

広域地下水流動研究  
実施計画書

平成10年度、11年度研究計画書

(技術報告)

1998年10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)

1999

## [ 目 次 ]

1. 序論	1
2. 広域地下水流动研究の概要	1
2. 1 概要	2
2. 2 研究の構成	2
2. 2. 1 研究目標	2
2. 2. 2 研究分野毎の目標	2
2. 3 これまでの研究成果	4
2. 4 本研究の実施領域	4
2. 5 スケジュール	5
3. 地質・地質構造に関する調査・研究	9
3. 1 はじめに	9
3. 2 調査・研究の目標	9
3. 3 研究の進め方	9
3. 3. 1 基本的な方針	9
3. 3. 2 実施内容	10
4. 地下水の水理・地球化学に関する調査・研究	15
4. 1 地下水の水理	15
4. 1. 1 はじめに	15
4. 1. 2 調査・研究の目標	16
4. 1. 3 調査・研究の進め方	16
4. 2 地下水の地球化学	20
4. 2. 1 はじめに	20
4. 2. 2 調査・研究の目標	21
4. 2. 3 調査・研究の進め方	21
4. 3 地下水の長期観測	26

5. 調査技術・調査機器の開発	26
5. 1 はじめに	26
5. 2 研究の目標	26
5. 3 開発の進め方	27
5. 3. 1 基本的な方針	27
5. 3. 2 実施内容	27
6. 参考文献	30

## 1. 序論

本計画書は、「広域地下水流动研究基本計画」(東濃地科学センター,1997)（基本計画）に基づき、平成9年度までの調査・研究の進捗を踏まえ、平成10、11年度の詳細な研究計画を示すものである。

研究計画の策定にあたり、以下の点に留意した。

### (1)研究計画の基本方針

研究計画にさらに具体性を持たせるため、研究領域のスケールに対応し、地質環境を評価するための調査項目を設定した。また、調査研究の進め方として、調査量の増加に伴うモデルの更新を可能とするため、「調査－解析－評価－追加調査－再解析」といったプロセスを研究スケジュールに明確に組み入れた。

### (2)海外の先行研究との関わり

先行事例を活用できる利点を最大限利用し、海外での先行研究で得られた地質環境や調査・解析・評価の技術に関する理解、知識、技能およびノウハウを参考にした上で、研究実施領域の地質環境や対外的な条件に則した研究計画とした。

### (3)他の地層科学研究との関わり

釜石鉱山および東濃鉱山における試験研究を経て取得した知見や経験は、本計画の立案や運営にあたり極めて有益である。計画の策定にあたっては、これらの研究プロジェクトの成果を隨時反映させた。

### (4)計画の柔軟性の確保

調査が進展し情報量が増えるに連れて、追加調査による確認が必要な地質構造要素、さらなる研究を必要とする研究項目などが、次第に明らかになることが予想される。よって調査計画は、調査の成果・進捗にあわせて柔軟に対応出来るよう、研究スケジュールを組み立てた。

## 2. 広域地下水流动研究の概要

広域地下水流动研究は、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を実施領域として、地下水の流动と地球化学的特性の把握、およびこれに必要な調査技術の開発を目標に進められてきた。

## 2. 1 研究の構成

地下水流动を規定しているのは、流动の場となる地形、地質・地質構造や地下水の水圧分布などである。また、地下水の水質は、地下水の流动経路沿いの岩石の鉱物組成や化学組成などと関係している。さらに、これらの研究に必要となる調査機器の整備が必要である。このため本研究を、以下の構成とする。

- ①地質・地質構造に関する研究
- ②地下水の水理・地球化学に関する研究
- ③調査技術・調査機器の開発

加えて、各研究分野の成果を統合して、対象となる地質環境を包括的に理解するため、  
・研究成果の統合化  
を行う。

## 2. 2 研究目標

### 2. 2. 1 全体目標

本研究の目標は以下の通りである。

- ①研究実施領域における表層から地下深部までの地質・地質構造、地下水の水理と地球化学的特性の把握、およびそのモデル化。
- ②対象とする地質環境における地質構造、地下水の水理および地球化学的特性を的確に調査・解析・評価する技術の構築。

なお、ここで言う調査・解析・評価の技術の構築には、個々の調査手法、調査機器の開発と、これらの技術の体系化とともに、地質環境を評価する上での調査項目の明確化、さらに地下深部の地質環境およびその調査・解析・評価の技術に関する理解、知識、技能、ノウハウの修得が含まれる。

### 2. 2. 2 研究分野毎の目標

#### (1) 地質・地質構造

研究実施領域における地下水流动を規制する地質構造要素（水みちとなる不連続構造、岩盤の水理学的な不均質性）の分布や性状を明らかにし、地質構造概念モデルを構築する。

（基本スタンス）

・研究実施領域の水みちとなる不連続構造（断層、破碎帯および岩脈など）、岩盤の

水理学的な不均質性（岩相および風化・変質帯など）などの地質構造要素に注目し、これらの抽出とその特性の把握に重点を置く。

- ・地質構造概念モデルの深度は、地下水流動解析において深度1,000mの解析に必要となる約2,000m程度までを対象とする。

## (2) 地下水の水理

地質構造概念モデルで表現された地質構造要素の水理学的特性を把握し、水理地質構造モデルを構築する。さらに地下水流動解析に必要な境界条件や初期条件となる水理観測データを取得し、実施領域内の地下水流動を推定する。

（基本スタンス）

- ・地質・地質構造調査において抽出された不連続構造が、実際に水みちとしての役割を果たしているかどうかを確認する。
- ・地下深部の地下水の流動経路長および滞留時間を、地下水流動解析により推定することに重点を置く。
- ・水理地質構造モデルの深度は、解析上、解析対象深度の2倍程度の深度が必要であることから、本研究では約2,000mとする。

## (3) 地下水の地球化学

研究実施領域での地下水の地球化学的特性の分布を把握し、地球化学モデルを構築する。このモデルによって、地下水流動解析により示される地下水流動系の妥当性を確認する。

（基本スタンス）

- ・花崗岩体部での地下水の地球化学特性分布の空間的な不均質性を確認する。

## (4) 調査技術・調査機器の開発

広域地下水流動研究での調査・研究に必要とされる、水理試験／採水試験の品質および試験装置の操作性や信頼性を向上させるとともに清水掘削技術を構築する。さらに、これら調査技術の体系化を行う。

（基本スタンス）

- ・水理試験データの信頼性向上のため、測定装置およびの解析手法の改良を行う。
- ・水理試験装置および採水試験装置の運用面の改良を実施する。
- ・清水掘削工法として三重管掘削工法を実用化する。
- ・物理探査手法については有効性や手法の組み合わせについて検討する。

## 2. 3 これまでの研究成果

広域地下水水流動研究の実施領域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層が覆い、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している。また、研究実施領域内に位置する東濃鉱山は、昭和39年の月吉ウラン鉱床の発見以来、新第三紀層を対象に、約20年間、鉱体・鉱量の把握のために試錐調査を中心とする各種調査が実施され、新第三紀層の堆積構造や基盤花崗岩との不整合面の形状などが詳細に調査されている。また、昭和61年度から地層科学研究の一環として実施されている東濃鉱山での研究において、未固結砂礫層、新第三紀層、および花崗岩（不整合近傍）中の地下水の水質や年代が測定されている。さらに東濃鉱山第2立坑での立坑掘削影響試験において、約300m×300mの領域で新第三紀層の主な岩種の透水係数、第2立坑周辺の地下水位、水収支解析による地下水涵養量などのデータが取得されている。それ以降も、試錐孔を用いて、地質学的、水理学的、地球化学的データの取得が継続して行われている。

一方、技術の開発に関しては、広域地下水水流動研究において東濃鉱山周辺に掘削された試錐孔（DH-1号孔～4号孔）を利用して、深度500mまでの岩盤の透水性や地下水の地球化学的特性を計測するための調査機器の開発・適用試験を実施し、実用化している。また、東濃鉱山の第2立坑（深度150m）の掘削に伴う影響評価研究では、第2立坑周辺の300m×300m×深さ300mの堆積岩（新第三紀層）において、多孔質岩盤を対象とした地下水水流動解析コード（TAGSAC）の妥当性を確証している。このように、深度数百mまでの多孔質岩盤中の地下水水流動を把握する調査・解析手法は開発されている。さらに、より地下深部の地質環境を把握するため、深度1,000mに適応可能な水理試験装置と地球化学特性調査機器を完成させた。また、花崗岩などの亀裂性岩盤を対象とした地下水水流動解析手法の開発にも着手しており、Don-Chanモデルなどのフラクチャーネットワークモデルを構築している。

また、東濃鉱山周辺における地下水の概略的な流動系を把握するため、これまでの調査結果、および一般的な知見（地下水の流れは、地形や地質構造、および河川等に支配されると考えられる）から、土岐市、瑞浪市周辺の尾根部および、土岐川、日吉川等の河川部を境界とした約8km×7km程度の領域を例として、地下水水流動解析を実施した。さらに平成4年度からは、より詳細に地下水水流動を解析する手法（フラクタル理論を用いた水理定数の推定法など）の開発に着手している。

## 2. 4 本研究の実施領域

東濃鉱山およびその周辺領域で蓄積された研究成果を有効に活用するため、本研究の実施領域は東濃鉱山周辺にもとめられ、以下に示す検討を経て、研究の実施領域を図1

に示す約10km四方の領域とした。なお、研究の実施領域は、調査研究の進捗に伴って得られる新たな知見に基づき、適宜見直すこととする。

東濃地域の地形や断層に関する文献調査の結果、東濃鉱山を含む図1に示す約30kmの領域が、東濃地域における主要な断層である屏風山断層、華立断層、赤河断層、および白川断層の延長部によって囲まれた断層地塊と考えられ、東濃鉱山周辺での大局的な地下水流动場を決定していると考えられた。また本研究では、主に地下水流动を対象とすることから、調査解析領域を地下水の涵養域から流出域という一つの地下水流动場とするため、東濃鉱山周辺での分水界（涵養域）や主要河川（流出域）の位置を検討し、その結果、調査解析領域として図1に示す約10km四方の領域を想定した。さらに、この領域の地質学的、水理学的位置づけを確認するため、図1に示す約30km四方の領域を対象に大規模な地質・地質構造の把握、および大略的な地下水流动の把握のための調査・解析を実施し、図1に示す約10km四方の領域が、一つの地下水流动場であることを確認した（三枝ほか,1997）。よって、それ以降の調査解析領域を、この約10km四方の領域とした。

## 2.5 スケジュール

平成10、11年度に実施する主な調査・研究スケジュールを表-1、2に示す。調査・研究項目の内容については次章以降に詳述する。各年度での研究方針は以下の通りである。

### (1) 平成10年度

広域地下水流动の上流側および下流側の水理学的境界条件の把握と、花崗岩中の月吉断層の構造を明らかにするための試錐調査を主体に実施する。

### (2) 平成11年度

リニアメントを指標とした地下水流动を規制すると考えられる地質構造要素の調査と、地下深部の地下水の水質の分布を把握するための試錐調査を主体に実施する。

### (3) 平成12年度以降

平成12年度以降の実施計画は、基本的には平成10年度の調査・試験結果に基づき策定する。また、当該年度の詳細計画は、前年度の調査・試験結果に基づき検討する。

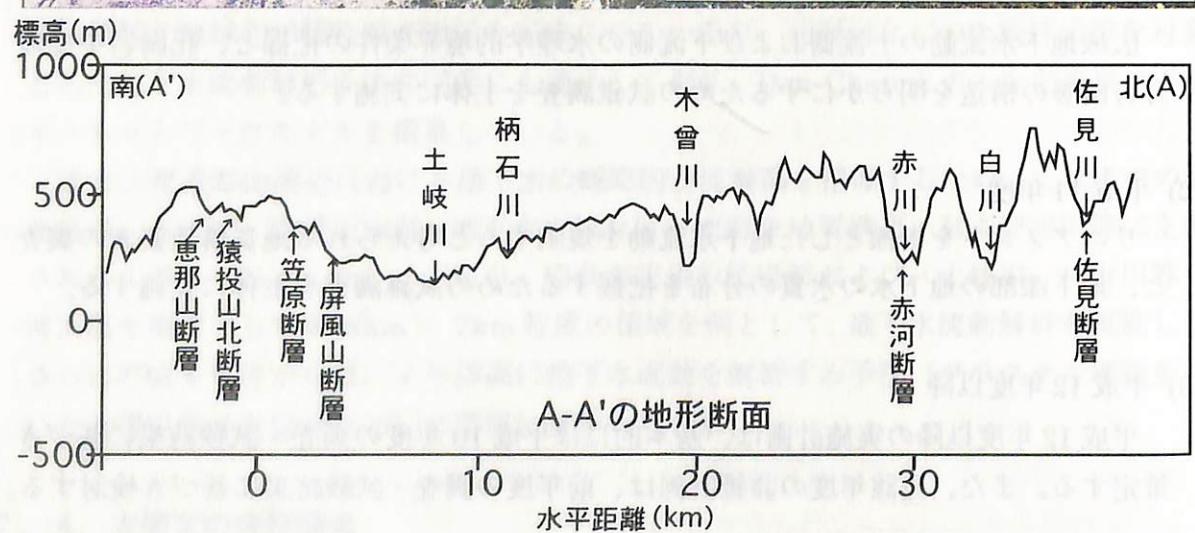
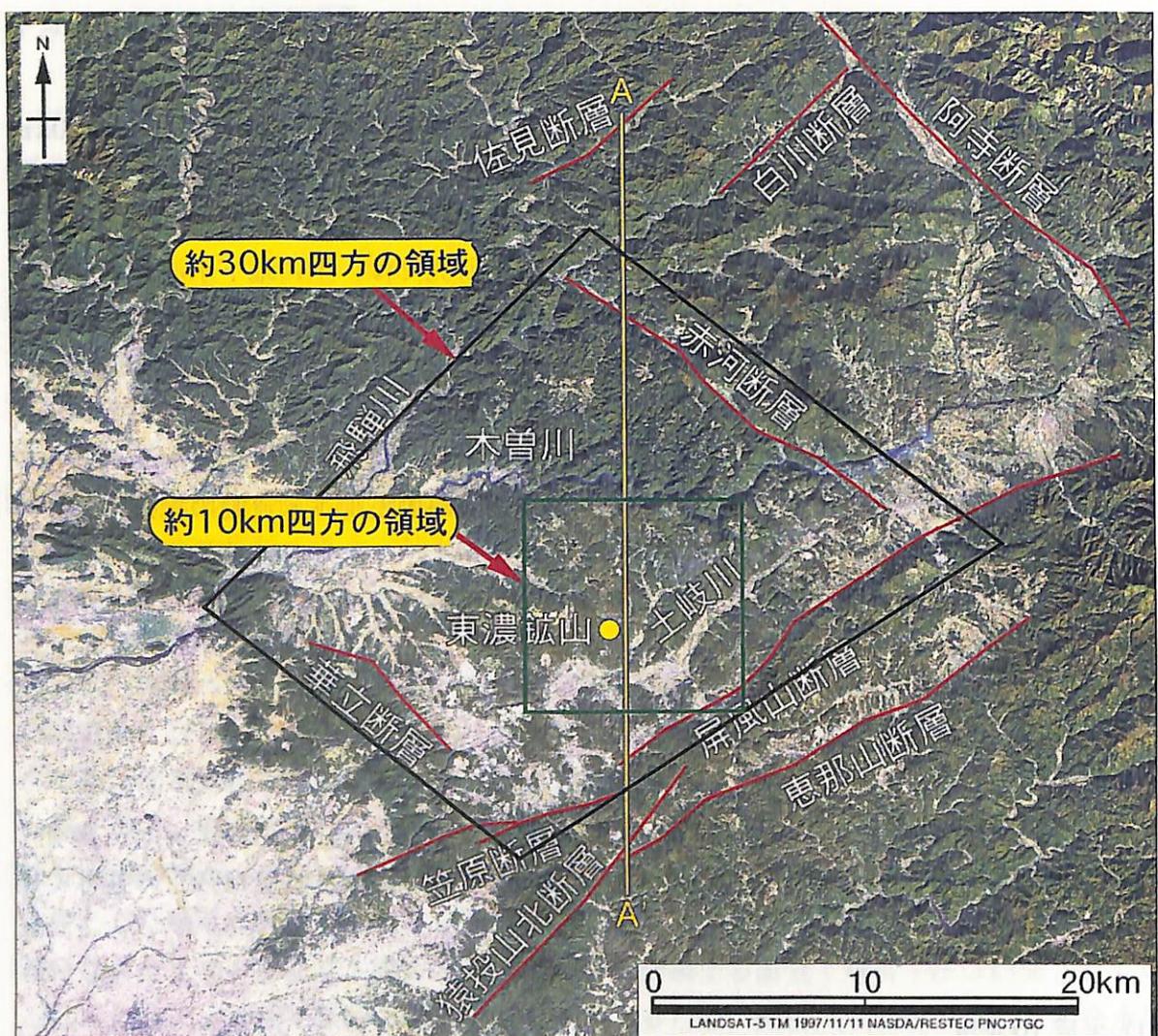


図1 研究実施領域

表－1 広域地下水流动研究スケジュール（平成9年度から平成11年度）

研究項目	第6年度	第7年度	第8年度
	H9	H10	H11
(1) 地質・地質構造			
・文献調査			
・地球物理学的調査（空中、地表）			
・露頭地質調査			
・試錐調査			
・地質・地質構造に関する検討			
地質学的調査*			
地質構造概念モデルの作成			
(2) 地下水の水理・地球化学			
地下水の水理			
・大略的な地下水流动の把握			
・表層水理調査			
・深層水理調査*			
・地下水の水理に関する検討			
水理地質構造モデルの構築			
地下水流动解析			
水理定数の空間分布の推定法 の開発			
地下水の地球化学			
・場の理解のための調査*			
・地下水の地球化学に関する検討			

(注) \*印は、試錐掘削に付随して実施する。

破線部は未確定

表一 2 広域地下水流动研究スケジュール（平成9年度から平成11年度）

研究項目	第6年度	第7年度	第8年度
	H9	H10	H11
地下水の長期観測			
・孔内水位観測			
・間隙水圧長期モニタリング			
・水質の長期モニタリング			
(4) 調査手法・機器の開発			
・三重管掘削工法の開発	設計		製作・適用試験
・部分保孔装置の開発	構成部品の設計・製作		適用試験
・既存技術の適用性の評価	地球物理学的調査の実績取りまとめ		
・1,000m対応水理試験装置の改良・高度化	高温環境型開発	屈曲孔対応型開発	
・1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の改良・高度化	高温環境型開発	屈曲孔対応型開発	
・単孔式水理試験データ解析手法の高度化	改良	既存データの再解析	
・1,000m対応初期応力測定装置の開発	概念設計	設計・製作	適用試験

(注) \*印は、試錐掘削に付随して実施する。

破線部は未確定

### 3. 地質・地質構造に関する調査・研究

#### 3. 1 はじめに

広域地下水流动研究における地質・地質構造に関する調査・研究では、地下水流动の場となる地質環境について地質学・構造地質学的な観点から幅広く調査し、把握するとともに、地下水流动に直接的な影響を及ぼすと考えられる地質構造要素の特性を評価し、概念的にモデル化することが必要であると考えられる。このモデル化により構築される地質構造概念モデルは、第4章で述べる水理地質構造モデルの基礎となるものであり、深部地下水の地球化学的特性を評価する際にも考慮されるものである。また、特に地質構造概念モデルの構築の観点から、これまでに整備された調査技術や解析・評価手法などの妥当性について確認するとともに、必要であれば新たな技術開発を行うことも重要な要素となる。したがって本計画は広域的な地下水流动の場の把握のみならず、地質構造の体系的な調査手法を開発する、あるいはそのためのノウハウを蓄積するためのものであることが必要である。

#### 3. 2. 調査・研究の目標

上記の背景から、広域地下水流动研究における地質・地質構造に関する調査・研究の目標は、以下の3項目にまとめられる。

- ①研究実施領域の地表から地下深部（約2,000m）までの地質・地質構造に関するデータの取得
- ②データの検討結果に基づく地質構造概念モデルの構築と妥当性の検証
- ③地質・地質構造を体系的に調査・解析・評価する技術の構築

#### 3. 3 今後の調査・研究の進め方

##### 3. 3. 1 基本的な方針

地質構造概念モデルの構築および広域地下水流动の解析を行う上で、考慮する必要がある地質構造要素として、水みちとなる不連続構造および岩盤の水理学的な不均質性が考えられる。水みちとなる不連続構造はおもに地下深部から地表あるいは表層に達するような不連続構造であり、断層、破碎帯、岩脈などが挙げられる。一方、岩盤の水理学的な不均質性は表層および基盤岩類が有する水平的な水理学的不均質性であり、これは比較的大きなスケールの岩相（花崗岩、堆積岩などの区分）、風化・変質帯などが相当すると考えられる。これらの地質構造要素は、「スイス放射性廃棄物管理共同組合

(NAGRA)」が北部スイスにおいて実施した広域地質環境調査においても考慮されたものであり、実際にその重要性が確認されている(例えば Nagra, 1994)。

東濃地科学センター周辺においては、比較的密に掘削された広域地下水流动研究での試錐孔を対象とした予察的な地質学的調査により、破碎帯、岩脈、岩相変化などの地質構造要素について、各試錐孔における点の情報が整備されてきており、空中写真や人工衛星画像からはリニアメントが判読され、その卓越した方向性やいくつかのゾーン分けができることが明らかにされた。今後は、引き続き実施される試錐孔で地質学的調査を実施すると共に、リニアメントに関しては露頭地質調査、物理探査および試錐調査によってその水理学的特性を把握する。これらの調査・解析の結果を基にして地質構造概念モデルを構築していく。

### 3. 3. 2 実施内容

これまで東濃鉱山周辺の大略的な地質・地質構造を把握する目的で、図-1に示す約30km四方の領域を対象に文献調査、空中写真判読、空中物理探査を実施した。さらに約10km四方の研究実施領域では詳細な地質・地質構造を把握するために物理探査、露頭地質調査、および試錐調査を実施している。また文献調査および露頭地質調査により、研究実施領域における地質構造発達史や土岐花崗岩体の分布などが明らかになっている。また、重力探査および航空磁気探査の結果からも、土岐花崗岩体の分布や基盤面の形状(たとえばチャンネル構造)などが概ね把握されている。

今後は、地球物理学的調査および試錐調査により、研究実施領域の深度2,000mまでの土岐花崗岩体の地質・地質構造を調査するとともに、水理学的特性との相関関係について把握する。また、水みちとなる不連続構造とリニアメントとの関係、および地質構造要素としての月吉断層の特性について集中的に調査を実施する。さらに、取得したデータのコンパイルと解析を実施し、地質構造概念モデルを構築する。

よって、以下の3項目により研究を進める。

- ① 地球物理学的調査(空中、地表)
- ② 試錐調査
- ③ 地質・地質構造に関する検討

平成10、11年度の具体的な実施項目は以下の通りである。

#### (1) 地球物理学的調査(空中・地表)

表層堆積物、およびそれに覆われた堆積岩の分布を把握し、さらに基盤岩である花崗岩との不整合面の深度の推定および花崗岩内の変質、破碎帶などの把握を目的とする。

### ( i ) 空中物理探査

表層付近に分布する堆積岩の物性値の把握、岩相境界の抽出、および断層などの断裂系の検出を目的とする。この調査では、自然放射能、電磁気、磁気、VLF法測定を行う。

#### (a) 平成 10 年度

- ・固定翼機を用いた空中磁気探査を実施する。
- ・約 10km 四方の研究実施領域において、ヘリコプターによる空中物理探査（磁気探査、VLF 法探査、放射能探査、周波数領域磁気探査）を実施する。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（ $2.5 \times 1.6\text{ km}$ ）で実施する。

### ( ii ) 地上物理探査

上部の堆積岩と基盤岩である花崗岩との不整合面の深度の推定、基盤岩上部の地質構造の推定、基盤岩内の変質、破碎帶などの把握を目的とする。地上物理探査の調査範囲、測線位置については、空中写真判読、および空中物理探査などの結果を基に決定する。

#### (a) 平成 10 年度

- ・確実性の高いリニアメントを横切るように 2 測線（各 1km 程度）をもうけ、バイブレーターを震源とした反射法弾性波探査を実施し、リニアメントと地下構造との関係について把握する。

#### (b) 平成 11 年度

- ・リニアメントの卓越する方向性で分けたゾーンの境界と地下構造との関係を把握するために、バイブルーターを震源とした反射法弾性波探査（ $2\text{ km} \times 5$  測線程度）を実施する。
- ・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）を実施する。

### (2) 試錐調査（図-2 参照）

東濃鉱山に近接する東濃地科学センター周辺で実施された試錐孔 DH-5, 6, 7, 8 の地質学・水理学的データから推定された地質・地質構造について、水平的な連続性（あるいは点の情報を面で結ぶ際に生ずる不確実性）を確認・検証するために、新たに 1,000m 級の試錐孔を掘削する。特に月吉断層は、対象領域において唯一、分布が

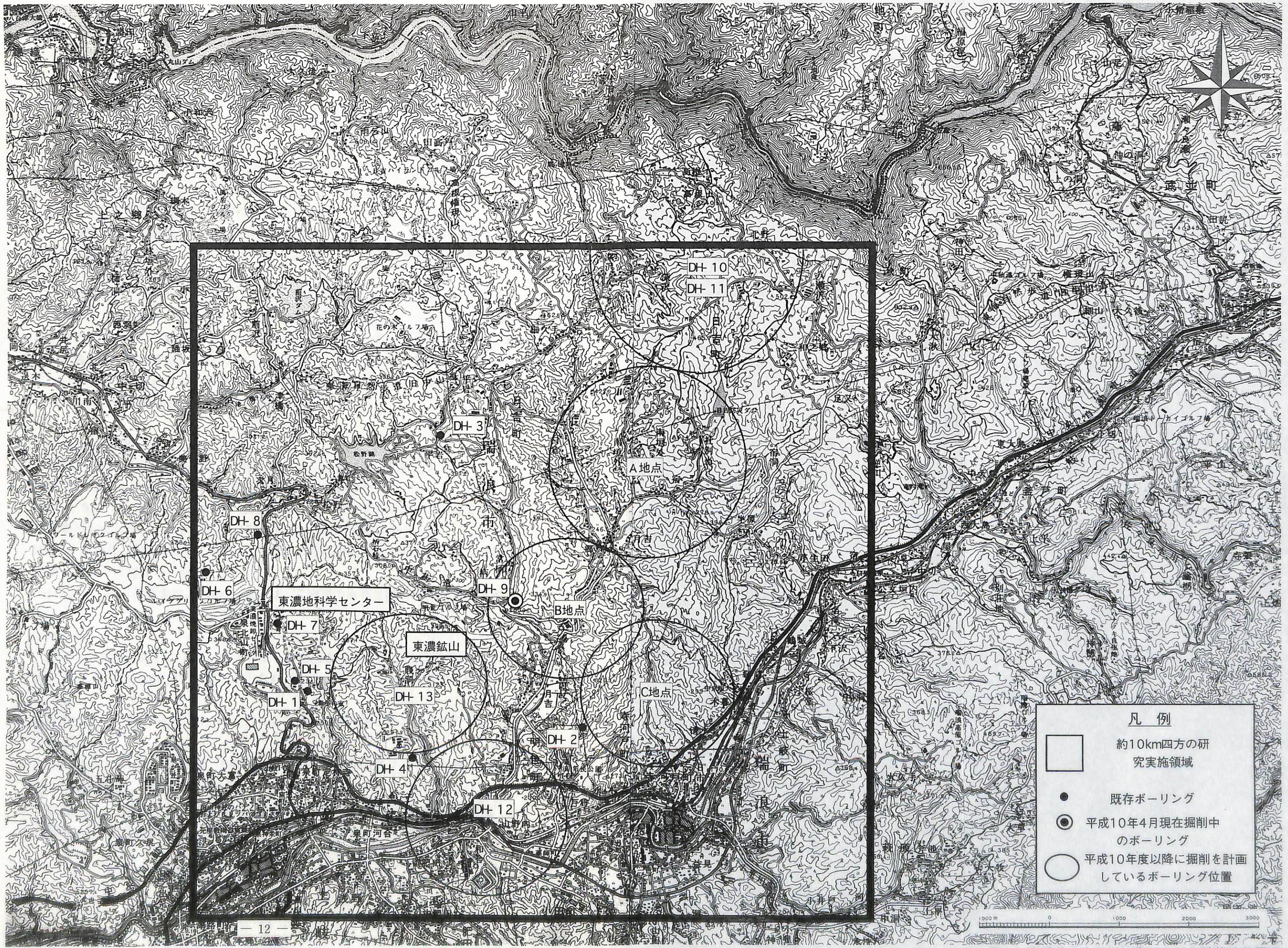


図2 広域地下水流动研究における試験孔位置図

明らかになっている水みちとなる不連続構造と予想される地質構造要素であり、瑞浪層群（堆積岩）中においては遮水壁としての機能を有することが確認されているもの、土岐花崗岩中におけるその地質学・水理学的特性は明らかになっていない。したがって、地下深部（数百m）の土岐花崗岩中において、月吉断層の特性を確認することを当面の課題とする。また、地上物理探査および露頭地質調査により、リニアメントが水みちとなる不連続構造と考えられることが確認できた場合、そのリニアメント部分での岩盤の特性を把握するための試錐孔を掘削する。さらに、研究実施領域の最深部までの地質・地質構造を把握し、岩盤の水理学的な不均質性を系統的に調査するために、2,000m級の試錐孔を掘削する。

いずれの試錐孔においても、掘削直後に各種の検層（電気検層、密度検層、中性子・ガンマ線検層、音波検層、温度検層、孔径検層、孔曲がり検層、フローメーター検層）およびボアホールテレビ調査（以下BTV調査）を行うとともに、岩芯を用いた、地質学・構造地質学的な観点からの記載、室内試験（岩石鉱物試験、年代測定）を行う。また、いくつかの試錐孔では力学特性試験（初期応力測定、室内物性試験）を行い、これらを地質・地質構造を把握するための基礎データとする。

#### (i) 平成10,11年度

平成9年度から継続するDH-9号孔に加え、新規に4孔を掘削する。

- ・ DH-9号孔（1,000m級）は、土岐花崗岩帯中央部を調査する。
- ・ DH-10、11号孔（位置未定、1,000m級）は、研究実施領域の北縁に分布する中生層の深度分布、および土岐花崗岩と中生層の境界部を調査する。
- ・ DH-12号孔（位置未定、1,000m級）は、土岐花崗岩体中央部に分布する多数の岩脈（あるいは割れ目）を調査する。
- ・ DH-13号孔（位置未定、1,000m級）は、花崗岩中の月吉断層の特性を調査する。

#### (ii) その他

現在までの調査検討により、以下のような理由から図-2に示すA、B、Cの各地点においても試錐調査が必要と考えられており、平成12年度以降に実施する予定である。

- ・ A地点試錐孔（1,000m級）は、地表でリニアメントが判読された地点での岩盤の特性を調査する。
- ・ B地点試錐孔（1,000m級）は、土岐花崗岩体中央部のリニアメントの卓越方向が変化する境界部付近を調査する。
- ・ C地点試錐孔（2,000m級）は、調査解析領域において最も厚く瑞浪層群が分布し、土岐花崗岩中に断層が認められる地点で2,000m級の試錐孔を掘削する。

### (3) 地質・地質構造に関する検討

これまでに取得された試錐調査をはじめとする調査結果に基づいた検討によって、研究実施領域の地表から地下深部までの地質構造を三次元的な地質構造概念モデルとして示す。また、個々の地質構造要素について地質学的特性を検討する。調査量の増加に伴って、検討は毎年実施する。

#### (i) 地質学的調査

試錐調査で実施する、岩芯記載、検層、BTV 調査、岩石鉱物試験、岩芯室内物性試験、初期応力測定、年代測定および地球物理学的調査の結果をとりまとめ、土岐花崗岩の有する地質学的特性および地質構造要素の、研究実施領域での三次元的分布を把握する。

##### (a) 平成 10 年度

- ・DH-5, 6, 7, 8 号孔のデータを用いて、地質構造を検討する。

##### (b) 平成 11 年度

- ・平成 10 年度に実施した試錐孔のデータを用いて、平成 10 年度に実施した検討の結果を評価し改良する。

#### (ii) 地質構造概念モデルの作成

地質学的調査の成果を地質構造概念モデルとして示す。取得されたデータ（すなわち各試錐孔における点の情報）を二次元的あるいは三次元的に展開する際に、計算コードを用いた統計解析などを行い、モデル化に伴う不確実性を減らす。この推定された地質構造概念モデルは、毎年、次年度の試錐孔掘削とその後の調査により検証される。

また、露頭地質調査および地上物理探査の結果を合わせ、リニアメントと水みちとなる不連続構造との関係を明らかにする。もし、両者がほぼ一致する結果が得られたならば、リニアメントの判読は水みちとなる不連続構造の分布を推定する有効な手段となる。その場合、リニアメントの分布（走向・傾斜、頻度）や規模などを統計解析するとともに、大深度試錐孔の掘削で明かにされる水みちとなる不連続構造の形状を考慮し、水みちとなる不連続構造のネットワークをモデル化する。

##### (a) 平成 10 年度

- ・モデル構築の手順を検討するため、DH-5, 6, 7, 8 で囲まれた領域で地質構造概念モデルを作成する。
- ・平成 10 年度の試錐孔の情報を含め、研究実施領域での地質構造概念モデルの検

討を開始する。

(b) 平成 11 年度

- ・前年度の水理地質構造モデルを、新たな調査結果によって評価・修正する。

#### 4. 地下水の水理・地球化学に関する調査・研究

##### 4. 1 地下水の水理

###### 4. 1. 1 はじめに

地下水の動きを把握するためには、流動経路を決定する主要な要因である岩盤の透水係数の分布、水頭を決定する地形、および地下水流动解析上の上部境界条件となる地下水涵養量などの情報が必要である。

広域地下水流动研究において、これらの情報を取得するための調査技術・調査機器および解析手法の開発を目的とした適用試験を主体とする研究を進めてきた。平成 6 年度には深度 1,000m 対応の水理試験装置の 1 号機が完成し、深度 1,000m までの透水性の低い岩盤 ( $10^{-10}$  cm/sec オーダーまで) の透水係数の測定が可能となった。また、気象観測装置・河川流量計・土壤水分計・地下水位観測孔から構成される表層水理定数観測システムを構築し、東濃鉱山周辺で地下水涵養量を算出した。一方、解析手法の開発では、東濃鉱山での立坑掘削影響試験を通して、堆積岩（多孔質媒体）を対象とした地下水流动解析手法の検証、および検層による透水係数の空間分布を推定する手法の開発が行われた。

地下水流动に関する当面の課題としては、約十 km 四方の研究実施領域における地下深部の動水勾配、深度 500m 以深の岩盤領域の透水係数を測定し、透水係数の深度依存性を把握すること、主要な水みちと考えられる破碎帶の水理学的特性の解明が挙げられる。日本の地質における破碎帶の水理学的特性は、破碎帶の形成年代や地殻変動量の違いにより、スウェーデンやカナダなどの先カンブリア紀の安定地塊における破碎帶の水理学的特性とは、透水性の点で異なるものと予想されるため、日本固有の研究課題として重要である。

さらに、本研究が対象とする地質環境は、岩盤の透水性が結晶質岩中の割れ目や破碎帶などの分布に支配される亀裂性岩盤（花崗岩）を対象としているため、これに対応した地下水流动解析手法および透水係数の空間分布の推定手法の検討が必要である。

#### 4. 1. 2 調査・研究の目標

地下水の水理に関する調査・研究の目標は、以下の3項目にまとめられる。

- ①研究実施領域の地表から地下深部に至るまでの水みちとなる地質構造要素（断層、岩脈など）および岩盤の水理学的な不均質性（岩相および風化・変質帶など）に関するデータの取得
- ②データの検討結果に基づく水理地質構造モデルの構築と妥当性の検証
- ③水理地質構造を体系的に調査・解析・評価する技術の構築

#### 4. 1. 3 今後の調査・研究の進め方

##### (1) 基本的な方針

約30km四方の研究実施周辺領域を対象に行った「大略的な地下水流動の把握」研究により、東濃鉱山を囲む約10km四方の領域を、広域地下水流動研究でのそれ以降の研究実施領域に設定した。この研究実施領域で空中・地上物理探査、1,000m級試錐孔による試錐調査を実施し、これにより得られる情報に基づいて作成された地質構造概念モデルと、各種水理試験データを検討し、水理地質構造モデルを構築する。それに基づいた地下水流動解析により地下水の流動方向、滞留時間などを推定する。解析結果は、間隙水圧などの実測データのうち解析に用いなかったものとの比較により評価し、必要に応じて試錐調査の実施や水理地質構造モデルの改良などを繰り返すこととなる。水理地質構造モデルの構築過程で得られると期待される調査量とモデルの精度との関係、およびある種の調査結果を入力データから外してモデルを構築するといったブラインドテストの結果から、対象とする地質環境に応じた適切な調査量、調査・解析手法の適用範囲を検討し、最終的に対象とする地質環境における地下水流動を的確に調査・解析する手法を構築する。その後は、解析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た地下水位および地下水の水質の長期観測を継続する。

##### (2) 実施内容

地下水の水理に関する研究では、表層の未固結砂礫層、新第三紀層、および花崗岩中の地下水流動を把握するために、以下の調査・解析を行う。これにより、地下深部の地下水流動を把握し、地下水の涵養域から流出域までの滞留時間などを求める。

- ①表層水理調査
- ②深層水理調査
- ③地下水の水理に関する検討

平成 10、11 年度の具体的な実施項目は、以下の通りである。

( i ) 表層水理調査

表層に分布する未固結砂礫層中の地下水の涵養量および基盤岩への浸透量の把握、また、基盤岩風化部を含めた表層付近での透水係数や不飽和特性の把握を目的として、堆積構造、各岩相毎の層厚、透水性、自由地下水水面の高さ、水質を調査するための浅層試錐孔を掘削する。また、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、地下水涵養量を算定する。これらの情報は、水理地質構造モデルの構築、および地下水流动解析での境界条件や初期条件の設定に用いられる。

具体的な調査項目は以下の通りである。

・文献調査

・露頭地質調査

・植生調査

・浅層試錐調査（地下水位観測孔）

　岩芯観察、水理試験、水質分析、室内物性試験

・表層水理定数観測

　地下水位観測、気象観測、土壤水分観測、河川流量観測

(a) 平成 10 年度

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。

・柄石川流域（瑞浪市日吉町）

　地下水位計、気象観測装置、河川流量計

・甘草川流域（土岐市河合町）

　地下水位計、気象観測装置、河川流量計

(b) 平成 11 年度以降

東濃鉱山周辺、および平成 10 年度までに設置した、地表に花崗岩が分布する流域での長期観測を継続する。

( ii ) 深層水理調査

本調査では、地質・地質構造に関する研究の成果を基に、1,000m 級の試錐孔において水理試験などの調査を行い、地下深部における岩盤、および断層・破碎帯などの「水みち」や「遮水壁」の役割を果たすと考えられる地質構造の水理学的特性

を把握する。また、表層から地下深部までの地下水の間隙水圧を測定し、地下深部における地下水の動水勾配を把握する。これらの情報は、水理地質構造モデルの構築、および地下水流动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用いられる。

透水試験では、掘削終了後に実施する岩芯記載、検層およびボアホールテレビ調査の結果等に基づいて風化部、健岩部、割れ目帯を選定する。また、地下深部における岩盤の水理特性の調査では、試験区間長および試験区間深度（標高）をできるだけ同一とし、各試錐孔間におけるデータの整合性（統一性）を図り、領域全体での透水係数、間隙水圧の水平的な比較を容易にする。

揚水試験は、試錐孔の掘削が終了した後に試錐孔全体を用いて実施し、岩盤全体の平均的な透水係数を把握する。

平成 10 年度以降の深層水理調査では、日吉川に沿って位置する試錐孔（DH—10,11 ⇒ A 地点 ⇒ B 地点 ⇒ DH—12）により上流域から合流点付近までの地下深部での動水勾配を把握し、地表の河川勾配との相関を検討する。さらに、これまで調査のされていない中生層の水理特性の調査（DH—10,11）、月吉断層の水理特性調査（DH—13,C 地点）、表層の瑞浪層群の水理特性調査（C 地点）、などを実施する。

#### (a) 平成 10,11 年度

平成 9 年度より継続中の DH—9 号孔に加え、下記のような目的で新規に 4 孔を掘削し、以下の試験を実施する。

- ① 検層 (一般検層項目、フローメーター検層)
- ② 透水試験 (間隙水圧、透水係数)
- ③ 揚水試験 (透水係数)
- ④ 室内透水試験 (透水係数)

##### ・ DH—9 号孔 (1,000m 級)

東濃鉱山の北方の涵養域における、花崗岩の健岩部、破碎帶の間隙水圧分布、透水係数の把握および、日吉川沿いの地下深部の動水勾配を把握する。また、破碎帶掘削工法（ウェルマン工法）の適用試験を行う。

##### ・ DH—10, 11 号孔 (位置未定、1,000m 級)

領域北側の木曽川付近の花崗岩および中世層分布域の健岩部、破碎帶における間隙水圧分布、透水係数の把握および、日吉川沿いの地下深部の動水勾配を把握する。また、木曽川のような大河川が、河川境界（水理学的境界条件）として周辺の水圧分布等に与える影響を把握する。

##### ・ DH—12 号孔 (位置未定、1,000m 級)

領域南側の土岐川付近（地下水流动解析結果による流出域）の花崗岩分布域の健岩部、破碎帶における間隙水圧分布、透水係数の把握および、日吉川沿いの地下深部の動水勾配を把握する。また、土岐川のような大河川が、一般的にいわれているような河川境界（水理学的境界条件）として周辺の水圧分布等に与える影響を把握する。

・ D H - 1 3 号孔（位置未定、1,000m 級）

東濃鉱山周辺の月吉断層分布域における健岩部、破碎帶における間隙水圧分布、透水係数の把握を行い、月吉断層が周辺の水理場に与える影響を把握する。

(b) その他

前述の通り、図-2 に示す A、B、C の各地点においても試錐調査が必要と考えられ、平成 12 年度以降に調査を実施する予定である。

(iii) 地下水の水理に関する解析

これまでに取得された試錐調査をはじめとする調査結果をとりまとめ、個々の地質構造要素について水理学的特性の評価を行う。解析は毎年実施し、その時点での水理地質構造モデルとして示す。

(a) 水理地質構造モデルの構築

地質・地質構造に関する研究で構築された地質構造概念モデルに透水性などの水理学的な情報を与えることによって水理地質構造モデルを構築する。モデル化する領域の範囲・境界条件は、深層水理調査、および調査に先立って実施する予備的な地下水流动解析の結果を基に設定する。

構築された水理地質構造モデルの妥当性は、このモデルを用いた地下水流动解析の結果と地下水流动解析の入力データとしなかった表層・深層水理調査データ、検証を目的とした降雨量・河川流量などの表層水理定数や間隙水圧の長期観測データ、さらに地下水の地球化学に関する研究で取得される地下水の水質・年代などのデータとを比較することによって評価する。

具体的な評価の方法および基準は、モデルの構築前に国内外の先行事例や専門家の意見などを基に設定するが、実際にモデルの構築で利用できたデータの質や量、関連分野の学術的・技術的進歩、および本研究成果の反映先のニーズを勘案して、適宜、見直すこととする。解析結果が設定した基準を満たしていない場合は、解析に用いた条件、モデル、調査・観測データを見直し、不備な点を明らかにするとともに、必要に応じて調査領域やモデル化領域を変更し、必要な調査・観測を追加する。このような「調査-解析-評価-追加調査-再解析」といったプロセスを反復することによって、精度の高い水理地質構造モデルを構築する。

(7) 平成 10 年度

- ・地質・地質構造に関する調査・研究で作成する試錐孔 DH-5 ~ 8 号孔で囲まれた領域、および研究実施領域全域の地質構造概念モデルを基に、水理地質構造モデルを作成する。

(4) 平成 11 年度

- ・前年度の水理地質構造モデルを、新たな調査結果によって評価・修正する。

(b) 地下水流動解析

水理地質構造モデルを用いて、研究実施領域の地下水流動を詳細に把握するための解析を、データの取得状況に応じて適宜行い、地下水の流動方向、動水勾配、涵養域から流出域までの滞留時間などを求める。

使用する解析コードは、東濃鉱山第 2 立坑の掘削に伴う影響評価研究で確証された 3 次元飽和不飽和浸透流解析コード TAGSAC を基本的に使用する。なお、主な対象が花崗岩であることから、広域を対象とする際の亀裂性岩盤の適切なモデル化手法の検討のため他の解析コードの開発を行い、適宜解析に適用していく。

(7) 平成 10 年度

- ・試錐孔 DH-5 ~ 8 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での地下水流動解析を実施する。

(4) 平成 11 年度

- ・新たな調査結果を考慮した水理地質構造モデルによる地下水流動解析を実施し、調査量と解析結果の妥当性との相関を検討する。

(c) 水理定数の空間分布の推定法の開発

フラクタル理論を用いた水理解析コードを開発し、試錐調査で確認された水理学的特性の三次元的な広がりを検討する際に利用する。

## 4. 2 地下水の地球化学

### 4. 2. 1 はじめに

地下深部における地下水の地球化学的特性は、岩盤の構成鉱物および地下水の流動経路や滞留時間などの水理学的特性によって支配されているものと考えられる。このこと

は、これまでの地層科学研究の一環として実施してきた東濃鉱山における「地下水の地球化学的特性に関する研究」の結果において、堆積岩と花崗岩では地下水の地球化学的特性の異なることからも明らかである。また、広域地下水流动研究として実施してきた試錐調査（DH-1～DH-8号孔）においては、土岐花崗岩中の地下水の地球化学的特性が、

- ①土岐花崗岩中の選択的な地下水の流动経路の存在
- ②土岐花崗岩の上位の地層（堆積岩、未固結堆積層）の層厚

により異なる可能性があることがわかってきてている。

地下水の地球化学に関する研究では、地下水の地球化学的特性を、岩盤の水理地質構造や地質構造（特に、断層や破碎帯といった不連続構造）に関する情報と合わせて把握することが重要である。本研究では、地下水の地球化学的特性（溶存化学成分濃度の分布、酸化還元境界、地下水の年代の分布）と地質構造や水理地質構造を組み合わせた地下水の地球化学モデルを構築することを最重要課題とする。

#### 4. 2. 2 調査・研究の目標

地下水の地球化学に関する調査・研究の目標は、以下の3項目にまとめられる。

- ①研究実施領域の地表から地下深部までに分布する地質および地質構造要素（断層、破碎帯など）毎の地下水の地球化学的特性に関するデータの取得
- ②データの検討結果に基づく地下水の水質形成機構の解明、および地下水の地球化学モデルの構築と妥当性の検証
- ③地下水の地球化学的特性を体系的に調査・解析・評価する技術の構築

#### 4. 2. 3 今後の調査・研究の進め方

##### (1) 基本的な方針

本調査・研究は、地下水の地球化学モデルの構築を目的とした一連の調査・解析が主となる。具体的には、約10km四方の研究実施領域に、地表からの試錐孔を利用して地下水の採水・地球化学検層を行い、データを取得する。取得したデータおよび地質構造・水理地質構造に関する情報を基に、水質形成機構の検討、地下水の地球化学モデルの構築を行う。さらに作成したモデルの妥当性の評価を目的とした調査を実施する。これらの調査・解析・評価・再調査を繰り返して行うこととする。

##### (2) 実施内容

地下水の地球化学的な特性を評価し、地球化学モデルを構築するために、以下の調査・研究を実施する。

- ①場の理解のための調査
- ②データの品質管理
- ③地下水の地球化学に関する検討

平成10、11年度の具体的な実施項目は以下の通りである。

#### (i) 場の理解のための調査

地下水の地球化学的特性が形成されるメカニズムを明らかにすることを目的として、地下水および岩盤の地球化学的特性を明らかにするための調査を実施する。

##### a) 地下水の地球化学調査

地表から掘削した試錐孔を利用し、原位置での地下水の物理化学パラメータの計測、各深度からの地下水の採取および分析を実施し、以下の地球化学的特性に関するデータを取得する。なお、この調査の中では地下水の他に研究実施領域内の降水や地表水も対象とする。得られたデータは、地下水の地球化学的特性の形成メカニズムの解析のためのデータセットとしてまとめられる。

###### ①試錐孔を利用した原位置測定・採水

研究実施領域内に掘削される試錐孔を利用して、地下水の採水・分析を行う。試錐孔における調査位置は、採水調査に先立って実施する岩芯観察、透水試験結果を基に、「水みち」である可能性の高い割れ目の分布位置を第1優先として選定する。また、各岩種ごとに1点、花崗岩については深度による地下水の地球化学的特性の変化を把握するために複数点における調査を実施する。原位置測定項目は、物理化学パラメータ値（温度、pH、酸化還元電位、電気伝導度および硫化物イオン濃度）である。地下水の地球化学に関する研究における各々の試錐孔の配置は、

- ・研究実施領域内で認められる月吉断層の位置
- ・研究実施領域内で認められるリニアメントの分布
- ・地上物理探査で確認される研究実施領域での地下の不連続構造
- ・研究実施領域の地表地質構造

を基に決定する。

###### ②室内分析

各試錐孔より採取された地下水について、以下の項目の分析を行う。

- ・主要溶存成分（水-岩石反応の解析に必要な情報）
- ・微量溶存成分（特に酸化還元電位に影響する元素（あるいは化学種）とウラン）
- ・溶存ガス（水-岩石反応の解析に必要な情報）

- ・環境同位体（地下水の年代・起源情報）
- ・微生物／有機物／コロイド（酸化還元電位に影響する有機化学的特性）

## 2) 岩盤の地質学的・地球化学的調査

岩芯試料を対象とした地質学的記載、岩石鉱物試験により以下のデータを取得し、地下水の地球化学的特性の形成メカニズムの解析のためのデータセットとしてまとめる。特に、地下水を採取した区間の岩芯試料を対象とした岩盤の地質学的・地球化学的調査を行い、水－岩石反応の解析に必要な情報としてコンパイルする。

- ・母岩の変質、割れ目の形状
- ・母岩のバルクの化学組成、構成鉱物組成、各鉱物の化学組成（土壌を含む）
- ・割れ目充填構成鉱物組成、各割れ目充填鉱物の化学組成

### (a) 平成 10,11 年度

- ・試錐孔 DH-5, 6, 7, 8, 9 号孔において、岩相境界部および割れ目帯を対象として地下水採水を行い、地下水の地球化学データを取得する。
- ・地下水流動の上流側と推定される研究対象領域の北東境界部で試錐調査（DH-10,11）を行い、境界条件設定のために地下水の地球化学データを取得するとともに、美濃帶の分布域でもあることから、花崗岩分布域での地下水の地球化学特性との比較を行う。
- ・日吉川に沿った地下水流動を解析するためのデータを取得するために、土岐川近傍での試錐掘削（DH-12）を行い、採水調査を実施する。

### (b) その他

現在までの調査検討により、さらに以下の課題を抽出しており、平成 12 年度以降に位置を選定し調査を実施する予定である。

- ・瑞浪層群（新第三紀堆積岩）の存在の有無が地下水の水質形成機構へ与える影響を把握することを目的に、土岐花崗岩の上位に瑞浪層群が比較的厚く分布すると予想される位置で試錐調査を行い、瑞浪層群中、瑞浪層群／土岐花崗岩不整合部、土岐花崗岩中の透水割れ目を対象に、採水調査を行う。
- ・塩化ナトリウムタイプの地下水が認められている研究実施領域の南西部において試錐調査を行い、同タイプの地下水の分布範囲を把握する。

### (ii) データの品質管理

花崗岩のような亀裂性媒体中に試錐孔を掘削した場合には、透水性割れ目へ掘削水が混入する程度を把握することが課題となるため、以下の 4 点の検討を行う。

#### ①掘削に用いるトレーサーの検討

本研究の初期段階で、掘削水が混入する程度を把握するために最適なトレーサーの検討を行う。

#### ②混入程度の把握

地下水の化学分析においては、試錐掘削用器具からの化学成分の溶解量の把握、現有の地下水採水装置からの化学成分の溶解量の把握、熱力学的解析による化学分析結果の評価を行い、データの品質管理を行う。

#### ③地下水採取方法の確立

平成 10 年度までに取得されるデータを基に、地下水採取方法（特に掘削水が混入する程度を把握するためのトレーサや、揚水試験との組み合わせ）を確立する。

#### ④分析方法の規格化

地下水の化学分析においては、試錐掘削用器具からの化学成分の混入の把握、現有の地下水採水装置の適用にともなう化学成分の混入の把握、複数の分析機関による同一試料の分析を通じて分析方法の規格化を行う。

##### (a) 平成 10 年度

- ・平成 10 年度までに取得されるデータを基に、地下水採取方法を確立する。
- ・地下水の化学分析においては、分析方法の規格化を行う。

##### (b) 平成 11 年度

- ・平成 10 年度に確立する地下水採水方法、分析方法を適用し、必要であれば改良を行う。

### iii) 地下水の地球化学に関する検討

充分な品質管理の元に取得したデータおよび地質構造・水理地質構造に関する情報に基づいて、地下水が現在の地球化学的特性の分布を示すに至った過程を推定し、地下水の地球化学モデルを構築する。地球化学モデルの妥当性は、検証用の試錐孔における実測値との対比により評価する。予測値と実測値が事前に設定された基準を外れる場合には、その原因について考察し、必要に応じて基準の見直し、データの品質管理、モデルの修正を、調査の進捗に応じて繰り返し行う。これら一連の調査・解析・評価を繰り返すことにより、研究実施領域の地下水の地球化学的特性を的確に調査・解析・評価するため手法を確立する。

#### ①化学組成分布の推定

「場の理解のための調査」によって作成されたデータセットを使用し、多変量解析による地下水の化学組成分類を行い、地質・地質構造に関する調査・研究で

得られる岩相、割れ目分布などの情報を基にした地質学的特性の異なる岩盤部分毎の、地下水の化学組成分布を推定する。

#### ②水質形成機構の解析

地球化学計算コード(PHREEQE,EQ3/6)を用いた熱力学的解析による水－岩石反応のシミュレーションと、同位体データを用いた起源・年代に関する解析によって、地下水の水質形成メカニズムの解析を行う。個々の水－岩石反応の順序は地下水の水理に関する研究で得られる地下水の流動方向とその流れに沿って存在する鉱物の情報を考慮して決定する。

#### ③室内試験

シミュレートされた個々の水－岩石反応の結果の妥当性を判断するために、個々の水－岩石反応の室内試験（土壌を用いた試験を含む）を実施する。

#### ④地下水の地球化学モデルの作成

解析までの一連の作業を繰り返しながら、地下水の地球化学的特性（溶存化学成分濃度の分布、酸化還元境界、地下水の年代の分布）と地質構造や水理地質構造を組み合わせた地下水の地球化学モデルを構築するとともに、その精度を高める。この際には、地質・地質構造および水理に関する研究から得られる地下水の流動方向とそれを規制すると考えられる地質構造の情報を順次取り入れていく。

地下水の地球化学モデルの妥当性は、モデルによる溶存成分濃度などの分布の予測値と検証用の試錐孔における実測値との対比により評価する。予測値と実測値が事前に設定された基準を外れる場合には、その原因について考察し、必要に応じて基準の見直し、データの品質管理、モデルの修正、測定を繰り返し行う。

#### (a) 平成 10、11 年度

- ・ DH－5, 6, 7, 8 号孔で取得されたデータを基に、地球化学計算コード(PHREEQE,EQ3/6)を用いた熱力学的解析による水－岩石反応のシミュレーションと同位体データを用いた起源・年代に関する解析によって、地下水の水質形成メカニズムの解析を行う。
- ・ 花崗岩を対象とした地下水年代の補正方法を検討する。
- ・ 個々の水－岩石反応の順序を地下水の水理に関する研究で得られる地下水の流動方向とその流れに沿って存在する鉱物の情報を考慮して決定する。
- ・ シミュレートされた水－岩石反応の結果の妥当性を判断するために、水－岩石反応の室内試験（土壌を用いた試験を含む）を実施する。
- ・ 地下水の地球化学的特性に関するデータが空間的に比較的密に取得されている DH－5, 6, 7, 8 号孔を含む領域を設定し、地下水の地球化学モデルの構築を試みる。

#### 4. 3 地下水の長期観測

地下水の長期観測は、研究対象領域の地下水の流動と水質の長期変動を把握するのみでなく、地下水流動解析や地球化学モデルにより推定された予測値を実測値で検証することにより、解析に用いた条件、モデル、および調査・観測データの不備な点を明らかにする目的で実施する。

##### (1) 孔内水位観測

研究実施領域での定常的な地下水位の把握と、試錐孔の掘削などが地下水位の変化に与える影響を把握するため、研究実施領域内の既設試錐孔に水位計を設置し、地下水位観測を実施する。

##### (2) 間隙水圧長期モニタリング

既存技術である「多点式間隙水圧観測システム(MP システム)」を、水理試験、採水等の調査が終了した試錐孔に順次設置し、間隙水圧の長期モニタリングを実施する。

##### (3) 水質の長期モニタリング

間隙水圧の長期モニタリングと並行して、MP システムの採水機能を用いて水質の長期観測を実施する。定期的に主要溶存成分、溶存ガス、環境同位体の分析を行う。

### 5. 調査技術・調査機器の開発

#### 5. 1 はじめに

広域地下水流动研究においては、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、できるだけ乱すことなく正確に把握する調査技術・調査機器を開発することが重要である。また、個々の調査手法に関しては、これらを組み合わせて総合的に調査・解析するシステムとして整理する。さらに、調査を実施する広域のスケールにおいて、調査に適用された調査技術・調査機器を整理し、体系化された地質環境調査手法として示す。

#### 5. 2 開発の目標

調査技術・調査機器の開発の目標は、以下の 2 項目にまとめられる。

- ①各研究分野で必要とされる調査技術・調査機器の開発および改良
- ②調査に適用された調査技術・調査機器の体系化

## 5. 3 今後の開発の進め方

### 5. 3. 1 基本的な方針

広域地下水流动研究での調査では、東濃地科学センターがこれまでに開発してきた調査機器を含め、基本的には既存の調査技術・調査機器を整備し適用する。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、個々の調査手法が研究実施領域のどの様な地質環境特性をどの程度明らかにできるものかを検討し、個々の調査手法を組み合わせた地質環境調査手法の体系化を行う。

### 5. 3. 2 実施内容

各研究分野で利用される以下の調査技術・調査機器の開発を実施する。

#### ①試錐掘削技術開発

- ・リバース三重管ワイヤライン工法の開発
- ・部分保孔装置の開発

#### ②地質構造調査技術開発

- ・既存技術の適用性の評価

#### ③地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発

- ・1,000m 対応水理試験装置の改良・高度化
- ・1,000m 対応地下水の地球化学特性調査調査機器
- ・単孔式水理試験データの解析手法の開発

#### ④岩盤の力学特性調査技術開発

- ・1,000m 対応初期応力測定装置の開発

平成10、11年度の具体的な実施項目は以下の通りである。

#### (1) 試錐掘削技術開発

##### (i) リバース三重管ワイヤライン工法の開発

岩盤本来の透水性や地下水の地球化学特性を極力乱さないためには、試錐孔の掘削の際に掘削流体に清水を利用することが望ましいが、その場合は通常の泥水を利用する場合に較べ孔内崩壊が発生しやすい。そこで、清水とスライムの両方をロック内に通すことにより、これらの孔壁との接触を防ぎ、孔壁の崩壊を最小限にとどめるリバース三重管ワイヤライン工法を開発する。

(a) 平成 11 年度

- ・平成 9 年度の詳細設計に基づき、掘削装置の実験機を製作する。

(ii) 部分保孔装置の開発

部分的な孔内崩壊に対応するため、部分保孔装置を開発する。部分保孔装置は、部分拡孔用ビット、部分ケーシングおよび部分ケーシング挿入装置から構成され、新規試錐孔の掘削のみならず、調査中に崩壊した既存試錐孔の保孔技術やリーミング技術としても適用できる。

(a) 平成 10 年度

- ・部分ケーシング本体および部分ケーシング挿入装置を製作する。

(b) 平成 11 年度

- ・部分保孔装置の適用試験を実施する。

(2) 地質構造調査技術開発

(i) 既存技術の適用性の評価

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。

(a) 平成 10 年度

- ・重力探査でのデータの解析および固定翼を用いた磁気探査についてとりまとめ、手法の有効性などを評価する。

(b) 平成 11 年度

- ・平成 10 年度に実施される電気探査、反射法弾性波探査などについてとりまとめ、手法の有効性などを評価する。

(3) 地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発

(i) 1,000m 対応水理試験装置の改良・高度化

地表から地下深部までの水理特性（間隙水圧、透水係数）に関する信頼性の高い

データを取得するため、既に開発されている水理試験装置（プロトタイプ）の開発技術を基に、地下1,000mでの地温（50℃から70℃）に対応させ、かつ機動性や操作性を向上させた高温環境型の水理試験装置を開発する。また、本試験装置はパイプシステムを採用しており、屈曲孔での適用が困難であるため、既存のプロトタイプ試験装置に対して屈曲孔に対応させるための改良を行う。

(a) 平成10年度

- ・平成9年度に開発した高温環境型の試験装置を運用する。さらに、同じ試験装置を2セット製作する。
- ・プロトタイプ試験装置を屈曲孔に対応するよう改良を行う。

(b) 平成11年度

- ・屈曲孔にて試験装置の適用試験を行う。

(ii) 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の改良・高度化

地表から地下深部までの地下水の地球化学特性に関する信頼性の高いデータを取得するため、地球化学特性調査機器（プロトタイプ）が開発されている。本調査機器は採水機能（連続採水、被圧不活性状態の採水）と地球化学検層（pH、電気伝導度、酸化還元電位、硫化物イオン濃度、水温）の機能を有する各ユニットから構成される。

プロトタイプの開発技術を基に、地下1,000mでの地温（50℃から70℃）に対応させ、かつ機動性や操作性を向上させた高温環境型の地球化学調査機器を開発する。また、本試験装置はパイプシステムを採用しており、屈曲孔での適用が困難であるため、既存のプロトタイプ試験装置に対して屈曲孔に対応させるための改良を行う。

(a) 平成10年度

- ・平成9年度に開発した高温環境型の調査機器を運用する。さらに、同じ調査機器を2セット製作する。
- ・プロトタイプ調査機器を屈曲孔に対応するよう改良を行う。

(b) 平成11年度

- ・屈曲孔にて調査機器の適用試験を行う。

(iii) 単孔式水理試験データ解析手法の高度化

できるだけ正確な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。上述の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する。平成9年度には解析手法の高度化を実施し、以降、広域地下水流动研究の調査で取得された水理試験データに適用するとともに、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する。

(a) 平成10年度以降

- ・単孔式水理試験データの再解析（既存データの見直し）を行う。

(4) 岩盤の力学特性調査技術開発

(i) 1,000m対応初期応力測定装置の開発

岩盤の初期応力のデータの取得には、岩芯試料を用いる方法や試錐孔を用いて原位置で取得する方法など種々の方法が提案され、実際の測定に用いられているが、それぞれに長所短所を有しており、地表から地下深部までを対象とした力学データの取得方法が確立されているわけではない。そこで、既存の測定技術の評価を通じて、地表から地下深部までの岩盤の変形係数や3次元の応力場に関するデータを効率的に取得することが可能な測定方法を確立する。

(a) 平成10年度

- ・1,000m対応初期応力測定装置に使用するひずみ計の設計・製作を行う。

(b) 平成11年度

- ・前年度開発したひずみ計を用いた1,000m対応初期応力測定装置の適用試験を行う。

6. 参考文献

東濃地科学センター(1997)：広域地下水流动研究基本計画書, PNC TN 7020 98-001

三枝ほか(1997)：東濃地域を対象とした広域地下水流动解析, 日本応用地質学会中部支部平成9年度研究発表会, 講演会予稿集 1-4

N a g r a (1994) : Geology and Hydrogeology of the Crystalline Basement of the Northern Switzerland , NTB 93-01