

# 広域地下水流動研究

年度報告書（平成9年度）

（技術報告）

1999年1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 Development Institute)

1998

## [ 目 次 ]

1. はじめに	1
2. 広域地下水流動研究の概要	1
3. 平成9年度調査・研究の概要	1
4. 地質・地質構造に関する調査・研究	1
4.1 試錐調査	3
4.1.1 DH-5号孔	3
4.1.2 DH-6, 7, 8, 9号孔	4
4.2 地球物理学的調査(空中・地表)	4
4.2.1 空中物理探査	7
4.2.2 地表物理探査	7
4.3 地質・地質構造に関する調査結果の検討	8
4.3.1 地質学的調査	8
5. 地下水の水理に関する調査・研究	8
5.1 地下水の水理	8
5.1.1 表層水理調査	8
5.1.2 深層水理調査	13
5.1.3 地下水の水理・地球化学に関する調査結果の検討	14
5.2 地下水の地球化学	14
5.3 地下水の長期観測	19
6. 調査技術・調査機器の開発	19
6.1 1,000m対応揚水試験機の製作	19
7. まとめ	20
8. 参考文献	20

## 1. はじめに

本報告書は「広域地下水流動研究基本計画書」(東濃地科学センター, 1997) に基づき、核燃料サイクル開発機構(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9年度の研究成果を示したものである。

## 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年度から岐阜県東濃地域にある東濃鉱山、およびその周辺域において進めている。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。さらに、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約10km四方の研究実施領域を設定し、地表から地下深部までの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・評価の技術ならびに調査解析結果の妥当性を評価するための技術開発を実施する。

## 3. 平成9年度調査・研究の概要

平成9年度は、試錐調査(5孔)、空中および地表での物理探査等を実施した。また、現場以外の業務として、揚水試験装置を製作した。これらの実績のスケジュールを表1に示す。一部の試錐掘削は平成10年度まで継続するため、試錐孔を利用する調査の取りまとめは次年度以降に実施する。それに伴い、調査結果を基に実施する地質構造概念モデルおよび水理地質構造モデルの作成、地下水の地球化学に関する調査、および地下水流動解析も、次年度以降に実施する。

## 4. 地質・地質構造に関する調査・研究

地質・地質構造に関する調査・研究では、研究実施領域における、①地下水流動の場となる地表から地下深部までの地質・地質構造の把握、②地質構造概念モ

表1 平成9年度 調査・研究スケジュール (実績)

	平成9年度											
	H9									H10		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1) 試錐調査												
DH-5	掘入	掘削・記載			掘削・記載、撤去							
検層・試験			検層・水理試験・採水			水質分析・岩芯試験 (鉱物・物性)						
DH-6	掘入	掘削・記載			掘削・記載							
検層・試験				検層		検層			採水	岩芯試験		水理試験
DH-7	掘入	掘削・記載			掘削・記載							
検層・試験				検層		検層・水理試験			採水	岩芯試験		
DH-8	掘入	掘削・記載			掘削・記載							
検層・試験				検層		検層・水理試験			採水	岩芯試験		
DH-9										掘入	掘削・記載	
(2) 地質・地質構造												
空中物理探査 (30km四方)												
地表物理探査 (10km四方)の一部地域												
(3) 地下水の水理												
表層水理調査												
深層水理調査*												
(4) 調査技術・調査機器												
1,000m対応揚水試験機の製作							製作					

(注) \*印は、試錐調査に付随して実施する。

デルの構築とその妥当性の検証、③広域的な地下水流動の場および地質構造の体系的な調査手法の開発を目的としている。平成9年度は、DH-5, 6, 7, 8, 9号孔（深度約500~1,000m）を掘削し、岩芯記載・検層・ボアホールTV・岩石鉱物試験などの調査を実施した。

#### 4. 1 試錐調査

地下水流動の場となる地表から地下深部までの地質・地質構造を把握するため、1,000m級の試錐孔を図1に示す位置に掘削し、岩芯および試錐孔を利用した調査を実施した。平成9年度は、5孔の試錐孔を掘削し調査・解析を行う予定であったが、試錐調査開始の遅れにより、調査の一部および解析作業は、次年度に継続して実施することとなった。

##### 4. 1. 1 DH-5号孔

###### (1) 目的

研究実施領域西部における地質・地質構造を把握する。特に本孔は、月吉断層西方延長部と南北系断層の交点付近に位置し、これらの地質構造の水理学的特性を明らかにする。

###### (2) 実施内容

DH-5号孔（深度502.3m）を利用した調査として、以下の調査を実施した。岩芯記載以外の調査・試験データの取りまとめ、及びこれら調査結果に基づく地質・地質構造の検討は平成10年度に継続して実施するため、検討の結果は平成10年度報告書に示す。

###### ①岩芯記載

岩相、風化・変質、断層・破碎帯、割れ目の形態および充填鉱物などを調査した。岩芯記載結果の概要を図2に示す。岩相は150m付近までは細粒花崗岩、それ以深は中粒花崗岩が主体をなす。350m付近から孔底に向かって割れ目本数が多くなるとともに岩石の変質が強まり、約400m以深から孔底にかけて断層破碎帯が確認された。

###### ②検層

電気、密度、中性子、ガンマ線、音波、温度、口径、方位・傾斜、マイクロ比抵抗、フローメータの各検層、およびボアホールレーダを実施した。

###### ③ボアホールTV調査

孔壁の割れ目や岩相境界の走行・傾斜、幅、形態などの観察を行った。

#### ④岩石鉱物試験

主に新鮮な部分の岩芯試料の顕微鏡観察、全岩化学組成分析、そして割れ目充填鉱物と変質部の岩芯試料のX線回折を実施した。試料の採取深度を図2に示す。

#### 4. 1. 2 DH-6, 7, 8, 9号孔

DH-6, 7, 8号孔は、研究実施領域西部における地質・地質構造を把握するとともに、それらの水理学的特性を明らかにするために実施した。特に、DH-6号孔は美濃帯堆積岩と土岐花崗岩の境界付近に、DH-7号孔は南北系断層（名称未定）の北方延長部に、DH-8号孔はさらに北方の南北系断層（次月断層）の南方延長部に位置し、これらの地質構造を明らかにするために実施した。DH-6号孔では、地表から深度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1010.9m（孔底）まで主に中粒の花崗岩を確認した。DH-7号孔では、岩相は61.8mから1012m（孔底）まで細粒～粗粒の花崗岩からなり、深度190～408mに粘土化を伴う大規模な断層破碎帯を確認した。DH-8号孔では、岩相は63mから1010.2m（孔底）まで主に粗粒な花崗岩からなり、断層破碎帯は確認できなかった。

一方DH-9号孔では、土岐花崗岩体中央部の地質・地質構造を把握するとともに、それらの水理学的特性を明らかにするために実施した。平成9年度末時点で、深度約430mまで達した。岩相は、240m付近までは主に中粒花崗岩、それ以深では粗粒花崗岩が確認された。

調査・試験データの取りまとめ、及びこれら調査結果に基づく地質・地質構造の検討は平成10年度に継続して実施するため、検討の結果は平成10年度報告書に示す。

#### 4. 2 地球物理学的調査（空中・地表）

本年度は、東濃鉱山周辺の概略的な地質構造（土岐花崗岩体の分布等）を把握する目的で、研究実施領域を含む約30km四方の領域を対象に、航空機を用いた空中物理探査（磁気探査）を実施した。また、約10km四方の研究実施領域内においては、ヘリコプターを用いた空中物理探査、および電磁法による地表物理探査の約半分を実施した。残りの範囲については、平成10年度に実施する計画である。

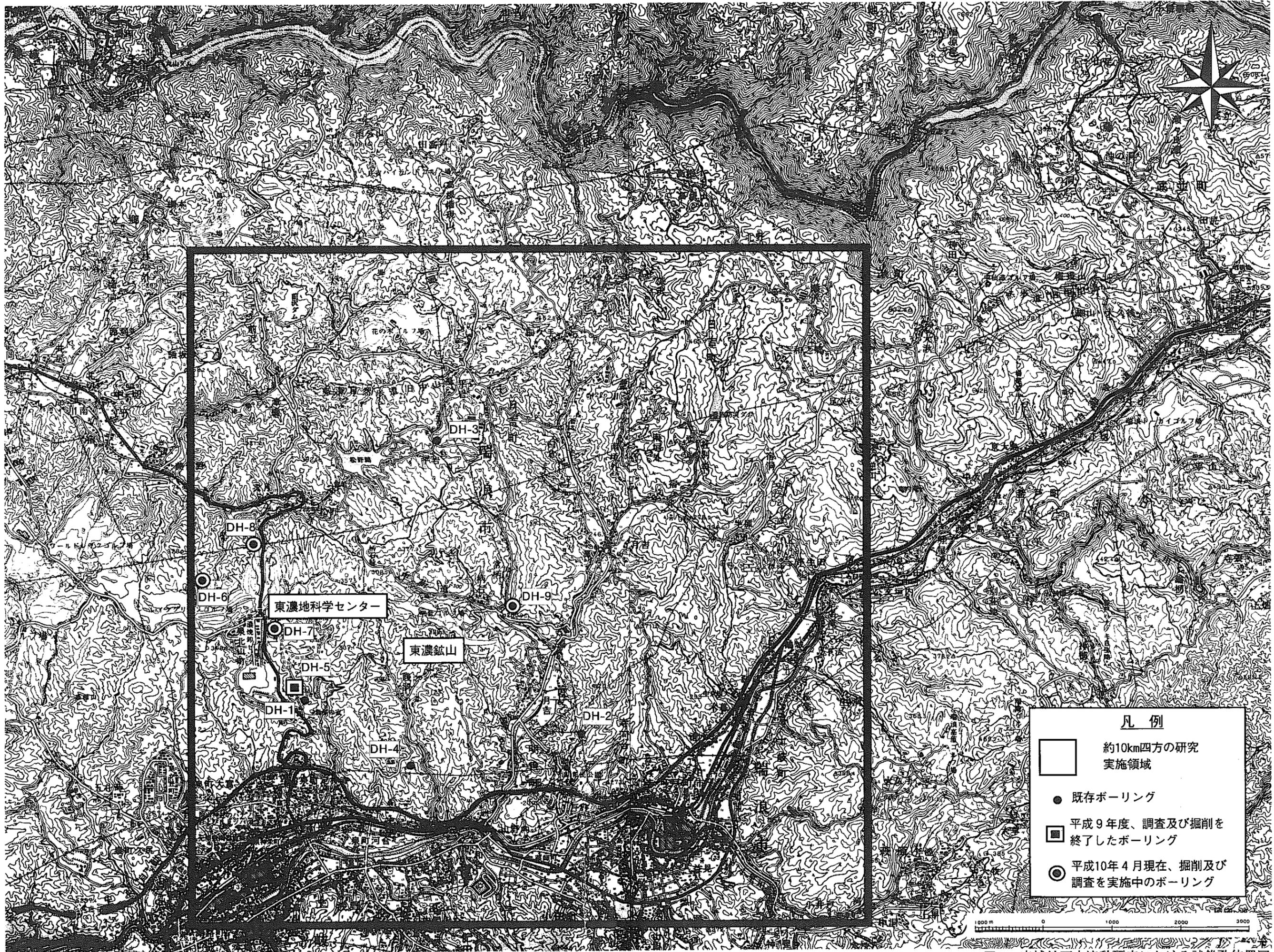


図1 広域地下水流動研究における試錐孔位置図

岩芯記載結果

試料採取深度

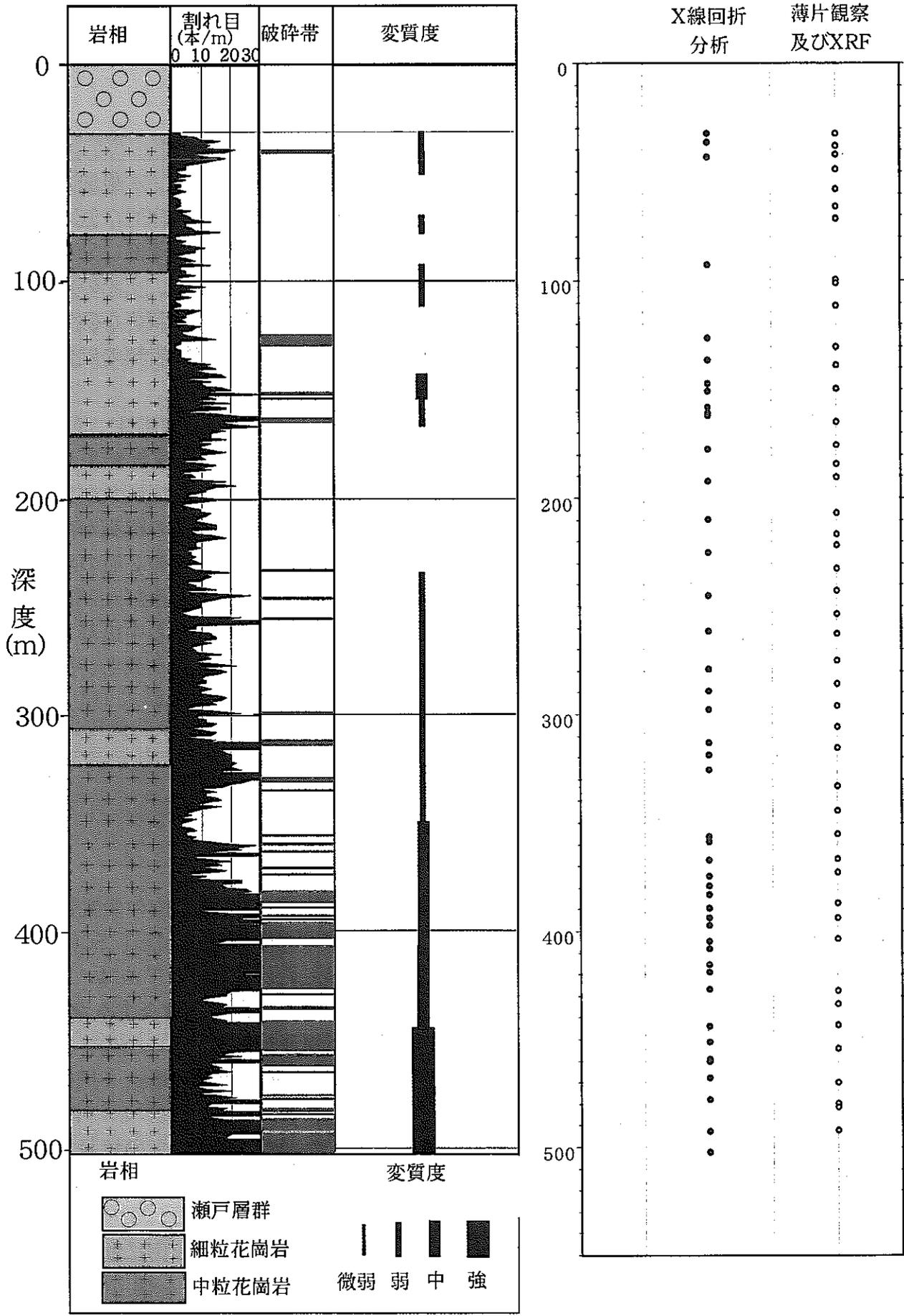


図2 DH-5号孔での岩芯記載結果および試料採取深度

## 4. 2. 1 空中物理探査

### (1) 空中磁気探査

約 30km 四方の領域を対象に実施した空中磁気探査の結果では、本地域の磁気異常分布は変化に乏しく、本地域に分布する岩石の磁化率が全体的に低いことが明らかとなった。これは、一般に見られる磁性の高い基盤が深部に分布するという磁気基盤構造を本地域は呈していないことを示す。また、上記の調査結果は、全国磁気図に示されている天竜川や木曾川の流域等には顕著な磁気異常がなく、本領域の近傍に位置する領家帯の花崗岩類や濃飛流紋岩類の磁化率が低いことと一致している（牧野ほか, 1992）。

次に、上記結果を基に、堆積岩（強磁性：上盤）と花崗岩（弱磁性：下盤）の 2 層を仮定（境界面の平均深度は、磁気データのスペクトル解析結果から 0.7km と仮定）し、三次元モデル解析を実施した。その結果、花崗岩類が分布する南東部や東部及び、中生層が分布する北西部で 2 層の境界面の標高が高いことが明らかとなった（図 3）。また、約 10km 四方の領域内での 2 層の境界面の標高は、土岐花崗岩が分布する南西部（東濃鉦山南方）、北西部及び東部で高く、瀬戸層群及び瑞浪層群が分布する南部（土岐川沿い）から中央部で低い結果が得られた。この境界面の標高分布は、地表の地質分布と一致し、標高の高い部分で土岐花崗岩体が地表に露出していることに対応している（尾方ほか, 1998）。

## 4. 2. 2 地表物理探査

### (1) 電磁探査（CSMT 法）

約 10km 四方の研究実施領域内における基盤面の形状や基盤内の変質帯や破砕帯などの分布を把握するために、CSMT 法（Controlled Source Magneto-Telluric）を用いた地表物理探査を実施した。通常の MT 法は、自然界に存在する電磁場信号（地磁気の変動）を用いて地下の構造を調査するが、自然界の信号のみでは良質なデータの取得が難しい場合がある。そのため、本調査では、自然と人工の信号源を併用することにより、地下深部の構造を把握した。

本年度、調査予定点数の約半分の計測が終了した。この時点までの結果を図 4（海拔 200m の比抵抗平面図）に、図 4 中に示した A-A 1 断面を図 5 に示す。図 4 の結果では、暖色系が低比抵抗を示し堆積岩に対比され、寒色系が高比抵抗を示し土岐花崗岩に対比される。また、日吉川から東濃鉦山に向かう低比抵抗域の伸びが認められ、これは基盤花崗岩上面のチャンネル構造（古河川

系)を表しているとは推定される。次に、図5の断面図では、緑色～紺色部が高比抵抗で、既存の試錐孔データ等と比較すると、基盤花崗岩に対比される。また、上部の暖色系の堆積岩相当部が、南から北へ厚くなっている傾向も既存の試錐孔データと一致する。基盤花崗岩部上部で、下部よりも比抵抗の低下が認められる部分は、花崗岩上部の風化帯もしくは割れ目が発達する部分と考えられる(尾方ほか,1998)。

#### 4. 3 地質・地質構造に関する調査結果の検討

試錐調査が平成10年度まで継続中のため、これまでに実施した地表踏査の結果などに基づいて、岩相の変化や断層などの地質構造要素の広がりを検討した。

土岐花崗岩体を対象とした地表地質踏査の結果、土岐花崗岩体の岩相(粒度や組織)は水平的に著しく変化し、極めて不均質であることが明らかになった(図6)。しかしながら、約10km四方の領域内に分布する土岐花崗岩体の一般的な特徴としては、岩体縁辺部では細粒花崗岩の特徴を示し、岩体中央部に向かうにつれて粗粒花崗岩の特徴を示す。これら粒度の違いは、土岐花崗岩体の貫入時において、美濃帯堆積岩類(中生層)との境界近くで急冷され細粒化したものと考えられる。また、露頭割れ目調査の結果から、領域全体では北北西方向と北東方向の急傾斜割れ目が卓越し、領域内のリニアメント(空中写真上あるいはリモートセンシング映像上で識別され、地(形)図上に標示できる線状の構造)の方向と、ほぼ一致することが分かった(尾方ほか,1998)。

### 5. 地下水の水理・地球化学に関する調査・研究

#### 5. 1 地下水の水理

地下深部の地下水の動水勾配、岩盤の水理学的特性、および地下水の主要な流動経路や遮水壁的な役割を果たすと考えられる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。

##### 5. 1. 1 表層水理調査

表層の地下水流動を把握するため、未固結砂礫層および岩盤の地表風化部を対象に、層厚、堆積構造、透水性、自由地下水面の高さ、水質を調査した。ま

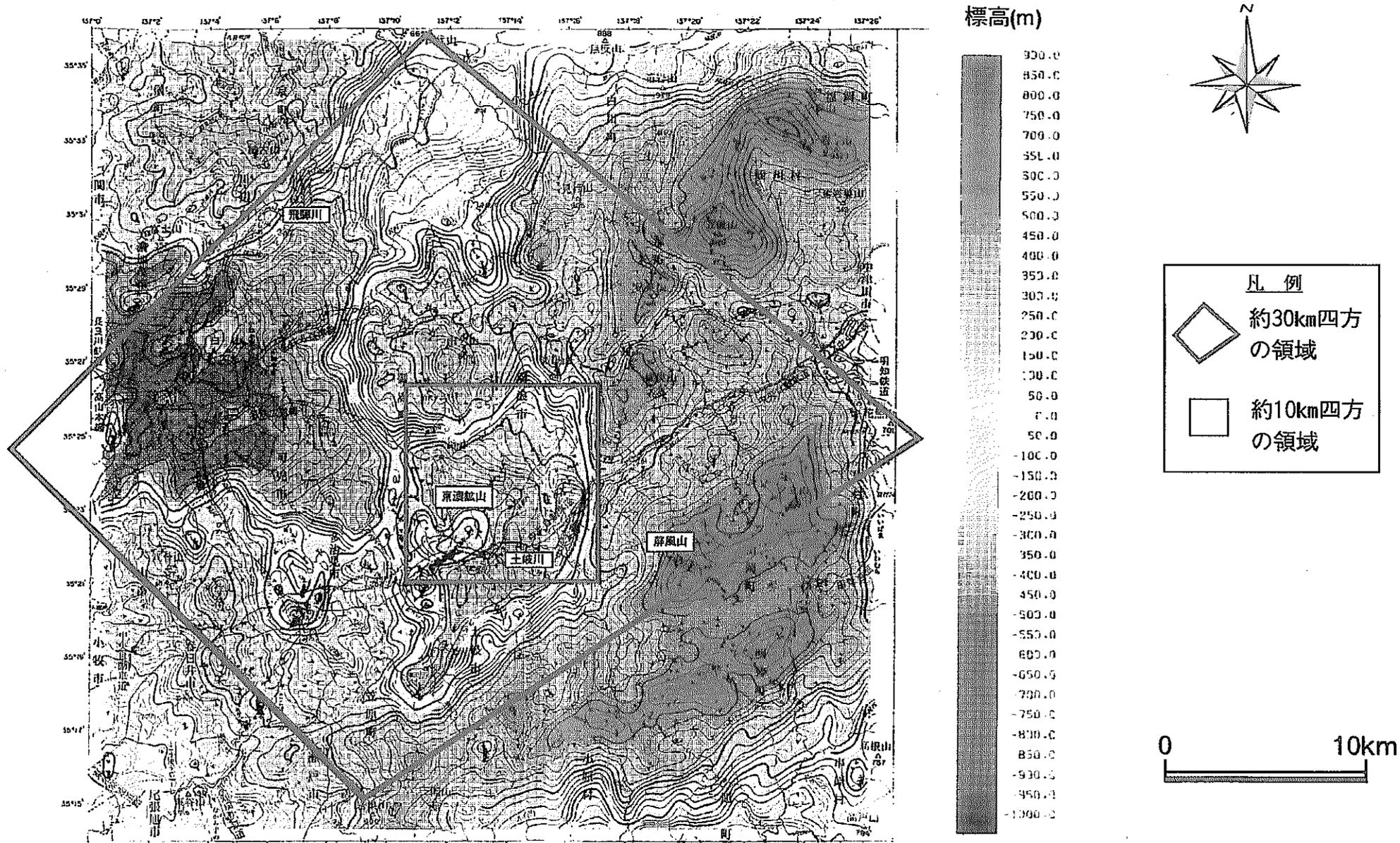


図3 空中磁気探査法による境界面等高線図（2層構造解析）

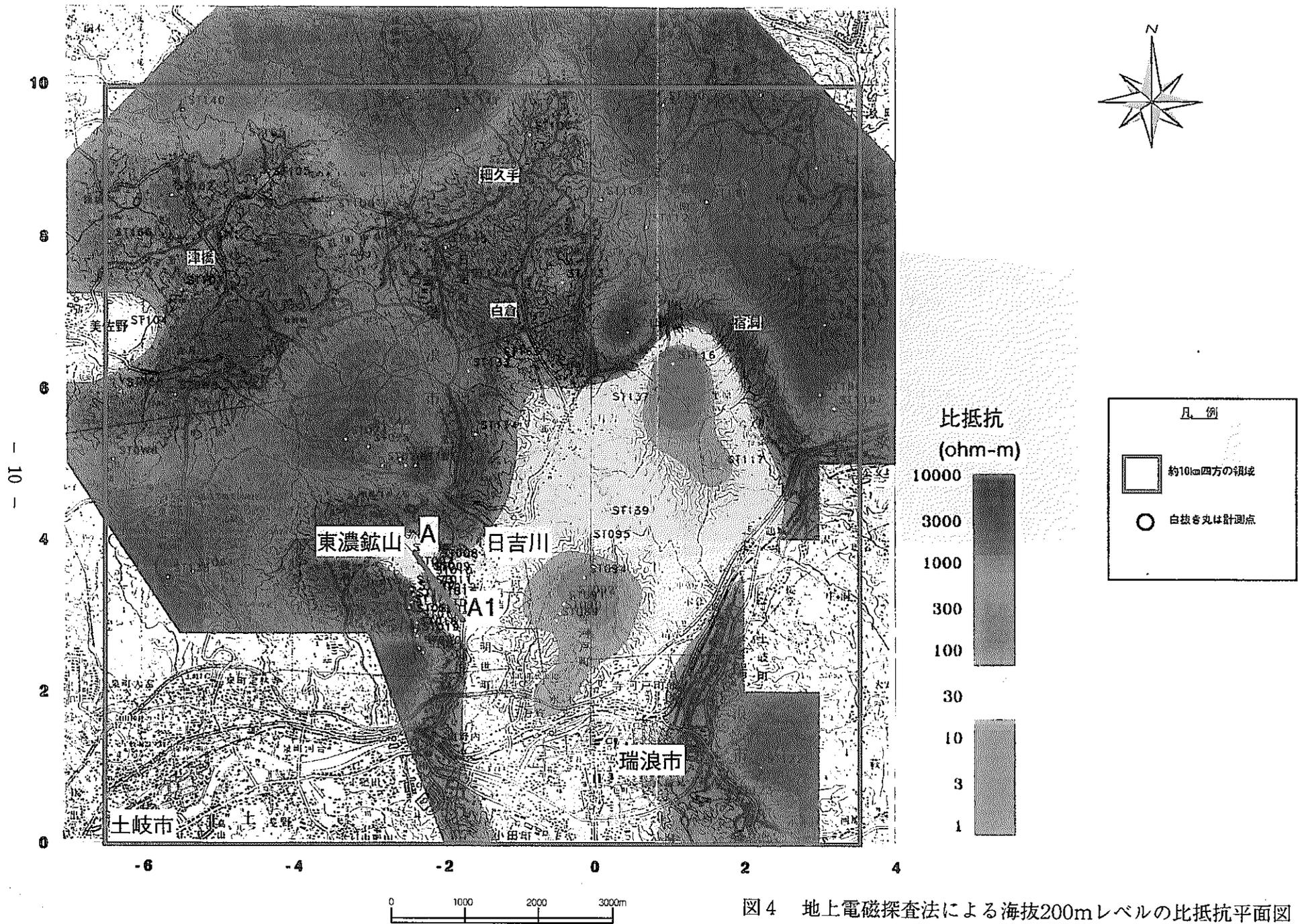


図4 地上電磁探査法による海拔200mレベルの比抵抗平面図

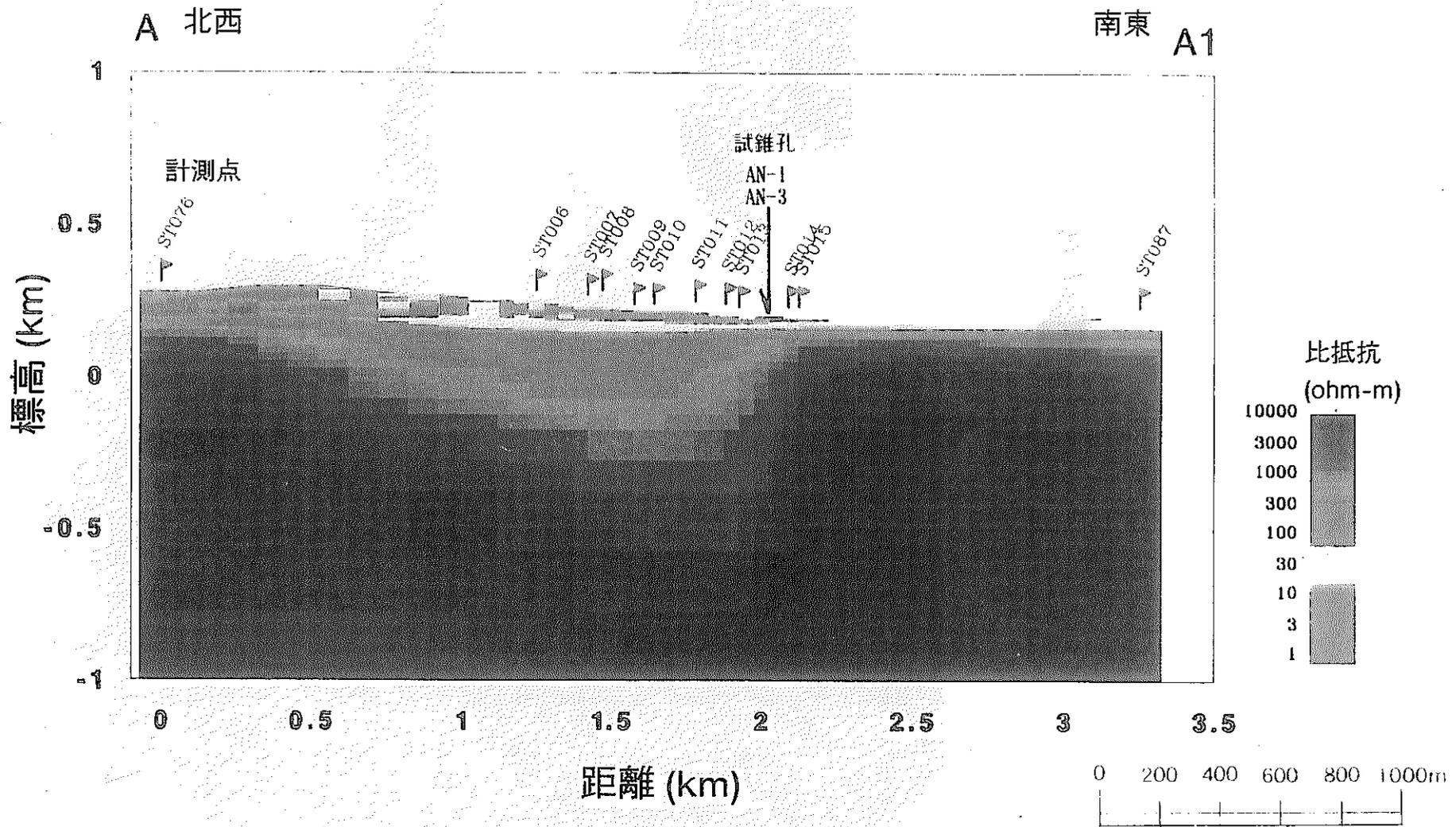


図5 地上電磁探査法による比抵抗断面図

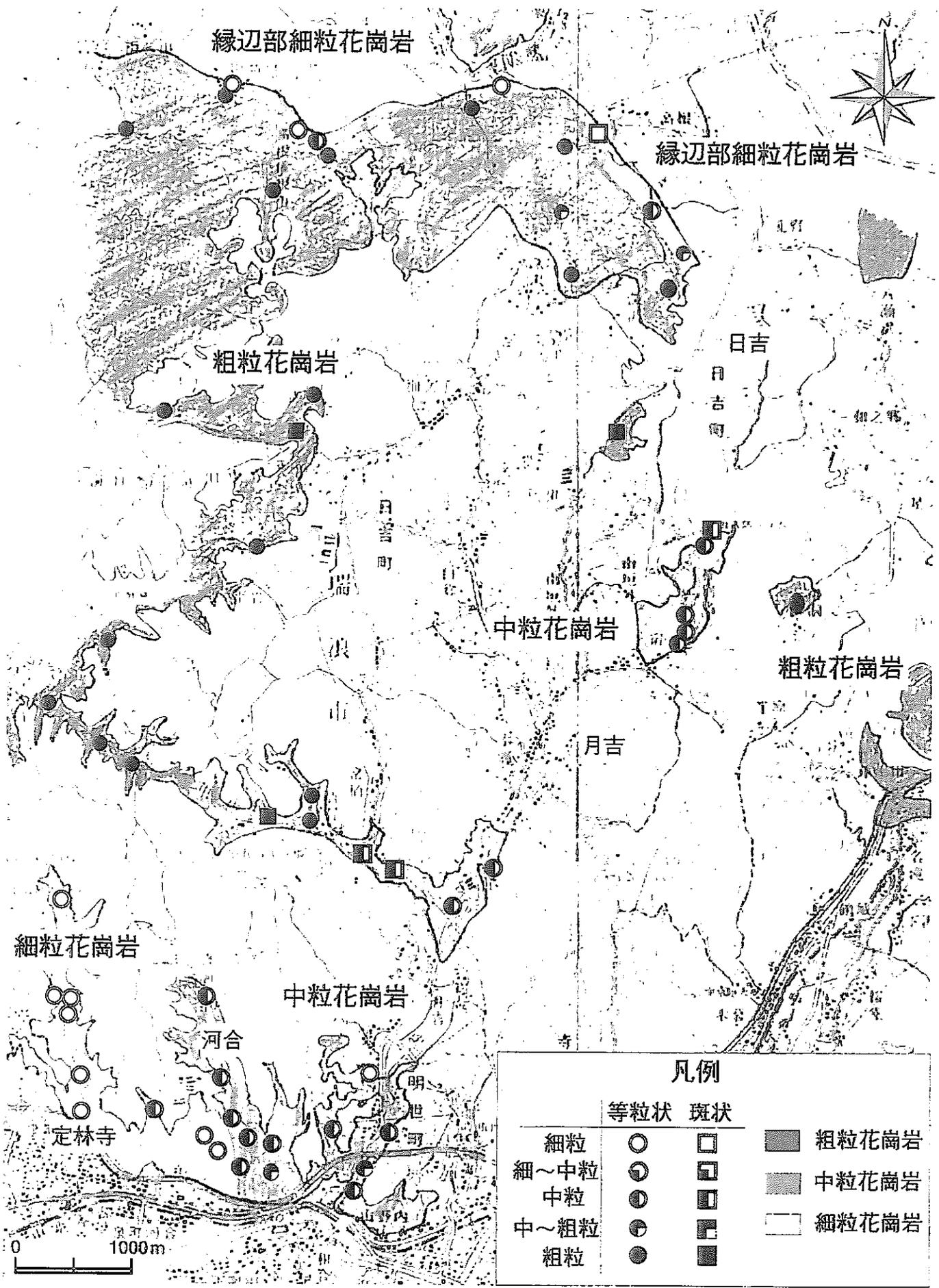


図6 地表地質踏査による土岐花崗岩体の粒度分布

た、地質構成別の地下水涵養量の違いを明らかにするため、これまで観測を実施していなかった花崗岩分布域の流域に表層水理定数観測システムを設置し、花崗岩分布域での地下水涵養量を算定する調査を開始した。これらの情報は、水理地質構造モデルの構築、および地下水流動解析での境界条件や初期条件の設定に用いられる。なお、表層水理定数観測システム設置は、平成10年度に継続して実施しており、本報告では、東濃鉾山周辺での平成9年度までの調査の成果を示す。

#### (1) 表層の水理地質構造の把握

表層部の水理地質構造を把握するために、東濃鉾山周辺において、表層地質の分布が異なる地域を対象に、浅層試錐孔（深度30～50m）を掘削した。これらの試錐孔で実施した水理試験の結果、瀬戸層群で  $3 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-5}$  m/s、瑞浪層群で  $3 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-5}$  m/s、浅部花崗岩の風化部で  $5 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-7}$  m/s の透水係数が得られた（図7）。また、水質分析の結果からは、花崗岩風化部の地下水は Na-HCO<sub>3</sub> 型を示し、瑞浪層群中の地下水は花崗岩中よりも溶存成分に富み、Ca-HCO<sub>3</sub> 型を示すことが明らかとなった（図8）（尾方ほか, 1998）。

#### (2) 表層水理定数観測

東濃鉾山周辺の表層水理定数観測システム（調査流域の位置を図9に、概念図を図10に示す）によるこれまでの長期観測結果（1990年から1994年までの5年間）から、新第三紀の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、1日あたり平均0.94mm（観測流域の上流側）および0.19mm（観測流域全流域）が得られた。上流側観測域の地下水涵養量が流域全体の約5倍の値を示すことから、上流側観測域は涵養域と考えられる（岡崎ほか, 1997）。

### 5. 1. 2 深層水理調査

1,000m級の試錐孔（DH-6,7,8号孔：位置を図1に示す）を利用して、表層から地下深部までの間隙水圧を測定して、地下深部における地下水の動水勾配を把握した。また、水理試験を実施して岩盤の透水性とその深度依存性を把握した。水理試験区間は、試錐調査で実施する岩芯記載、検層およびBTV調査の結果に基づいて風化部、健岩部、割れ目帯を選定した。これらのデータをとりまとめ、水理地質構造モデルの構築、および地下水流動解析における境界条件や初期条件の設定、さらに解析結果の検証などに利用する。なお、1,000m級の試錐孔

(DH-6,7,8号孔)を用いた調査は、平成10年度に継続して実施しており、本報告では平成9年度までの成果を示す。調査・試験データの取りまとめ、及びこれらの調査結果に基づく検討は平成10年度に継続して実施するため、検討の結果は平成10年度報告書に示す。

#### (1) 地下深部の動水勾配

東濃鉾山周辺地域で実施した地下水流動解析の結果、深度500m以深での動水勾配(一定の方向の単位距離あたりの全水頭の変化)(山本,1986)の分布は、500m以浅よりも小さくなることが予測されていた(深度0~500m:動水勾配0.02~0.04,500~1000m:動水勾配0.01~0.04)(柳沢ほか,1992)。

この解析結果の妥当性を、図1に示す試錐孔における原位置のダブルパッカー方式(尾方ほか,1998)による間隙水圧測定結果との比較により検証した。図1-1は、深度1,000mの試錐孔(DH-7,8号孔)間の動水勾配(2孔の同一深度で観測された間隙水圧の差を孔間距離で除した値)を示している。なお、比較に用いた各孔の計測点の標高、計測区間長はほぼ同一で、水平距離は1,300m、孔口の標高差は70mである(地形勾配は0.054)。図1-1から明らかなように、孔口の水位で計算した動水勾配は0.05強とほぼ地形勾配と等しい値を示すのに対して、深度500m以深は0.026~0.028と小さな値を示しており、上記の解析結果と同様な結果が得られた。なお、深度600m付近の動水勾配の大きな部分は、DH-7号孔の間隙水圧が局所的に高いことによる。この部分は破碎帯となっており、破碎帯の間隙水圧が高いことによるものと考えられる。

これらの実測結果から、地下深部の動水勾配が地表付近に比べて小さいという解析結果の妥当性が検証された(尾方ほか,1998)。

### 5. 1. 3 地下水の水理に関する調査結果の検討

平成9年度は、試錐孔DH-5,6,7,8,9号孔で囲まれた領域、および約10km四方の研究実施領域全域を対象として、水理地質構造モデルの作成、それを用いた地下水流動解析を実施する計画であったが、試錐調査が平成10年度まで継続中のため、平成10年度に着手する。

### 5. 2 地下水の地球化学

地質学的特徴が異なる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。

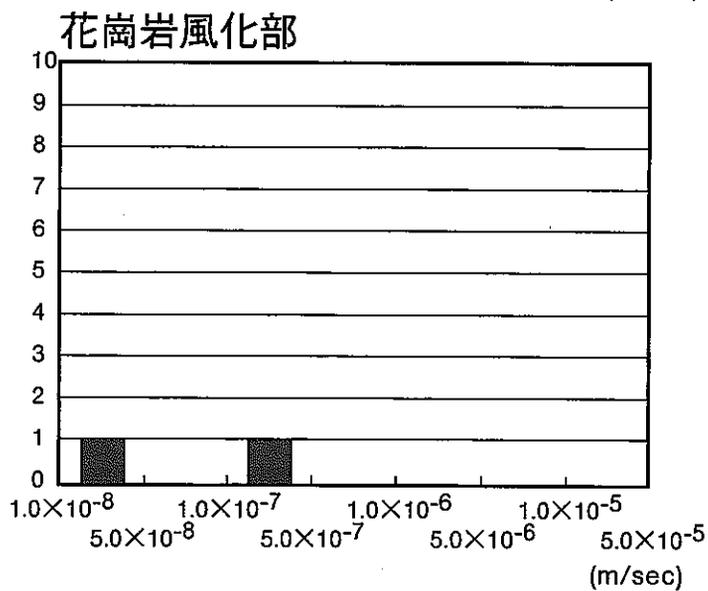
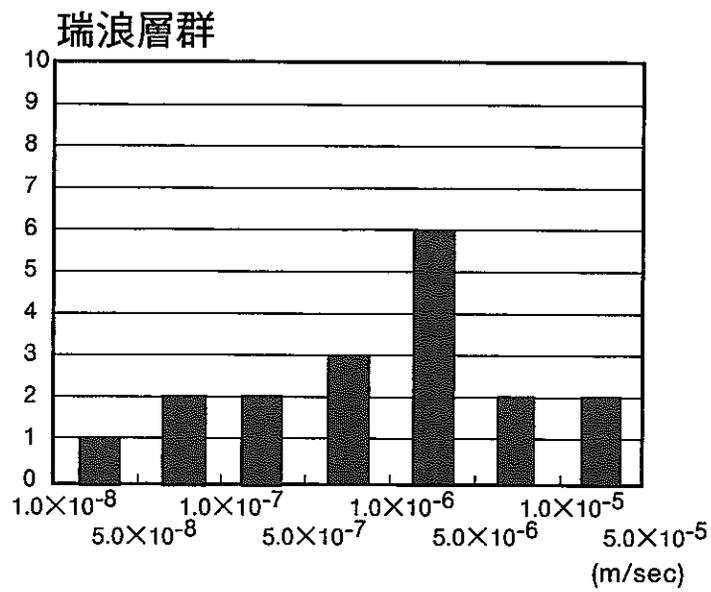
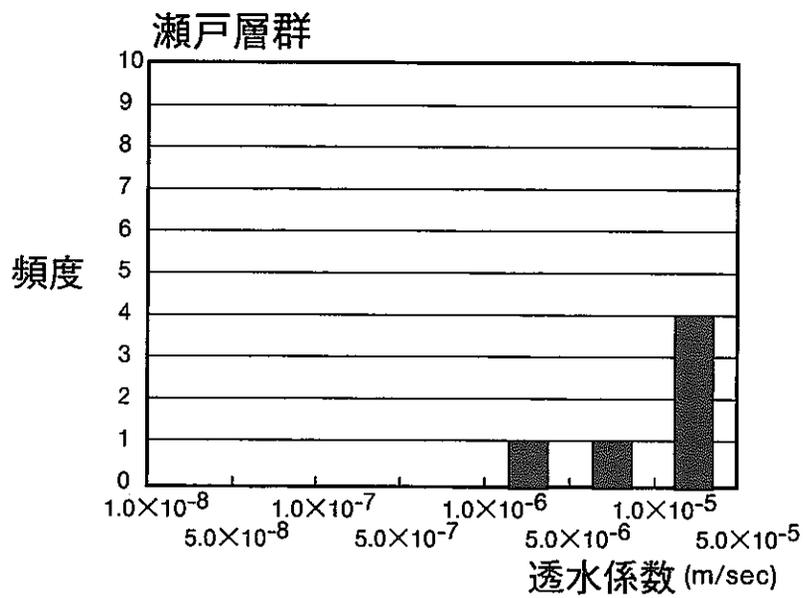


図7 浅層試錐調査による表層部の水理特性

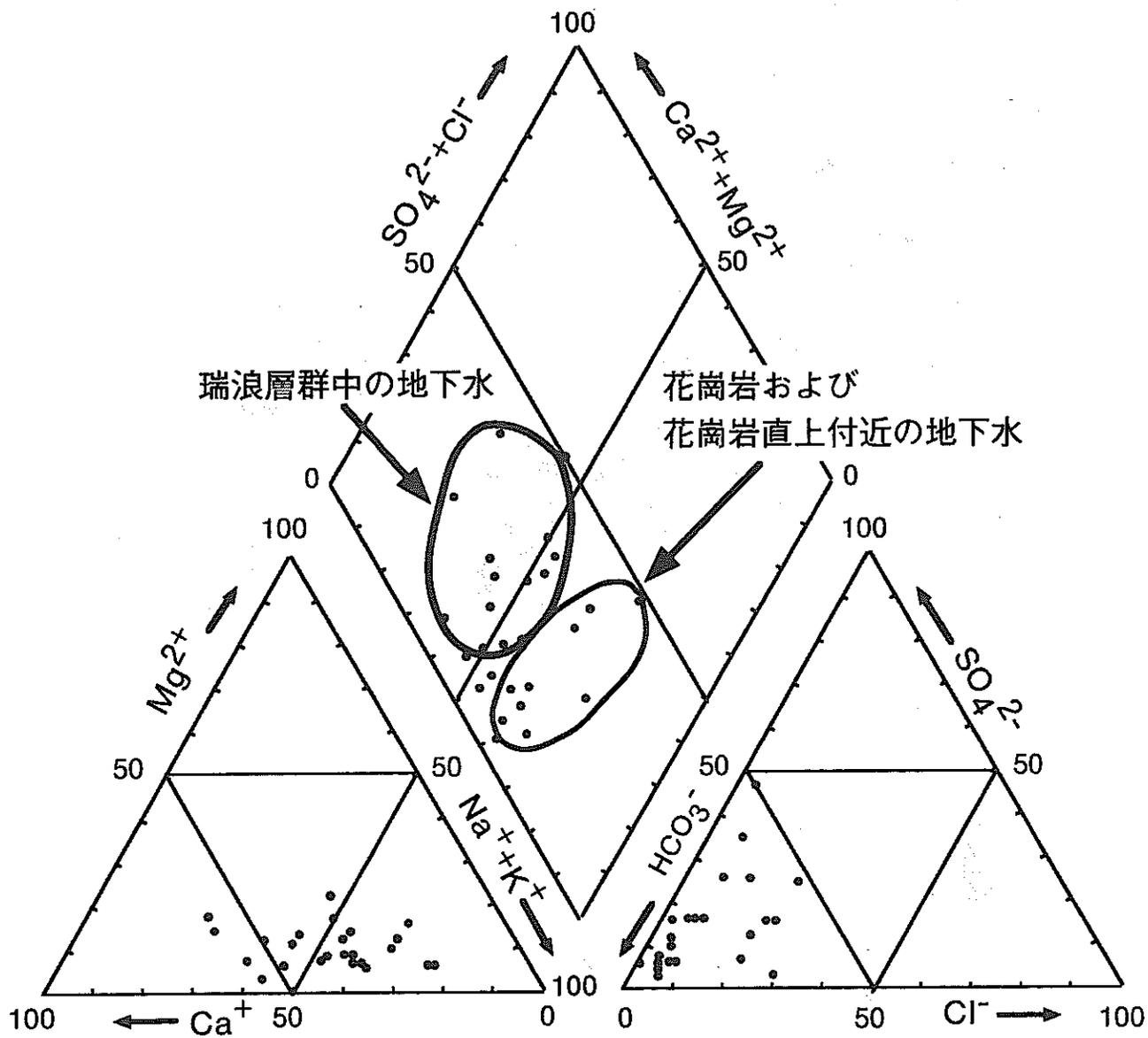


図8 トリリニアダイアグラムによる表層地下水の水質組成図



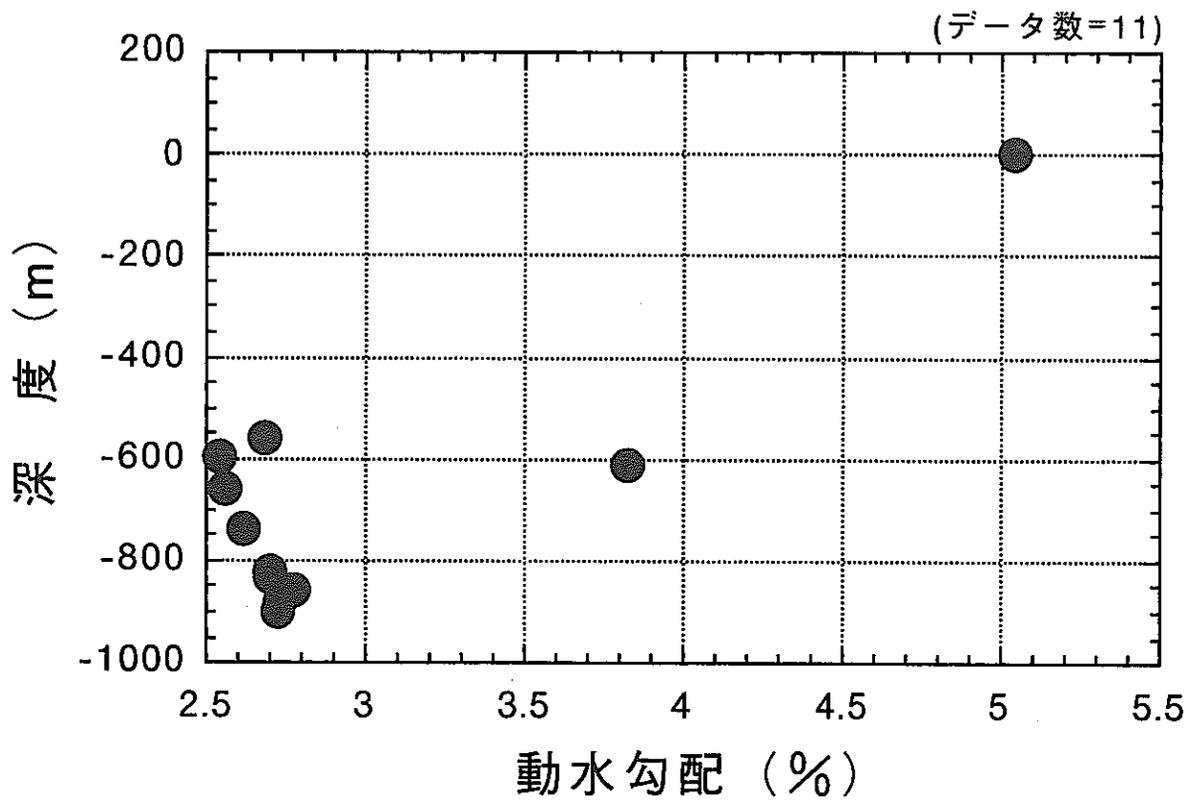


図1 1 試錐孔間 (DH-7、8号孔) の深度別動水勾配

平成 10 年度に、試錐孔 DH-5～9 号孔を用いた岩芯および地下水の分析を実施し、その結果を基に地下水の水質形成機構を検討する予定である。

### 5. 3 地下水の長期観測

地下水流動解析の結果の検証や調査技術の評価、さらに地下水の流動と水質の長期変動の把握を目的として 1,000m 級の試錐孔に多点式間隙水圧観測システム (MP システム) を設置し、間隙水圧および水質の長期観測を行う。平成 9 年度は既設の DH-3 号孔での観測を継続して実施した。平成 10 年度には、DH-7 号孔に機器を設置する計画である。

## 6. 調査技術・調査機器の開発

広域地下水流動研究を実施する約 10km×10km 程度の広がり、2,000m 程度の深度のある領域に対し、地表からの調査によって地質環境が本来的に有する性状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ことが目的である。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、総合的に解析を行う体系化された地質環境調査手法を開発する。

### 6. 1 1,000m 対応揚水試験機の製作

地下水の流動を定量的に評価するためには、数値解析を用いた評価法が一般的になっており、数値解析を実施するためには地下水の水理特性である透水係数を的確に把握しなくてはならない。特に対象範囲の広い地下水流動解析を実施する場合には、解析モデルの各要素が大きく、解析領域も 1000m 以深といった大深度を対象としている。このようなモデルの各要素に与える透水係数は、単孔式透水試験から得られる狭い範囲の透水係数よりも、ある程度の広い範囲を対象とした揚水試験から得られる平均的な透水係数を用いるのがより現実的である (見掛ほか, 1997)。揚水試験は、単孔式透水試験と比較して地下水位が平衡状態になるまでの長時間の測定を要し、帯水層に大きなインパクトを与えた結果を反映した試験であるため、広い範囲にわたる帯水層の平均的な透水係数を求める最良の方法とされている (西垣, 1987)。

このような必要性に応えるため、平成 9 年度に、1,000m 対応揚水試験機を 2

式製作した。本装置の特徴としては、単孔式透水試験、単孔式揚水試験のいずれも深度 1000m まで実施可能で、単孔式透水試験の測定範囲は、当センターで開発した 1,000m 対応水理試験装置と同様の性能を持ち、その透水係数の測定範囲は、 $10^{-6} \sim 10^{-11}$  m/s オーダーである。揚水試験の方法としては、ポンプ揚水（図 1 2）、またはエアーリフト揚水（図 1 3）による定圧・定流量揚水試験が可能である。

## 7. まとめ

平成 9 年度は、試錐調査、物理探査などの現地調査がなされたが、調査・試験データの取りまとめ、および調査結果に基づく検討は、その多くが平成 10 年度に実施されることとなった。よって平成 10 年度には、試錐孔 DH-5, 6, 7, 8, 9 号孔を用いた調査の取りまとめ・検討を主たる業務とする他、4 孔の試錐調査など、新たな調査を予定している。

## 8. 参考文献

- 東濃地科学センター (1997)：広域地下水流動研究基本計画書，PNC PN7020 97-002
- 尾方伸久 ほか (1998)：東濃地域を対象とした広域地下水流動研究の現状，動燃技報（投稿中）
- 岡崎彦哉 ほか (1997)：長期表層水理観測による水収支と立坑掘削影響の把握－東濃鉾山周辺流域を対象として－，日本地下水学会平成 9 年度春季講演会講演要旨，p.24～29.
- 西垣 誠 (1987)：揚水試験の基礎方程式と貯留係数の解釈，地下水と井戸とポンプ，第 29 巻 3 号.
- 牧野雅彦 ほか (1992)：日本の磁気図，地質調査所
- 見掛信一郎 ほか (1997)：深度 1000m を対象とした単孔式の揚水試験装置の開発とその機能の検討，日本応用地質学会平成 9 年度講演会講演要旨.
- 柳沢 孝一 ほか (1992)：我が国を対象とした地下水流動解析（その 1）－中部日本を対象とした地下水流動解析－，動燃技報 PNC TR/GE92-04 P54
- 山本 莊毅 (1986)：地下水学用語辞典，古今書院 P75

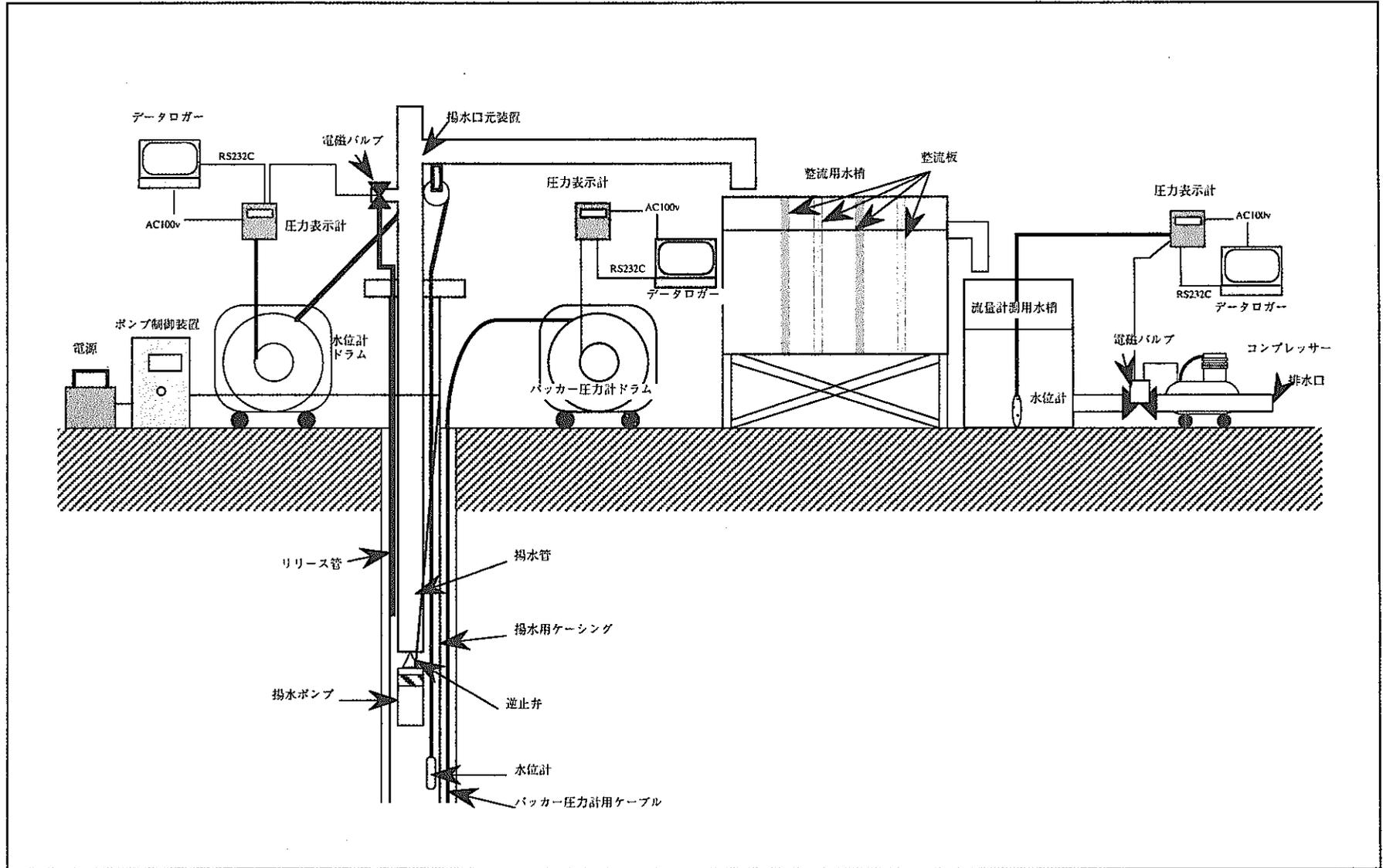


図12 ポンプ揚水試験装置（地上部）の概念図

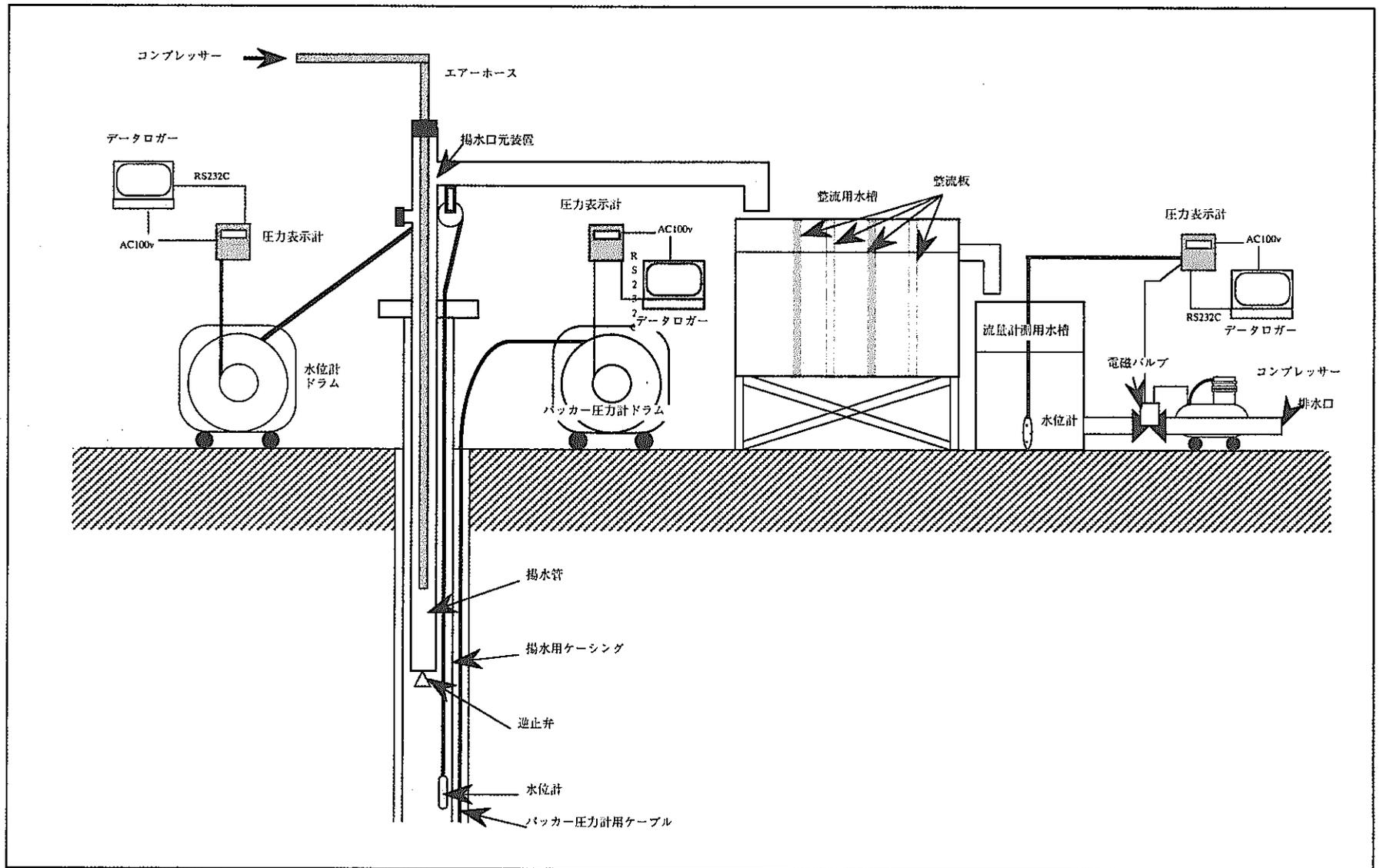


図13 エアーリフト揚水試験装置（地上部）の概念図