

# 広域地下水流动研究

## 年度報告書（平成10年度）

（技術報告）

1999年6月

核燃料サイクル開発機構  
東濃地科学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺959-31  
核燃料サイクル開発機構  
東濃地科学センター  
研究調整グループ

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Co-ordination Group,  
Tono Geoscience Center,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
959-31, Jorinji, Izumi-machi, Toki-shi, Gifu-ken 509-5102,  
Japan

|| 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Developement Institute)  
2000

## [ 目 次 ]

1. はじめに	1
2. 広域地下水流动研究の概要	1
3. 平成10年度の調査研究概要	1
4. 試錐調査	1
4. 1. DH-6号孔	6
4. 2. DH-7号孔	7
4. 3. DH-8号孔	20
4. 4. DH-9号孔	21
5. 地質・地質構造に関する調査・研究	24
5. 1. 目的	24
5. 2. 実施内容	24
5. 2. 1. 地球物理学的調査（空中・地表）	24
5. 2. 2. 解析	25
6. 地下水の水理・地球化学に関する調査・研究	29
6. 1. 地下水の水理	29
6. 1. 1. 表層水理調査	33
6. 1. 2. 深層水理調査	33
6. 1. 3. 地下水の水理に関する解析	37
6. 2. 地下水の地球化学	37
6. 2. 1. 場の理解のための調査	37
6. 2. 2. データの品質管理	37
6. 2. 3. 地下水の地球化学に関する解析	42
6. 3. 地下水の長期観測	42

7. 力学試験の取りまとめ	4 3
8. 調査技術・調査機器の開発	5 1
8. 1. 試錐掘削技術開発	5 1
8. 2. 地質構造調査技術開発	5 1
8. 3. 地下水の水理・地球化学特性調査技術開発	5 2
9. まとめ	5 3
10. 参考文献	5 4

## 1. はじめに

本報告書は「広域地下水流動研究 年度計画書(平成10年度)」(東濃地科学センター, 1998)に基づき、核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)が、岐阜県土岐市に所有する東濃鉱山とその周辺域において実施する広域地下水流動研究について、平成10年度の調査・研究の成果を取りまとめたものである。

## 2. 広域地下水流動研究の概要

広域地下水流動研究は、地層科学研究の一環として平成4年度から岐阜県土岐市にある東濃鉱山、およびその周辺域において進められている。東濃鉱山が位置する東濃地域については、先新第三紀の花崗岩類の基盤を新第三紀堆積岩が覆い、かつ複数の断層が存在するという日本においても普遍的にみられる地質構造を有する。合わせて、サイクル機構が長年にわたって実施してきた東濃ウラン鉱床を対象とした調査研究や地層科学研究の成果として得られた知見や技術が蓄積されている。

本研究では、このような特徴を有する東濃地域において、広域(ここでは地下水流動に関する涵養域から流出域までを含む数km四方以上の領域を指す)における地表から地下深部(ここでは数百m~1,000mを想定)までの地質・地質構造、地下水の水理や水質などを明らかにするために必要な、調査・解析ならびに調査・解析結果の妥当性を評価するための技術の開発を目的とする。

## 3. 平成10年度の調査研究概要

平成10年度は、平成9年度に着手した試錐調査(DH-6, DH-7, DH-8, DH-9)を引き続き実施すると共に、空中物理探査、水理観測他を実施した。予定していた新規試錐調査(4孔)は、実施中の試錐調査が終了する平成11年度以降に延期した。また、空中磁気探査データの解析手法の高度化、水理試験データの再解析他を実施した。さらに、これまでの調査結果を基に地質構造概念モデルおよび水理地質構造モデルの作成、地下水の地球化学データの取りまとめ、および地下水流動解析を進めた。

本計画の平成10年度調査・研究スケジュール(実績)を表3-1~3-2に示す。

## 4. 試錐調査

平成10年度は、昨年度から継続しているDH-6, 7, 8, 9号孔(深度1,000m級)の掘削と調査、および新規にDH-10, 11号孔(深度1,000m級)の掘削準備を実施した。試錐位置を図4-1に、DH-6, 7, 8, 9号孔の概念的な柱状図を図4-2示す。これらの調査で得られた成果は、地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、および岩盤力学の各研究分野へ反映される。なお、これら以外に試錐孔を用いた調査として、地下水の長期観測があるが、これについては5章3節に示した。

表3-1 平成10年度 調査・研究スケジュール (1/2)

↔ 実績

実施項目	平成10年度											
	H10											H11
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1) 試錐掘削を用いた調査												
① DH-6				透水試験	槽の撤去							
② DH-7				採水試験	槽の撤去							
③ DH-8				採水試験	槽の撤去							
④ DH-9					掘削・記載・検層・BTV							槽の撤去
室内試験						試験						
水理試験							透水試験・揚水試験					
採水							採水					
(2) 地質構造および岩盤力学												
空中物理探査(磁気)												調査
電磁探査(MT法)												調査
物理探査手法適用試験												試験
地質学的調査												調査
地質構造概念モデルの作成							データコンパイル・部分モデル作成					

表3-2 平成10年度 調査・研究スケジュール (2/2)

実施項目	平成10年度												↔ 実績		
	H10											H11			
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
(3)地下水の水理															
表層水理調査													機器設置		
水理地質構造モデルの構築													データコンパイル・部分モデル作成		
地下水流動解析													データコンパイル		
水理定数の空間分布の推定法 の開発													調査・開発		
(4)地下水の地球化学															
場の理解のための調査													DH-6,7,8号孔水質分析		
データの品質管理													掘削用水による品質管理の方法検討		
化学組成分布の推定													DH-6,7,8のデータで推定		
水質形成機構の解析													(H11年に延期)		
(5)地下水の長期観測														観測装置の設置 (DH-7)	
間隙水圧長期モニタリング													(平成11年度から観測)		
水質の長期モニタリング													(平成11年度から観測)		

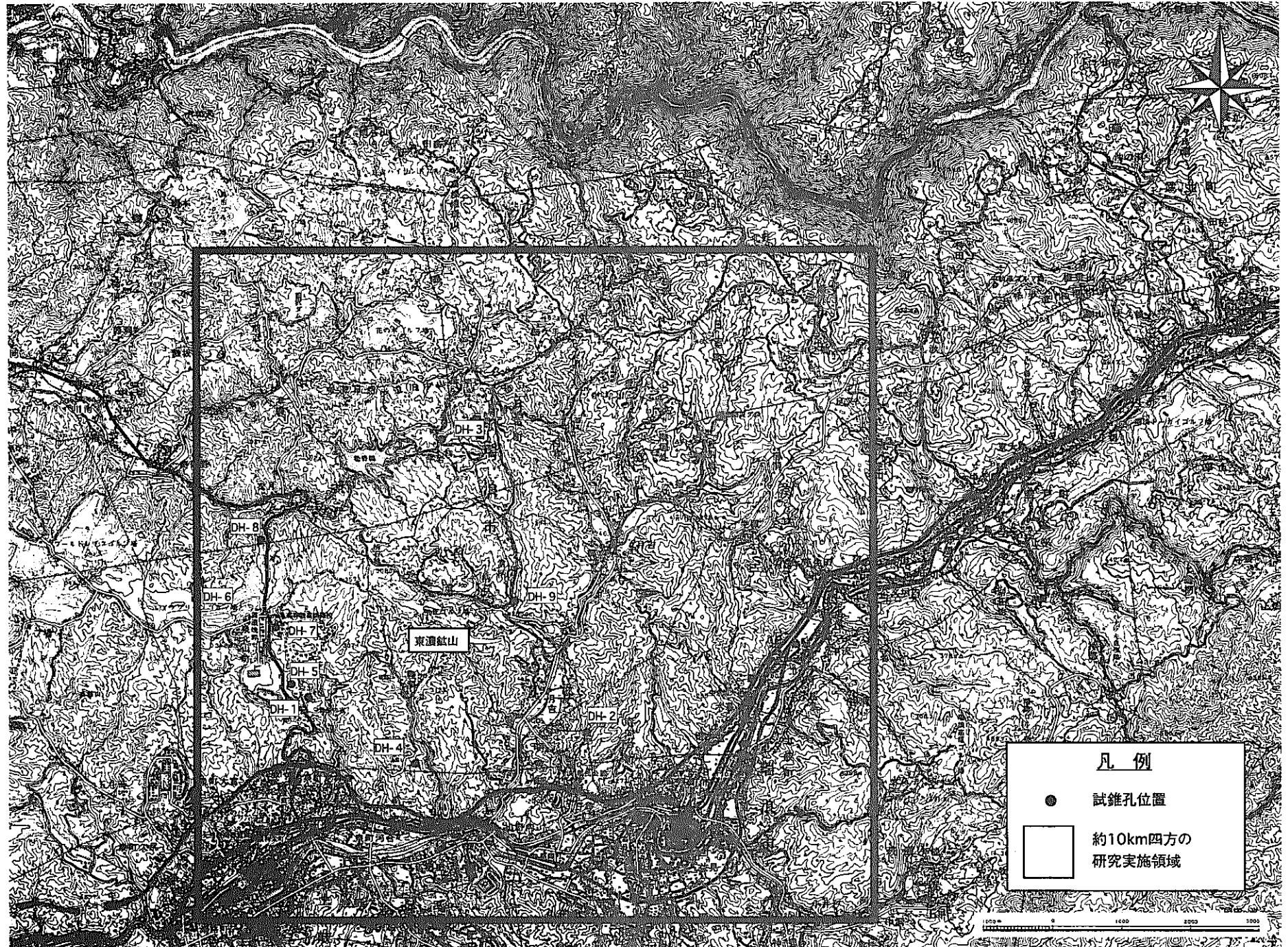
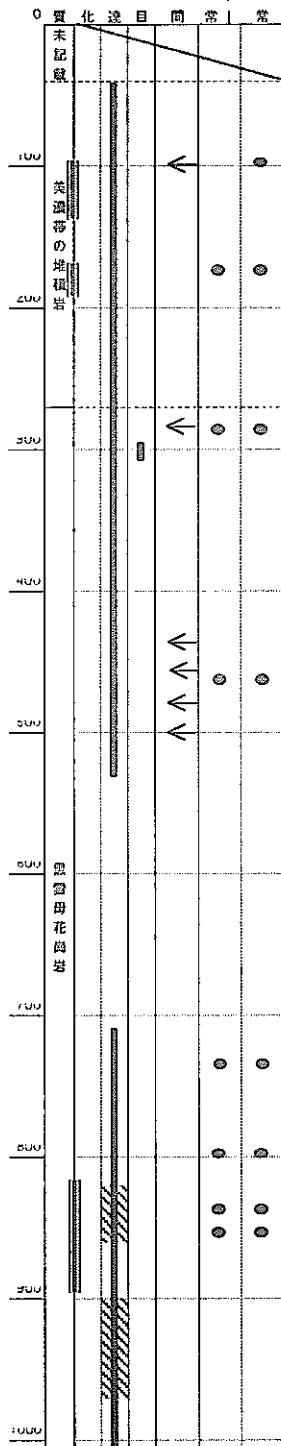


図4-1 試錐掘削位置図

DH-6号孔

掘削長 1,010.9m  
坑口標高 319.3m

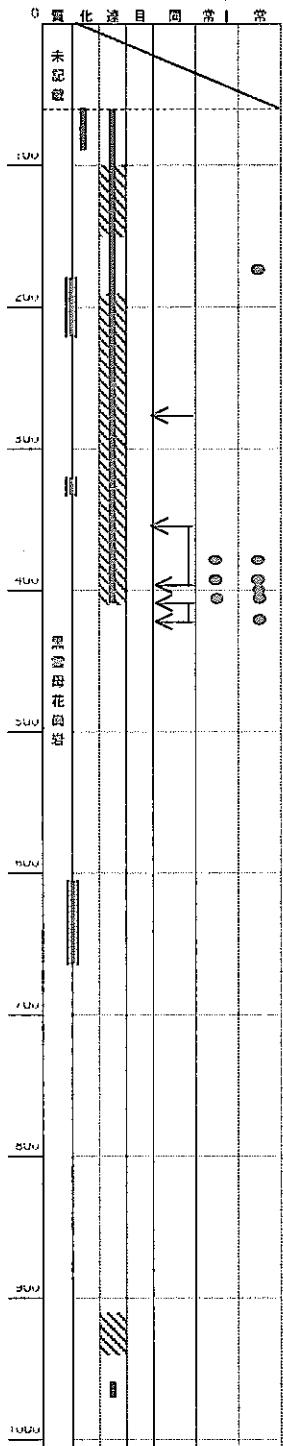
地 風 割 開 送 異 フ ロ  
れ 口 水 一 物 理 檢層  
目 刻 区 メ ター  
発 れ 区



DH-7号孔

掘削長 1,010.0m  
坑口標高 340.2m

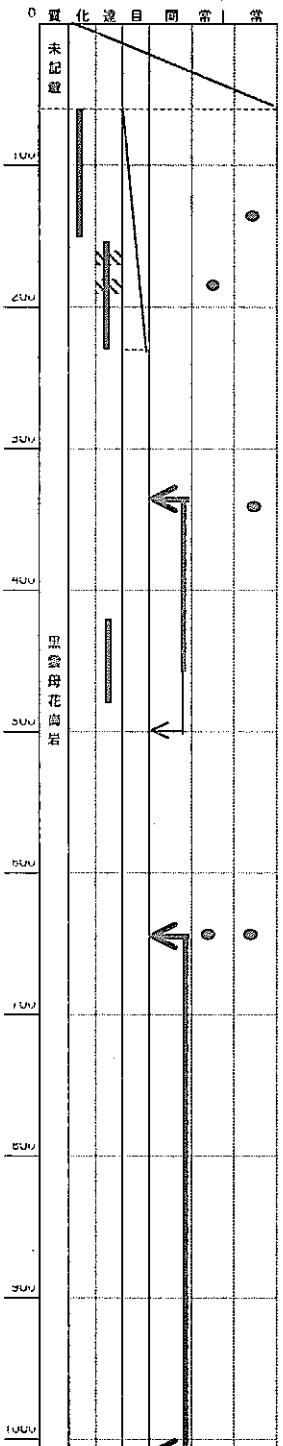
地 風 割 開 送 異 フ ロ  
れ 口 水 一 物 理 檢層  
目 刻 区 メ ター  
発 れ 区



DH-8号孔

掘削長 1,010.0m  
坑口標高 269.8m

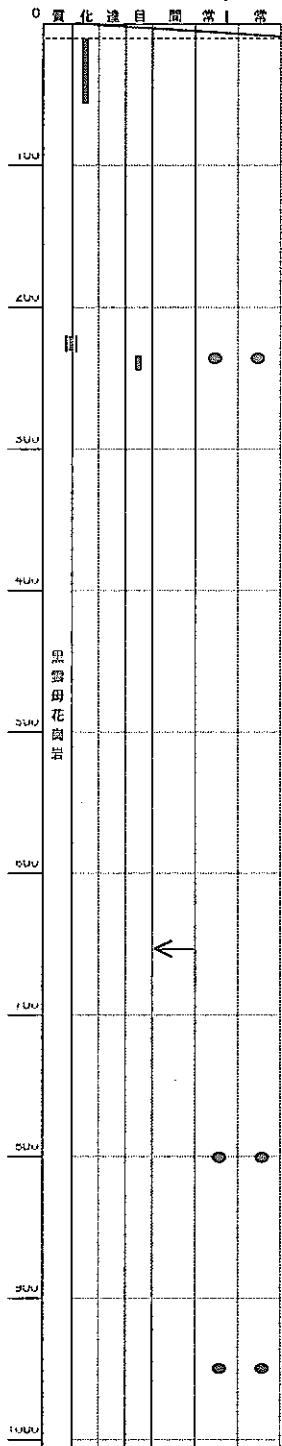
地 風 割 開 送 異 フ ロ  
れ 口 水 一 物 理 檢層  
目 刻 区 メ ター  
発 れ 区



DH-9号孔

掘削長 1,030.0m  
坑口標高 275.4m

地 風 割 開 送 異 フ ロ  
れ 口 水 一 物 理 檢層  
目 刻 区 メ ター  
発 れ 区



岩脈貫入区間  
断層破碎帶  
20~90%の透水  
90%以上の透水

図4-2 試錐孔柱状図

#### 4. 1. DH-6号孔

##### (1) 試錐掘削

平成9年5月に着工し、平成9年11月に掘削を完了、平成10年7月8日に水理試験など現場作業を全て終了した。本孔は深度43.67～267mに美濃帯中生層が、267m以深は土岐花崗岩が分布する。美濃帯中生層は岩質は非常に硬いものの、マイクロクラック等の発達により、試錐孔の掘削では孔壁の崩壊が生じ易く、セメンチング保孔を行ったため、掘削に時間を要した。また、深度97.6～105.6m、282.5～286.0m、430.6～443.2m、456.0～460.7m、472.8～485.2m、499.8～506.8mの各区間で掘削水の20～30%が逸水した。

深度383.50mで断層破碎帯に遭遇し、深度418.60mまで掘削したが、以深の掘削が困難となったため、掘削を一時中断し物理検層および各種試験を行った後、セメンチング保孔を行った。また深度835～845m間および深度990m付近で断層破碎帯に遭遇したが、大きなトラブルには至らなかった。掘削は稼動日の平均で9.53m/dayの進捗であった。

##### (2) 岩芯記載

岩相は、深度43.67m～267mまではホルンフェルス化した美濃帯の礫質砂岩～泥岩、それ以深は孔底(1010.9m)まで主に中粒の黒雲母花崗岩が分布する。美濃帯堆積岩中の深度95.8～134.4mに石英斑岩、169～192mの区間にアプライトおよび花崗岩の薄い岩脈が9本貫入している。花崗岩中の817.3～897.0mには石英斑岩、その内部の835.9～841.5mには玄武岩質の岩脈が貫入している。

深度532mまでと710m以深の花崗岩には割れ目が発達する。その間の深度532～710m区間では割れ目は少ない。石英斑岩および玄武岩質の岩脈中の深度820～860m付近と花崗岩中の900～970m付近には、割れ目帶・破碎帯が存在する。変質は全体に弱いものの、割れ目密度や破碎帯の規模が大きいほど、変質も強くなる傾向が観察された。

##### (3) 物理検層

比抵抗、密度、地層空隙率、ガンマ線強度、P波速度などの物性値を測定した。電気検層による比抵抗では、本孔は9つのゾーンに区分された。掘削時に逸水が生じた部分(深度100m付近、284m付近)や、流体の出入りを示すフローメータ検層で変化が検出された部分(深度170～180m、280～285m、462m付近、735m付近、798m付近、838m付近、855m付近)に、マイクロ比抵抗、自然放射能、中性子、密度、キャリパー検層による変化が検出された。

##### (4) ボアホールテレビ調査( BTV調査 )

全般に北北東～北北西走向で東に60°以上傾斜する高角割れ目が卓越する。深度300m～350m区間では開口性の割れ目が集中しており、卓越方向は北北東走向、約70°東

傾斜となっている。このほか、本孔では目立った分布はしていないが、他孔では低角な割れ目が観察されている。これら土岐花崗岩に見られる代表的な割れ目を図 4-3～4-5 に示した。

#### (5) 岩石鉱物試験

顕微鏡観察の結果、ホルンフェルス化した美濃帯堆積岩は、主に紅柱石-堇青石-黒雲母を含む泥質岩、一部に砂質岩および石灰質岩から構成される。X線回折では、割れ目充填物中の粘土鉱物は、主にセリサイト、スメクタイト、緑泥石からなり、セリサイトは 425m 以浅で多く、スメクタイトは 841～962m の区間の変質・破碎の強い部分で特に多く検出された。全岩組成分析の結果、黒雲母花崗岩、アプライト脈および石英斑岩脈の化学組成は、図 4-6 に示す主成分酸化物組成変化図(ハーカー図)において直線状にプロットされており、同一の生成過程を持つことが推察される。

#### (6) 水理試験

非定常透水試験(パルス法およびスラグ法)を花崗岩および貫入岩(石英斑岩)の亀裂部および花崗岩健岩部で 20 点実施した。透水係数の分布の範囲は健岩部で  $10^{-10} \sim 10^{-12}$  m/sec、亀裂部では  $10^{-9} \sim 10^{-11}$  m/sec である。試験深度と透水性には相関が認められず、かつ花崗岩と花崗岩中の貫入岩とでも試験値に有為な差は認められない。

#### (7) 採水・分析

花崗岩でフローメーター検層で変化が検出された深度(735m)付近の深度 733.0～740.0m の区間からの地下水を採水し各種分析を行った。同時に試錐掘削水の分析も行った。(6章2節参照)

### 4. 2. DH-7号孔

#### (1) 試錐掘削

平成 9 年 5 月に着工し、平成 9 年 11 月に掘削を完了、平成 10 年 7 月 27 日に現場作業を全て終了した。本孔は表層部を除き孔底まで土岐花崗岩が分布する。試錐孔上部では断層破碎帶の影響により、孔壁の崩壊が激しく、清水による掘削に支障をきたしたため、深度 167.00m～424.10m まで泥水掘削を行なった。また、深度 276m、353.2m、365.5～372.4m、379.8～382.0m、391.2～394.2m、398.5m 付近、409.0～412.8m、422.9m 付近において逸水が発生した。深度 61.80～424.10m 区間は拡孔し、物理検層を行った後、ケーシングを設置した。深度 424.10m 以深の掘削は、一部で断層破碎帶に遭遇したが、大きなトラブルには至らず、予定掘削深度に到達した。しかし、深度 916.80～922.40m で粘土の押し出しがあり、清水による浚渫では孔の自立が得られなかったため、押し出し層の上部までの検層・試験を

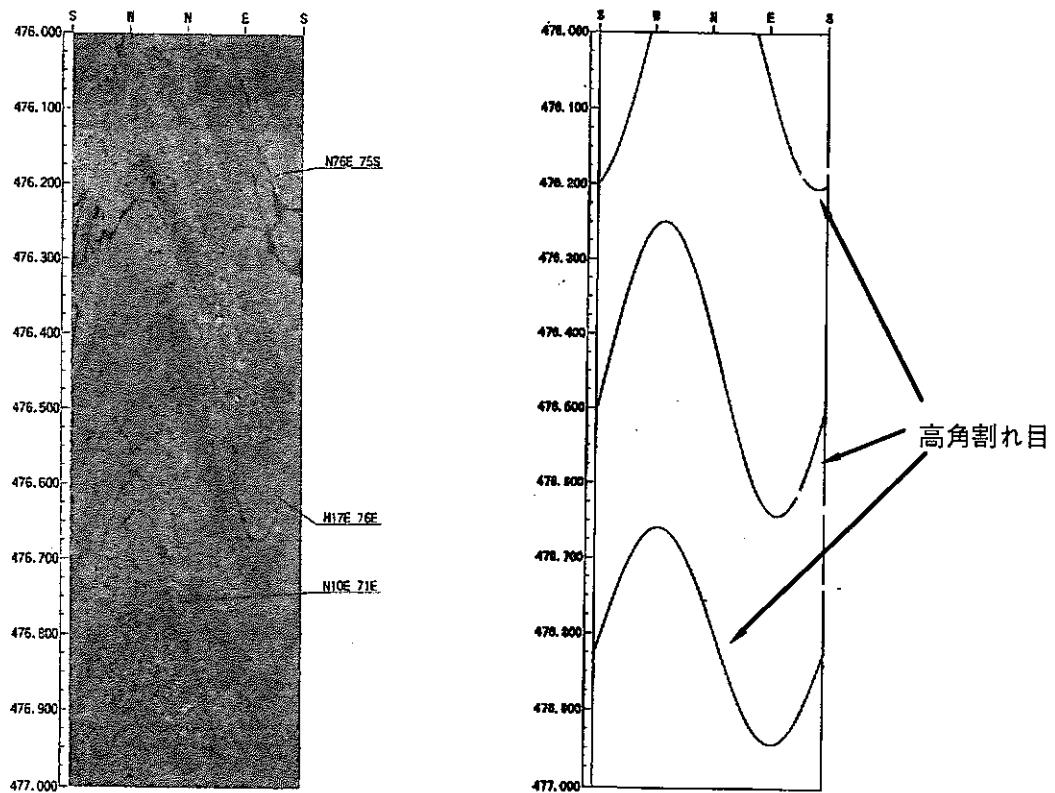


図 4-3 土岐花崗岩での高角割れ目(DH-8)

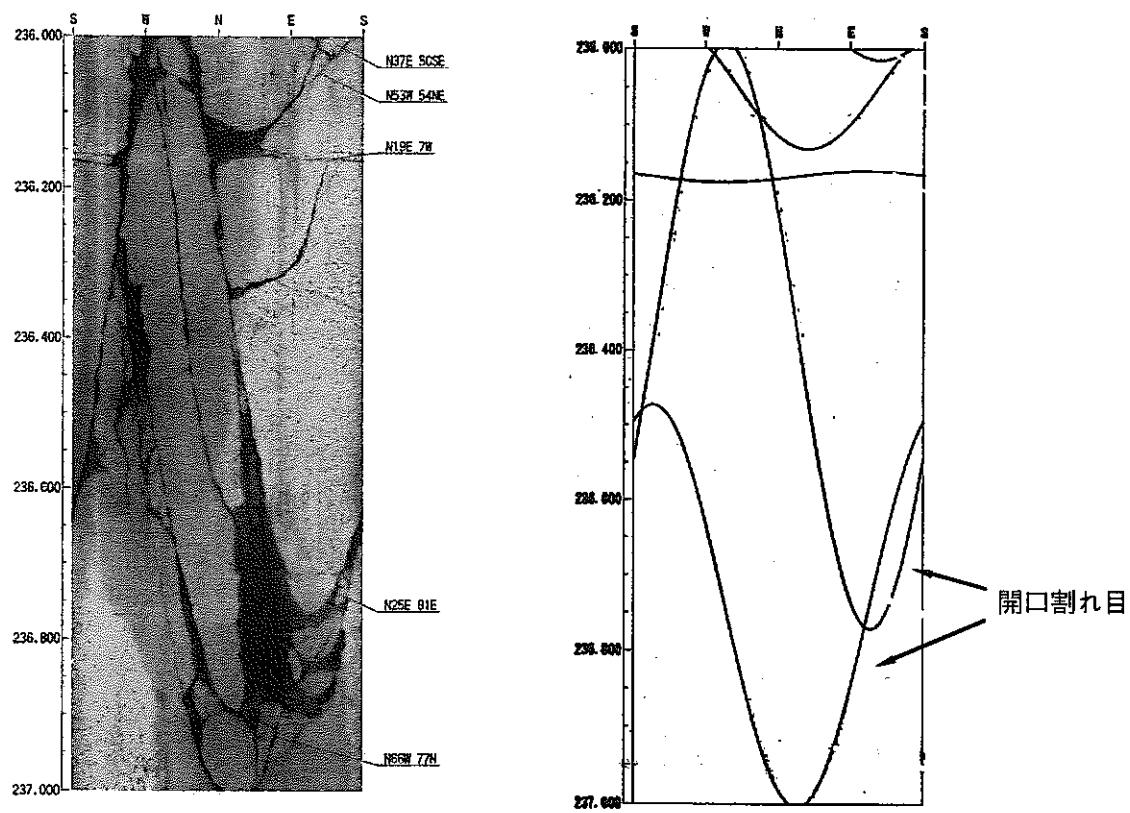


図 4—4 土岐花崗岩での開口割れ目(DH-9)

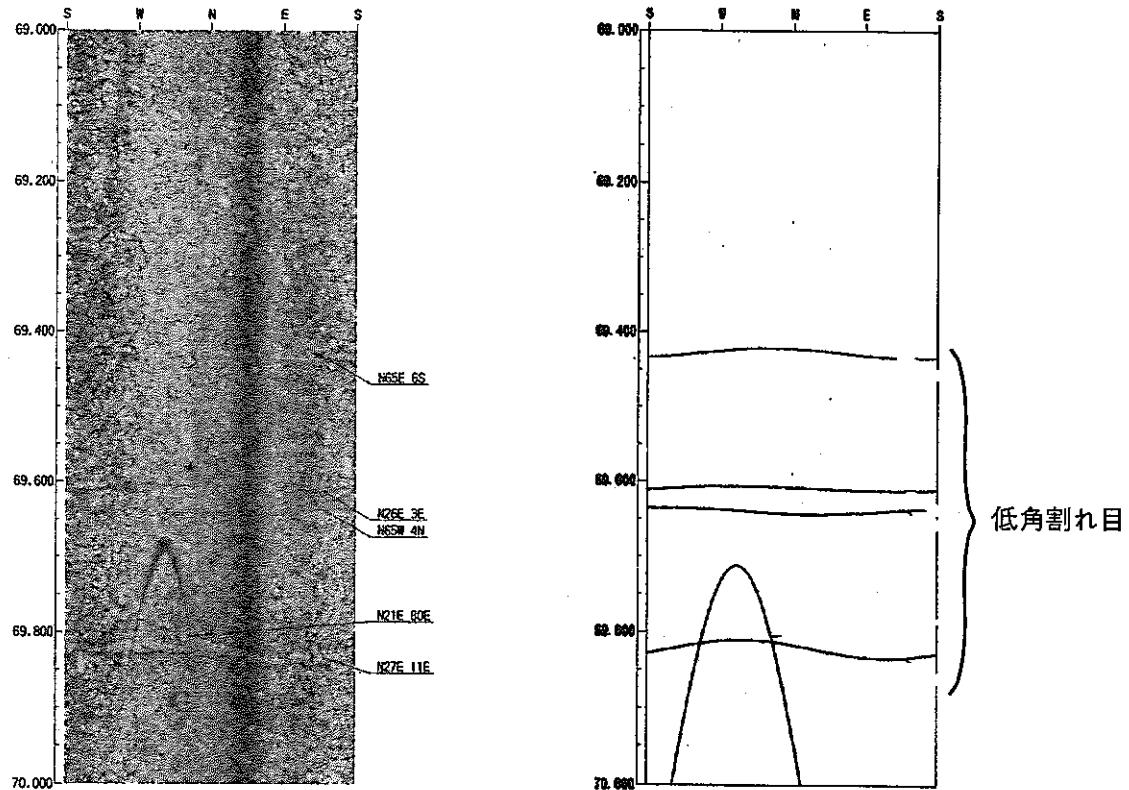
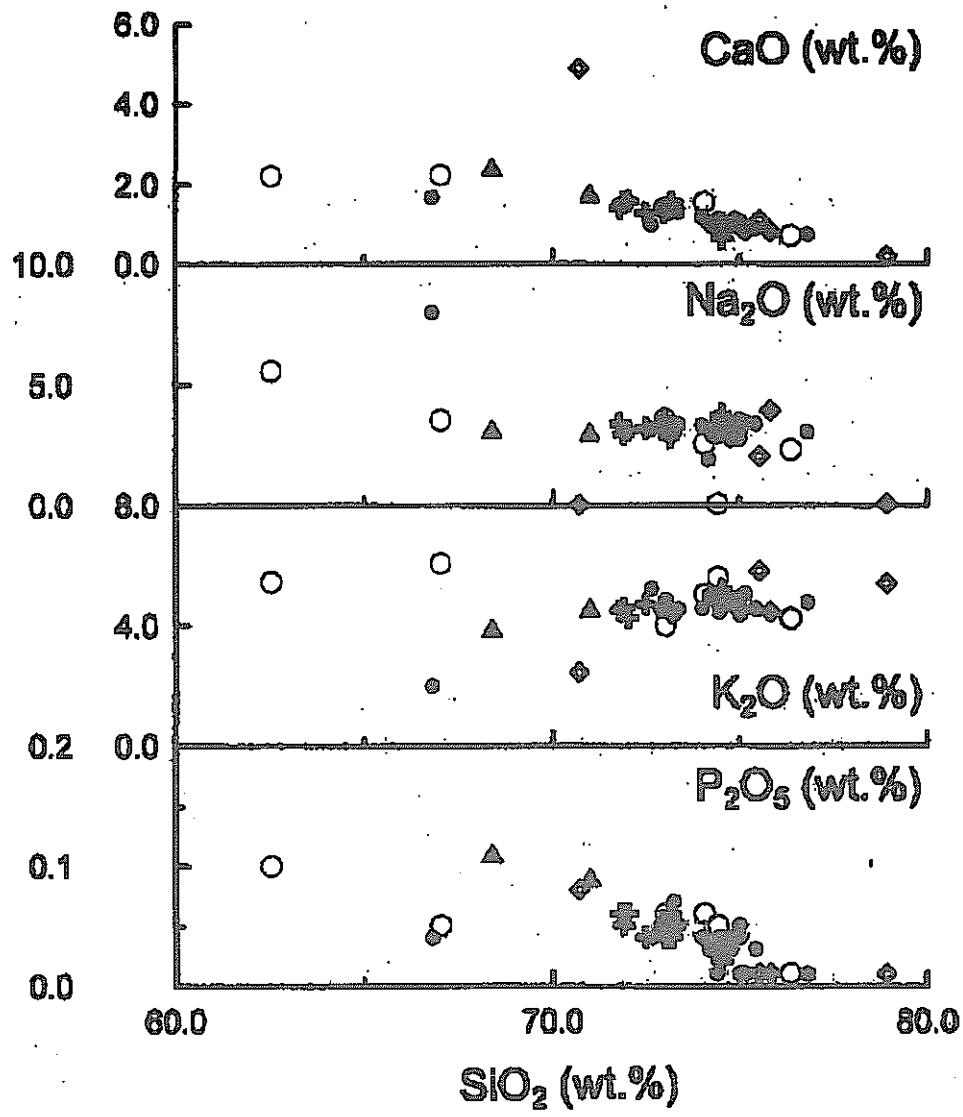


図 4—5 土岐花崗岩での低角割れ目(DH- 9)



### 凡例

- 黒雲母花崗岩
- ◆ アブライト花崗岩～細粒黒雲母花崗岩
- ▲ 暗色包有物
- 変質・破碎黒雲母花崗岩
- ◆ アブライト
- × 石英斑岩

図4-6 DH-6 主成分酸化物組成変化図（ハーカー図）

行った後、セメントで保孔し、下部の検層・試験を行った。掘削は稼動日の平均で 9.44m /day の進捗であった。

## (2) 岩芯記載

岩相は深度 61.8m～孔底(1,012m)まで細粒から粗粒の花崗岩が分布し、深部に向かって粗粒な岩相が卓越する。石英斑岩脈が 179.0～218.8m、322.9～329.4m、606.1～665.9m に貫入している。

深度 87.1m までの風化帯、大規模な断層破碎帶が深度約 100～149m および 190～408m に存在するため、特に深度 408m までは全般的に割れ目が発達している。それ以深は割れ目の少ない健岩部であるが、深度 915～941m には断層破碎帶、958～970m には割れ目帶が存在する。変質は全体に弱いものの、割れ目密度や破碎帶の規模が大きいほど、変質も強くなる傾向が観察された。

## (3) 物理検層

比抵抗、密度、地層空隙率、ガンマ線強度、P 波速度などの物性値を観測した。電気検層による比抵抗から、本孔は8つのゾーンに区分された。掘削時に逸水が生じた部分(深度 276.0m、379.8～382.0m、391.2～394.2m、398.5m、409.0～412.8m、422.9m)や、流体の出入りを示すフローメータ検層で変化が検出された部分(深度 380m 付近、390～395m、400～407m)に、自然放射能、中性子、密度、音波(P 波速度)、キャリバー検層による変化が検出された。

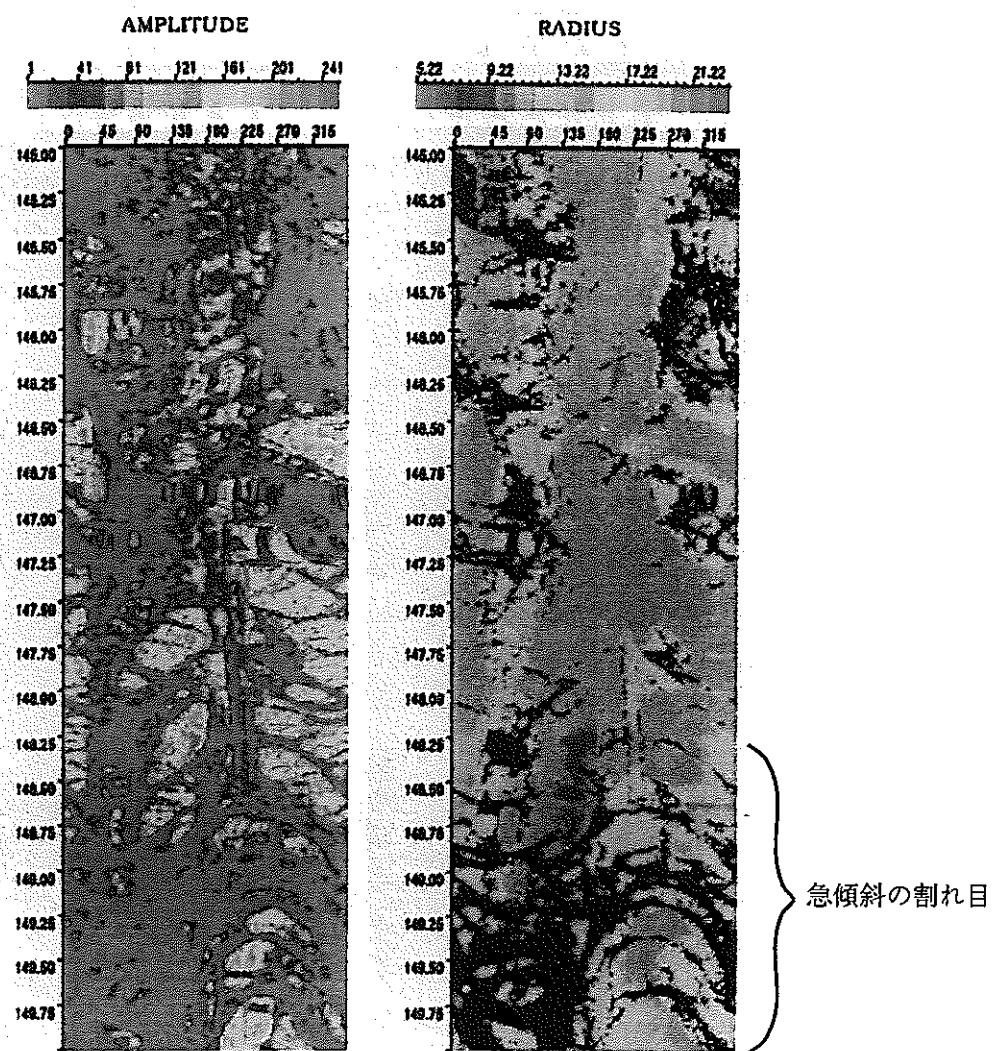
## (4) ボアホールテレビ調査( BTV調査 )

深度 423m 以浅は、泥水掘削のためにボアホール TV 調査が実施出来ず、ボアホールテレビ調査を行った。割れ目の集中方向は深度により変化し、北西～南東走向で北東に急傾斜するものが卓越するが、一部に北東～南西走向で南東に急傾斜するものおよび東西走向で南に急傾斜するものもみられる。ボアホールテレビ画像の代表的なものを図 4-7 に示す。

深度 423m 以深のボアホールTV調査では、550m まではほぼ水平な割れ目が卓越し、それ以深には北東～南西走向で南東に 70° 傾斜するものが卓越する。

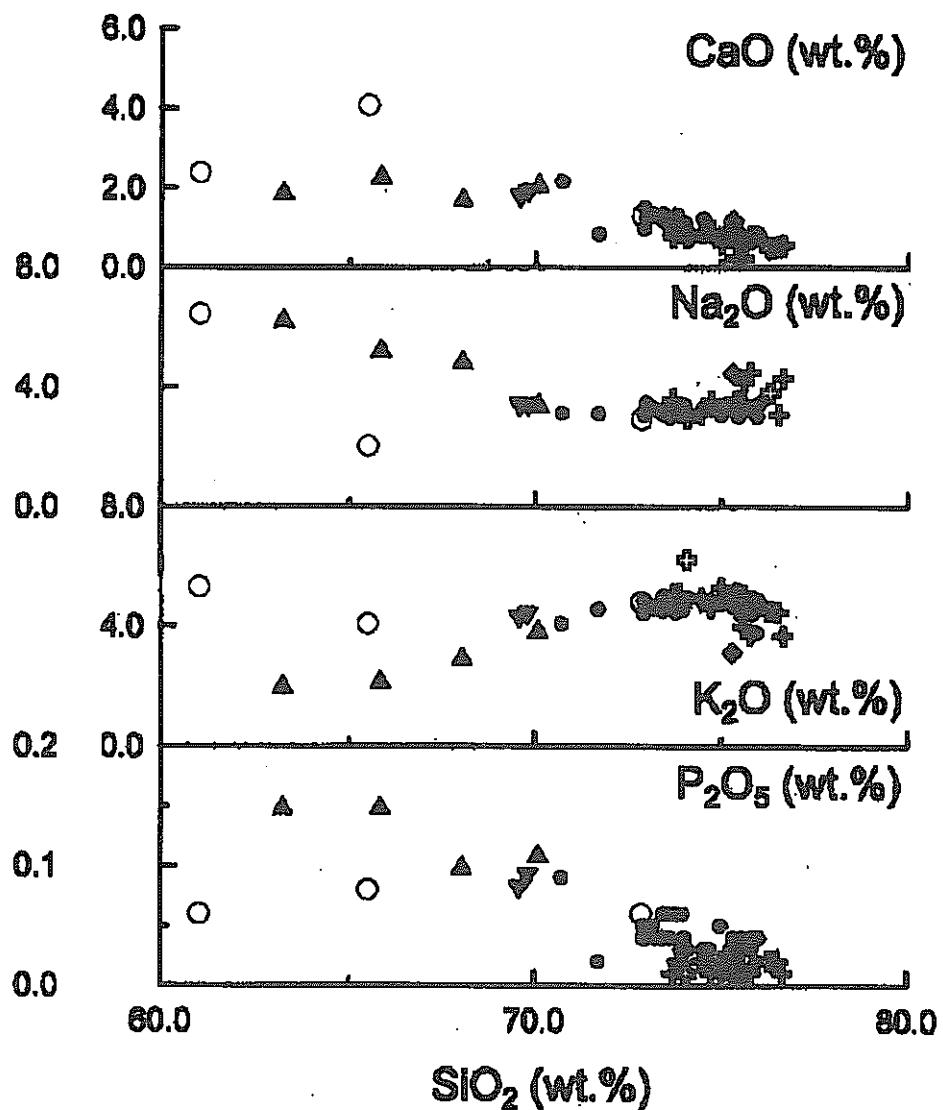
## (5) 岩石鉱物試験

X線回折では、変質部および割れ目充填物中の粘土鉱物は、主にセリサイト、スマクタイト、緑泥石からなり、セリサイトは 475.3m 以深に多く、スマクタイトは 441.3m 以浅、および 895.2～912.8m 区間の変質・破碎の強い部分に多く検出された。全岩組成分析の結果、黒雲母花崗岩、アPLIT脈、ペグマタイト脈、石英斑岩脈の化学組成は、図 4-8 に示す主成分酸化物組成変化図(ハーカー図)において直線状にプロットされており、同一の生成過程を持つ



音波で孔壁を走査し、反射波を検出することで、孔壁の粗さ、堅さ、凹凸などを調べる。  
 AMPLITUDEは反射の強さ（粗さ、堅さ）を示し、RADIUSは、凹凸を示している。

図4-7 ボアホールテレビュアーの映像(DH-7)



凡例

- 黒雲母花崗岩
- ▼ 斑状黒雲母花崗岩
- ▲ 暗色包有物
- 变質・破碎黒雲母花崗岩
- ◆ アブライト
- × ペグマタイト
- + 石英斑岩

図4-8 DH-7 主成分酸化物組成変化図（ハーカー図）

ことが推察される。

#### (6) 水理試験

非定常透水試験(パルス法およびスラグ法)を花崗岩の亀裂部で 14 点実施した。透水係数の分布は  $10^{-8} \sim 10^{-12}$ m/sec の範囲にある。試験深度と透水性には相関が認められない。

#### (7) 採水・分析

割れ目の少ない健岩部の深度 560.5～567.0m、833.5～840.0m、および 880.0～886.5m の 3 区間から地下水を採水し各種分析を行った。(6章2節参照)

### 4. 3. DH-8号孔

#### (1) 試錐掘削

平成 9 年 5 月に着工し、平成 9 年 11 月に掘削を完了、平成 10 年 6 月 18 日に現場作業を全て終了した。本孔は孔口から孔底まで土岐花崗岩類が分布する。深度 141.4m掘削中に深度 100m で孔曲がり測定を行ったところ傾斜角 1 度 40 分を記録したため、深度 63m より修正掘削を行った。深度 224.00m にて全量逸水が発生し、掘削を続けたところ深度 227.40m にてロッドが抑留された。事故発生から約 3 週間回復作業を行ったが、回復できなかつたため、孔芯を 5.00m 移動して再掘削を行った。

深度 424.00m 付近で断層破碎帯に遭遇し崩壊の兆候があつたため、深度 424.00～475.00m 間に 3 度のセメント保孔を行った。また、深度 136.0m 付近、224.0m 付近、338.3～339.3m、643.2m 付近において逸水が発生した。深度 643.2m 付近では全量逸水(60l/min)が発生し、以後掘削を終了するまで回復はみられなかつたが、大きなトラブルには至らなかつた。掘削は、孔芯移動後の稼動日平均で 18.03m/day の進捗であった。

#### (2) 岩芯記載

岩相は 63.0m～孔底(深度 1,010.0m)まで主に粗粒な花崗岩が分布する。浅部から深部にかけて、黒雲母が濃集する暗色包有物が他孔より比較的多く観察される。700m 以深には幅 1m 以下のアプライト脈が数本貫入している。

深度 151.1m までは風化帯が形成されている。深度 151.1～229.8m の区間には、深度 164.9～169.0m および 185.9～191.2m の断層に伴われる破碎帶・割れ目帯が存在する。深度 419.2～477.1m には高角割れ目に伴われる破碎帶が観察される。それ以外は、割れ目の少ない健岩部である。変質は全体に弱いものの、割れ目密度や破碎帶の規模が大きいほど、変質も強くなる傾向が観察された。

### (3) 物理検層

比抵抗、密度、地層空隙率、ガンマ線強度、P波速度などの物性値を観測した。電気検層による比抵抗から、本孔は8つのゾーンに区分された。掘削時に逸水が生じた部分(深度136m, 339m, 643.2m以深)や、流体の出入りを示すフローメータ検層で変化が検出された部分(深度185m, 642~646.3m)に、比抵抗、マイクロ比抵抗、中性子、密度、音波(P波速度)、キャリパー検層による変化が検出された。

### (4) ボアホールテレビ調査( BTV調査 )

本孔全般にわたり、傾斜15°以下のほぼ水平な割れ目が卓越する。深度151.1~229.8mの区間で岩芯で観察された断層破碎帯の走向・傾斜は、拡孔による孔径拡大と孔内水の濁りのため測定不能であった。深度419.2~477.1mの破碎帯中の割れ目は、北西走向で北東および南西に70°以上傾斜するものが卓越し、次いで東西走向で南に75°傾斜するものが多く認められる。

### (5) 岩石鉱物試験

X線回折によれば、変質部および割れ目充填物中の粘土鉱物は、主にセリサイト、スメクタイト、緑泥石からなる。各粘土鉱物の相対量比と変質・破碎の強さには明瞭な相関は認められない。全岩組成分析の結果、黒雲母花崗岩、暗色包有物、アプライト脈の化学組成は、図4-9に示す主成分酸化物組成変化図(ハーカー図)において直線状にプロットされており、同一の生成過程を持つことが推察される。

### (6) 水理試験

非定常透水試験(パルス法およびスラグ法)を花崗岩の亀裂部および健岩部で20点実施した。透水係数の分布の範囲は $10^{-7} \sim 10^{-12}$ m/secであり、健岩部と亀裂部で透水係数に差は無く、また試験深度と透水性の間に相関は認められない。透水係数の分布はDH-6, 7に比べ全体に1から2オーダー程度、高くなっている。

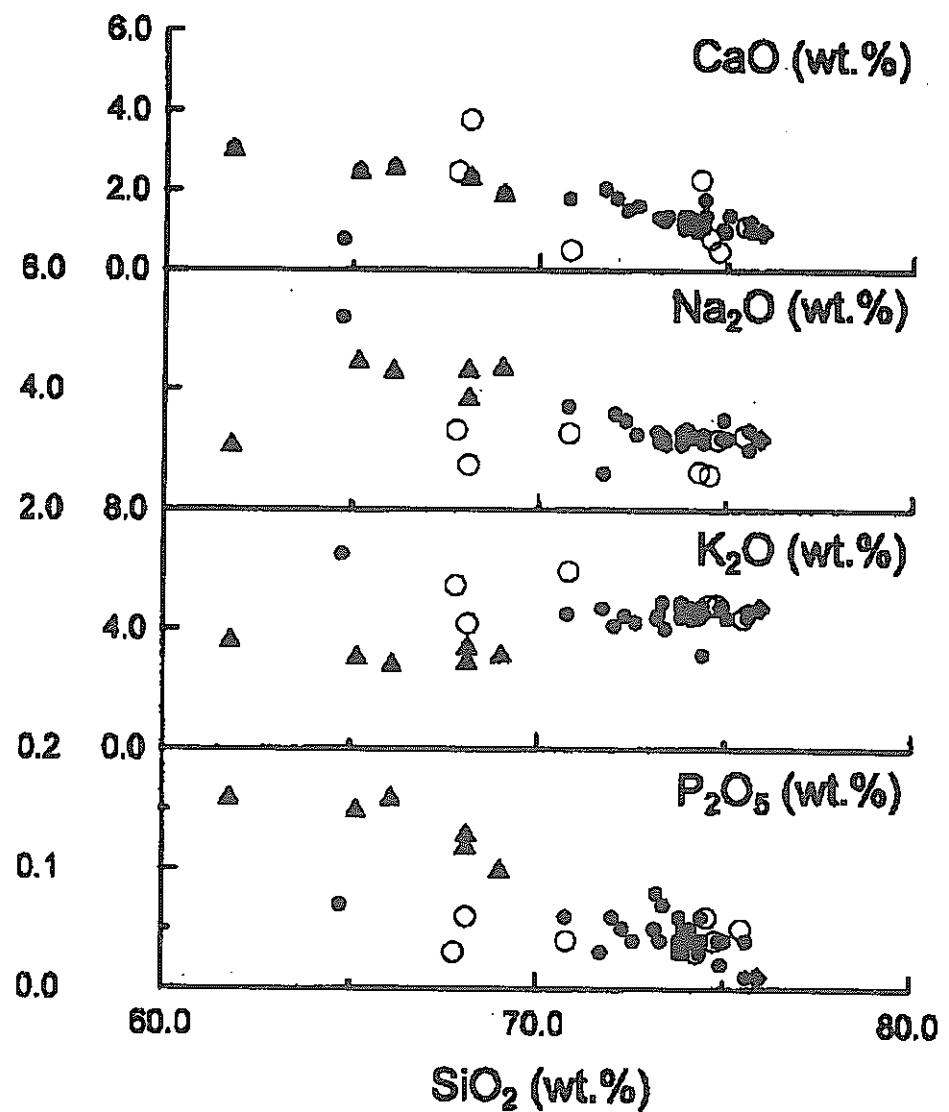
### (7) 採水・分析

全量逸水部(643.2m)を含む深度641.5~648.0mの他、健岩部の693.5~700.0m、745.5~752.0m、869.0~875.5m、975.0~981.5mの5区間から地下水を採水し各種分析を行った。(6章2節参照)

## 4. 4. DH-9号孔

### (1) 試錐掘削

平成10年1月に着工し、平成10年9月に掘削を完了、平成11年2月に現場作業を終



**凡例**

- 黒雲母花崗岩
- ▲ 暗色包有物
- 疣質・破碎黒雲母花崗岩
- ◆ アPLIT花崗岩

図4-9 DH-8 主成分酸化物組成変化図(ハーカー図)

了した。本孔は深度 6.7m 以深より孔底まで土岐花崗岩が分布する。掘削は HQ ワイヤーライン工法(コアリング)と PQ ウエルマン工法(東濃地科学センター、登録準備中)を併用して行った。深度 240m 付近で 6l/min、深度 650.8～655.2m 間で 30l/min の逸水が発生したが、ウエルマン工法により逸水を抑制した。掘削に影響を及ぼす破碎等ではなく、HQ ワイヤーライン工法で孔底(1030m)まで、また PQ ウエルマン工法は 1020m まで併用して掘削した。掘削は稼動日の平均で HQ ワイヤーライン工法が 11.66m/day、PQ ウエルマン工法が 10.77 m/day の進捗であった。

#### (2) 岩芯記載

岩相は 6.7m までは瀬戸層群の砂礫層、それ以深は 1030.0m(孔底)まで黒雲母花崗岩が分布する。黒雲母花崗岩は主に中粒の岩相からなり、一部に細粒および粗粒な岩相が観察される。深度 147～380m の区間の岩相は不均質で、細粒～粗粒、斑状～等粒状の組織変化が繰り返し、アプライトおよびペグマタイトの細脈、暗色包有物(黒雲母濃集部)が多く観察される。223.2～230.7m には花崗閃緑岩質の岩脈、278m 付近には流理構造が認められた。920m 以深には幅 20cm 以下のアプライト細脈が頻繁に貫入している。

深度 55.5m まで風化帯が発達する。それ以深は、健岩部と鉛直～高角割れ目帶および破碎帶が繰り返し分布する。大規模な断層は存在せず、それらの破碎帶は、鉛直～高角割れ目に伴い角礫化～砂状化した部分である。変質は全体に弱いものの、割れ目密度や破碎帶の規模が大きいほど、変質も強くなる傾向が観察された。

#### (3) 物理検層

比抵抗、密度、地層空隙率、ガンマ線強度、P 波速度などの物性値を観測した。電気検層による比抵抗では、本孔は 12 のゾーンに区分された。流体の出入りを示す温度検層フローメータ検層で変化が検出された部分(深度 238m 付近、801m 付近、951m 付近)に、比抵抗、マイクロ比抵抗、中性子、密度、音波(P 波速度)、キャリパー検層のいずれかで変化が検出されている。

#### (4) ボアホールテレビ調査( BTV 調査 )

深度 300m まではほぼ水平な割れ目が卓越し、より少ないながら鉛直な割れ目も存在する。それ以深は深度により卓越方向が異なるが、西北西～東西～東北東走向で 70° 以上南あるいは北に傾斜する高角割れ目が卓越し、低角割れ目は少ない。開口割れ目のほとんどは急傾斜で、逸水(240m 付近)やフローメーター検層での変化(238m 付近)が検出された深度を含む 200m～240m 区間に集中している。

#### (5) 岩石鉱物試験

試験結果は現在解析中であるが、以下のことが判明しつつある。顕微鏡観察およびモー

ド測定の結果、花崗岩のほとんどは含角閃石黒雲母アダメロ岩であり、二次鉱物である緑泥石と方解石のモード比は、割れ目密度や破碎の程度の高い部分で高くなる傾向がある。X線回折の結果、割れ目充填物および破碎部の粘土鉱物は、主にスメクタイト、緑泥石、セリサイト、方解石からなり、一部にカオリナイトを含む。各粘土鉱物の相対量比と変質・破碎の強さには明瞭な相関は認められない。全岩組成分析の結果、岩芯観察による黒雲母花崗岩、暗色包有物、花崗閃緑岩質岩脈の化学組成は、同一の生成過程を持つことが考えられる。

#### (6) 水理試験

非定常透水試験(パルス法およびスラグ法)と定常透水試験(揚水試験)で計6点実施した。透水係数は健岩部で  $10^{-12}$ m/sec、亀裂部で  $10^{-6} \sim 10^{-8}$ m/sec である。亀裂部における試験深度と透水性の間に相関は認められない。

#### (7) 採水・分析

逸水や開口亀裂のみられた深度 228.0～234.5m の他、健岩部の 312.9～319.4m、957.3～963.8m の 3 区間から地下水を採水し各種分析を行った。(6章2節参照)

### 5. 地質・地質構造に関する調査・研究

#### 5. 1. 目的

地質・地質構造に関する研究では、地下水の主要流動経路の特定や水質形成機構の解明などの観点から、水みちと成り得る断層や割れ目帯などの位置、連続性、性状を把握する。

本年度は、研究実施領域でのこれら地質構造ならびに地質環境の特性を把握するため、第4章に示す試錐調査および下記の各種試験を実施した。さらに、各調査の結果を解析し、地質構造概念モデルを作成した。

#### 5. 2. 実施内容

##### 5. 2. 1. 地球物理学的調査(空中・地表)

###### (1) 空中物理探査

岩盤の諸物性値の把握、岩相境界の抽出、断層などの断裂系の検出のため、約 10km 四方の研究実施領域において、ヘリコプターによる自然放射線探査と電磁法探査(電磁探査、磁気探査、周波数領域磁気探査、VLF 法探査)を実施した。また、本調査の実施にあたり、測定の詳細仕様を決定するための予備調査を東濃鉱山周辺域(2.5 × 1.6km)で実施した。予備調査の結果より本調査の観測仕様を、自然放射線探査では飛行高度(観測高度)

100m・速度約90km/h・データ取得間隔1回/secとし、電磁法探査では飛行高度90m・観測高度60m・速度約50km/h・データ取得間隔10回/secとした。

その結果、比抵抗、全磁力、 $\gamma$ 線強度などの地球物理学的な特性の平面的な分布が把握され、これにより堆積岩、花崗岩などの分布が推定された。また、これまでに推定されている基盤花崗岩上面のチャンネル構造のような地質構造に対して、調和的な調査結果となつた。

## (2) 電磁探査(MT法)

約10km四方の研究実施領域の基盤面の形状や基盤内の変質帯や破碎帯などの分布を把握するために、電磁探査(MT法)を実施した。比抵抗水平断面を図5-1に示す。

その結果、堆積層や基盤花崗岩などの分布に対応した比抵抗構造が把握され、これにより基盤花崗岩上面のチャンネル構造などの地質構造が推定された。また比抵抗構造から推定される堆積層の層厚変化や花崗岩浅部の割れ目卓越部の分布は、過去の試錐調査から推定された地質構造に対して、整合的な調査結果となつた。よって、当手法は堆積層や花崗岩の分布およびチャンネル構造や割れ目卓越部の地質構造を把握するために有効な手法と判断される。

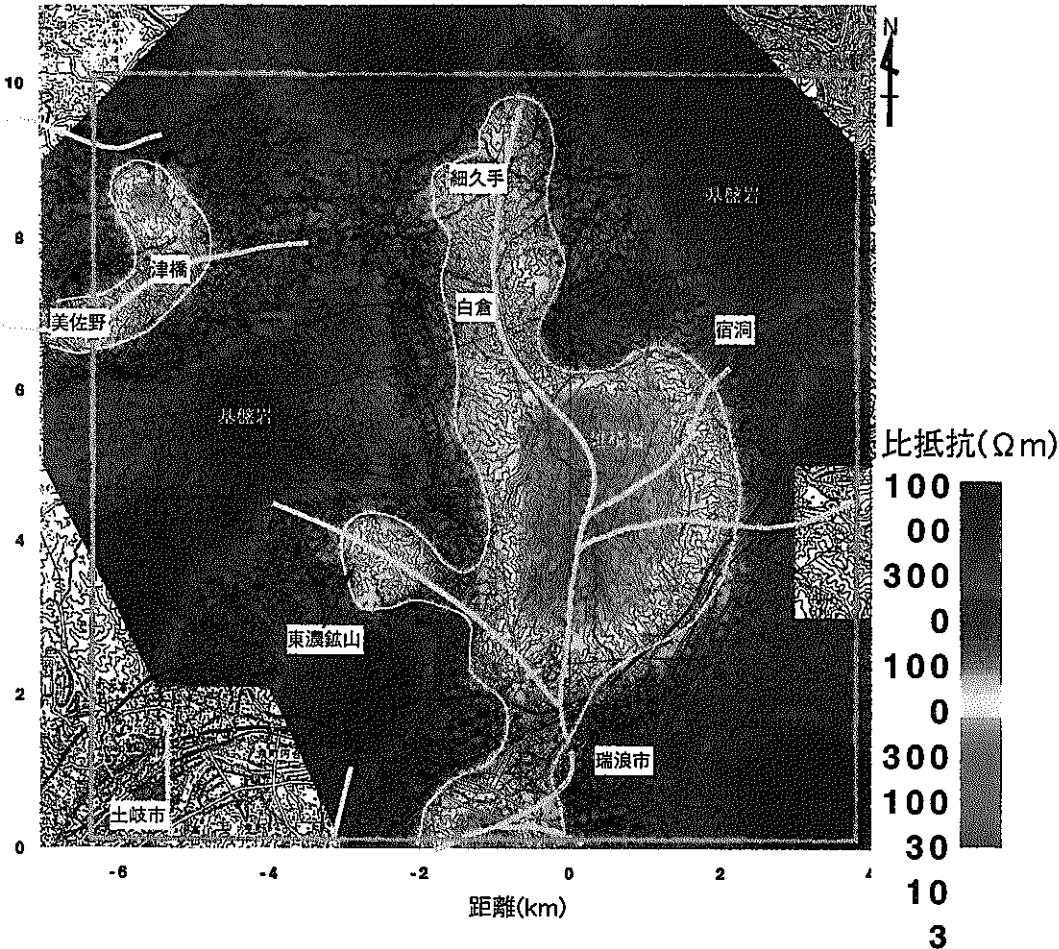
## 5.2.2. 解析

これまでに取得された試錐調査結果をとりまとめ、土岐花崗岩の地質構造を三次元的に把握し、個々の地質構造について水理学的特性との対応を念頭に置いて評価を行つた。また、これらの検討結果を基に、地質構造のモデル化を行つた。

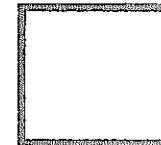
### (1) 地質学的調査

DH-6, 7, 8, 9号孔の岩芯観察、ボアホールTV調査、岩石鉱物試験の結果を総合的に解析し、以下の知見を得た。

DH-6, 7, 8号孔は土岐花崗岩体の西縁部に位置し、DH-6号孔では美濃帶堆積岩との境界を確認した。これらの3孔を含む領域では、花崗岩は細粒～粗粒の黒雲母花崗岩からなり、概略的には南西部の浅部側に細粒～中粒岩相が、北東部の深部側に粗粒岩相が分布する。全岩化学組成の深度方向のトレンドは、各孔とも同様な傾向を示し、一連の岩体であると考えられる。花崗岩中には比較的大規模な石英斑岩脈が貫入しているが、それらは地表露頭や各試錐孔間で連続するものは確認されていない。DH-6, 7, 8号孔における割れ目の方向性の特徴はそれぞれ異なり、各孔間で連続するものはみられない。DH-7号孔の深度190～408mの断層破碎帯は、ボアホールレビュアーの詳細な解析結果によると、ほぼ南北走向・西傾斜とほぼ東西走向・南傾斜の2つの断層が複合したものと推定される。このうち南北系の断層は、南方の定林寺湖西岸の地表露頭の断層に連続する可能性がある。さらに、この断層は北方の美佐野鉱床付近から南部に延びる次月断層に連続する可能性があ



凡例



広域地下水流动研究  
実施領域(約10km四方)



チャンネル構造  
(日本のウラン資源(II)・  
動燃1988より抜粋)

80  $\Omega \cdot m$ の比抵抗境界  
(基盤岩と第3紀以降の  
堆積層との境界と推定)

図5-1 地表電磁探査による標高200m水平断面図

ある。

DH-9号孔は土岐花崗岩の中央部に位置し、上記3孔に比べてやや不均質な岩相を呈し、少量の角閃石を含むという点で異なっている。今後は、他の試錐孔および地表露頭との詳細な対比を行う予定である。

掘削中に逸水が生じた付近および検層によって計測値に変化が認められた深度には、高透水性の割れ目が存在する可能性が考えられる。岩芯や試錐孔を用いた調査により透水性割れ目であることを確認し、その特性や空間的な連続性を把握する手法を開発することが今後の課題である。

## (2) 地質構造概念モデルの作成

地表踏査、表層水理調査の浅層試錐(MC-35～38号孔)、深層水理調査の試錐孔(DH-5、6、7、8号孔)のデータが取得されている、研究実施領域の西部を手始めとして、地質構造概念モデルの作成を開始した。作成中のモデルを図5-2に示す。このモデルでは、作業を容易にするため、新第三紀以降の堆積岩、美濃帯の堆積岩、花崗岩の3つの岩相に区分し、また、今回モデル化の対象とした領域において分布が確認または推測される下記の3つの断層を、モデル化領域全体に連続し、かつ変位が無いという条件で示した。

### ①月吉断層：

モデル化した領域の南方境界の東西系南傾斜の断層

### ②次月断層：(DH-7の南北系断層:定林寺湖西岸の地表に連続すると仮定)

地下深部から地表に連続する断層

### ③F7断層：(仮称:DH-7の東西系断層)

地下深部から地表付近に連続する断層

今後、岩相区分をさらに細分化し、断層については、配置や位置および形成順序が不明確であるため、複数のケースを設けてそれぞれをモデル化する方針である。さらに、DH-9号孔等、他の試錐孔のデータを用いて10km四方の研究実施領域全体の地質構造概念モデルを作成する予定である。

## 6. 地下水の水理・地球化学に関する研究

### 6. 1. 地下水の水理

地下水の水理に関する研究では、表層から地下深部までの地下水の動水勾配、岩盤の水理学的特性、および水みちや遮水壁的な役割を果たすと考えられる地質構造要素(断層や割れ目帯など)の水理学的特性を把握する。また、本研究では亀裂性岩盤(花崗岩)が主な研究対象となるため、亀裂性岩盤を対象とした地下水流動調査・解析手法の検討を行う。

本年度は、研究実施領域でのこれら水理学的特性を把握するため、第4章に示す試錐孔を

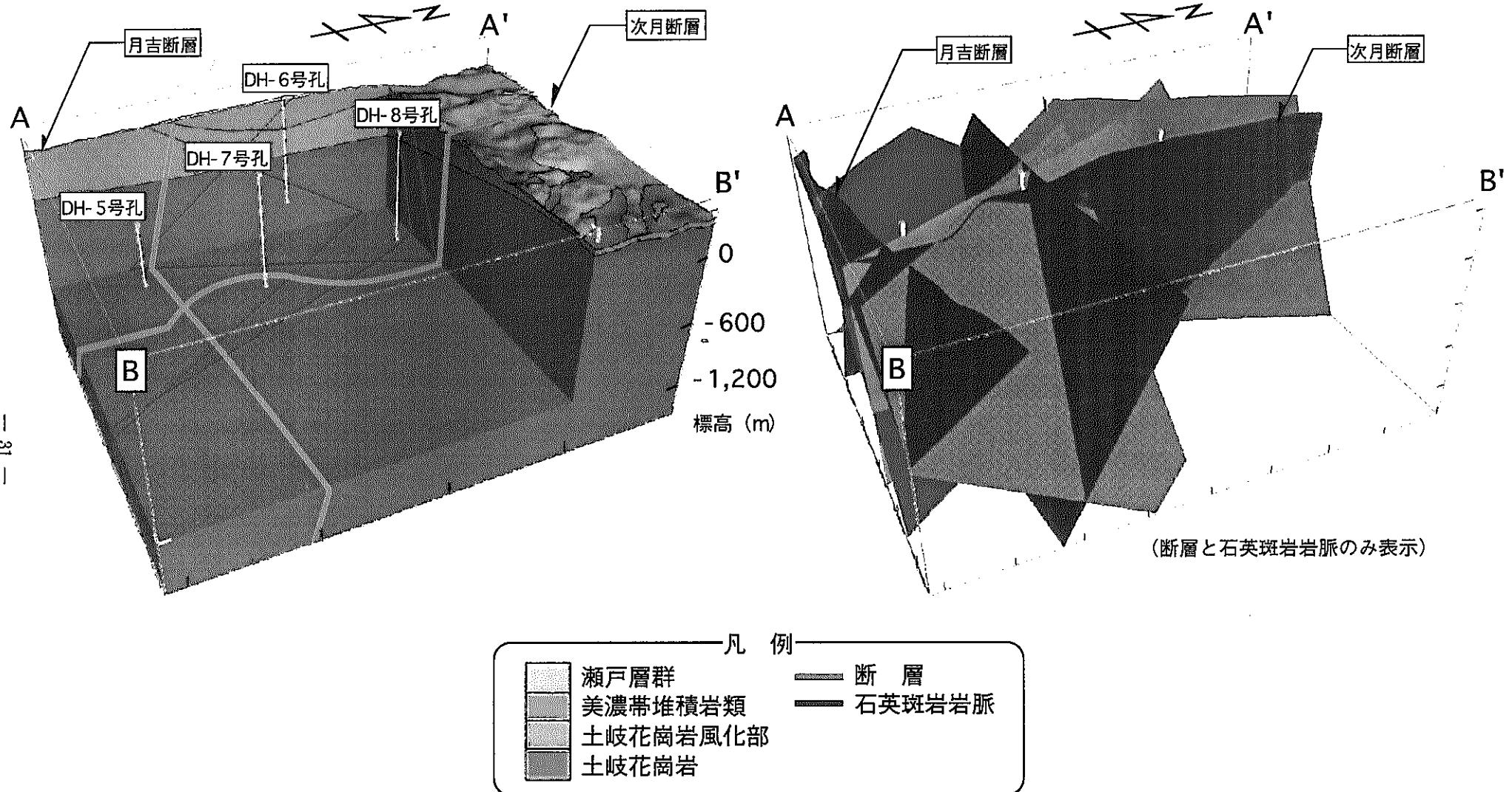


図5-2 作成中の三次元地質構造概念モデル

用いた深層水理調査を実施した。さらに、地質構造概念モデルを基に水理地質構造モデルを作成し、地下水流动解析の解析条件を検討した。

### 6. 1. 1. 表層水理調査

表層に分布する未固結砂礫層から基盤岩への地下水の涵養量を推定することを目的として、表層付近での堆積構造、基盤岩風化部を含めた未固結砂礫層での地下水の流动特性および不飽和特性の把握、さらにこれら特性の地質構成による違いを把握するため、浅層試錐孔、気象観測装置、土壤水分計、地下水位計、河川流量計等を組み合わせた表層水理観測システムを複数設置し、年間変動を観測する。この成果は地下水流动解析での境界条件や初期条件の設定に用いる。

本年度は、柄石川流域での花崗岩の上に未固結砂礫層（土岐砂礫層）が覆う地域への表層水理定数観測システム（気象観測装置、河川流量計）の設置、およびこの地域中でさらに小さな流域を対象として表層水理定数観測システム（水位計、河川流量計）の設置を行っている。平成 11 年度に設置を完了し、観測を開始する。

また、東濃鉱山周辺での長期観測では、第三紀堆積岩を未固結砂礫層が被覆する地質条件下における地下水涵養量として、1990 年から 1997 年の 8 年間の平均で、年間 101mm（正馬川流域平均）および 341mm（正馬川流域の上流側）が得られた。これは、正馬川上流域が流域全体に比して 3 倍の値を示すことから、上流側観測域が涵養域と考えられる。柄石川流域の観測位置および東濃鉱山周辺での観測位置を図 6-1 に示す。

### 6. 1. 2. 深層水理調査

今年度掘削した DH-6、7、8、9 号孔では、表層から地下深部までの地下水の間隙水圧および透水性を把握するための透水試験、および透水性割れ目の検出のためフローメーター検層を実施した。透水試験区間は岩芯観察、ボアホールテレビ、物理検層等に基づいて健岩部および亀裂部を選定した。さらに、DH-9 号孔では岩盤の平均的な透水性を把握するための揚水試験を実施した。しかしながら、DH-7 号孔で捉えた次月断層および F7 断層では、当該深度を含む区間での孔壁保持のためにケーシングが挿入されており、水理試験は実施できなかつた。

これら水理試験の結果、深度と透水性との相関は認められなかった。また、DH-7 号孔と DH-8 号孔から求めた動水勾配は両孔の地下水位面ではほぼ地形勾配に等しくなるのに対し、深度 500m 以深の間隙水圧から求めた動水勾配はその半分程度であることが確認できた。なお、掘削中の逸水やフローメーター検層による流量の変化箇所が多く捉えられており、透水性割れ目の存在を示す兆候が得られた。

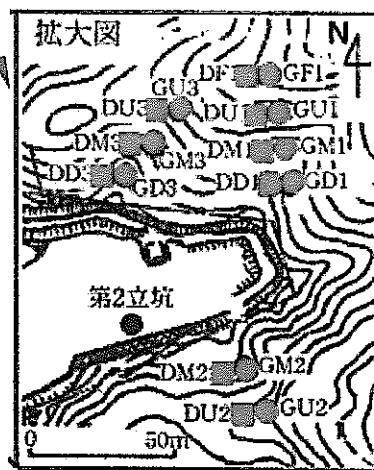


図 6-1 表層水理定数観測システム設置位置

### 6. 1. 3. 地下水の水理に関する解析

#### (1) 水理地質構造モデルの構築

平成 10 年度は、試錐孔DH-5～8号孔等の調査データを用いて作成した地質構造概念モデルを基に、水理地質構造モデルの作成を開始した。各岩相の透水係数については調査結果を基に地球統計学的手法(Kriging)を用いて空間的分布を推定する予定であり、断層の透水係数については実測値が無いため、値の設定方法を検討中である。作成中のモデルを図 6-2 に示す。このモデルでは、岩盤部分について Kriging を用いて透水係数の分布を推定した。

#### (2) 地下水流動解析

平成 10 年度は、地下水流動解析を実施するために必要な、解析条件や透水係数などの検討を行った。なお、地下水流動解析は平成 11 年度当初に差分法の解析コード(Frac - Affinity )を用いて行う予定である。

### 6. 2. 地下水の地球化学

本研究では、岩相毎の地下水の地球化学的性質を把握し、地下水の溶存化学成分濃度分布と地下水の流動方向の概略を示す地下水の「地球化学モデル」を構築することによって、水質形成機構を明らかにすることを目的とする。

#### 6. 2. 1. 場の理解のための調査

地表から掘削した試錐孔(DH-6、7、8、9 号孔)を利用して、原位置における物理化学パラメータ測定、地下水の採取・分析(主要化学成分、微量化学成分、溶存ガス、環境同位体、微生物)を行った。地下水の採取・原位置測定に使用した機器は、1,000m 対応地下水の地球化学特性調査機器および地球化学検層ユニットである。

DH-9号孔では、地下水採水を予定した深度において、契約工期内の調査では掘削水による汚染を除去することができなかったために、データを取得することができなかった。詳細は、

#### 6. 2. 2 データの品質管理で記述する。

DH-6、7、8 号孔における調査結果から以下のことが明らかとなった。

- pH は深度とともに中性からアルカリ性へと変化する( $\text{pH}7 \Rightarrow \text{pH}9$ )。
- 地表から深度 300m までは酸化性を示すが、深度 500m 以深では還元性を示す。
- $\text{Na}^+$  イオン濃度は深度とともに増加するが、 $\text{Ca}^{2+}$  イオン濃度は深度とともに減少する。

#### 6. 2. 2. データの品質管理

地下水の地球化学特性に関するデータの品質管理を行う際には、大きく

##### ① 試錐掘削水による地下水の汚染

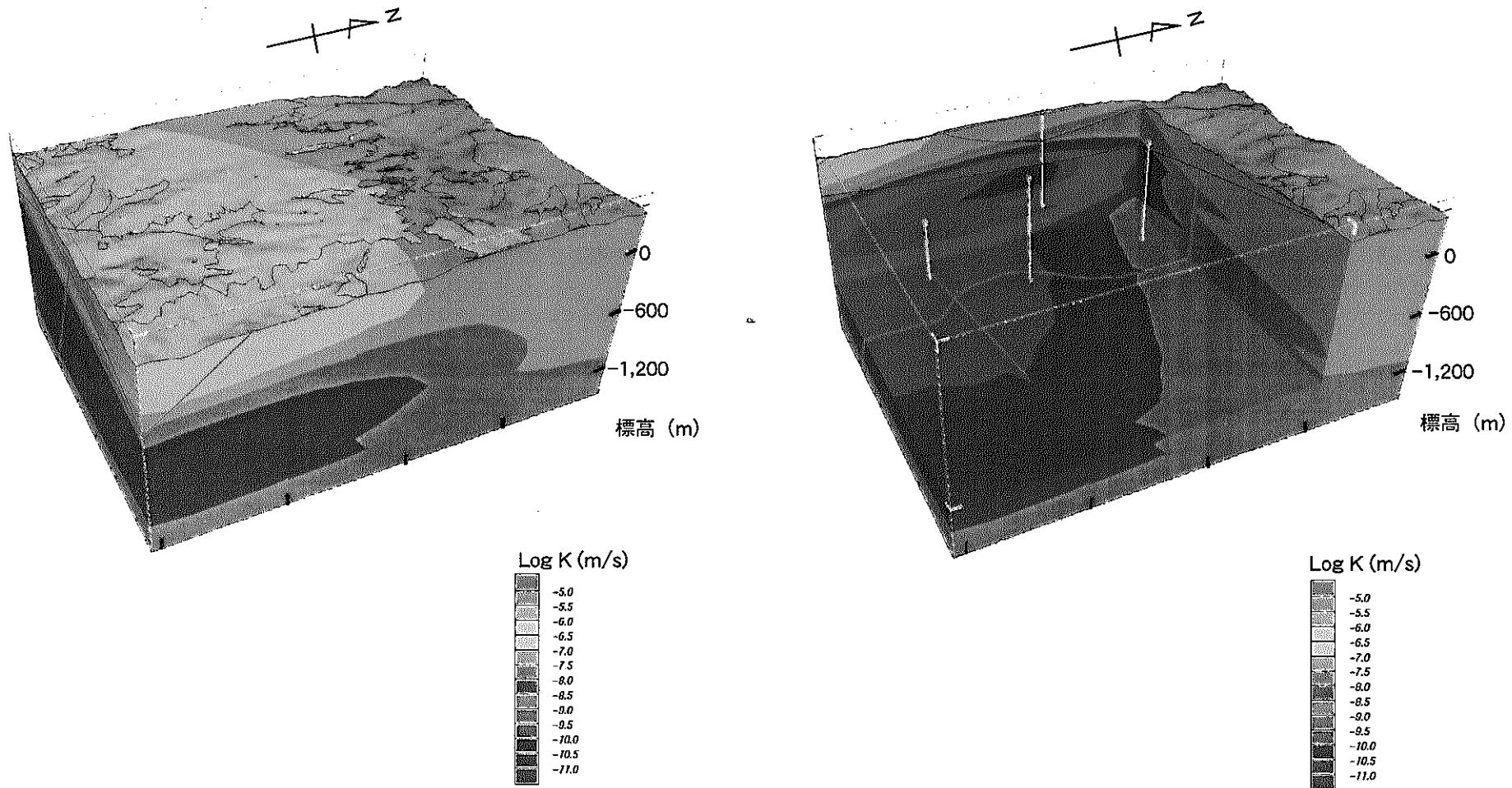


図 6-2 作成中の水理地質構造モデル

## ②地下水の前処理方法

## ③地下水の分析方法

の3つの段階でのチェックを行う必要がある。このうち、①試錐掘削水による地下水の汚染について、今年度の実績を基に今後の調査手順の確立を目指した検討を行った。

### (1) DH-6、7、8号孔における調査

DH-6、7、8号孔における調査では、掘削水に追跡子としてウラニンを約100ppbの濃度で添加しており、地下水採水を行う際には、ウラニン濃度が1ppb以下になること、原位置物理化学パラメータ測定値および主要化学成分濃度が一定値に収束することもって掘削水が除去できたと判断していた。ただし、掘削工事中に掘削水のウラニン濃度のモニタリングは実施しておらず、逸水がない場合には掘削水を循環して利用する過程において地下水が混入し、ウラニン濃度が低下していた可能性は否定できない。

### (2) DH-9号孔における調査

DH-9号孔においてもDH-6,7,8号孔と同様に、追跡子としてウラニンを使用した。その結果、採水を実施した3深度(228.0~234.5m、312.9~319.4m、957.3~963.8m)全てにおいて、採水を継続してもウラニン濃度が低下しない(掘削水による汚染が著しい)現象が確認された。また、原位置pH、Na<sup>+</sup>イオン濃度はほぼ一定値を示しており、原位置pH、Na<sup>+</sup>イオン濃度を指標として掘削水の残留を把握することは不可能であることが分かった。

一方、地下水汚染の原因として、掘削水による汚染はもとより、採水の前に水理試験を実施したこと、通常のワイヤーライン工法に加えウェルマン工法を併用したことにより逸水層と掘削水との接触が2度生じたこと等が、汚染をさらに増加させたものと推察される。

以上より試錐孔を利用して地下水の地球化学調査を行う際には、以下の内容を必ず行う必要があることがわかった。

#### ①掘削用水への追跡子の添加

掘削用水には追跡子を添加し、掘削期間中は追跡子の濃度を連続モニタリングし、追跡子の濃度の低下がないようにする。

#### ②掘削用水の分析

掘削用水の化学組成、同位体組成などのデータは、地下水の分析値のバックデータとなるため、掘削期間中に複数回の分析を行う。

#### ③循環掘削水のモニタリング

逸水が起らない場合には、カッティングスの除去以外の操作を行わずに、掘削用水を循環して使用している。掘削水の循環使用に伴う地下水の混入による追跡子濃度の低下や、微細なカッティングスの溶出による塩分濃度の増加が生じる場合が考えられる。地下水の溶存成分が希薄な場合には、塩分濃度の高い掘削水の使用は好ましくない。そのた

め、掘削水の電気伝導度、pH の連続モニタリングを行い、掘削水の交換や補充の指標とする。

#### ④試錐調査プログラムの変更

採水時の掘削水の汚染を最小限とするため、透水性の破碎帯(大量の逸水が生じる区間)が認められた場合には、他の調査より先に採水を行うプログラムとする。

### 6. 2. 3. 地下水の地球化学に関する解析

#### (1) 化学組成分布の推定

DH-5、6、7、8号孔において取得された 10 式のデータセットを用いて、全ての試錐孔を含む約 16km<sup>2</sup>の領域内での、地下水水質の3次元分布の推定を開始した。推定の成果は、平成 11 年度に報告する。

### 6. 3. 地下水の長期観測

大深度試錐孔を利用した地下水の長期観測によって、地下水の流動と水質の長期変動の把握、さらに地下水流動解析の結果の検証や調査技術の評価のための基礎資料とする。

#### (1) 間隙水圧長期モニタリング

DH-7号孔に多点式間隙水圧測定システム(MP システム)を設置した。観測区間数は 14 点である。今年度は装置の設置および性能確認試験を行った。間隙水圧の観測は平成 11 年度から実施する予定である。

#### (2) 水質の長期モニタリング

DH-7号孔に設置した MP システムは、従来のシステムが有するボトル式の採水機能に加えて、地下水中の希ガス分析を行うための採水機能(フロースルー式採水機能)を備えている。今年度はフロースルー式採水機能の確認試験を行った。平成 11 年度は、観測区間全てについて予備排水を行い、採水を行っていく予定である。

## 7. 岩盤の力学特性

岩盤の場としての特性(地温や応力の状態)と岩石自体の物性(熱伝導率や強度など)を把握するために、DH-6、7、8号孔の岩芯を用いた室内試験を実施した。深度方向の変化を確認するために、供試体は深度方向に均等に採取することを基本とした。

### (1) 試験項目、試験方法および数量

#### (i) 物性

力学試験(一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、圧裂引張試験)の試料333個を対象に室内試験を実施した。算出した物性値は、有効空隙率、見かけ比重および弾性波(P波)速度である。試験方法はISRM基準に準拠した。

#### (ii) 力学特性

力学試験用の供試体は、各試錐孔ともに10深度から採取した。一軸圧縮試験は1深度当たり3供試体、三軸圧縮試験は3供試体(封圧は10、20、30 MPa)、および圧裂引張試験は1深度当たり2供試体を対象として実施した。試料はすべて健岩部から採取した。試験方法はISRM基準に準拠した。

#### (iii) 热特性

熱物性試験用の供試体は、各試錐孔ともに20深度から採取し、熱伝導率、比熱、線膨張係数を求めた。試験方法は、それぞれ、非定常細線加熱法、断熱連続加熱法、押し棒式熱膨張測定法である。

#### (iv) 初期応力

初期応力測定用の供試体は、各試錐孔ともに10深度から採取し、1深度につき3供試体ずつ実施した。測定方法はAE法およびDRA法であり、試験時には同一供試体に対して両手法を同時に適用し測定を実施した。本測定では、両手法とも初期応力の鉛直成分を求めている。

### (2) 試験結果

各物性について、孔毎に深度をパラメーターとして図示し、深度依存性および岩種による違いを検討した。以下に物性毎の試験結果を示す。

#### (i) 物性試験

##### (a) 有効空隙率:図7-1

有効空隙率は、DH-6号孔では、美濃帯中生層の砂質～泥質ホルンフェルスが平均0.2%と、花崗岩と石英斑岩の0.5～2.0%と比較して小さい。DH-7号孔では、全体が

花崗岩主体であり 1.0～2.0% の間にある。DH-8 号孔では DH-7 号孔と同様全体が花崗岩主体であるが、深度とともに 1.0% から 0.5% に減少し、500m 以深は 0.7 % と一定となる深度依存性が認められる。

(b) 見かけ比重: 図 7-2

いずれの孔も見かけ比重は 2.60～2.65 の範囲にある。DH-6 号孔の砂質～泥質ホルンフェルスのみ 2.65～2.80 の間にばらつく。深度依存性については、各孔とも 500m 以深で微増する傾向が認められる。

(c) 弹性波速度(P 波): 図 7-3

いずれの孔でも岩種による弾性波速度の違いは認められない。深度 600m までは、およそ 4500～5000m/s の値を示し、深度 700m 以深では 3500～4000m/s と低下する。

(ii) 力学試験

(a) 一軸圧縮強度: 図 7-4

一軸圧縮強度は、花崗岩では DH-7 号孔の深度 400m～600m において 150MPa～250MPa を示すほかは 100～200MPa の範囲にある。DH-6 号孔に見られる砂質～泥質ホルンフェルスは 50～250MPa の範囲にはばらつき、DH-6, 7 号孔に見られる石英斑岩は 200～400MPa と他の岩種より大きな値を示す。一軸圧縮強度の深度依存性は認められない。

(b) ヤング率: 図 7-5、図 7-6

初期接線ヤング率は、一軸圧縮試験の載荷初期の応力－ひずみ線図の接線勾配を求めたものである。50 % 接線ヤング率は一軸圧縮強度の 50% の応力レベルにおける応力－ひずみ線図の勾配を求めたものである。初期接線ヤング率は、弾性波速度(P 波)と同様に、深度 700m 以深から減少する傾向が認められる。一方、50% 接線ヤング率は、一軸圧縮強度と同様に深度依存性は認められない。

(c) ポアソン比: 図 7-7

ポアソン比は、砂質～泥質ホルンフェルスが 0.20、石英斑岩が 0.25、花崗岩が 0.25～0.40 の値を示す。花崗岩のポアソン比は深度の増加に伴い微増する傾向が特に DH-6 号孔で認められる。

(d) 引張強度: 図 7-8

引張強度は、砂岩と石英斑岩が 5～15MPa、花崗岩が 5～10MPa を示し、深度の増

加に伴い減少する傾向が認められる。花崗岩のうち、目視で認められるクラックがあつた供試体については、そのクラックの配向方向に対し直交方向と平行方向に載荷した。クラックが認められた 14 供試体のうち 11 供試体において、クラックの配向方向に直交する方向に載荷した場合には引張強度が増加しており、その増加割合はクラックの配向方向に平行に載荷した場合の 1.2~1.6 倍程度であった。

(e) せん断強度:図 7-9

せん断強度は、砂質～泥質ホルンフェルスと石英斑岩が約 30MPa、花崗岩が 10~25MPa である。花崗岩については、地表から深度 400~500m までの範囲はせん断強度が減少していく傾向があり、それ以深ではほぼ一定である。

(f) 内部摩擦角:図 7-10

内部摩擦角については、岩種および深度依存性は認められず、55~60° の値を示す。これは封圧が作用した場合、岩種の違いによらず封圧増加に対する破壊強度の増加割合が同じであることを示す。

(iii) 热物性試験(幾世橋ほか、1998a; 幾世橋ほか、1998b; 京ほか、1998)

(a) 热伝導率:図 7-11

热伝導率は、いずれの岩種も 2~4W/mK 程度の範囲にある。深度依存性は認められない。

(b) 比熱:図 7-12

比熱は、砂質～泥質ホルンフェルスが 0.7~0.9 kJ/kgK、石英斑岩が 0.9kJ/kgK、花崗岩が 0.5~1.4 kJ/kgK の範囲にある。深度依存性については明瞭な傾向は認められない。

(c) 線膨張係数:図 7-13

線膨張係数は、いずれの岩種も  $0.65\sim0.95\times10^{-5}K^{-1}$  の範囲にある。热伝導率と同様に、深度依存性は認められない。

(iv) 初期応力測定:図 7-14

AE 法および DRA 法から算出した鉛直応力は、3 孔とも岩石の比重から算定される土被り圧とほぼ一致し、国内外での測定事例の傾向と整合的である。測定値のばらつきについては、採取深度によってはばらつきの程度が異なることから、内在するマイクロクラックの量比が深度方向に一様でないことが伺える。

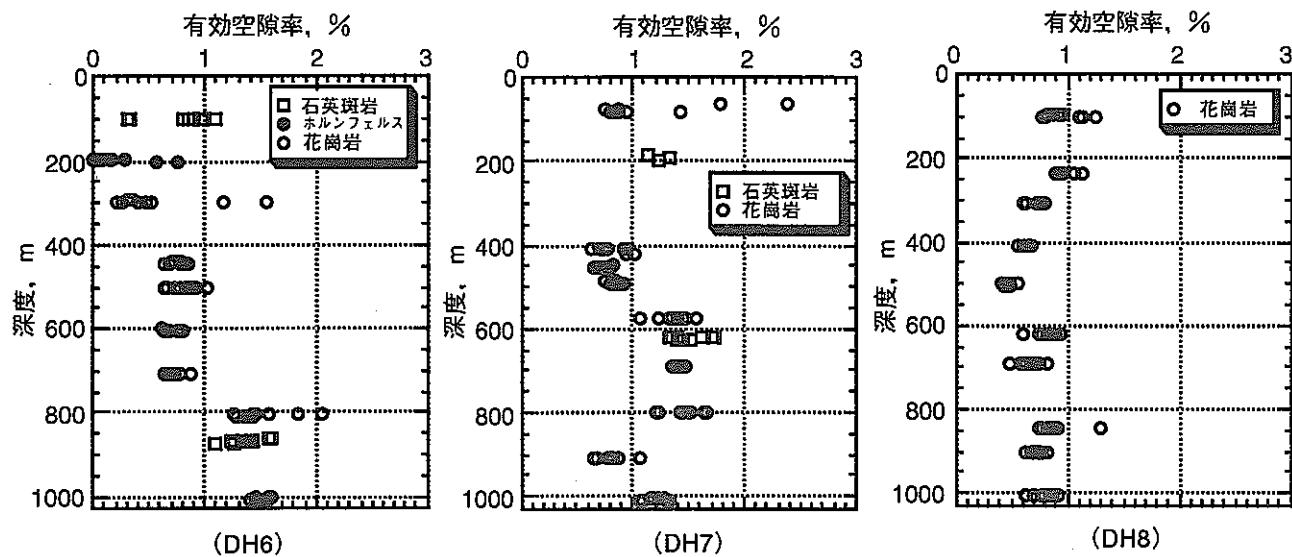


図7-1 有効空隙率の深度分布

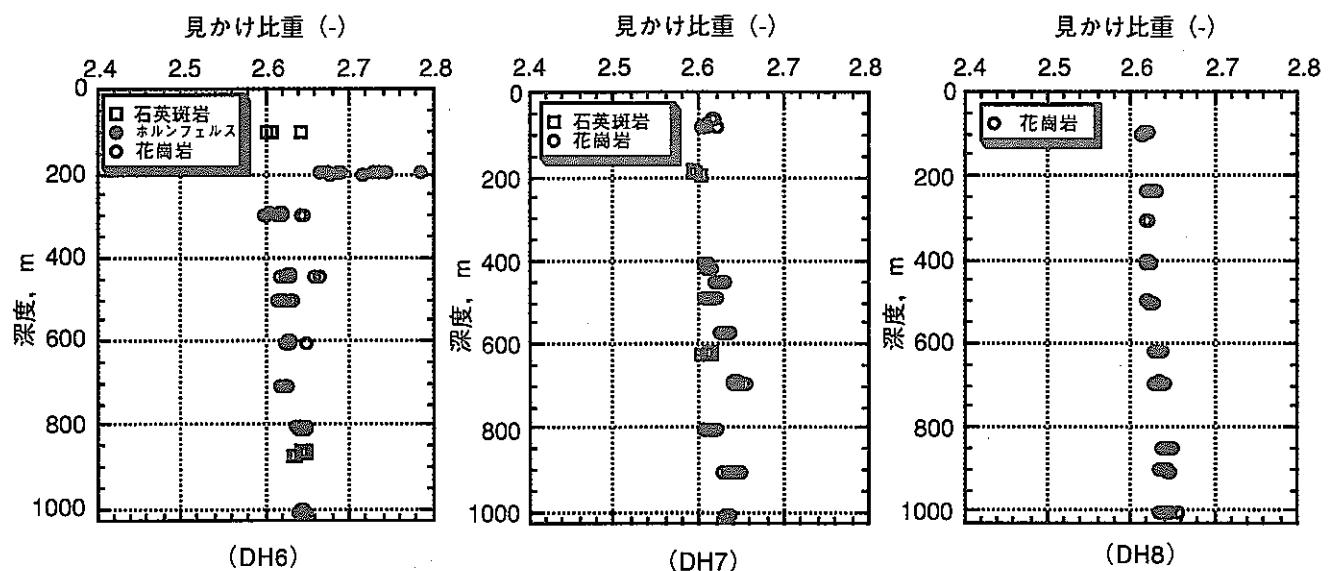


図7-2 見かけ比重の深度分布

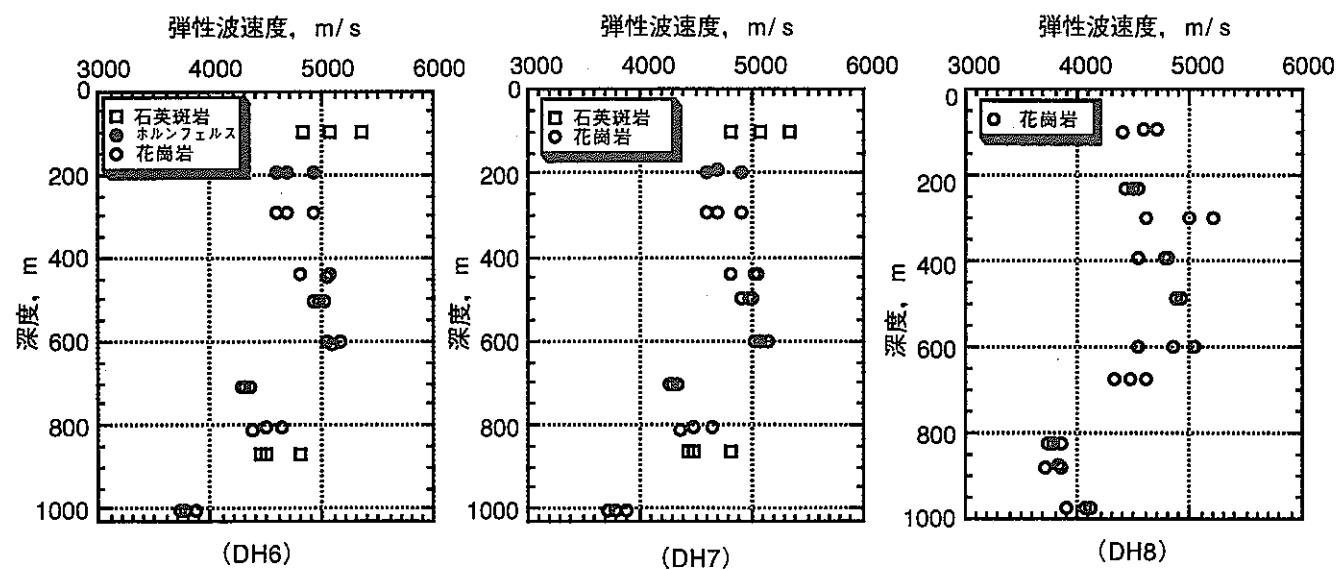


図7-3 弾性波速度（P波速度）の深度分布

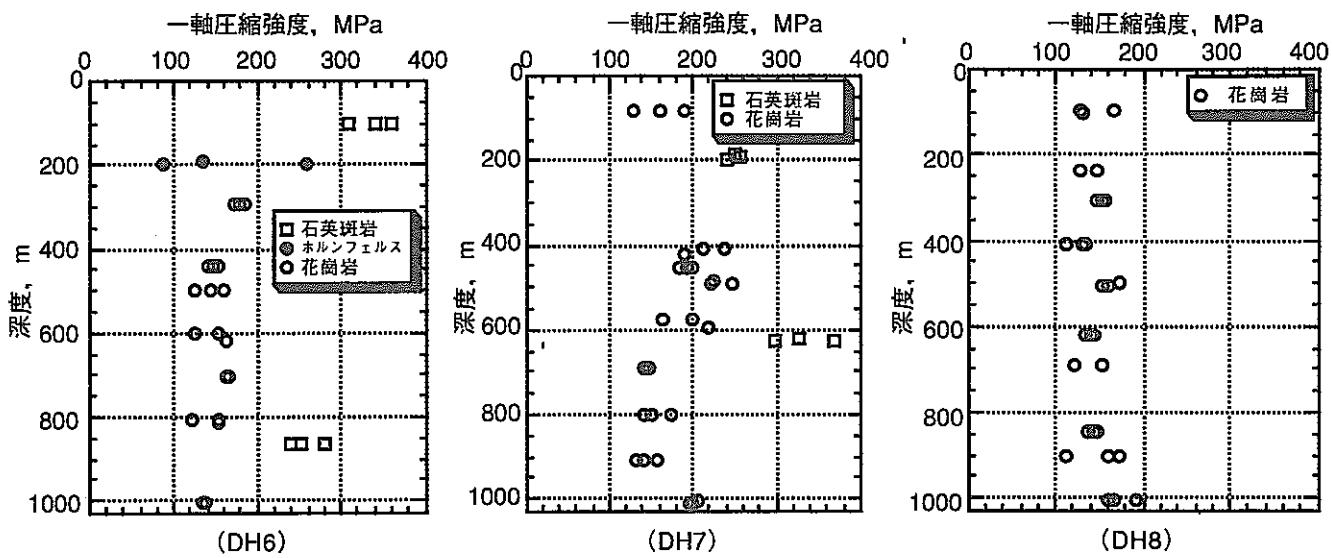


図 7-4 一軸圧縮強度の深度分布

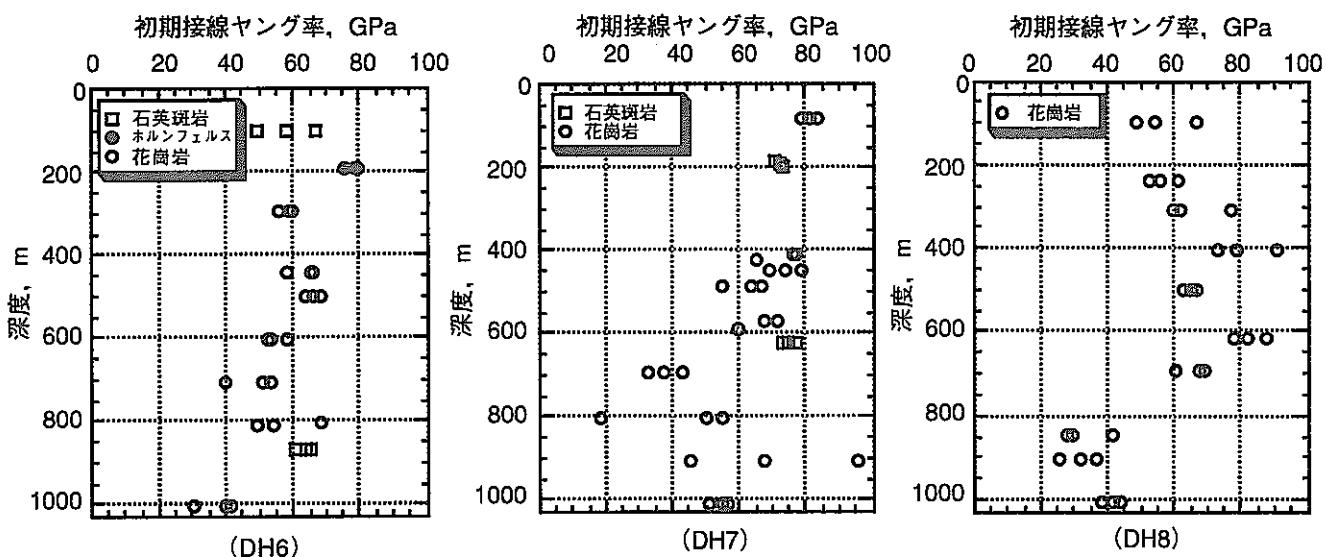


図 7-5 初期接線ヤング率の深度分布

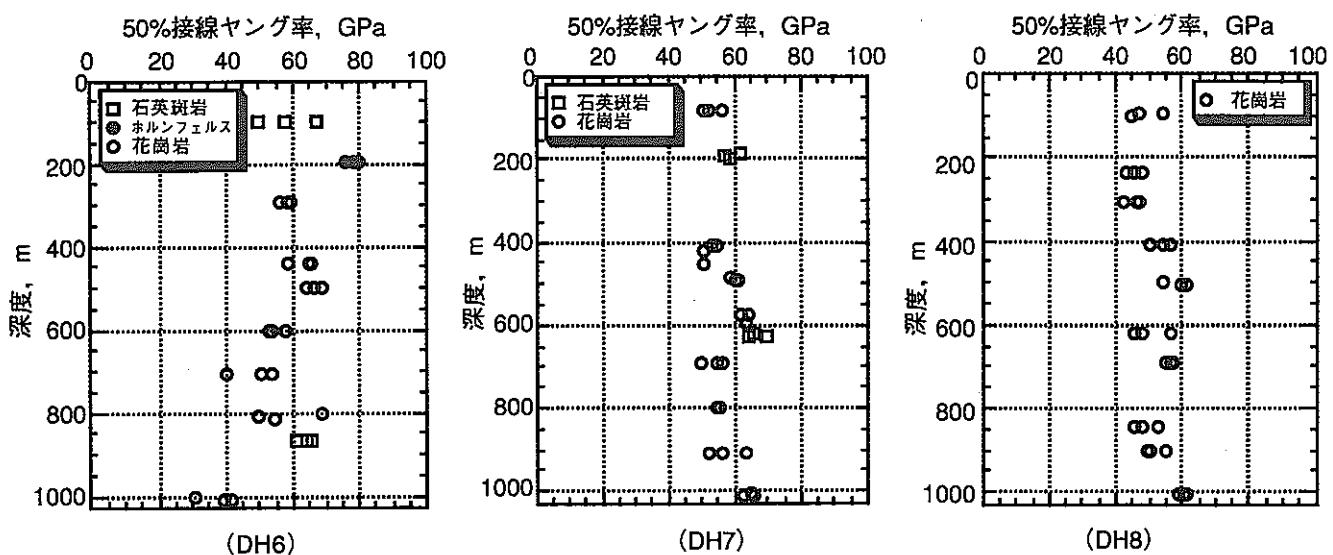


図 7-6 50%接線ヤング率の深度分布

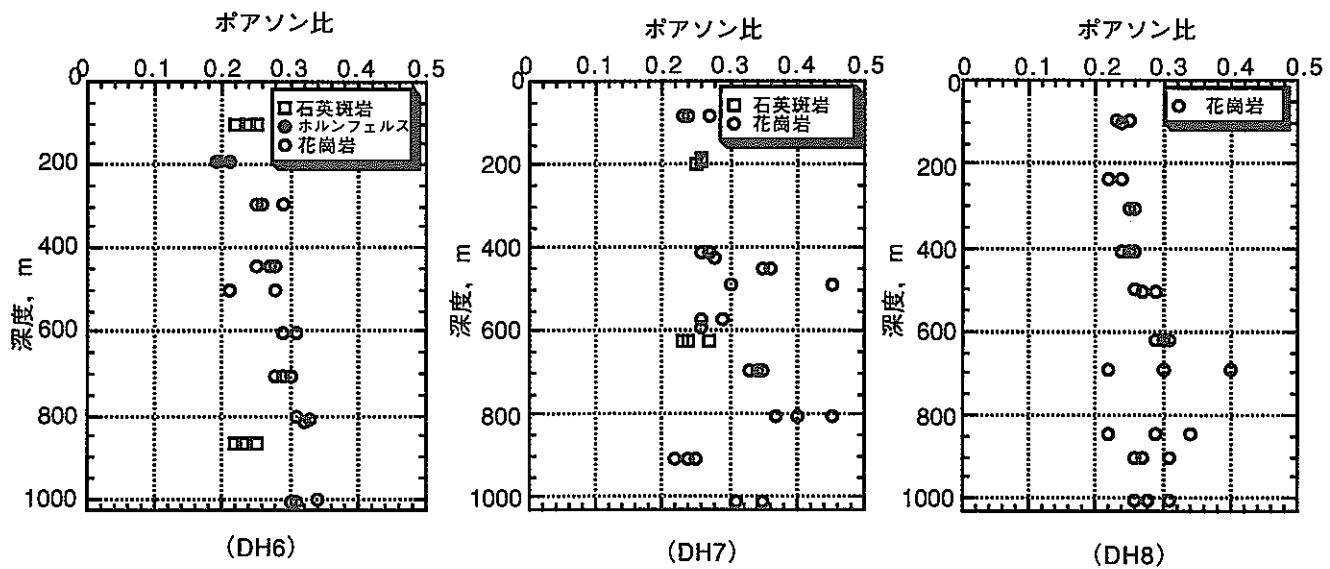
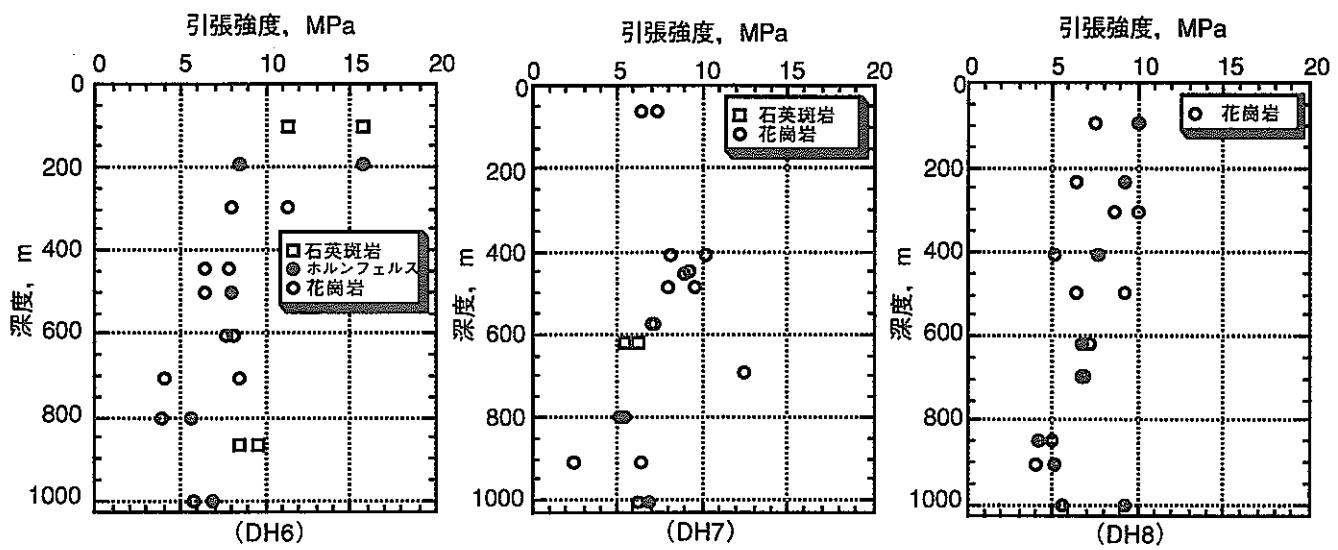


図 7-7 ポアソン比の深度分布



※目視でクラックの配向が認められた供試体については配向の方向（○）と直交方向（◎）に載荷した。

図 7-8 引張強度の深度分布

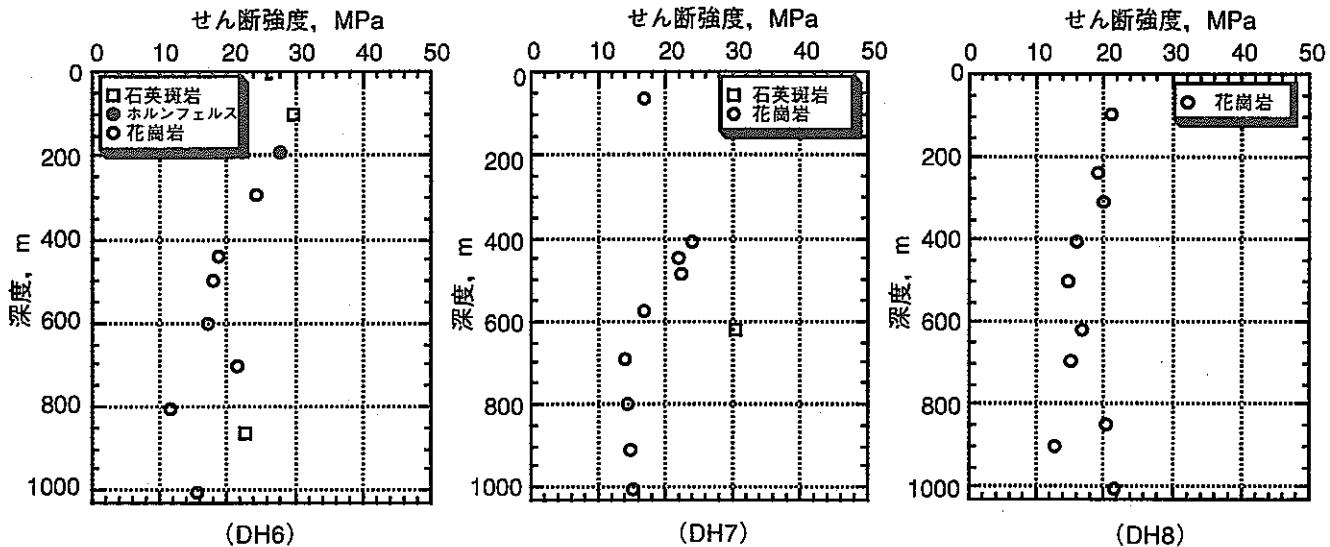


図 7-9 せん断強度の深度分布

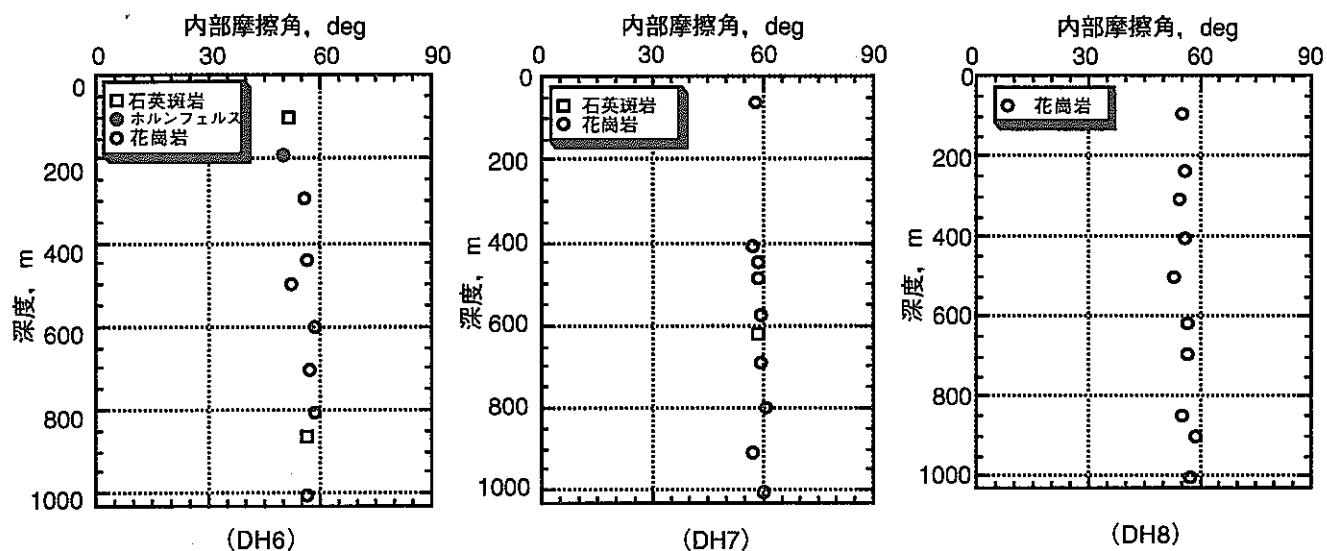


図 7-10 内部摩擦角の深度分布

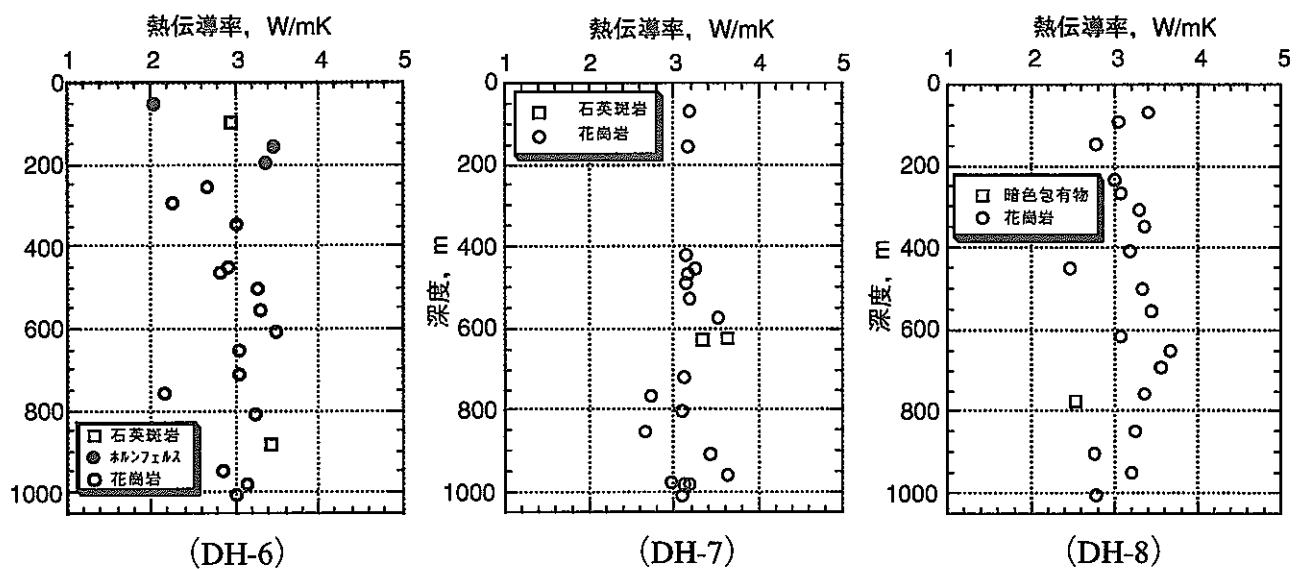


図 7-11 热伝導率の深度分布

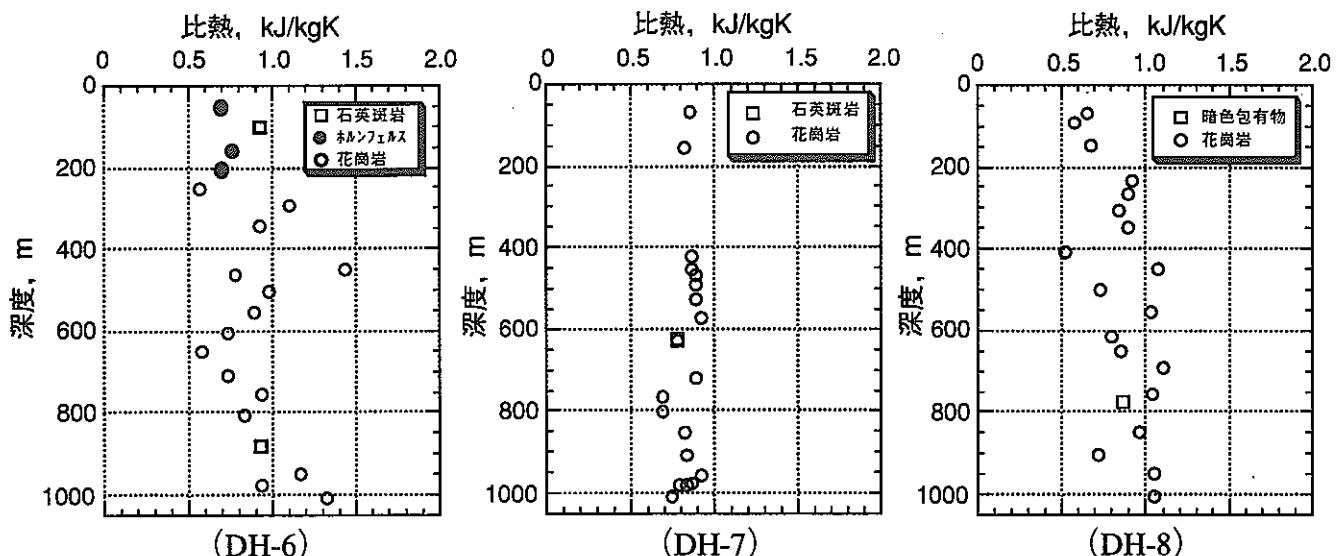


図 7-12 比熱の深度分布

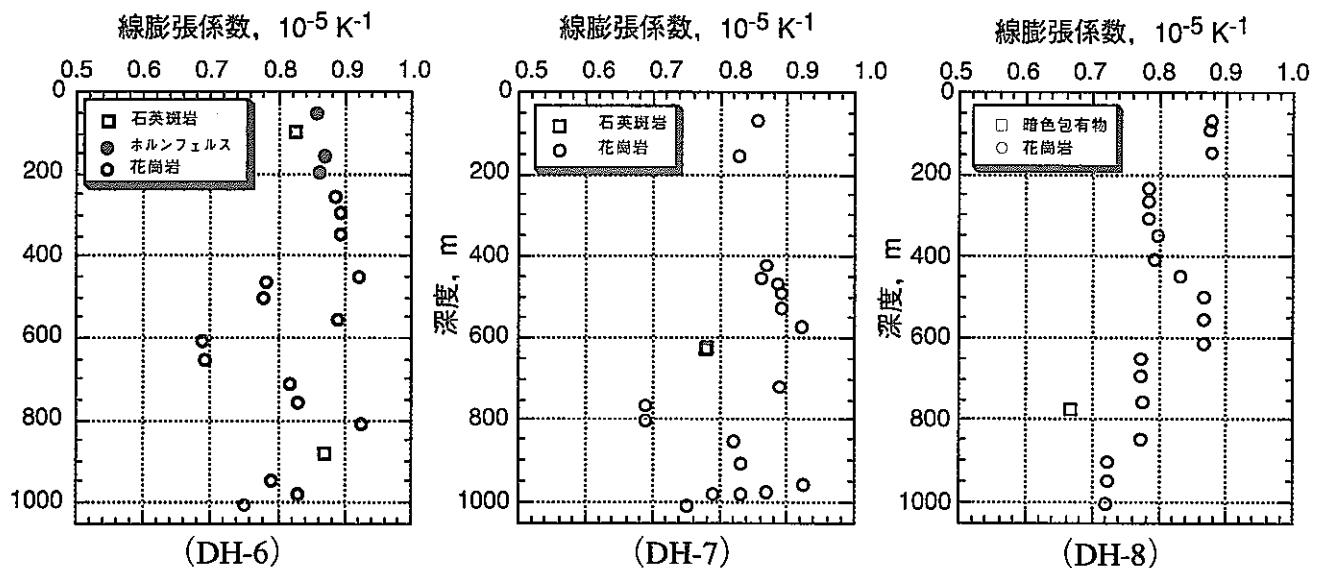


図 7-13 線膨張係数の深度分布

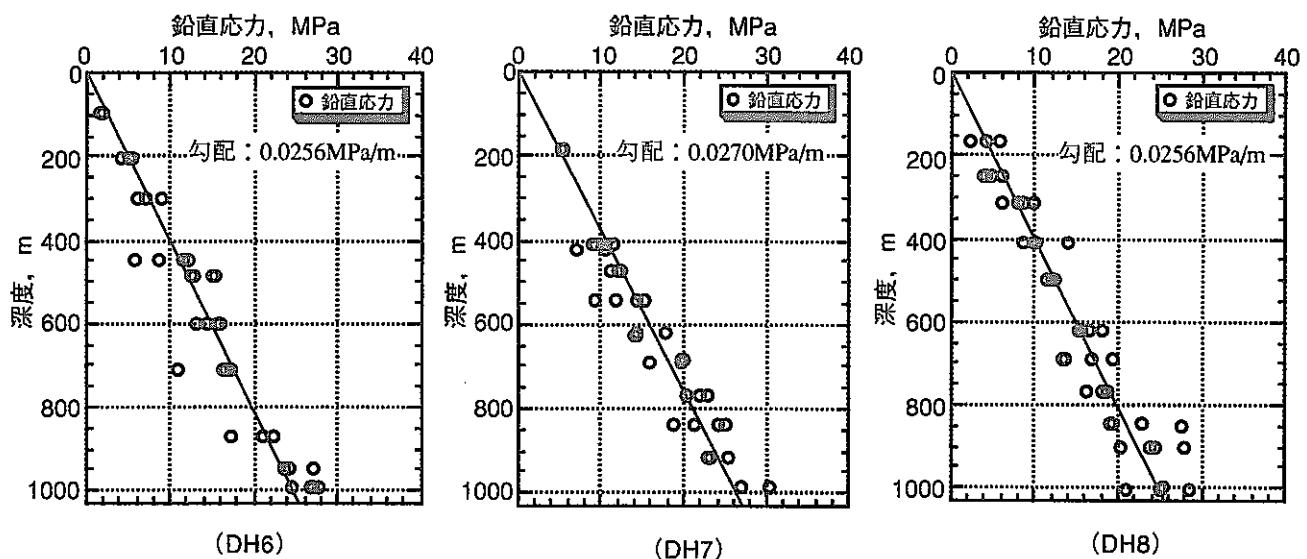


図 7-14 鉛直応力の深度分布

### (3) 物性値の絶対値および深度依存性

今回の試験対象である土岐花崗岩は、代表的な花崗岩と言える稻田花崗岩や釜石鉱山の栗橋花崗閃緑岩と比較して、上記した基本的な物性値については大差は無く、物性値の観点からは特異性は認められない。

深度依存性については、深度 700m を境に弾性波速度や初期接線ヤング率などの封圧を作用させない状態における物性値が低下する傾向が認められた。これは、深度 700m 以深では、応力解放に伴うクラックが生じた可能性があることを示唆するものと考えられる。一方、一軸圧縮強度や 50% 接線ヤング率などの物性は深度方向に明瞭な変化が認められないが、引張強度ではクラックの配向性と載荷方向との関係によって差が生じており、クラックの配向性に起因する強度異方性が存在することが明らかとなった。今後は、顕微鏡下での観察による構成鉱物やマイクロクラックの配向性も調査し、これらの異方性が鉱物粒子やマイクロクラックの配向性によるものか、あるいは応力場の異方性によるものかを調査することが今後の課題と言える。

## 8. 調査技術・調査機器の開発

### 8. 1. 目的

広域地下水流动研究で対象とする深度および領域に対し、地表からの調査によって地下深部までの地質環境が本来的に有する性質を正確に把握するために、対象とする地質環境に応じた適切な調査技術や調査機器を整備する。基本的には、東濃地科学センターが開発した調査機器を含め、既存の調査技術・調査機器を適用する。適用された調査技術・調査機器の実績(データの精度、調査機器の信頼性等)が各研究分野からの要求に達しない場合、その改良・高度化を行う。さらに、個々の調査手法を組み合わせて総合的に解析を行う体系化された地質環境調査手法を構築する。今年度は、超深地層研究所計画と共に要素技術である、試錐掘削技術開発、地下水の水理特性調査技術開発、地下水の地球化学特性調査技術開発を行うとともに(東濃地科学センター, 1999)、以下に示す広域地下水流动研究に必要な技術開発を実施した。

### 8. 2. 地質構造調査技術開発

地質構造調査では、既存の調査技術(例えば、反射法弾性波探査や電磁探査など)を用いることを基本とし、複数の調査結果を組み合わせて総合的な解析を実施し、地質構造モデルおよび水理地質構造モデルの構築に必要な情報を得る。調査に適用された各種調査技術の実績をとりまとめ、地質環境調査手法としての評価を行う。この評価は第2次とりまとめおよび調査手法の体系化に反映される。

現在、平成9年度に実施した固定翼機を用いた空中磁気調査についてとりまとめを実施中

であり、本調査の概要および結果は以下の通りである。詳細は平成11年度に報告する。

- ・ 空中磁気調査は比較的広域を対象とした調査手法であり、今回は38km四方を調査領域とし、固定翼機に磁力計を搭載してデータを取得した。測線間隔は400mであり、対地高度は平均400mであった。なお、測定期間は5日である。
- ・ データ処理により岩石の磁気的性質(磁化率など)に起因する磁気異常を抽出し、データ解析により3次元の地質構造の推定を行う。今回の結果では、比較的磁化率の高い堆積岩と低い花崗岩の2層構造解析が妥当であることが明かとなり、2層の境界面の3次元的な分布が把握できた。
- ・ 磁気データの長波長成分に着目することにより深部の情報を得ることが可能である。しかし、今回のデータのように、地質単元の間に磁気コントラストがほとんどみられない場合は、深部地質構造の推定は困難である。
- ・ 低磁気異常が認められた部分の一部は既知の断層と比較的よく一致していることから、空中磁気探査は断裂系の構造調査にも有効であると考えられる。しかし、断裂系の構造を調査するには空中磁気探査だけでは不十分であり、より精度・分解能の高い調査(試錐調査など)を合わせて実施することが望ましい。

### 8.3. 地下水の水理学的特性調査技術開発

精度の高い水理地質構造モデルを構築するためには、調査機器のみならず、水理試験データの解析手法も高度化し、実測データから求められる水理パラメータ(透水係数や比貯留係数)の信頼性を高めることが重要である。そのため、超深地層研究所計画と共に開発した「1,000m 対応水理試験装置」で実施できる水理試験手法について、既存の解析手法の適用性を把握するとともに既存の解析手法では考慮されてない種々の条件を考慮した解析手法の高度化を実施している。

平成9年度は、非定常水理試験結果の既存の解析手法である Hvorslev 法、Cooper 法に関して解析手法の整理を行うと共に、各々の解析手法の適用範囲を明らかにした。また、単孔式揚水試験結果の解析手法に関しては、完全貫入条件のもとで、揚水条件、井戸半径、井戸貯留、漏水、側方境界条件など、種々の条件を考慮した理論式を導き、標準曲線を作成した。

本年度は上記の検討結果を広域地下水流动研究の調査で取得された非定常水理試験データに順次適用するとともに、これまでに取得したデータにも適用し、データの再解析を実施した。その結果、種々の条件を考慮して高度化された解析手法の適用性を確認することができた。また、単孔式揚水試験に関しては、不完全貫入条件下における理論式を誘導し、理論曲線を作成した。今後は、実測データをもとに、その適用性を確認する。

## 9. まとめ

平成10年度は、4孔の試錐調査(DH-6～9)を終了したほか、空中物理探査(放射能探査、磁気探査、VLF 法探査、周波数領域磁気探査)、地表電磁探査(MT 法)を実施した。さらに、これまでの調査結果を取りまとめ、試錐調査を実施した地域(研究実施領域(約 10km × 10km)の西部)を手始めとして地質構造や水理地質構造の三次元的な広がりを推定し、可視化システムを用いたモデル化に着手した。また、要素技術を順次開発した。

今後は、すでに着手した DH-10, 11号孔試錐調査と既存調査の総合的な検討によって、地質構造や水理地質構造の三次元的な広がりを、研究実施領域の全域で推定していく。さらに、地下水の地球化学的特性の研究から水質形成機構を、力学的特性の研究から初期応力場を推定し、これらのモデル化の方法について検討していく。

本年度の主な研究成果としては以下のものがある。

### (1) 地質・地質構造

- ・ 空中物理探査により、比抵抗、全磁力、 $\gamma$ 線強度などの平面分布を把握し、花崗岩の分布、断層の位置などの地質構造を把握した。
- ・ 地上での電磁探査(MT 法)によって、第三紀堆積岩の層厚変化や断層を把握した。
- ・ DH-6号孔によって、美濃帯中生層と花崗岩との境界を確認した。
- ・ 試錐調査が実施された研究実施領域の北西部では、花崗岩は細粒から粗粒の黒雲母花崗岩からなり、その範囲では南西の浅部側に細粒から中粒岩層が、北東の深部側に粗粒岩層が分布する構造が推定された。
- ・ DH-7号孔によって、南方の定林寺湖西岸から北方の次月断層に連続すると思われる断層を確認した。さらに、これまで未確認の断層を確認した。
- ・ 三次元の地質構造概念モデルを作成した。

### (2) 水理・地球化学

- ・ 水理試験を実施し、岩盤の透水係数に関する基礎データを取得した。
- ・ DH-9での地下水分析の実績から、掘削水による水質への影響を回避するための品質管理方法を検討した。

### (3) 力学特性

- ・ 土岐花崗岩が、一般的な花崗岩と同じ物性を持つことを確認した。
- ・ 深度 700m 以深から採取した岩芯には、応力解放に伴うクラックが生じている可能性が確認された。
- ・ クラックの配向性に起因する強度異方性が確認された。

## 10. 参考文献

- 東濃地科学センター(1998)：広域地下水流动研究 年度計画書(平成10年度), JNC  
TN7410 98-001
- 東濃地科学センター(1999,登録準備中)：超深地層研究所計画 年度報告書 (平成10年  
度),
- 東濃地科学センター(1998)：広域地下水流动研究における試錐調査(DH-6号孔), JNC  
TJ7440 99-025 vol. 1
- 東濃地科学センター(1998)：広域地下水流动研究における試錐調査(DH-7号孔), JNC  
TJ7440 99-025 vol. 2
- 東濃地科学センター(1998)：広域地下水流动研究における試錐調査(DH-8号孔), JNC  
TJ7440 99-025 vol. 3
- 東濃地科学センター(登録準備中)：広域地下水流动研究における試錐調査(DH-9号孔)
- 幾世橋 広、加藤春實、佐藤稔紀(1998a)：地下深部の花崗岩質層の熱物性値の評価(熱伝  
導率)、第19回日本熱物性シンポジウム講演論文集、pp.191-194.
- 幾世橋 広、加藤春實、佐藤稔紀(1998b)：地下深部の花崗岩質層の熱物性値の評価(比熱)、  
第19回日本熱物性シンポジウム講演論文集、pp.183-186.
- 京 宗輔、幾世橋 広、加藤春實、佐藤稔紀(1998)：地下深部の花崗岩質層の熱物性値の評  
価(熱膨張率)、第19回日本熱物性シンポジウム講演論文集、pp.187-190.