水頭分布は、調査領域をほぼ2分する月吉断層の影響および立坑掘削開始前より存在する標高160mレベルの既存坑道の影響により、断層の南側と北側で以下の特徴を示す（図-2）。

- 断層の南側の観測孔(TH-1, 2, 3, 4, 7, AN-6, SN-4)では、明世累層から下位の土岐夾炭累層にかけて、既存坑道の影響と考えられる水頭低下が認められる。
- 断層の北側の観測孔(TH-5, 6, 8)では、ほぼ静水圧分布を示しており、既存坑道の影響と考えられる水頭低下は認められない。

- ・断層の南側の観測孔(TH-1, 2, 3)において、断層深度以深で水頭が回復していることから、断層が遮水壁的役割をはたしていることが考えられる。

### (3)立坑掘削終了後のピエゾ水頭分布と断層の影響

- ・図-3に立坑掘削開始後から平成7年3月までの水頭変動比を示す。立坑掘削影響範囲は、断層の南側で約300m程度、断層の北側で約200m程度と推定される。しかし、立坑から最も遠い位置(約550m)に掘削されたAN-6号孔の土岐夾炭累層上部層と下部層で立坑掘削影響と考えられる水頭変動が認められることから、特定の地層が地下水流动経路となりうることも考えられ、一義的に変化範囲を定義することは難しい。
- ・断層に挟まれたTH-2号孔(断層南側)とTH-5号孔(断層北側)の土岐夾炭累層中の水頭の変動量を図-4に示す。TH-5号孔では、立坑掘削終了後(掘削開始後約550日)も緩やかに水頭が低下する現象が認められる。一方、TH-2号孔では、立坑の掘削がその測定点の標高に達する時点までに水頭低下はほぼ安定している。これは、月吉断層が低透水性の遮水壁の役目をはたし、立坑掘削の影響が緩やかに、かつ長期的に伝播しているものと考えられる。

## 4. 今後の予定

今後は、東濃鉱山から東側に尾根一つ隔てた正馬様洞で超深地層研究所計画が開始されるため、今回の長期観測から得られた知見・経験をとりまとめ、超深地層研究所計画のモニタリング調査計画および事前予測解析に反映させるとともに、引き続き、尾根部に位置する観測孔は堆積岩部のモニタリング孔として活用していく。また、断層北側の試錐孔の一部においては、現在でも緩やかな水圧低下を示す部分もあり、地下水流动の経時的変動を把握する調査も継続する。

以上

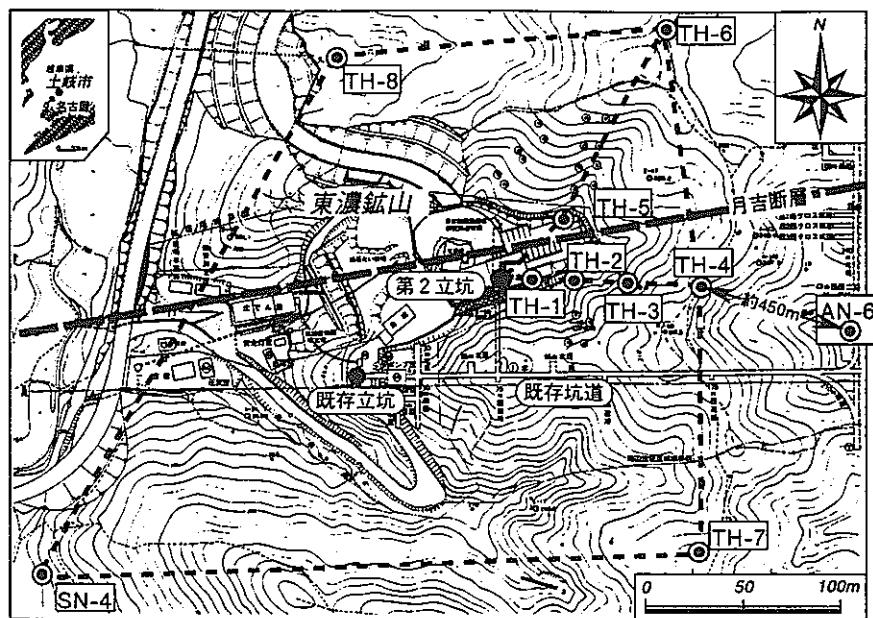


図-1 地形図・観測孔位置図

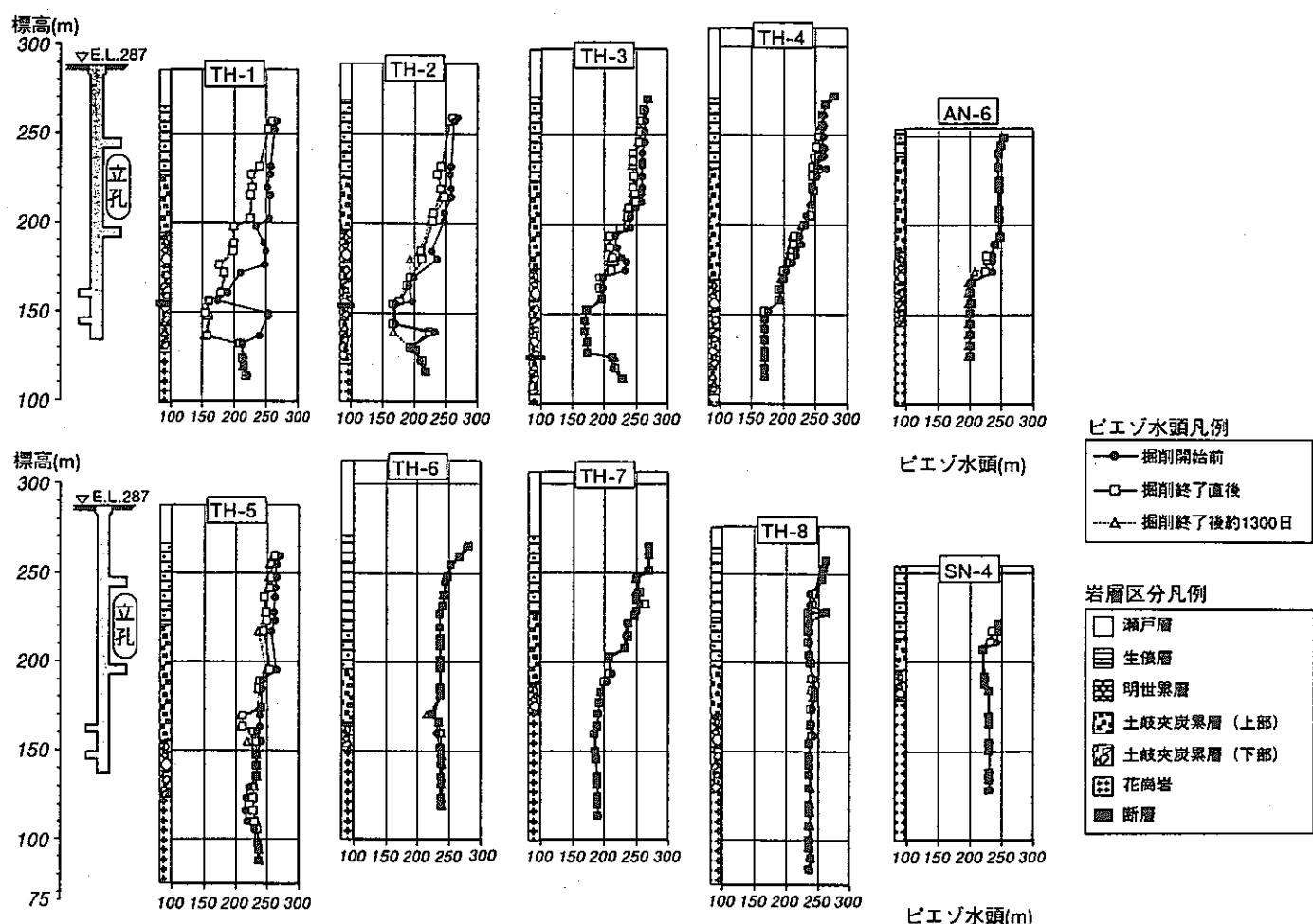


図-2 観測結果

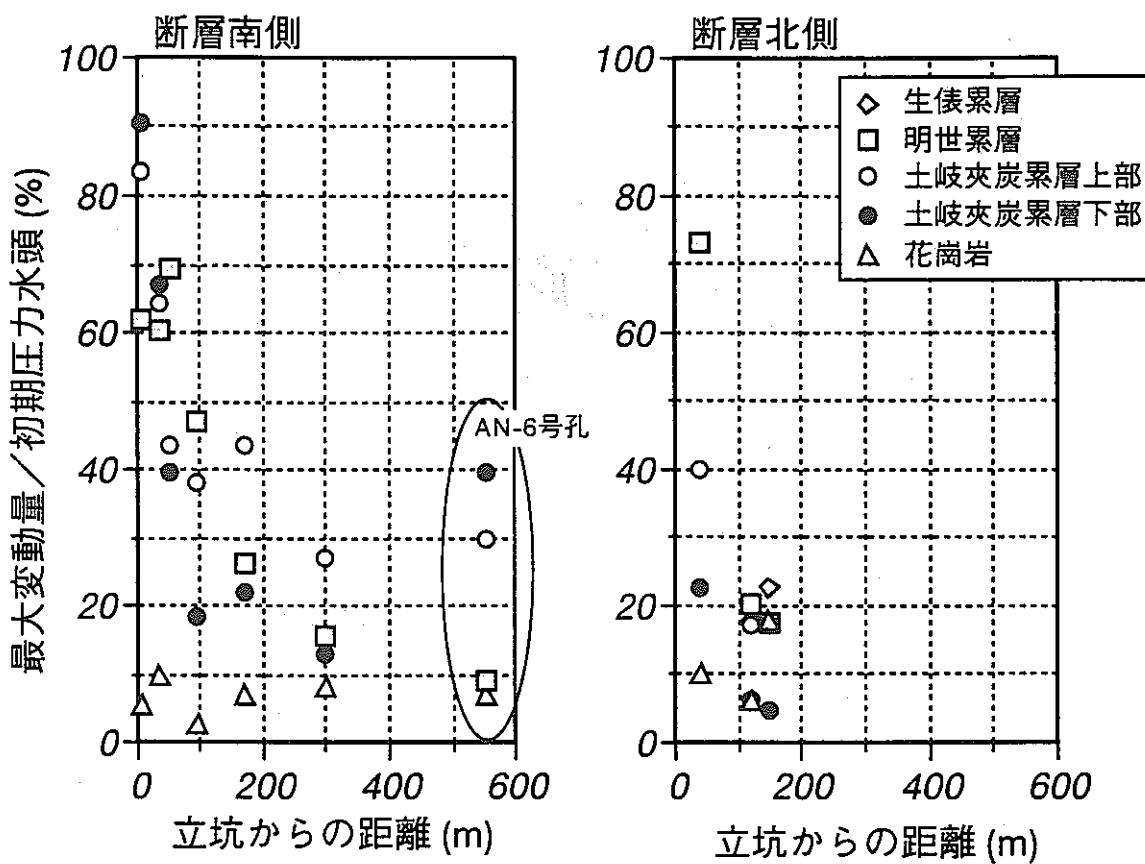


図-3 立坑からの距離と水頭変動量の関係

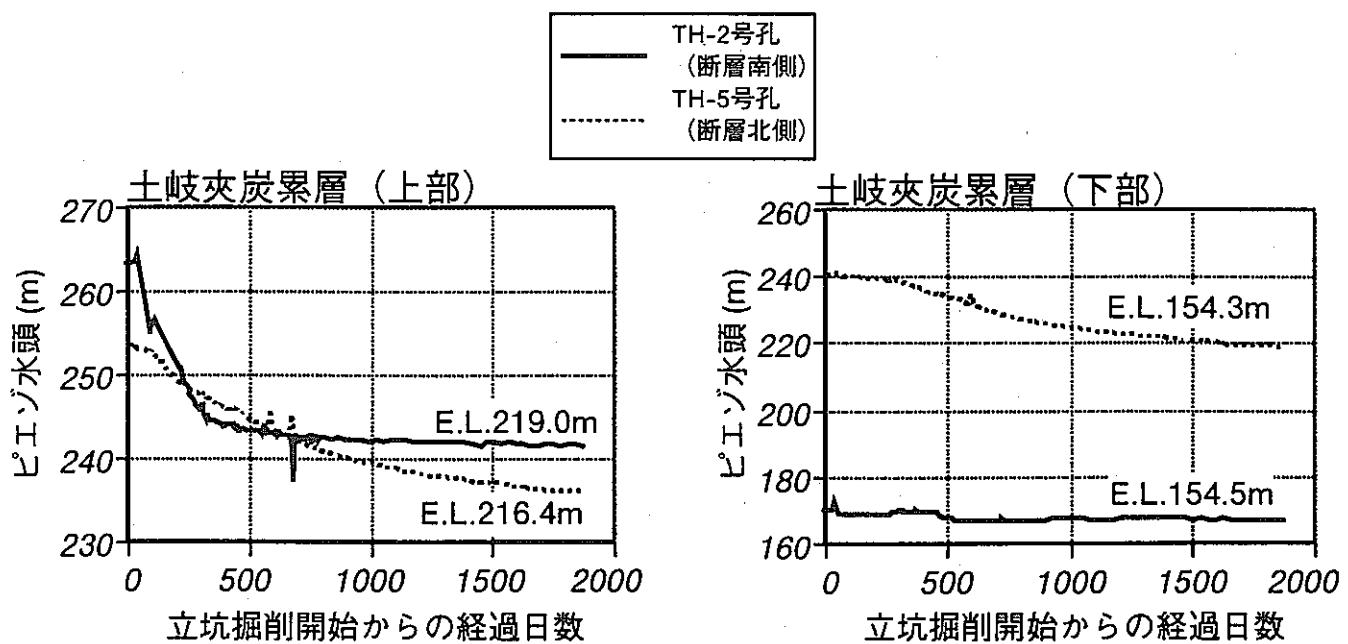


図-4 断層の影響

## 5 - 2 フラクタル理論による地層中の 透水係数分布の推定（その2）

（担当者：前川恵輔、山根正樹、尾方伸久、小出 韶）

### 1. 目的

フラクタルモデルによる地層中の不均質な透水係数分布の推定手法を、東濃鉱山での調査試験データを用いて実際の地層に適用し、手法の妥当性を検討する。

今回はこれまでの適用結果を踏まえて、以下のことを目的とした。

- (1) 解析対象領域を拡大することにより、解析結果の妥当性を評価するために行うパーティクルトラッキングにおいて、ウラン供給位置の仮定に対する不確実性を低減すること。
- (2) 解析領域の拡大とともに、より広範囲な領域における局所的な不均質性を表現するために手法を改良し、その適用性を検討すること。

### 2. 実施内容

これまでに、東濃鉱山に掘削した4本の試錐孔（試錐孔名：TT-1, TH-2, 3, 4）を含む鉛直2次元断面（100m×100m）を対象として、各試錐孔での透水試験結果と相関のあった見かけ比抵抗分布から試錐孔内に連続な透水係数分布を求め、これに基づいてフラクタルモデルにより領域全体の透水係数分布の推定を行った。その推定結果を用いて地下水流动解析およびパーティクルトラッキングを行った結果、ウランを模擬したパーティクルが多く通過した部分と現実のウラン分布（高γ線強度部分）とが定性的な一致を示した。

以上の解析では、パーティクルトラッキングにおけるウランの供給位置として、便宜的に地下水流动解析の結果推定された主な水みちの上流部を複数点仮定した。今回の解析では、こうした仮定の不確実性を低減する目的から、単一のウラン供給位置を設定することとした。解析対象領域は、これまでの対象領域および2本の試錐孔（試錐孔名：SN-4, 6）を含む鉛直2次元断面（550m×100m）とし、当該領域へのウラン供給位置と考えられる堆積盆の周縁部が含まれるよう設定した（図1, 2）。

解析対象領域を拡大したことにもなって、より広範囲な領域内の局所的な不均質性を表現するために、試錐孔の孔間距離が開いた領域は小領域に分割し（図3）、小領域ごとの透水係数分布を重ね合わせることによって領域全体の透水係数分布を推定する手

法を開発した。このとき、領域の境界では、隣接する2つの領域の中間的な値が採られるようにした。

以上のように領域全体の透水係数分布を推定した結果を用いて、地下水流动解析を行い、パーティクルトラッキングによるウラン分布の推定を行った。推定結果は、領域内の6本の試錐孔における $\gamma$ 線検層の結果と比較を行った。

### 3. 主な成果

- (1) これまでより広範囲の領域を対象として、ウラン供給位置を1点に限定したにも係わらず、パーティクル分布と各試錐孔での $\gamma$ 線強度の高い位置とがほぼ一致したことから、本解析手法の有効性およびウラン供給位置の仮定の妥当性を示すことができた(図6)。
- (2) 局所的な不均質性を表現するために改良した手法により、より広い解析領域に対しても本解析手法を適用できることができ確認でき、本解析手法が有効である可能性を示すことができた(図4～6)。

### 4. 今後の予定

広域地下水流动解析を行う上で必要となる、地下深部における透水係数分布の推定手法を確立する目的から、本解析手法について以下の課題が挙げられる。

- (1) 試錐孔の配置に依存せずに、より現実的な解析モデルを作成するための、3次元を対象とした解析手法の改良およびその適用性の検討。
- (2) 解析モデルの精度の向上をはかるとともに、実際の地下水流动調査計画に解析結果を反映させることによって効率的に計画を実施するための手法の適用性の検討。

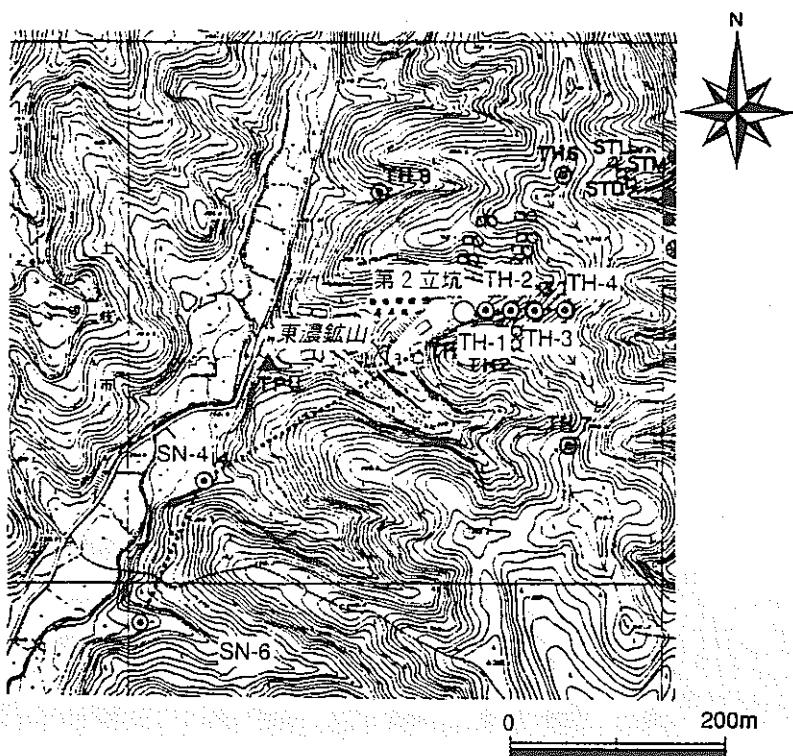


図1 解析対象領域位置図（平面図）

<岩相凡例>

□	瀬戸層
□	生侯層
■	明世累層
▨	土岐夾炭累層
▨	花崗岩
■	断層

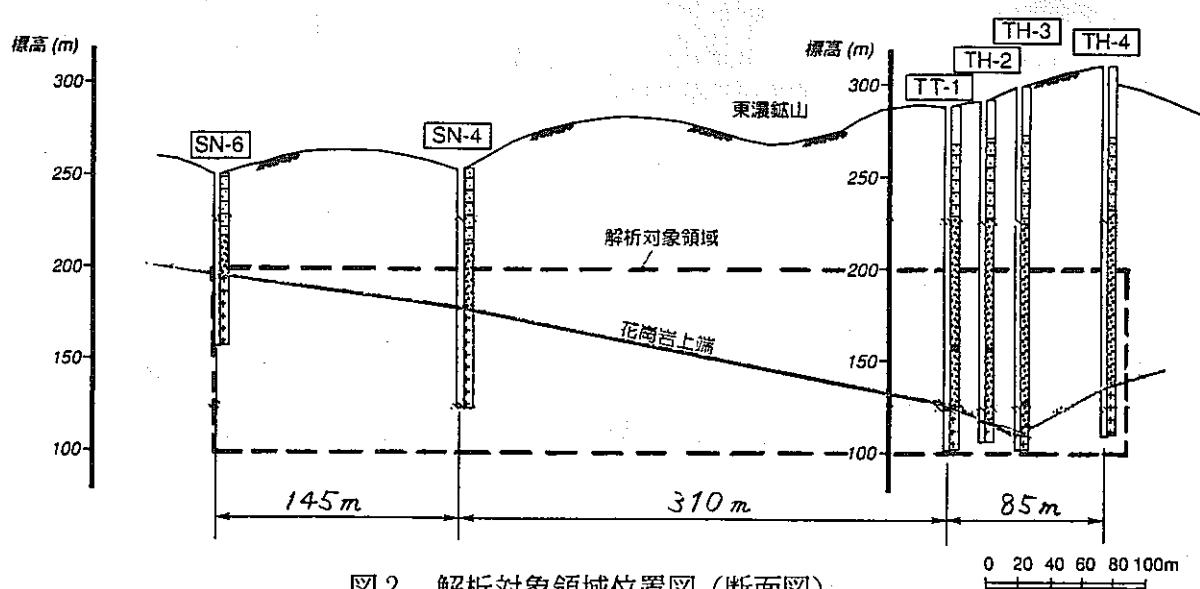


図2 解析対象領域位置図（断面図）

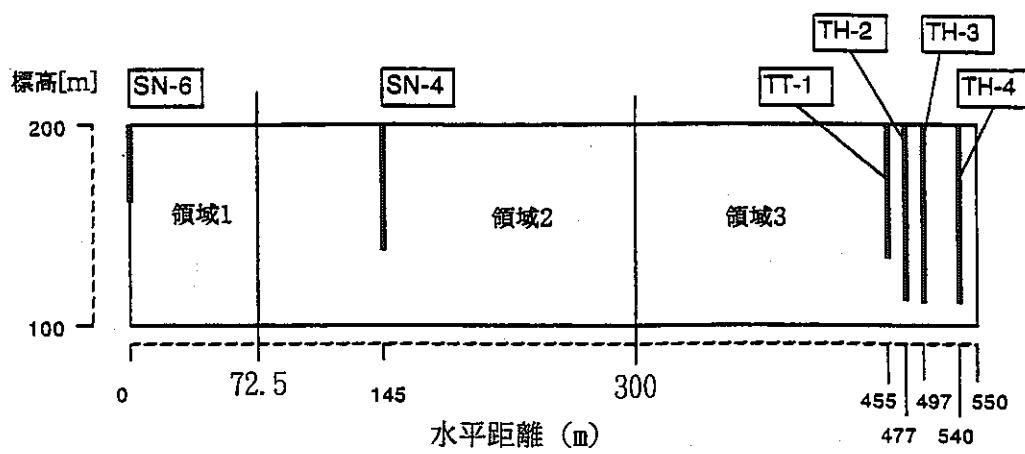


図3 試錐孔間のアラカル特性の違いを考慮する際の解析対象領域の分割

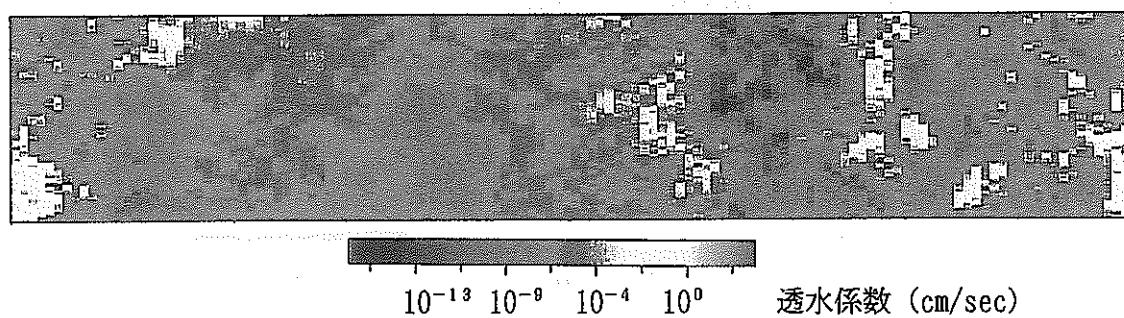


図4 透水係数分布の推定結果

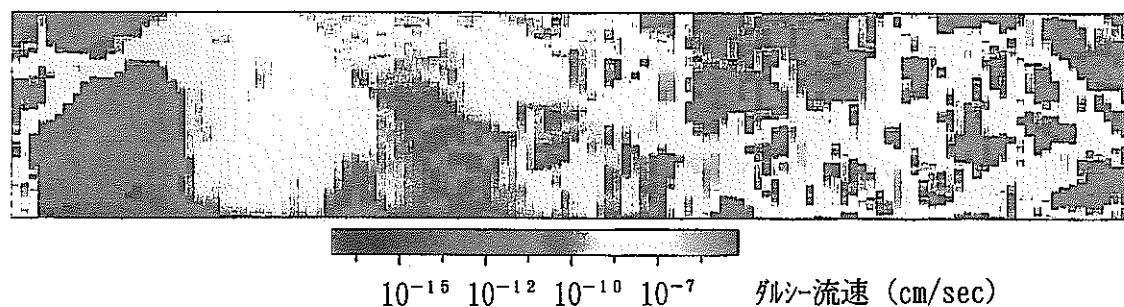


図5 地下水流動解析結果（ダルシー流速分布）

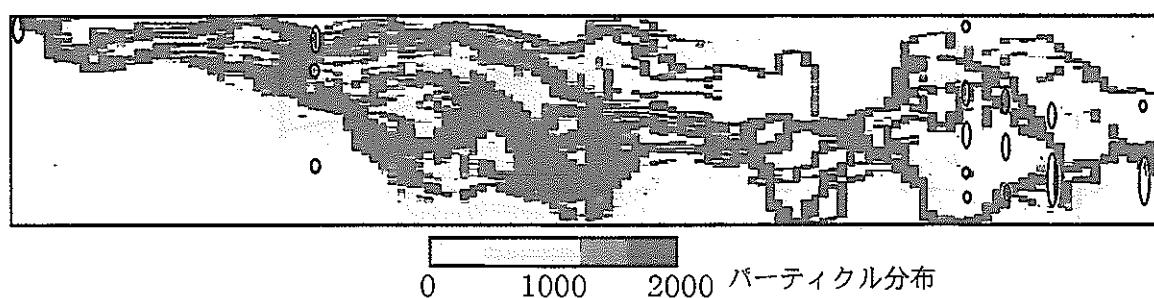


図6 パーティクル分布とウラン濃集部との比較  
(楕円内は、各試錐孔での高γ線強度部分)

## 6. 東濃地域における地球化学 - ナチュラルアナログ研究の概要と今後の方針

(担当者: 吉田 英一)

### 1. 目的

- ① 地質環境中の地下水の地球化学特性を3次元的に把握すること。
- ② 地質環境中の水質形成機構および物質移行（吸着・遅延）特性を把握すること。
- ③ 地質環境中における水質形成モデルおよび物質移行モデルを構築すること。
- ④ ナチュラルアナログによる水質形成モデルおよび物質移行モデルの妥当性を確認すること。

### 2. 実施内容

地質環境中の地下水の地球化学的特性に関しては、東濃ウラン鉱床周辺地域（数km×数km×深度1,000m）および釜石鉱山の坑道周辺での以下の調査・研究を実施した。

- ① 地球化学特性の3次元的調査
  - ・試錐孔、坑道からの各種採水装置による採水および物理化学パラメータ、溶存成分主要成分およびウラン（主に東濃）、希土類元素の微量成分、溶存ガスの分析。
- ② 同位体手法を用いた地下水の起源、年代に関する研究
  - ・地下水中の酸素、水素、炭素の同位体組成に基付く地下水の起源、年代の解析および地下水の流動状況の推定。
- ③ 地下水の水質形成メカニズムの研究
  - ・主要溶存成分濃度に係わる水-岩石反応の解析および物理化学パラメータ値（特に酸化還元電位）に関する実験的研究と熱力学的解析。

また地質環境中の物質移行特性を把握するために、東濃鉱山のウラン鉱床および釜石鉱山の坑道を利用した以下の調査・研究を実施した。

- ① 東濃ウラン鉱床を利用したナチュラルアナログ研究
  - ・堆積岩中の物質の移行経路の同定と移行経路沿いの天然ウラン系列核種の移行挙動調査（Nagraとの共同研究）。
  - ・物質の移行に重要な役割を果たすと考えられるコロイド／有機物の特性調査（CEA

との共同研究)

- ・堆積岩中での既存坑道周辺の酸化還元緩衝能力の調査。
- ② 釜石鉱山および土岐花崗岩における結晶質岩中の物質移行特性に関する研究
- ・結晶質岩中の物質の移行経路の同定と移行経路沿いの物質のマトリックス拡散現象に関する調査。
  - ・結晶質岩中での既存坑道周辺の酸化還元緩衝能力の調査。
  - ・割れ目充填鉱物や割れ目沿いの、物質に対する収着／遅延効果を定量的に評価するための室内試験。

### 3.今後の方針

- ① 大深度（～1,000m）までの地下水の地球化学特性データの蓄積。
- ② 原位置での調査および試験による坑道周辺の地球化学・物質移行特性の把握。
- ③ 水質形成モデルおよび物質移行モデルの構築。
- ④ ナチュラルアナログ研究によるモデルの妥当性の検討。

## 6 — 1. 東濃地域における深層ボーリング による地球化学的調査研究

(担当者: 岩月輝希、浜克宏、吉田英一)

### 1. 目的

東濃地域の深部結晶質岩の岩相、割れ目帯やこれらに伴う変質帯の分布と深部地下水の水質との関係を把握し、地下深部の地球化学特性を明らかにする。

### 2. 実施内容

土岐花崗岩に掘削された深度500 ~1,000mの試錐孔（5本）において、以下の調査、解析を行った。

- ①各種物理検層、岩芯観察、全岩分析。
- ②地下水の採水、分析。
- ③光学顕微鏡、SEM-EDSによる鉱物表面の観察、分析。
- ④地下水に対する鉱物の飽和指数の計算。

### 3. 主な成果

#### ①地下深部の地質構造について

岩芯観察において、各々の試錐孔で厚さ数m~数十m（最大約50m）程度の割れ目帯に伴った変質部が観察された。これらの変質部は割れ目帯の規模と変質の程度により、i)充填鉱物幅が数cm以下の单一割れ目で割れ目近傍のみが白色変質、ii)厚さ数m~数十mの割れ目帯で基質全体が緑色変質、iii)厚さ数mの割れ目帯で基質全体が白色粘土化（ガリナイト化）、といった変質に分別される。同様の変質状態を有する部分が、複数の試錐孔で同じ標高レベルに分布（図1）することから、水平距離にして約数kmオーダーの連続した割れ目変質帯が存在する可能性が考えられる（図2）。

#### ②深部地下水の地球化学特性について

観察された割れ目変質帯の内、基質まで緑色変質を受けている厚さ約10mの割れ目変質帯（深度186m地点）と、割れ目近傍のみが変質している単一割れ目（深度839m地点）において採水を行った結果、各地点の地下水組成は以下の通りであった。

深度186m地点 :  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Fe}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ 型水質、TDS  $\leq 0.2\text{g/l}$ 、pH-中性

深度839m地点 :  $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ 型水質、TDS  $\leq 0.2\text{g/l}$ 、pH-弱アルカリ性

これらの採水地点の鉱物組成を表2に示す。それぞれの地点で石英、斜長石、黒雲母の溶解によって形成されたと思われる鉱物表面構造が観察された。また深度186m地点で黄鉄鉱、深度839m地点で鉄鉱物（フェロジライト?）の溶解の形跡が観察された。地球化学計算コードによる計算の結果は、それぞれの採水地点では、石英、長石、雲母類、方解石、ガリケイト、シテライト等の溶解、沈殿反応が地下水に対して飽和平衡の状態（ $| \text{Saturation Index} | \leq 1$  と定義）にあることを示す。また深度186m地点では水酸化鉄（Ⅲ）が、深度839m地点では、ガバサイト、フェロジライトがそれぞれ平衡状態にあると計算された（表3）。

これらの観察と計算の結果から、両地点では石英、長石、雲母類、方解石、ガリケイト、シテライト等の水-鉱物反応が水質形成に寄与しているものと考えられる。特に深度186m地点では母岩中に黄鉄鉱が存在し、それが酸化性の地下水と接触することによって、 $\text{Fe}^{2+}$ イオンの濃度に富んだ水質が形成されていると考えられる。

以上の調査結果より、深部結晶質岩中には連続性の卓越する割れ目変質帯が存在する可能性がある。これらの割れ目変質帯中の地下水の水質は、変質帯の構成鉱物との水-鉱物反応により形成されており、深部地下水の地球化学特性は地下に分布する割れ目変質帯やその岩相に大きく影響を受けていることが考えられる。また変質帯の変質程度の違いにより、異なった地球化学特性を持つ地下水が割れ目変質帯に沿って広範囲に分布する可能性が考えられる。

#### 4. 今後の予定

- 複数の試錐孔で同一の変質帯上にあると思われる変質部において採水、分析を行い、割れ目変質帯の連続性を把握する。
- 各鉱物の水-鉱物反応が平衡状態に達する深度、地下水年代を把握する。
- 酸化還元電位の深度プロファイルを把握する。

表 1. 各採水ポイントにおける地下水の化学組成

Depth	point	$T(^{\circ}\text{C})$	$pH$	$\text{Si}$	$\text{Al}$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+}$	$\Sigma \text{Fe}$	$\text{Mn}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Sr}^{++}$	$\text{Na}^{+}$	$K^{+}$	$F^{-}$	$\text{Cl}^{-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^{-}$
表層水	DH3	18	6.2	1.55	<0.01	-	-	0.06	0.60	0.20	1.37	0.01	12.3	10.1	0.60	1.40	2.90	<1	36.32
-186m	DH4	13	6.8	5.60	<0.02	9.34	<0.05	9.34	0.77	1.88	17.6	0.11	13.3	6.13	4.99	2.74	0.09	<1	88.50
-839m	DH3	30	8.5	4.00	0.02	-	0.04	0.05	0.41	0.05	7.61	0.06	27.8	1.55	6.90	3.40	6.71	<1	74.73

(ppm)

表 2. 各採水ポイントにおける鉱物組成と同定された水—鉱物反応

鉱物組成	深度186m地点			深度839m地点		
	石英、長石類、黒雲母、緑泥石、方解石 緑簾石、黄鉄鉱、ガリサイト	石英の溶解	斜長石のかalcite化 黒雲母の溶解 黄鉄鉱の溶解	石英、長石類、黒雲母、緑泥石、方解石 緑簾石、鉄鉱物（フェロジライト？）、ガリサイト	斜長石表面のかalcite化 黒雲母の溶解 鉄鉱物（フェロジライト？）の沈殿	
水—鉱物反応						

表 3. 各鉱物の地下水に対する飽和指数（計算には地球化学計算コード PHREEQEを使用した。）

Depth	point	石英	アルミニウム	カルシウム	アーネーサイト	方解石	雲母類*	カリサイト	ガリサイト	緑簾石	ジテライト	フェロジライト	ガルナイト	黄鐵鉱	$\text{PCO}_2$	
表層水	DH3	-0.4	-5.1	-2.7	-10.7	-3.8	0.5	-0.7	-1.4	-9.2	-3.3	-1.5	-5.3	-2.6	-82.8	-2.0
-186 m	DH4	0.2	-3.1	-1.0	-8.0	-0.9	0.5	-1.1	0.9	-1.8	0.7	0.5	-1.4	0.3	-65.5	-1.3
-839 m	DH3	0.2	-1.8	-0.6	-5.6	-0.1	0.1	-0.6	-0.6	-	-0.4	-2.2	-0.6	0.2	-	-3.6

(\* 雲母類の飽和指数はMuscovite, Phlogopiteのうち0に近いものを使用した。)

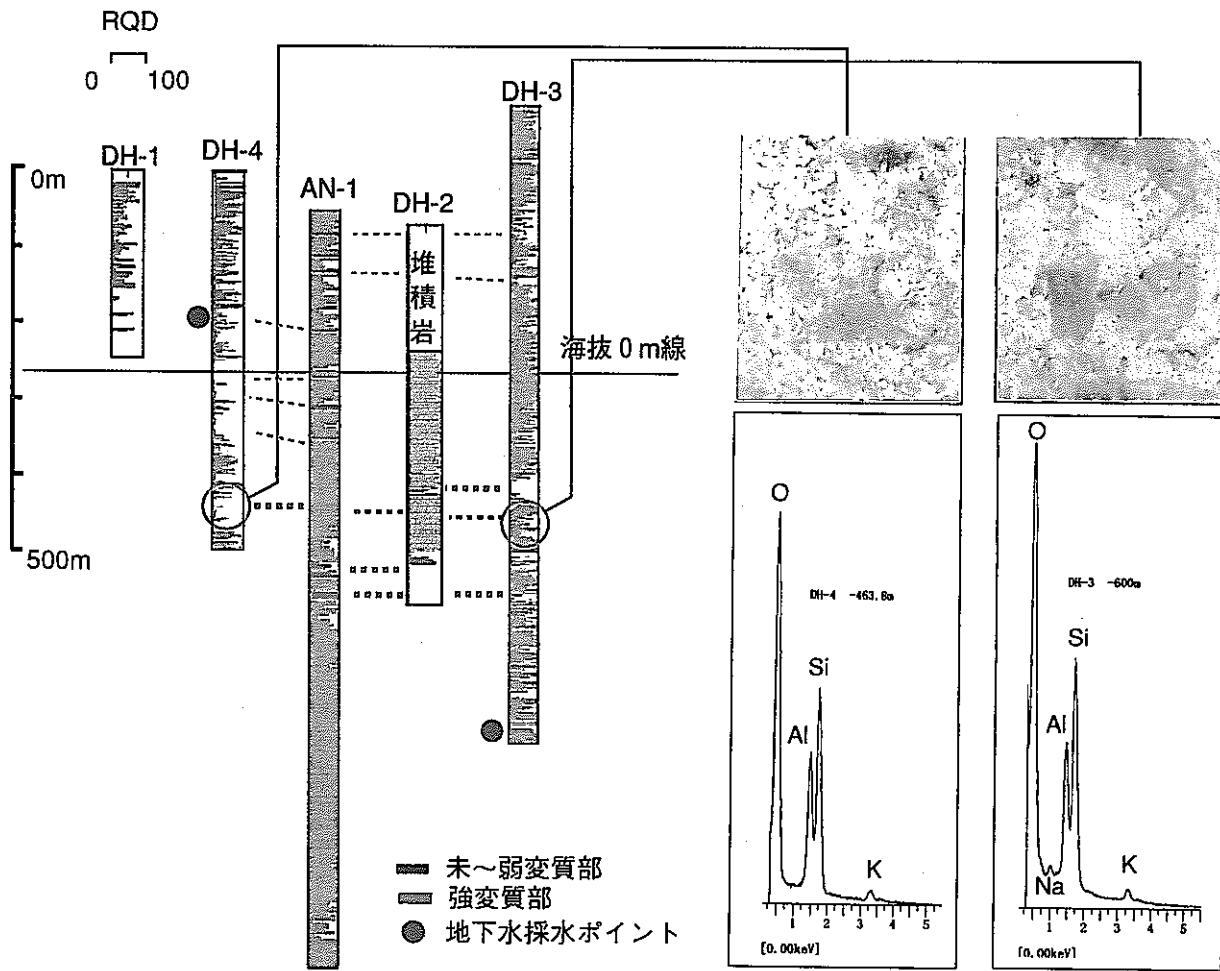


図 1. 各試錐孔におけるRQDデータと変質部の分布

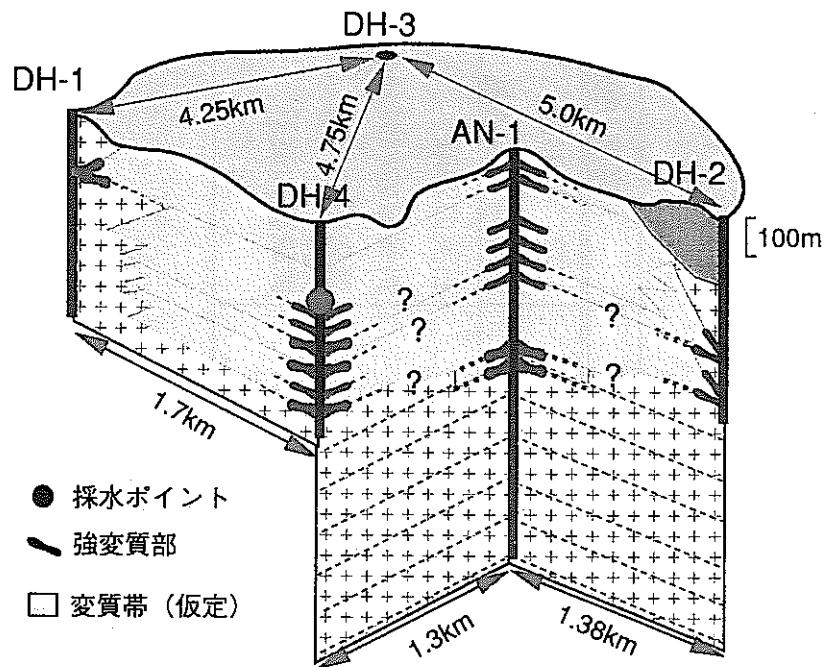


図 2. 深部花崗岩の地質構造モデル

## 6-2 結晶質岩中の割れ目周辺の物質移行メカニズムに関する研究

(担当者: 花室孝広・吉田英一)

### 1. 目的

結晶質岩中における割れ目からの、物質のマトリックス拡散に伴う移行・遅延現象を把握すること。

### 2. 実施内容

結晶質岩（土岐花崗岩）中に認められる割れ目からのマトリックス拡散現象を把握するために、東濃地域の深層ボーリングから得られた変質を伴う岩石試料を用いて以下の調査を実施した。

#### ① 化学分析

- ・割れ目からの主要元素およびウランの分布状態を把握するための化学分析。

#### ② ウラン分布調査

- ・ $\alpha$ -オートラジオグラフやEPMAによる割れ目周辺の赤褐色変質部および未変質部の微視的なウラン分布調査。

#### ③ ウラン系列核種の放射非平衡調査

- ・天然ウラン系列核種の移行／保持挙動を把握するための  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$  間の放射非平衡調査。

### 3. 主な成果

#### ① 変質部の形成とウランの濃集との相関

割れ目周辺の赤褐色の変質部では、鉄酸化鉱物が石英や長石の粒界や、細かい割れ目に沿って分布しているのが認められた（写真1）。また、割れ目から数mm幅ごとに分離した試料の分析の結果、3価鉄と2価鉄の値が負の相関を示している（図1, 2）ことから、変質部においては、2価鉄と3価鉄が置換する反応が起こったことを示すものと考えられる。

したがって、割れ目付近に見られる変質部の赤褐色化は、鉱物粒界や細かな割れ目に沿って分布している鉄酸化鉱物によるものであり、その付近にもともと存在していた2価鉄が溶脱され、割れ目面からの地下水による酸化反応に伴って3価鉄が

沈殿したものと考えられる。

また、割れ目表面からの数mmごとの岩石マトリックス部のウラン含有量分析の結果、赤褐色変質部ではウラン濃度が高く、未変質部の岩石マトリックス部にかけて低くなっていることが認められた（図1）。また、 $\alpha$ -オートラジオグラフやEPMAによるウラン分布調査の結果、ウランは、もともと岩石中に含まれると考えられるモナズ石等の重鉱物中の中ほか、黒雲母や赤褐色化した変質部の鉄酸化鉱物の周囲に集中的に濃集することが認められた。

以上の観察と分析の結果から、地下水中のウランが割れ目表面から岩石マトリックス部へ移行し、収着能力の高い黒雲母に収着されること、さらに、割れ目からの酸化反応によって形成された変質部全体では、鉱物粒界などの移行経路付近に見られる鉄酸化鉱物に収着することによって、ウランがマトリックス中に保持されていることが考えられる。

## ② ウラン系列核種の長期挙動

ウラン系列核種の放射非平衡調査の結果、赤褐色部においては  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$  は、それぞれの核種の放射能比がほぼ 1 を示しており、放射平衡状態にあると考えられる。一方、未変質部においてはそれぞれの核種の放射能比が 1 から大きく外れている部分も認められ、放射非平衡状態であることが認められた（図3）。

以上の結果から、赤褐色部においては、ウラン系列核種が長期にわたって安定に存在していることが示される。つまり、割れ目からの鉄鉱物の酸化反応を伴う変質化は、ウラン系列核種を長期に固定させる効果のあることが期待される。

## 4. 今後の予定

- ・ 酸化-還元反応による物質のマトリックス拡散に伴う微量元素の共沈や収着による遅延現象の検討。
- ・ マトリックス拡散モデルの妥当性の確認。

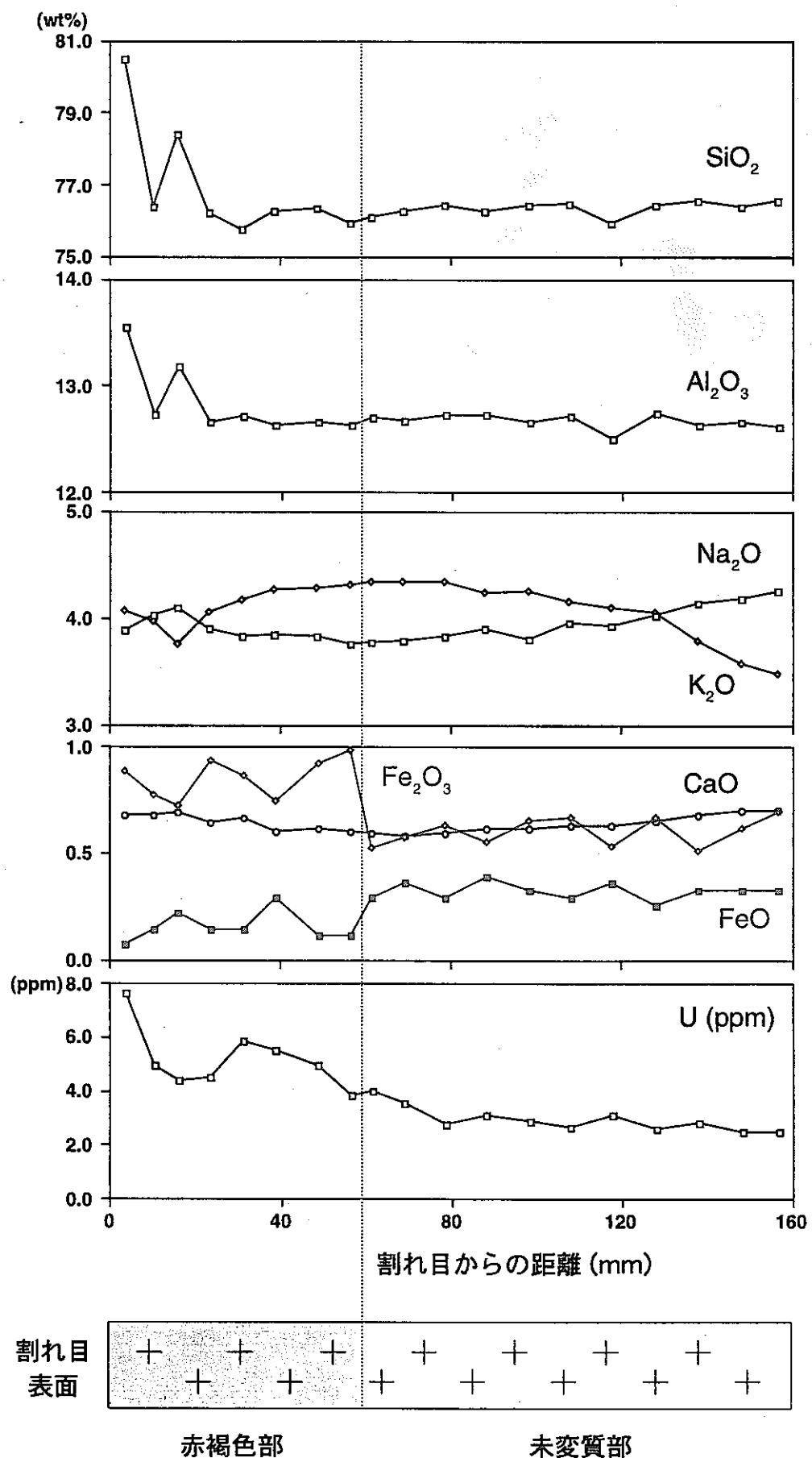


図1・主要元素およびウラン含有量の分析結果

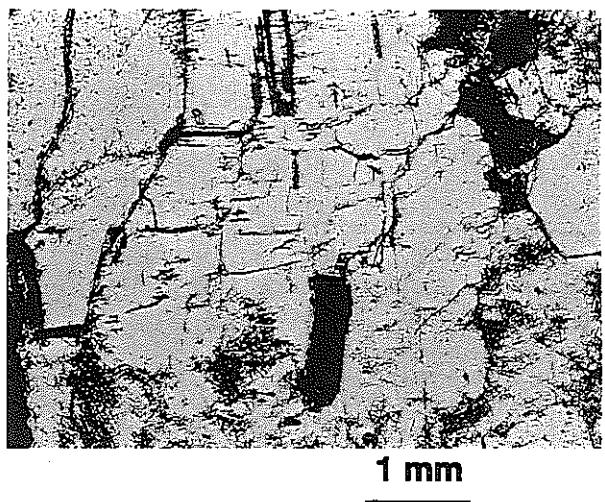


写真1・赤褐色変質部と未変質部との  
境界付近の顕微鏡写真

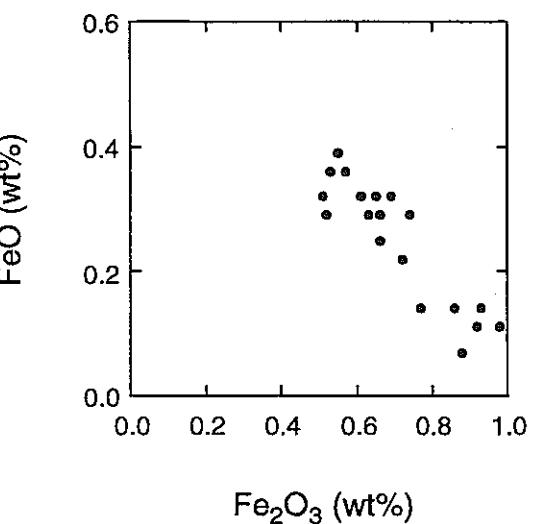


図2・2価鉄と3価鉄の相関

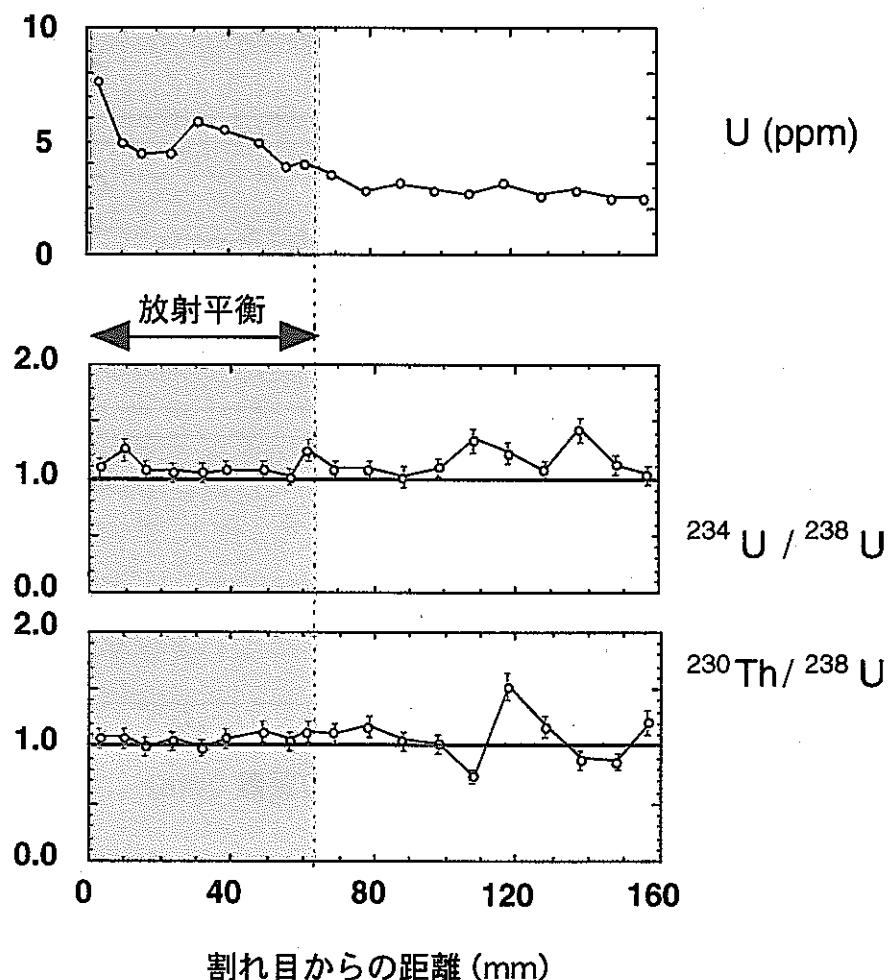


図3・ウラン含有量とウラン系列核種放射非平衡調査

## 6 — 3 金黄酸化細菌による黄鉄鉱の酸化と 水質変化についての室内実験

(担当者：人形峠環開課：長柄収一，佐藤和彦，山名 智)

### 1. 目的

坑道周辺のバクテリアの活動による水質変化と酸化還元電位 (Eh) への影響を明らかにする。

### 2. 実施内容

これまでの地下水の調査によって、坑内水には、鉄酸化細菌である *Thiobacillus ferrooxidans* (以下 *T. ferrooxidans* とする) が確認されている (青木ほか, 1992)。このバクテリアの活動によって、 $\text{Fe}^{3+}$  や  $\text{SO}_4^{2-}$  が鉱物相から浸出されることによって、この結果地下水中の  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  比が高くなると考えられる。このプロセスは、地下水の水質や Eh の変化にも影響を及ぼすことが想定される。したがってこれらのプロセスを室内実験によって予察的に把握するために、試験試料として黄鉄鉱を用いたバクテリアー岩石反応試験を行った。

鉱物試料：黄鉄鉱（棚原鉱山産）をアクリル樹脂で包埋、接液部分を研磨した。

バクテリア：*T. ferrooxidans*、鉄酸化細菌標準株を用いた。

溶液：バクテリアの最も活性度の高い酸化条件を設定した。

条件 1：鉱物試料 + 鉄酸化細菌用培地 (pH2.0) + バクテリア

条件 2：鉱物試料 + 硫酸溶液 (pH2.0) + バクテリア

条件 3：鉱物試料 + 硫酸溶液 (pH2.0)

実験開始時の液相の菌体濃度は、 $2.5 \times 10^6 \text{ cells/ml}$  である。また実験には攪拌振とう器を用いて地下坑道周辺を想定した温度27°C、そして振盪数100rpmの一定条件で実施した。所定時間後溶液を分取し、菌体濃度（直接計数法）、全Fe及び $\text{Fe}^{2+}$ 濃度の測定（吸光度分析）、及び鉱物試料の表面観察（走査電子顕微鏡）を行った。

### 3. 主な成果

#### ①菌体濃度測定結果

条件 1 及び 2 の液相の菌体濃度とその経時変化に大きな差は認められず、菌体濃度

は一度 $10^4$ cells/mlまで減少し、約230時間後からゆるやかに増加する（図1）。菌体濃度の変化は、反応初期の黄鉄鉱表面へ *T. ferrooxidans* が吸着（若尾, 1984）し、吸着平衡に達した後、増加したことを示しているものと考えられる。

#### ②全Fe及び $\text{Fe}^{2+}$ 濃度測定結果

液相の全Fe濃度は条件1及び2で200mg/l以上であり、条件3（約4mg/l）の50倍以上となる。液相の $\text{Fe}^{2+}$ 濃度は、条件2では約280mg/lと高い一方、条件1及び3ではそれぞれ2mg/l及び4mg/lと低くなつた。また液相のEhの値は $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比によって変化し、高い $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比の溶液ではEhの値が高くなる。この $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比は、条件1では122、条件2では0.97、条件3では0.01であり、鉄酸化細菌の酸素消費能力が確認された。

#### ③鉱物試料の表面観察

条件1及び条件2では、鉱物表面の幅 $0.1 \mu\text{m}$ 程度の微小な割れ目に沿つた部分に、試験前や条件3の試料には見られない直径約 $1 \mu\text{m}$ 程度の円形の穴が多数認められることから（図2）、バクテリアは鉱物表面の割れ目の部分に選択的に吸着され、 $\text{Fe}^{3+}$ や $\text{SO}_4^{2-}$ を浸出させるものと考えられる。

#### ④バクテリアの活動による水質変化に関する考察

*T. ferrooxidans* が増殖する液相では、黄鉄鉱の酸化と $\text{Fe}^{3+}$ 濃度の増加が認められた。実際の硫化鉱物に富む地層中でも *T. ferrooxidans* 等のバクテリア活動によって、酸性でFe及び $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度の高い地下水水質が形成されたと考えられており（Van Everdingen et al., 1985）、実験結果と矛盾しない。また今回の実験は、バクテリアにとって最適な酸性条件下で行ったものの、中性～アルカリ性の地下水でも *T. ferrooxidans* などの鉄酸化細菌が確認されている（Toran, 1987など）。したがつて異なつた地下水の地球化学的条件下でも、鉄酸化細菌が生息することは、このバクテリアの活動によって鉄鉱物や硫化鉱物が酸化され、地下水中の $\text{Fe}^{3+}$ や $\text{SO}_4^{2-}$ の濃度が増加するものと考えられる。

### 4. 今後の予定

- ・ *T. ferrooxidans* や他の鉄酸化細菌などを用いた室内実験を行い、バクテリアの活動が、鉄鉱物の酸化、地下水水質の変化及びEhに与える影響を詳細に把握する。
- ・ Ehの値に影響を及ぼす他のバクテリアや溶存成分を対象とした調査を実施する。

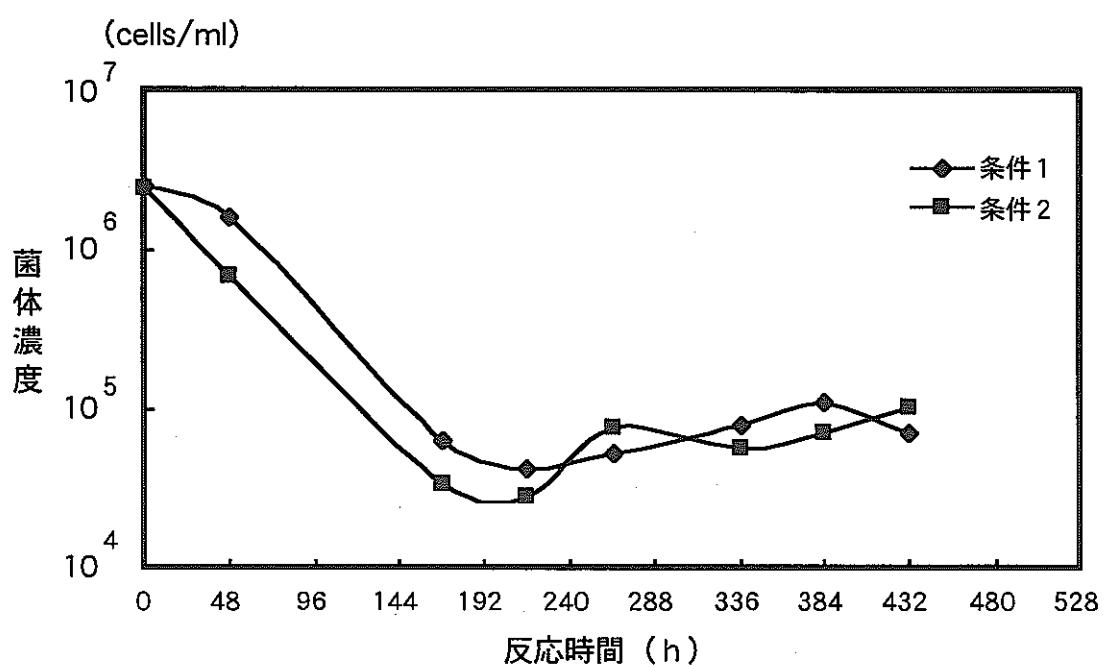


図 1 液相の菌体濃度の経時変化

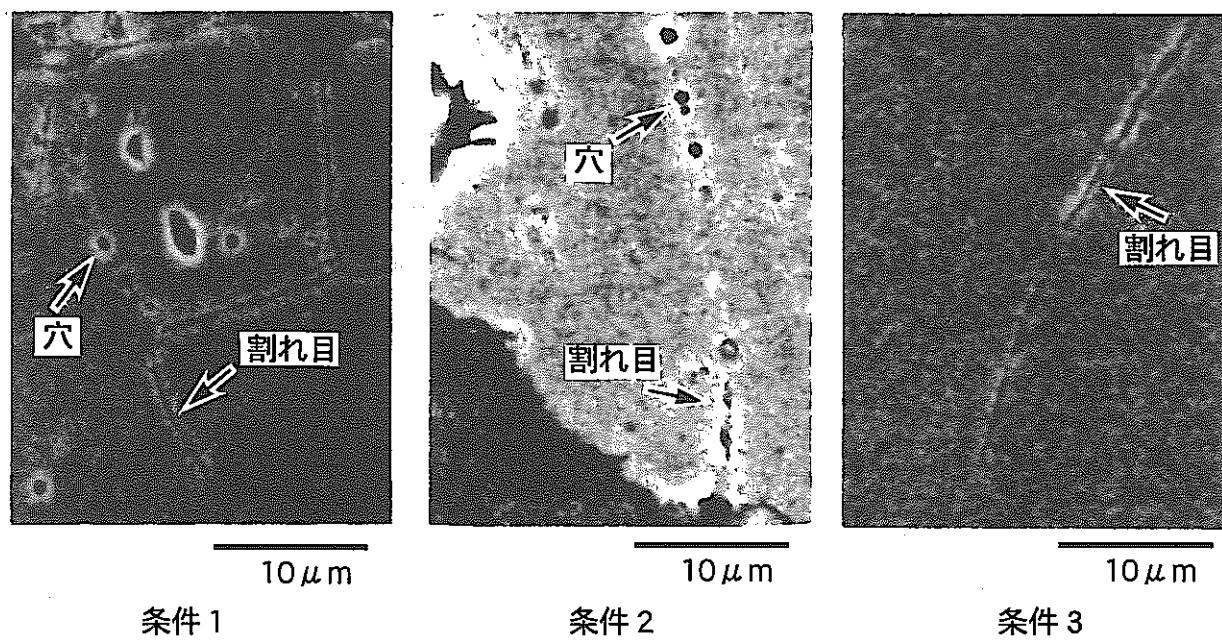


図 2 実験後 (504時間) の鉱物表面の走査電子顕微鏡写真

## 7. 国際共同研究における地球化学的研究

### の概要と今後の方針

(担当者：吉田 英一)

東濃地科学センターでは、スイスのNagra、フランスのCEA およびスウェーデンのSKBとの地質環境中の地球化学、物質移行およびナチュラルアナログ研究に関する共同研究を進めている。それらの共同研究項目、目的と実施内容、今後の予定についての概要を以下に示す。

#### 1. 各国との共同研究項目

- ① Nagra: グリムゼル岩盤研究所での核種移行試験
  - : 東濃ウラン鉱床を利用したナチュラルアナログ研究
- ② CEA : 東濃ウラン鉱床におけるコロイド／有機物の特性調査
- ③ SKB : アスボ地下研究所での坑道周辺の酸化還元緩衝特性評価試験

#### 2. 各研究項目における実施目的

- ① Nagra: 結晶質岩中の単一割れ目における物質移行（収着・遅延）特性を評価すること。
  - : ナチュラルアナログによる物質移行モデルの妥当性を確認すること。
- ② CEA : 物質移行におけるコロイド／有機物の影響を定量的に評価すること。
- ③ SKB : 地下坑道周辺での酸化還元緩衝能力を定量的に評価すること。

#### 3. 実施内容

- ① Nagra: グリムゼル岩盤研究所での原位置染色レジン注入試験。
  - : 東濃鉱山での坑内ボーリング調査とそれに伴う地下水の採水、分析および天然ウラン系列核種の挙動調査。
- ② CEA : 東濃鉱山での坑内ボーリングからのコロイド／有機物の採取、分析。
- ③ SKB : アスボ地下研究所での坑道周辺およびボーリング試料による地質・割れ目調査。

#### 4. 主な成果

- ① Nagra: 結晶質岩中の物質移行経路を原位置でのレジン注入試験によって詳細に同定することが可能となった。
  - : 堆積岩中と結晶質岩中にウラン濃集部を伴う移行経路として機能したと考えられる割れ目を同定することができた。
- ② CEA : コロイドの成分・サイズ・重量濃度およびその起源を同定した。
- ③ SKB : アスボ地下研究所に認められる湧水割れ目の同定を行った。

#### 5. 今後の方針

- ① Nagra: 実核種を用いたトレーサー試験と割れ目中の核種収着サイトを同定するための割れ目帯の開削試験の実施。
  - : 堆積岩中の物質移行モデルの妥当性の検討。
- ② CEA : コロイド／有機物と天然ウラン系列核種の相関関係調査。
- ③ SKB : 室内および原位置での岩石鉱物の酸化試験による酸化還元緩衝能力調査試験の実施。

## 7-1. スイス・グリムゼル岩盤研究所における物質移行研究 -Nagra/PNC共同研究-

(担当者: 太田久仁雄, W.R.Alexander<sup>1</sup>, B.Frieg<sup>2</sup>, P.Bossart<sup>3</sup>)

<sup>1</sup> ベルン大学地質学・岩石矿物学教室, <sup>2</sup> Nagra(スイス放射性廃棄物処分共同組合), <sup>3</sup> Geotechnical Institute Ltd.

### 1. 目的

グリムゼル岩盤研究所における原位置試験研究(Nagra/PNC共同研究)は、割れ目を有する結晶質岩において、放射性核種／レジンを用い、  
①単一割れ目中の放射性核種の収着サイトを三次元的に同定すること、  
②単一割れ目から結晶質岩マトリックスに向けての空隙の連結性・屈曲度を三次元的に明らかにすること、  
により、放射性核種の遅延効果を定量的に評価することを目的としている。

### 2. 実施内容

1995年1月～1996年4月(発表者の出張期間)に、グリムゼル岩盤研究所(図1)において以下の2種類のレジンを用いた原位置試験、およびそれに引き続く室内調査を実施した。今回の原位置試験は、評価対象の単一割れ目(図2)において今年度実施する、放射性核種／レジンを用いた原位置試験のフィージビリティの検討と試験手法の確立のために実施したものである。

#### ①割れ目における孔間エポキシ系レジン注入試験

- ・水理試験(割れ目の透水性の把握)
- ・イソプロピルアルコールの注入(空隙水の置換／表面張力の低減)
- ・レジンの注入／固化(空隙構造の保持・保存(図3))
- ・オーバーコアリングによる開削(岩石試料の採取)
- ・岩石試料の巨視的・微視的観察(空隙構造の同定)

#### ②割れ目近傍(結晶質岩マトリックス)における単一孔アクリル系レジン染色試験

- ・水理試験(割れ目近傍の透水性の把握)
- ・レジンの注入(連結空隙の染色)
- ・レジンの加熱固化(連結空隙の保持・保存)
- ・オーバーコアリングによる開削(岩石試料の採取)
- ・岩石試料の巨視的・微視的観察(空隙構造の同定)

### 3. 主な成果

#### ①割れ目における孔間エポキシ系レジン注入試験

- ・エポキシ系レジン（Sika社製：Sika Injection26）を注入することにより、割れ目中の充填粘土鉱物や破碎部などの脆弱な部分の空隙構造も擾乱させずに保持・保存することができ、微視的な空隙構造の調査が可能となった。
- ・レジンにより充分に染色された岩石試料（数センチメートルスケール）の微視的観察の結果、同一の空隙構造を呈する部分においても、レジンにより染色された空隙（直線的な空隙構造）と染色されていない空隙（屈曲した空隙ネットワーク構造）の存在が認められた（図4）。これは、原位置において屈曲度の大きな空隙はレジン（物質）の選択的移行経路とならない可能性を示している。

#### ②割れ目近傍における単一孔アクリル系レジン染色試験

- ・アクリル系レジン（Sika社製：原位置試験用に開発）による、空隙率1%未満の結晶質岩マトリックスの染色が原位置において確認された。その結果、結晶質岩マトリックス中には、割れ目表面から少なくとも数センチメートルにわたって、連結した空隙がネットワーク状に広がっていること（マトリックス拡散の場）が明らかになった。
- ・グリムゼル花崗閃緑岩マトリックス中には5種類の空隙構造（絹雲母濃集部の多孔質空隙、鉱物粒界（図5）、鉱物中の微小割れ目、黒雲母のへき開、鉱物中の離溶空隙）が確認された。

上記の成果が得られたことにより、それぞれのレジンの有効性、および今後の原位置試験のフィージビリティが確認された。また、上記の原位置試験／室内調査において習得した技術やノウハウなどは釜石／東濃における原位置試験に直接反映させる。

### 4. 今後の予定

グリムゼル岩盤研究所の評価対象の单一割れ目において、放射性核種／レジンを用いた原位置試験を実施し、割れ目中の放射性核種の収着サイト、割れ目から結晶質岩マトリックスに向けての空隙構造の連結性／屈曲度の広がりを三次元的に明らかにし、放射性核種の遅延効果について定量的な評価を行う。

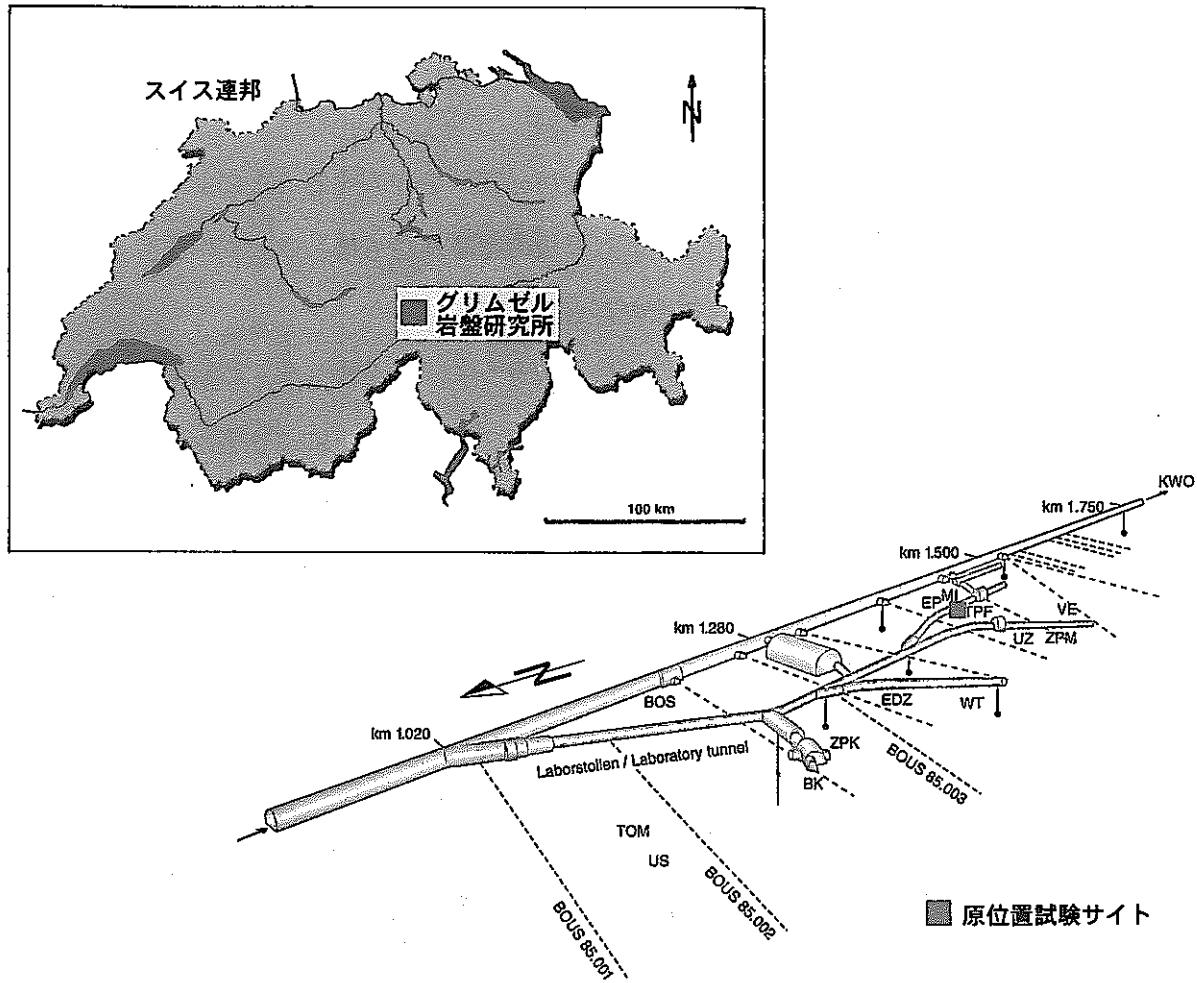


図1. グリムゼル岩盤研究所の位置・研究用坑道レイアウト

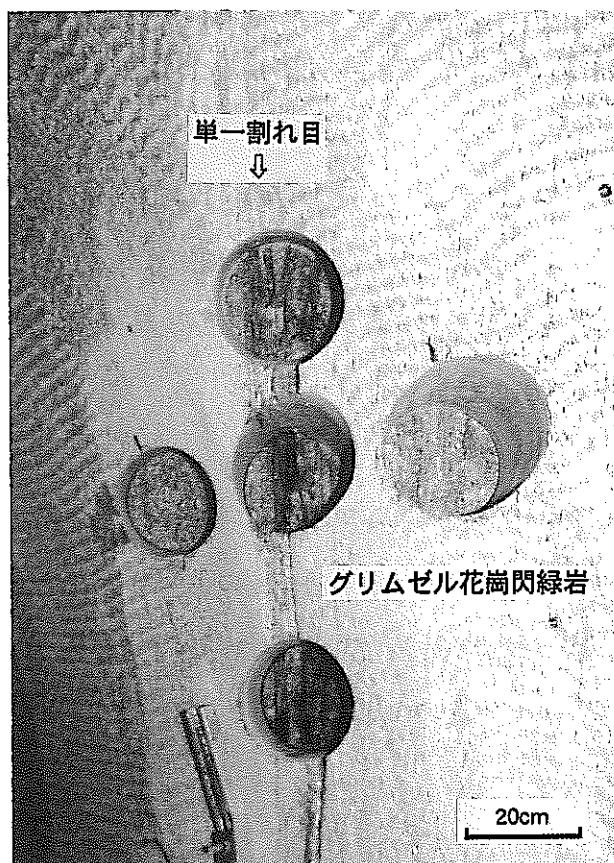


図2. 評価対象の単一割れ目

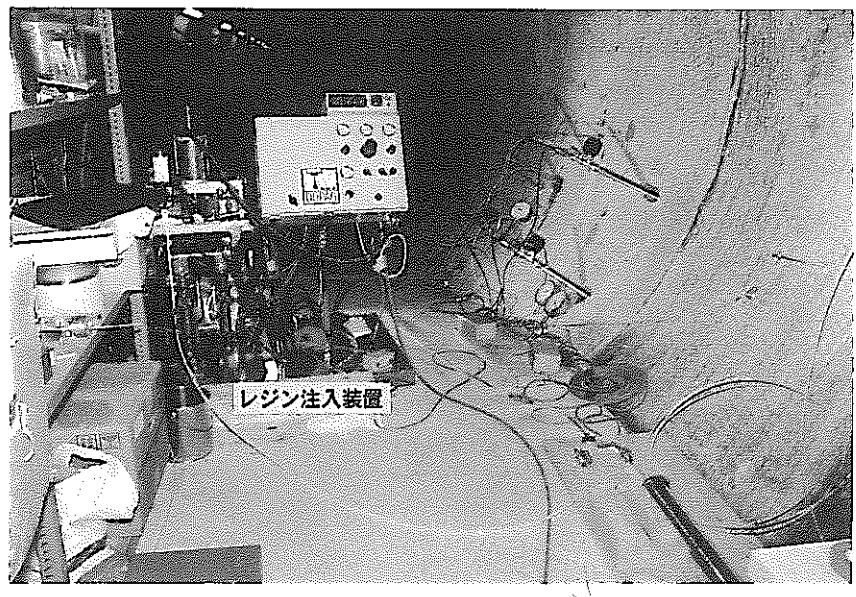


図3. 孔間工ポキシ系レジン注入試験

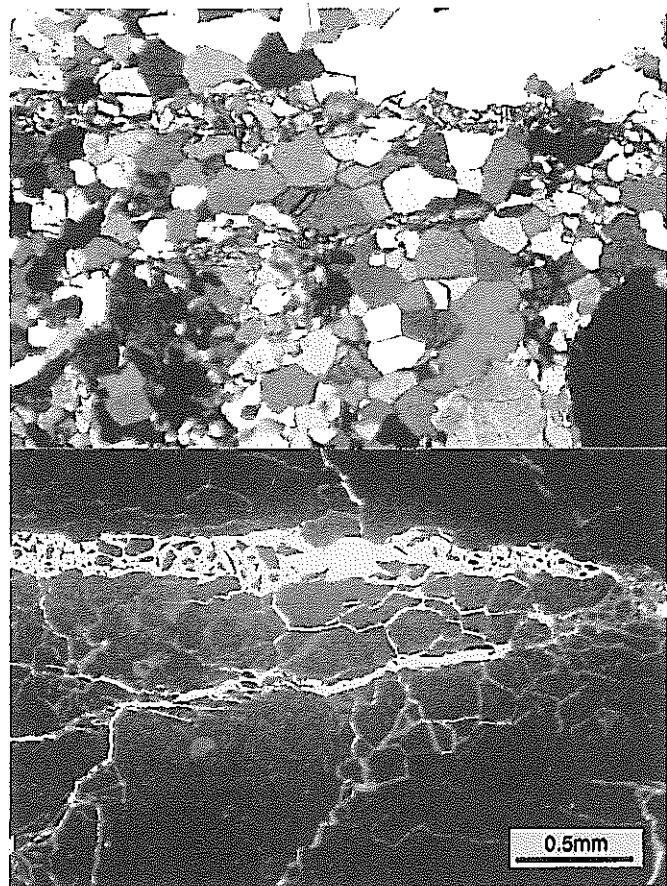


図4. 割れ目破碎部における微視的空隙構造  
(偏光顕微鏡写真／上：直交ニコル、  
下：UVライト)

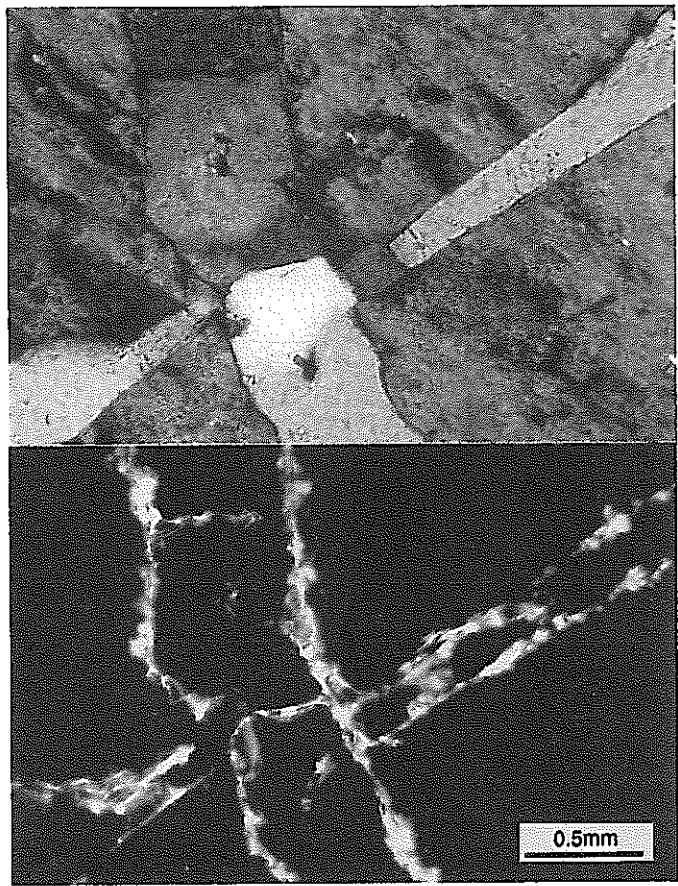


図5. グリムゼル花崗閃緑岩マトリックスにおける微視的空隙構造（鉱物粒界）  
(偏光顕微鏡写真／上：直交ニコル、  
下：UVライト)