

超 深 地 層 研 究 所
－地表からの調査予測研究段階計画－
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. 地表からの調査予測研究段階の計画	2
2. 1 超深地層研究所計画の概要	2
2. 2 地表からの調査予測研究段階の目標	2
2. 2. 1 研究分野毎の目標	2
2. 3 研究の進め方	3
2. 4 第1フェーズの目標	4
2. 5 スケジュール	8
2. 5. 1 第1フェーズ	8
2. 5. 2 第2フェーズ	8
3. 地質・地質構造に関する調査・研究	8
3. 1 はじめに	8
3. 2 調査・研究の目標	9
3. 3 今後の調査・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. 地下水の水理に関する調査・研究	14
4. 1 はじめに	14
4. 2 調査・研究の目標	14
4. 3 今後の調査・研究の進め方	15
4. 3. 1 基本的な方針	15
4. 3. 2 実施内容	15
5. 地下水の地球化学に関する調査・研究	20
5. 1 はじめに	20
5. 2 調査・研究の目標	20
5. 3 今後の調査・研究の進め方	21
5. 3. 1 基本的な方針	21
5. 3. 2 実施内容	21

6.	岩盤の力学特性に関する調査・研究	25
6.1	はじめに	25
6.2	調査・研究の目標	25
6.3	今後の調査・研究の進め方	26
6.3.1	基本的な方針	26
6.3.2	実施内容	36
7.	調査技術・調査機器の開発	27
7.1	はじめに	27
7.2	研究の目標	28
7.3	今後の開発の進め方	28
7.3.1	基本的な方針	28
7.3.2	実施内容	28
7.3.3	試錐掘削技術開発	29
7.3.4	地質構造調査技術開発	30
7.3.5	地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発	31
7.3.6	岩盤の力学特性調査技術開発	33
7.3.7	坑道の掘削を伴う調査研究段階以降に必要となる 調査技術・調査機器の開発	33
7.3.8	データベースの構築	35
7.3.9	地質環境データ解析・可視化システムの構築	36
7.3.10	情報公開技術の開発	36
8.	参考文献	37

1. 序論

本計画書は、「超深地層研究所地層科学研究基本計画」(東濃地科学センター, 1996) (基本計画)に基づき、同研究所で行われる3段階の研究のうち、最初の段階である「地表からの調査予測研究段階」について、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

本研究では、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、調査結果の増加に伴う地質環境モデルの更新を可能とするため、「調査－解析－評価」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、研究実施地域の地質環境や種々の制約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。東濃鉱山の立坑掘削影響試験は第2段階の立坑の掘削を伴う研究段階の国内唯一のパイロットプロジェクトとして位置づけられる。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. 地表からの調査予測研究段階の計画

2. 1 超深地層研究所計画の概要

超深地層研究所計画は、サイクル機構が岐阜県瑞浪市に所有する正馬様洞用地を研究の実施領域とし、特に施設スケール（数100m四方）における地質環境を研究の対象とする。本計画における全体目標は、以下の通りである。

- ①地質環境の総合的な調査技術を確立すること
- ②深部の地質環境に関する情報を収集すること
- ③深地層における工学的技術の基礎を開発すること。

本計画における研究は、地表からの調査予測研究段階、坑道の掘削を伴う研究段階、および坑道を利用した研究段階の3段階で実施する。

2. 2 地表からの調査予測研究段階の目標

地表からの調査予測研究段階の段階目標は、以下の3項目である。

- ①地表からの調査により取得される地質環境に関するデータを基に、地下の地質環境を推定し、地下施設建設に伴う影響を予測すること。
- ②予測結果の評価方法を定めること。
- ③地下施設の詳細設計を行い、坑道の掘削を伴う研究段階の計画を詳細に決定すること。

2. 2. 1 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（地下水および物質の移行経路と成り得る地質構造要素、岩盤の水理学的な不均質性）を抽出し地質構造概念モデルを構築する。

（基本スタンス）

- ・研究実施領域での調査で対象となる地下水および物質の移行経路と成り得る不連続構造（断層、割れ目など）、岩盤の水理学的な不均質性（岩相および風化・変質帶など）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、地下水流动解析において深度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。さらに地下水流动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动を推定する。

(基本スタンス)

- ・地質・地質構造調査において抽出された地下水および物質の移行経路と成り得る地質構造要素の透水性および水理学的連続性の確認に重点を置く。
- ・立坑掘削前の地下水流动の状態を把握する。
- ・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、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、地下水流动解析により示される地下水流动系の妥当性を確認する。

(基本スタンス)

- ・花崗岩部での、地下水の地球化学特性分布の深度方向の不均質性を確認する。
- ・地下水および物質の移行経路での、地下水の地球化学特性分布の不均質性を確認する。

(4) 岩盤力学

研究実施領域での応力場を把握し、岩盤力学モデルを構築する。さらに、地下施設の力学的安定性を推定する。

(基本スタンス)

- ・地下施設建設に伴う岩盤の力学的な変化を予測するために必要なデータを取得する。

(5) 調査技術・調査機器の開発

超深地層研究所計画での調査・研究に必要とされる調査技術・調査機器の開発と、これらの体系化を行う。

(基本スタンス)

- ・既存調査技術の有効性を把握する。
- ・調査機器およびデータの解析手法について、既存技術の部分的な改良あるいは新たな技術開発を行う。
- ・データベースおよび可視化システムを整備する。

2. 3 研究の進め方

地表からの調査予測研究段階では、地表からの調査によって地下1,000m程度までの

地質環境を調査・解析・評価するための技術を構築する。またそれらの技術の有効性を評価するために、研究段階を第1フェーズ（平成8年度～11年度）と第2フェーズ（平成12年度～）に分けて、調査・解析・評価のプロセスを反復させ、調査量と成果との相関を検討する。

第1フェーズでの主な調査・研究スケジュールを表-1～3に示す。第1フェーズでは、地表物理探査、および限られた本数の試錐孔を用いた調査に基づいた解析・評価によって、地質構造概念モデル、水理地質構造モデル、地下水の地球化学モデル、岩盤力学モデルの各地質環境モデルを構築する。

第2フェーズでは、ある程度明らかとなった地質環境、および種々の制約条件に柔軟に対応させて調査計画を立案し、充分な数量の調査に基いた解析・評価によって、第1フェーズで構築した各地質環境モデルを改良する。改良の程度を検討することにより、調査数量の違いが地質環境の解析・評価に与える影響を検討でき、同時に地質環境の調査技術の有効性が評価できる。さらに、第2フェーズで構築された各地質環境モデルを、次の「坑道の掘削を伴う調査研究段階」、および「坑道を用いた調査研究段階」において検証することにより、地表からの調査・解析・評価の技術の有効性が評価され、モデル作成に必要な調査の数量および調査の組合せ方が明らかになると期待される。

2. 4 第1フェーズの目標

第1フェーズでは地質環境特性の把握に重点を置いて以下の2項目を目標として設定する。

①地質環境のモデル化

研究実施領域における地表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物性の把握およびそのモデル化と、モデルに基づいた地下施設建設による影響の予測を行う。

②調査技術の開発

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・評価する技術を構築する。これは、研究の進捗に伴い、第2フェーズ以降も継続して実施する。

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、技能およびノウハウの修得が含まれる。

表一 第1フェーズの主な調査・研究スケジュール (1/3)

研究項目	第1フェーズ			
	第1年度 H8	第2年度 H9	第3年度 H10	第4年度 H11
(1) 地質・地質構造調査				
・地球物理学的調査（地表）				
・試錐掘削				
MIU-1			---	
MIU-2			---	
MIU-3			---	
MIU-4			---	
・地球物理学的調査（試錐孔内）				
・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				
・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作成				
坑道の掘削影響の予測解析			---	
地球統計解析			---	
・長期水理観測				
孔内水位観測				
間隙水圧長期モニタリング				
(3) 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			---	
・水質の長期モニタリング			---	

(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 第1フェーズの主な調査・研究スケジュール (2/3)

研究項目	第1フェーズ			
	第1年度 H8	第2年度 H9	第3年度 H10	第4年度 H11
(4) 岩盤の力学特性				初期応力測定
・初期応力場の把握*				
・岩盤の物性の把握*				岩芯室内試験
(5) 調査技術・機器				
① 試錐掘削技術開発				
・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
② 地質構造調査技術開発				
・弾性波トモグラフィー調査技術開発		震源の製作		適用試験
・既存技術の適用性の評価				地球物理学的調査実績の取りまとめ
③ 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		高温環境型製作		屈曲孔対応型開発
・1,000m対応揚水試験装置の改良・高度化				設計・製作
・1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の改良・高度化		高温環境型製作		屈曲孔対応型開発
・1,000m対応長期モニタリング装置の開発			実験機設計・製作	適用試験
・水理試験データの解析手法の高度化				実用機基本設計
			単孔式データ解析手法の高度化	
				多孔式データ解析手法の高度化
④ 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	文献調査	概念設計	設計・製作	適用試験

破線部は未確定。

表-3 第1フェーズの主な調査・研究スケジュール (3/3)

研究項目	第1フェーズ			
	第1年度 H8	第2年度 H9	第3年度 H10	第4年度 H11
⑤次段階以降に必要となる 調査技術・調査機器の開発				
・連続波レーダー調査技術開発		実験機設計・製作	基礎実験	
・立坑壁面観測システムの開発		データ解析技術の検討・プログラミング	文献調査	
・正弦波水理試験データの解析 手法の開発			検討・プログラミング	
・トモグラフィーデータの解析 手法の開発			検討・プログラミング	
・試錐孔間水理試験装置の高度化		改良・追加製作		
⑥データベースの構築				
・調査データ用データベースシス テムの構築	システムの構築	運用・改良	運用	
・工程管理用データベースシス テムの構築		試行・検討	システム の検討	
⑦地質環境データ解析・可視化シス テムの構築	システムの構築	運用・改良		
⑧情報公開技術の開発				
・VRシステムの構築	調査・プロト タイプの構築	運用・改良		
・説明用模型の製作	技術説明模型製作	運用・改良	試錐模型製作	

破線部は未確定。

2. 5 スケジュール

2. 5. 1 第1フェーズ

これまで正馬様用地内周辺の地質・地質構造に関する文献調査、地表踏査、地表物理探査を実施した。また、正馬様用地内で試錐調査を開始し、それに伴って岩芯を用いた調査、深層水理調査を実施した。また、地下水流动解析のため、基盤岩である花崗岩とそれを覆う堆積岩からなる概略的な地質構造概念モデルに基づく水理地質構造モデルを作成した。一方、各種調査技術・機器開発として、水理・地球化学用機器の製作、調査で取得された種々のデータを管理するデータベースの構築、および研究成果を3次元的に表示するために必要な可視化システムの構築を開始した。平成10、11年度での主な研究方針は、以下の通りである。

(1) 平成10年度

平成9年度に引き続き、正馬様用地内での試錐調査を中心に実施する。また、反射法弾性波探査による地表調査を実施し、月吉断層などの地下水流动を規制すると考えられる地質構造要素を調査を行う。さらに、表層水理調査、地下水位観測、地下水モニタリングに着手する。

(2) 平成11年度

前年に引き続き、正馬様用地内での試錐調査を中心に実施する。また、第1フェーズの調査結果の取りまとめを行う。

2. 5. 2 第2フェーズ

平成12年度から開始する第2フェーズの実施計画は、基本的には平成10年度までの調査結果に基づき策定する。

3 地質・地質構造に関する調査・研究

3. 1 はじめに

地表から地下深部の地質・地質構造を把握するための手法として、地表からの地球物理学的調査に加え、試錐孔による直接的な調査を実施する。しかしながら、試錐孔の掘削本数の増加に伴って取得される情報量が増加するものの、試錐調査は本来の地質環境に物理的・化学的搅乱を与える。すなわち、水理学的・地球化学的な環境を乱すことと

なる。したがって、地表からの調査予測研究段階における地質・地質構造に関する調査・研究では、「できる限り場（地質環境）を乱さずに地質・地質構造を把握する」ための有効かつ合理的な調査・解析の計画が必要である。さらに、各ステップ毎の調査とそれに基づいた解析のアウトプットとして示される地質構造概念モデルの妥当性の検証を通して、一連の調査・解析計画の妥当性についても確認することが不可欠と考えられる。このように、予測・調査・解析・検証といったプロセスを経ることにより、地表からの調査によって過不足なくデータを収集するために必要となる地質環境調査技術のノウハウが蓄積されるとともに、体系的に調査・解析する手法が確立されることが期待される。

研究実施領域での地質構造概念モデルは、単純に地質・地質構造を表現するばかりではなく、水理・物質移行の解析や深部地下水の水理学的特性や地球化学的特性を把握するために考慮されるべき地質構造要素を表現するものであり、立坑や水平坑道などの長期的安定性、および工学的技術の評価においても必要なものである。また、地表からの調査予測研究に引き続く、坑道の掘削を伴う研究の計画を策定するためにも、より現実的な地質構造概念モデルを構築することが重要となる。

3. 2 調査・研究の目標

地表からの調査予測研究段階における地質構造調査・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・解析する手法の開発

3. 3 今後の調査・研究の進め方

3. 3. 1 基本的な方針

第1フェーズ（平成8～11年度）においては、得られつつある情報をもとに、常に既存の地質構造概念モデルの改良を繰り返し行うとともに、その妥当性についても繰り返し検討を行い、第2フェーズにおいて必要となる試錐孔の掘削本数、位置、深度などについて決定する。次の第2フェーズ（平成12年度～）では、第1フェーズで検討・策定した計画に基づき、地質構造概念モデルの妥当性・現実性の検証、あるいは不足しているデータの補完を目的に試錐孔を掘削する。最終的にはこれらの試錐孔を活用することにより、より現実的な地質構造概念モデルが構築できると期待される。

また、物理探査、試錐調査などを組み合わせた調査計画立案の方法、および調査結果

から不確実性を減らすための統計解析の方法について検討するために、既に行われた調査での計画立案の方法および統計解析の結果を、それ以降の調査によって取得された成果によって評価する。また、評価の結果を基に調査計画を見なおせるよう、調査計画には柔軟性を持たせる。計画立案および統計解析の方法を評価する過程を繰り返すことで、地表からの体系的な調査手法が確立できると期待される。

現在実施中の広域地下水流动研究や、これまでに海外で実施された地質環境調査（例えば、Nagra1994など）における知見から、研究実施領域における地質構造概念モデルを構築する際に、以下に示す①～⑤の地質構造要素を考慮する必要があると考えられる。

- ①断層（月吉断層およびリニアメントに対応すると考えられる断層の空間分布）
- ②低／高透水性領域（土岐花崗岩の水理学的不均質性）
- ③高透水性割れ目帯（サイトスケールの主要な高透水性割れ目帯の分布）
- ④透水性割れ目（坑道スケールの透水性割れ目の分布）
- ⑤表層（瀬戸／瑞浪層群の分布）

このうち、⑤については基盤等高線図などの既存の情報が整理されており、研究実施領域における水平および垂直方向の分布が把握されている。④は現段階から調査・研究の対象とするが、次の坑道の掘削を伴う研究段階における主要な調査・研究課題となる。したがって、現段階においては研究実施領域全体の地質構造を支配する可能性がある①②③を対象とした調査・研究を重点的に実施する。

3. 3. 2 実施内容

第1フェーズにおいては、「できる限り場を乱さずに地質構造を把握すること」を目標に、地質構造要素の特性を評価し、地質構造概念モデルを構築するために、以下の調査を実施する。

- ①地球物理学的調査（地表）
- ②試錐調査
- ③地球物理学的調査（試錐孔内）
- ④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（地表）

表層堆積物、およびそれに覆われた堆積岩の堆積構造の把握、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、破碎帯などの把握を目的とする。

(i) 平成 11 年度

- ・基盤岩の形状、およびその上部の堆積構造を把握することを目的として、正馬様用地の林道沿いにバイブレーターを震源とした反射法弾性波探査（測線長 700m 程度、測定間隔 5m）を行う。
- ・土岐花崗岩中の変質帯・破碎帯の検出を目的として、電磁探査（MT 法）を実施する。この調査では、水平方向の分解能を高めるために測点間隔 30m 程度の高密度測定を行う。

(2) 試錐調査（図-1 参照）

第 1 フェーズでは研究実施領域において 4 孔の試錐掘削（1,000m 級）が実施される。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、室内物性試験、年代測定）を行い、地質・地質構造を把握するための基礎データを取得する。これらと既存の試錐孔 AN-1 号孔（1,000m 級）、AN-3 号孔（500m）の 6 孔の調査・試験データが解析に供される。

(i) 平成 10 年度

- ・MIU-1 号孔（1,000m 級）は、研究実施領域中央部において、平成 9 年度から平成 10 年度に継続して掘削する。本孔には多点式間隙水圧観測システム（MP システム）を設置し、地下水の長期モニタリングを開始する。
- ・MIU-2 号孔（1,000m 級）は、研究実施領域の地下深部において、唯一分布が明らかになっている地質構造要素である月吉断層を貫く可能性があるため、土岐花崗岩中における断層の地質学・水理学的特性を明らかにすることを目的として掘削する。
- ・MIU-3 号孔（1,000m 級）は、正馬様用地北縁において、土岐花崗岩中における月吉断層の地質学・水理学的特性を明らかにし、正馬様用地内を北北西から南南東に横切るリニアメントと地質構造要素（とくに断層および高透水性割れ目帯）との関係を調査するために掘削する。また、この地点は地下深部における地下水流动の最上流と推定され、水理学的に重要であるばかりでなく、地下水の地球化学的観点からも重要である。

(ii) 平成 11 年度

- ・MIU-4 号孔（1,000m 級）は、主に地下水の水理学的・地球化学的な観点から掘削されるが、地質・地質構造の観点からは、平成 10 年度に構築される地質構造

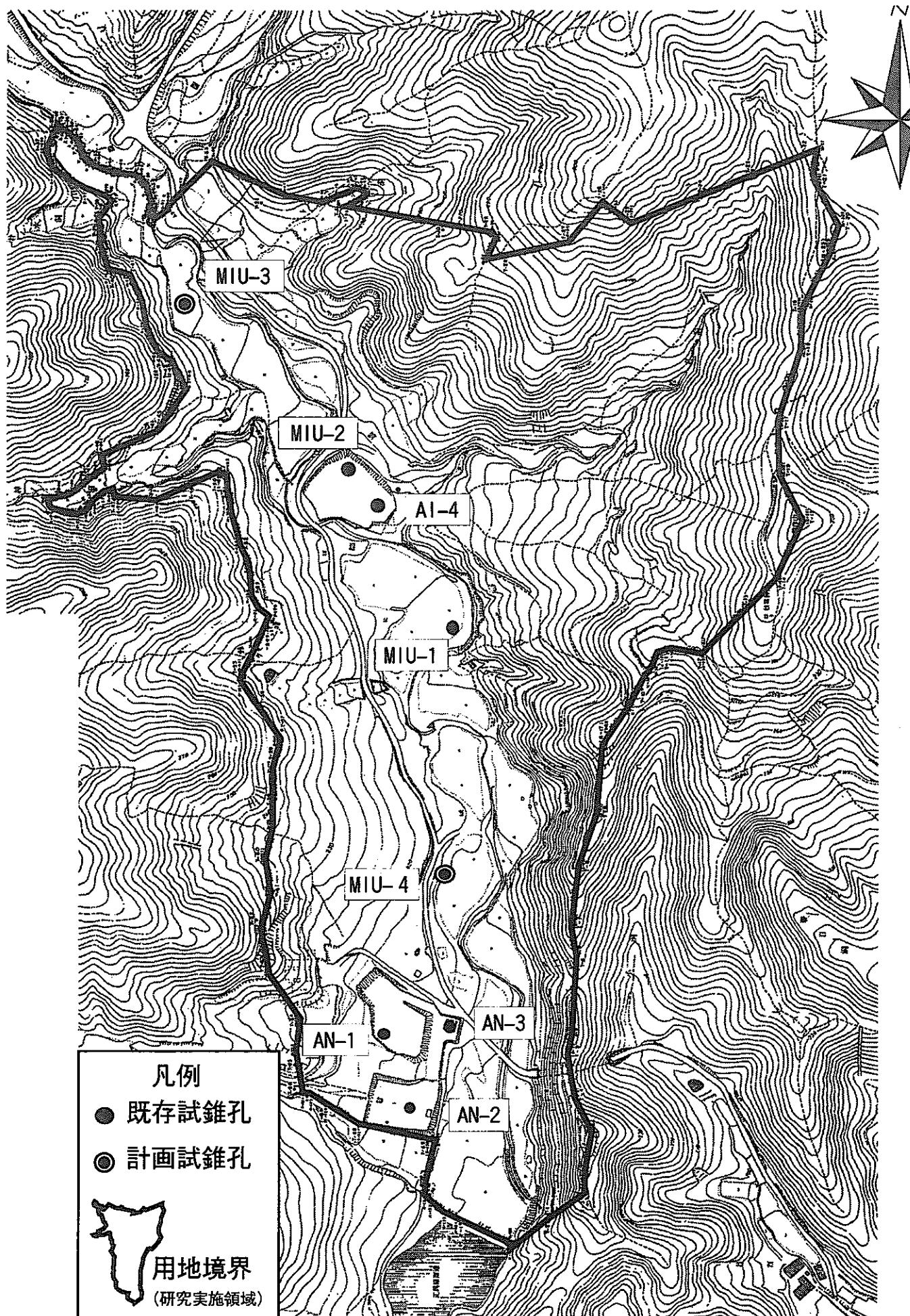


図-1 試錐孔掘削計画位置図

概念モデルの検証に利用する。

(3) 地球物理学的調査（試錐孔内）

研究実施領域で掘削された複数の大深度試錐孔を用いて孔間の物理探査（トモグラフィー調査）を行い、個々の試錐孔で確認された地質構造要素の空間的な連続性を把握する。

(i) 平成 11 年度

- ・月吉断層の出現が予想される M I U - 2 号孔と M I U - 3 号孔を用いて、比抵抗トモグラフィ調査によって月吉断層の広がりを推定する。
- ・ M I U - 2 号孔を受振孔として V S P 調査を実施し、地表から地下深部までの地質構造（例えば月吉断層の広がりなど）を把握する。

(4) 地質・地質構造に関する検討

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や岩盤の不均質性について地質学的特性の検討を行う。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、年代測定および地表からの物理探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の研究実施領域での三次元的分布を把握する。

(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、取得あるいは解析されたデータに基づき繰り返し改良され、平成 11 年度半ばには全てのデータを統合することにより、第 1 フェーズのアウトプットとしての地質構造概念モデルを構築する。

4 地下水の水理に関する調査・研究

4. 1 はじめに

地下水の動きを把握するためには、地下水の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、および地下水流動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。これまで地層科学的研究の一環である広域地下水流動研究においてこれらの情報を取得するための手法を開発してきた。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動解析手法の検証、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。

地下水流動に関する当面の課題としては、数百m四方の研究実施領域における深度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、地下水や物質の移行経路となり得る破碎帯などの地質構造要素の水理学的性質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性質は、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性質とは、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帯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動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. 2 調査・研究の目標

地表からの調査予測研究段階における地下水の水理に関する調査・研究の目標は、以下の4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、地下水および物質の移行経路と成り得る地質構造要素(断層、割れ目など)および岩盤の水理学的な不均質性(岩相および風化・変質帯など)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坑道を掘削する前の研究実施領域における地下水流動の把握、および坑道の掘削に伴う地下水流動の変化の範囲と規模、ならびに坑道内への湧水量の予測

④水理地質構造を体系的に調査・解析する手法の開発

4. 3 今後の調査・研究の進め方

4. 3. 1 基本的な方針

本調査・研究では、立坑掘削予定地点周辺に掘削される 1,000m 級の試錐孔で各種水理調査を行う。これにより得られる水理情報および地質構造概念モデルに基づき水理地質構造モデルを構築し、それを基に地下水流动解析を実施し、坑道の掘削前の地下水流动状態を把握する。解析結果は、解析に用いなかった間隙水圧などの実測データとの比較により評価され、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动を的確に調査・解析・評価する手法を構築する。さらに次段階の予測として、坑道の掘削に伴う地下水流动の変化の範囲・規模、および掘削される坑道内への湧水量の予測解析を実施する。

なお、超深地層研究所を包含する領域で実施している広域地下水流动研究の成果については、水理地質構造モデルの構築および地下水流动解析等の外部の境界条件として有効に活用する。

4. 3. 2 実施内容

第1フェーズにおいては、研究実施領域の水理地質構造を明らかにし、水理地質構造モデルの構築および地下水流动解析を行うために、以下の調査を実施する。

- 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
- ④長期水理観測

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)表層水理調査

表層に分布する未固結砂礫層の瀬戸層群における地下水の涵養量、基盤岩である新第三紀層への浸透量の把握、および瀬戸層群の透水係数、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、自由地下水面の高さ、水質を調査するた

めの浅層試錐孔を掘削する。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。研究実施領域内の北東流域には、すでに観測装置が設置されている。

具体的な調査項目は以下の通りである。

- ・浅層試錐調査（地下水位観測孔）
岩芯観察、電気検層、水理試験、土質試験（粒度分析）
- ・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

(i) 平成 10 年度

- ・研究実施領域内の涵養量を把握するために新規流域への観測機器の増設を行う。
 - 地下水位観測孔（瀬戸層群、瑞浪層群中の地下水位の観測）
 - 気象観測（タワー式：樹冠を越える高さ）
 - 気象観測（一般設置）
 - 土壤水分計（流域内 2 地点：20cm～1500cm で 12 深度ずつ）

(ii) 平成 11 年度

- ・研究実施領域内全域の斜面方向の地下水位、土壤水分を把握するために観測機器の設置を行う。
 - 地下水位観測孔（瀬戸層群、瑞浪層群中の地下水位の観測）
 - 土壤水分計（20cm～1500cm で 12 深度ずつ）

(2) 深層水理調査

本調査では、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決定する。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。さらに、試錐孔においてスケール毎の透水係数を把握するため、試験区間長を数 m～約 100m で変化させて試験区間に取り込まれる割れ目

帶の状況に対応した計測を実施する。

揚水試験は試錐掘削が100m進む毎に実施し、100m毎の平均的な透水係数を把握する。また、流向流速試験では、堆積岩部における地下水の流向・流速を把握する。

(i) 平成 10 年度

- ・ M I U - 1 号孔 (1,000m 級)

研究実施領域中心部の健岩部および破碎帶における間隙水圧、透水係数を把握する。

検層 (一般検層項目、フローメータ検層、ボーリングレーザ)
透水試験 (間隙水圧、透水係数)
揚水試験 (透水係数)
室内透水試験 (透水係数)

- ・ M I U - 2 号孔 (1,000m 級)

研究実施領域中心部の健岩部および破碎帶における間隙水圧分布、透水係数を把握する。

検層 (一般検層項目、フローメータ検層、ボーリングレーザ)
透水試験 (間隙水圧、透水係数)
揚水試験 (透水係数)
室内透水試験 (透水係数)

- ・ M I U - 3 号孔 (1,000m 級)

研究実施領域北部の健岩部および破碎帶における間隙水圧分布、透水係数を把握する。透水試験では、スケール毎の透水係数を把握するため試験区間長を変化させた計測を行う。

検層 (一般検層項目、フローメータ検層、ボーリングレーザ)
透水試験 (間隙水圧、透水係数：スケール効果の確認)
揚水試験 (透水係数)
流向流速試験 (堆積岩部の流向・流速)

(ii) 平成 11 年度

- ・ M I U - 4 号孔 (1,000m 級)

研究実施領域南部の健岩部および破碎帶における間隙水圧分布、透水係数を把握する。透水試験では、スケール毎の透水係数を把握するため試験区間長を変化させた計測を行う。

検層 (一般検層項目、フローメータ検層、ボーリングレーザ)
透水試験 (間隙水圧、透水係数：スケール効果の確認)
揚水試験 (透水係数)

室内透水試験（透水係数）

(3) 地下水の水理に関する検討

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。評価は毎年繰り返して実施し、その時点での水理地質構造モデルとして示す。

(i) 水理地質構造モデルの作成

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。

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動解析の結果と、地下水流動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。

(ii) 坑道の掘削に伴う水理学的影响の予測解析

坑道の掘削に伴う地下水流動の変化の範囲と規模、および掘削される予定の坑道内への湧水量を予測するため、平成 10 年度に構築される水理地質構造モデルを用いた地下水流動解析を実施する。この地下水流動解析は、試錐孔を用いた調査から取得されるデータの増加にあわせて、適宜、水理地質構造モデルおよび境界条件などの見直しを行い、精度の高い地下水流動解析を実施する。坑道内への湧水量の予測に関しては、次の坑道の掘削を伴う研究段階で計測される実測値との比較により評価していく。評価基準は、専門家の意見なども参考にして、予測解析前に設定する。

(iii) 地球統計解析の実施

平成 11 年度に、これまでに試錐孔を用いた調査で得られた各種の物性値を基に

地球統計解析を実施し、水理地質構造モデルを検証する。実測データの不足箇所を明らかにすることで、第2フェーズでの試錐掘削位置、本数、水理地質構造モデルの改良などの検討に反映する。

(4) 長期水理観測

長期水理観測は、研究対象領域の地下水流动の長期変動を把握するのみでなく、地下水流动解析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、水理地質構造モデル、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。

(i) 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。

(a) 平成 10 年度

- ・ A N - 1 号孔、A N - 3 号孔、A I - 4 号孔に水位計を設置し、観測を開始する。

(b) 平成 11 年度

- ・ 観測を継続し観測結果を取りまとめ、適宜検討を行う。

(ii) 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）」あるいは、開発中の高差圧環境に対応する「1,000m 対応長期モニタリング装置（長期モニタリング装置）」を用いて、研究実施領域に実施する試錐孔において、間隙水圧の長期モニタリングを実施する。

(a) 平成 10 年度

- ・ 既設試錐孔 A N - 1 号孔に、MP システムを設置し、第2フェーズで実施する長期揚水試験の観測孔とする。

(b) 平成 11 年度以降

- ・ 平成 11 年度に掘削する試錐孔の水理地質構造、地球化学的特性を検討し、有用なデータが期待される試錐孔に MP システムを設置し、長期観測を開始する。

5 地下水の地球化学に関する調査・研究

5. 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、広域地下水流動研究で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動経路の存在、
- 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、地質構造(特に、断層や破碎帯といった不連続構造)や岩盤の水理地質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。地表から地下深部までの地下水の地球化学的特性の空間分布は、地下水の起源と地下水の流れにともなう水-岩石反応や、異なる化学組成の地下水の混合を反映する。また、坑道掘削に伴って生じるその性質の変化は、主に地下水流動の変化に起因すると考えられる。本調査では、地下施設の建設により地質環境が乱される前の地下水の地球化学的特性の把握(地下水の地球化学モデルの構築)、および本段階に続く坑道の掘削にともなう地下水の地球化学的特性の分布の変化を予測するために、一連の調査や予測解析を実施する。ここでいう地下水の地球化学モデルとは、地下水の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岩盤の水理地質構造・地質構造を組み合わせたモデルである。

5. 2 調査・研究の目標

地表からの調査予測研究段階における地下水の地球化学的調査・研究の目標は、以下の4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、および地球化学モデルの構築と妥当性の検証
- ③坑道の掘削に伴う地下水の地球化学的特性の変化の予測
- ④地下水の地球化学特性を体系的に調査・解析する手法の開発

5. 3 今後の調査・研究の進め方

5. 3. 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・解析と、坑道掘削にともなう地下水の地球化学的特性の変化の予測に分けられる。後者は、地下水の地球化学モデルそのもの、あるいはモデルを構築する過程から導きだされるため、前者の調査・解析に重点が置かれることになる。具体的には、第1フェーズにおいては、M I U-1 から M I U-4 号孔まで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。第2フェーズでは、第1フェーズで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。また、作成された地下水の地球化学モデルを基に、坑道掘削にともなう地球化学的特性の変化を予測する。

5. 3. 2 実施内容

第1フェーズにおいては、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
- ④水質の長期モニタリング

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)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、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という物理化学パラメータ値である。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
 - ・地上施設の配置
- 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（水一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（水一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）

b) 岩盤の地球化学的調査

試錐調査で実施する岩芯試料を対象とした岩芯記載、岩石鉱物試験により取得される以下のデータを、地下水の地球化学的特性の形成メカニズムを検討する観点に立ち、データセットとしてまとめる。

- ・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（土壤を含む）
- ・割れ目充填構成鉱物組成、各割れ目充填鉱物の化学組成

(i) 平成10年度

- ・M I U-1号孔（1,000m級）を利用し、岩相境界部、割れ目帯を対象などの湧水が予想される区間で地下水の採水調査を実施する。

(ii) 平成 11 年度

- ・ M I U - 2 号孔 (1,000m 級) 、 M I U - 3 号孔 (1,000m 級) を利用し、岩相境界部、割れ目帯を対象などの湧水が予想される区間で地下水の採水調査を実施する。

(3) 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掘削水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。

(i) 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。

(ii) 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。

(4) 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し、坑道掘削に伴う地球化学的特性の変化を予測する。

(i) 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、地質構造に関する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。

(ii) 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を検討する。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。

(iii) 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。

(iv) 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。

(v) 坑道掘削にともなう地下水の地球化学的特性変化の予測解析

地下水の地球化学モデルを基に、坑道掘削にともなう地下水の地球化学的特性の変化を予測する。予測値は、次の「坑道の掘削を伴う特に以下の項目について、地球化学計算コード等を用いてシミュレーションを実施する。

- ・化学組成タイプや溶存成分濃度が異なる地下水間の混合
- ・圧力低下による脱ガスに伴う水質変化
- ・酸化還元状態の変化

(5)水質の長期モニタリング

地下水の流動と水質の長期変動の把握を目的として、大深度試錐孔に設置される「多点式間隙水圧観測システム（MP システム）」あるいは「1,000m 対応長期モニタリング装置（長期モニタリング装置）」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。

(i) 平成 10,11 年度

- ・研究実施領域に掘削する試錐孔の水理地質構造、地球化学的特性を検討し、有用なデータが期待される試錐孔にMP システムを設置し、長期観測を開始する。

6. 岩盤の力学的特性に関する調査・研究

6. 1 はじめに

地下の岩盤の力学的特性に関する情報は、地質環境特性の一つであるばかりでなく、地下空間の設計・建設・閉鎖などの工学的技術開発にとっても必要不可欠な情報となる。特に力学的な場としての特性である初期応力や、岩石自体の力学的な物性は、地下空間の設計・建設にとって最も重要な検討事項である力学的な安定性の評価を行う上で必要不可欠な情報である。さらに、岩盤の熱的特性は、地下空間の温度条件を規制することや地下水流动に影響を及ぼすことが考えられるため、その評価は重要である。

これまでに東濃鉱山や釜石鉱山において岩盤の初期応力や岩石自体の物性に関する情報の整備が進められてきたものの、坑道掘削による影響を評価するという観点が主なものであり、比較的せまい領域での岩盤の初期応力や物性を評価する手法の検討を行ってきた。このため、超深地層研究所計画では、より広い領域（数百 m スケール）を対象とした手法の検討を行う。

6. 2 調査・研究の目標

地表からの調査予測研究段階における岩盤の力学的特性に関する調査・研究の目標は、以下の 4 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岩盤の力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、初期応力状態の把握と岩盤力学モデルの構築および妥当性の検証
- ③坑道の掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的安定性の変化の予測
- ④岩盤の力学的特性を体系的に調査・解析する手法の開発

6. 3 今後の調査・研究の進め方

6. 3. 1 基本的な方針

岩盤の力学的特性に関する調査の成果は、以下に示すように、対象とするスケール毎に反映のさせかたが異なる。よって、調査手法の開発と共に、その対象とするスケールにあわせた解析・評価の手法の開発が必要である。

①坑道スケール（数十m）

坑道スケールを対象とした力学的特性に関する調査の結果は、坑道掘削による影響を評価する際の入力パラメータや外側境界条件として反映される。

東濃鉱山における掘削影響に関する研究では、掘削時の岩盤の変形挙動に大きな影響を及ぼすものの一つが初期応力であることが明らかになっている。スイスのGTS (Grimsel Test Site) やカナダのURL (Underground Rock Laboratory)においては、深度400m程度において坑道周辺に破壊領域が発生している。これは主応力およびその差が大きいことに起因するものである。

②施設スケール（100m～数百m）

施設スケールを対象とした力学的特性に関する調査は、坑道スケールでの調査と同様の重要性を有している。また、地下施設全体のレイアウト・配置を規制することになる。

6. 3. 2 実施内容

第1フェーズにおいては、特に研究実施領域での力学的特性の把握を行うため、前述の重要性を考慮して、以下の調査を実施する。

(1) 初期応力場の把握

研究実施領域の境界部 (AN-1号孔、MIU-3号孔) と中央部分 (MIU-1号孔)、および立坑予定地近傍 (MIU-2号孔) などで、岩芯を用いたAE/DR A法、および試錐孔を用いた水圧破碎法による初期応力測定を実施し、鉛直方向・水

平面内の主応力とその深度勾配を把握する。また、測定に適した良好な供試体が採取可能であれば、3次元主応力の把握を行う。

(i) 平成 10 年度

- ・既設試錐孔 A N - 1 号孔(1,000m 級)を利用して、水圧破碎法による初期応力測定を行う。
- ・M I U - 2 号孔(1,000m 級)および岩芯を利用して、水圧破碎法および A E / D R A 法による初期応力測定を行う。
- ・M I U - 3 号孔(1,000m 級)の岩芯を利用して、A E / D R A 法による初期応力測定を行う。

(ii) 平成 11 年度

- ・M I U - 4 号孔(1,010m)の岩芯を利用して、A E / D R A 法による初期応力測定を行う。

(2) 岩盤の物性の把握

岩石自体の力学的な物性（一軸圧縮強度など）および熱的な物性（熱伝導率など）などを把握するために、岩芯を用いて以下の室内物性試験を実施する。

- ・物理試験（有効間隙率、密度、弾性波速度など）
- ・力学試験（一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、圧裂引張試験）
- ・熱物性試験（熱伝導率、比熱、熱膨張率）
- ・帶磁率・比抵抗試験

(i) 平成 10 年度

- ・M I U - 1, 2, 3 号孔の岩芯を利用して、室内物性試験を実施する。

(ii) 平成 11 年度

- ・M I U - 4 号孔の岩芯を利用して、室内物性試験を実施する。

7. 調査技術・調査機器の開発

7. 1 はじめに

地表からの調査予測研究段階では、地表から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ための調査技術・調査機器を開発する。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、坑道スケールおよび施設スケールにおいて、調査に適用された調査技術・調査機器の実績を整理し、体系化された地質環境調査手法として示す。また、坑道の掘削を伴う調査研究段階などで必要となる調査技術・調査機器を現段階のうちに開発する。

7. 2 研究の目標

地表からの調査予測研究段階における調査技術・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

7. 3 今後の開発の進め方

7. 3. 1 基本的な方針

第1フェーズでの各地質環境モデルを作成するために必要な地質環境に関する情報を取得する要素手法の整備、ならびに第2フェーズおよびそれ以降の研究段階で実施される調査で必要となる調査技術・調査機器の開発・改良を、第1フェーズにおける開発の方針とする。第1フェーズでの調査では、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。それらを用いた調査の実績（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、調査手法の改良・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技術の体系化を行う。また、調査データを管理するデータベース、研究成果を画像で表現する可視化システム、並びに情報公開技術の開発を行う。さらに、坑道の掘削を伴う研究段階以降に必要となる調査手法の開発を現段階で行う。

7. 3. 2 実施内容

第1フェーズにおいては、各研究領域で利用される、以下の調査技術・調査機器の開発を実施する。詳細な内容と平成10、11年度の具体的な実施項目は次項以降に示した。

- 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

- ・弾性波トモグラフィー調査技術開発
- ・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 対応揚水試験装置の改良・高度化
- ・1,000m 対応地下水の地球化学特性調査機器の改良・高度化
- ・1,000m 対応地下水の長期モニタリング装置の開発
- ・水理試験データの解析手法の高度化

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

⑤坑道の掘削を伴う調査研究段階以降に必要となる調査技術・調査機器の開発

- ・連続波レーダー調査技術の開発
- ・立坑壁面調査システムの開発
- ・正弦波水理試験データの解析手法の開発
- ・トモグラフィデータ(物理探査データ、水理試験データ)の解析手法の高度化
- ・試錐孔間水理試験装置の改良・高度化

⑥データベースの構築

- ・調査データ用データベースシステムの構築
- ・工程管理用データベースシステムの構築

⑦地質環境データ解析・可視化システムの構築

⑧情報公開技術の開発

- ・VRシステムの構築
- ・説明用模型の製作

7. 3. 3 試錐掘削技術開発

(1)リバース三重管ワイヤライン工法の開癡

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方が望ましいが、その場合は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ド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癡する。

(i) 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。

(2)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、部分拡孔用ピット、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。これまでに部分ケーシングおよび部分ケーシング挿入装置の基本設計が行われている。

(i) 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。

(ii) 平成 11 年度

- ・部分保孔装置の適用試験を実施する。

7. 3. 4 地質構造調査技術開発

(1) 弾性波トモグラフィー調査技術開発

地下深部での不連続面の広がりを把握するために、深度 1,000m 程度の試錐孔を利用した、弾性波トモグラフィー調査の技術開発を実施する。本開発は、適用試験を含む孔内震源（非破壊震源）の開発とデータ解析技術開発からなる。データ解析技術開発については、坑道を利用した調査研究段階において、坑内より実施される試錐孔を用いたトモグラフィー調査にも利用できる。

(i) 平成 10 年度

- ・平成 9 年度に開発した非破壊震源の適用試験を、既設の A N - 1 号孔、A N - 3 号孔にて実施する。

(ii) 平成 11 年度

- ・非破壊震源の適用試験を M I U - 2 号孔、M I U - 3 号孔にて実施する。
- ・弾性波トモグラフィデータの解析手法の高度化を実施する。

(2) 既存技術の適用性の評価

第 1 フェーズでは、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）を用いて地質構造調査を行うことを基本とし、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。地質構造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。

7. 3. 5 地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発

(1) 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。

(i) 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。

(ii) 平成 11 年度

- ・屈曲孔にて調査機器の適用試験を行う。

(2) 1,000m 対応揚水試験装置の改良・高度化

これまでに開発した 1,000m 対応揚水試験装置については、調査を通して試験装置の有効性を把握すると共に、試験装置の高度化を進める上での課題を抽出する。特に長期揚水試験を実施する上での改良点を検討する。

(i) 平成 10、11 年度

- ・1,000m 対応揚水試験装置を運用するとともに、改良点を抽出する。

(3) 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。

(i) 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。

(ii) 平成 11 年度

- ・屈曲孔にて調査機器の適用試験を行う。

(4) 1,000m 対応長期モニタリング装置の開発

超深地層研究所計画での間隙水圧の長期モニタリングは、基本的に既存技術である「間隙水圧の長期モニタリングシステム（MP システム）」を活用して実施できることから、調査を通して MP システムの有効性を把握する。しかし、大規模な揚水試験や第 2 段階での立坑の掘削によって発生する地下水位の低下などに起因する高差圧環境下では、MP システムによるモニタリングが困難と予想されるため、高差圧環境下に対応する「1,000m 対応長期モニタリング装置（長期モニタリング装置）」を開発する。これは、本研究段階から、坑道を利用した調査研究段階まで継続される「間隙水圧長期モニタリング」および「水質の長期モニタリング」に適用する。

(i) 平成 10 年度

- ・平成 9 年度に製作した実験機の適用試験を実施する。

(ii) 平成 11 年度

- ・適用試験を継続する。

(5) 水理試験データの解析手法の高度化

できるだけ正確な水理地質構造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。上述した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共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。第 2 フェーズでの調査で取得されたデータに適用できるように解析手法の高度化を進め、水理試験データの解析に順次、適用してゆく。これは、個々の水理試験結果から得られる水理パラメータの信頼性の向上や水理試験手法の組み合わせによる効率的な水理調

査手法の体系化に反映される。また、坑道からの調査研究段階で実施されるより狭い領域の水理特性を詳細に評価するための手法の基礎的な検討にも反映される。

(i) 平成 10 年度以降

- ・平成 9 年度に高度化された解析手法を用いて、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。

(ii) 平成 11、12 年度

- ・多孔式揚水試験データの解析手法を高度化する。

7. 3. 6 岩盤の力学特性調査技術開発

(1) 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は、立坑掘削時の岩盤の力学的挙動等の研究に必要であるだけでなく、超深地層研究所地下施設の設計施工に必要不可欠な情報である。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。しかし、そ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初期応力の測定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 3 次元初期応力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。平成 9 年度までに実施した既存技術の評価により、応力解放法を用いた原位置で測定する装置を開発する方針とした。

(i) 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。

(ii) 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。

7. 3. 7 坑道の掘削を伴う調査研究段階以降に必要となる調査技術・調査機器の開発

坑道の掘削を伴う調査研究や坑道を利用した調査研究段階に必要となる調査技術・調査機器の開発を実施する。具体的には、地質環境の特性をより詳細に把握するために必要な調査技術や調査機器（例えば、連続波を用いたレーダー、トレーサー試験装置、試錐孔間水理試験装置、坑道周辺の地下水モニタリングシステム、トモグラフィデータ解析手法の開発など）や立坑の掘削を伴って実施する調査技術や調査機器について、開発

を行う。

(1) 連続波レーダー調査技術の開発

一般に、レーダートモグラフィー調査が適用されるスケール（試錐孔の孔間距離）は、数十m程度までであるが、送信・受振信号に連続波を採用することにより、特に花崗岩を対象とした場合は孔間距離を広げられる可能性がある。釜石鉱山などで適用実績のあるボアホールレーダー調査技術の高度化として、調査深度の拡大と分解能の向上を図ることを目的とした、連続波レーダー調査法の技術開発を実施する。

(i) 平成10年度

- ・連続波レーダー装置実験機の設計・製作を行う。
- ・連続波レーダートモグラフィーの適用試験を、既設のAN-1号孔、AN-3号孔にて実施する。

(ii) 平成11年度

- ・連続波レーダー装置実験機を用いて基礎実験を行う。

(2) 立坑壁面観察システムの開発

坑道の掘削を伴う研究段階に入ると立坑掘削が開始される。立坑掘削時における立坑壁面の地質学的観察により得られる情報は、地表からの調査予測結果を検証するデータとなり、立坑周辺の地質環境を把握する上で非常に重要である。このような立坑壁面調査は、立坑掘削工事と並行して実施でき、かつ工事工程の遅れを最小限に抑えることが要求されるため、これを可能とする立坑壁面調査システムの開発を実施する。

(i) 平成10年度

- ・既存技術の適用性を検討し、技術的な開発課題の抽出を行う。

(3) 正弦波水理試験データの解析手法の開発

正弦波による孔間水理試験は、岩盤の平均的な水理特性のみならず透水性割れ目の水理特性や透水異方性などを把握できる、バックグラウンドの水圧が変動する場合でも水圧応答が捕えやすい、などの利点を有する実用性の高い試験手法の一つである。しかしながら、複雑な試験環境や境界条件の考慮など、試験データを解析する上で解決すべき課題は少なくない。そこで、同手法の実用化を目指し、正弦波水理試験データの解析手法の開発・高度化を行う。

(i) 平成 11 年度

- ・正弦波水理試験データの解析手法を検討する。

(4) トモグラフィデータ（物理探査データ、水理試験データ）の解析手法の高度化

坑道を利用した調査研究段階においては、複数の試錐孔を利用した各種トモグラフィ調査や試錐孔間水理試験などのクロスホール調査が実施される。割れ目の頻度や連続性およびその透水性に支配されると考えられる花崗岩岩盤の3次元的な水理特性を把握することを主な目的として、既存のトモグラフィデータ解析手法の高度化を実施する。

(i) 平成 11 年度

- ・トモグラフィデータ（物理探査データ、水理試験データ）の解析手法の高度化の方
法を検討する。

(5) 試錐孔間水理試験装置の改良・高度化

坑道周辺の岩盤の地下水挙動を詳細に把握するためには、岩盤の平均的な水理特性のみならず、透水性割れ目の水理特性や水理学的な連続性などに関する情報を原位置で取得するために、正弦波注水試験機能と定圧・定流量注水試験機能を備えた2孔間での試験装置の開発を進めてきた。今後は、透水異方性に関する情報を取得するために、最大6本の観測孔を用いることができる試験システムへの改良、および、トレーサー試験機能の付加などの改良・高度化を実施する。

(i) 平成 11,12 年度

- ・試錐孔間水理試験装置の改良・高度化のための基本設計を行う。

7. 3. 8 データベースの構築

(1) 調査データ用データベースシステムの構築

超深地層研究所計画では、今後膨大な量の調査データが取得される。データの効率的で有機的な利用のため、データを適切に管理するデータベースを構築し、運用している。

(i) 平成 10 年度

- ・インターネットサーバーを導入し、所内研究者の机上パソコンからデータベースを
利用出来るよう、システムの改良を行う。

(ii) 平成 11 年度

- ・データベースシステムの運用を継続すると併に、性能を評価し、不足部分があればその改良を行う。

(2) 工程管理用データベースシステムの構築

本計画では、複数の調査および工事が同時に実施される予定である。これらは同じ敷地内で並行して実施されるので、両者の調整を行う必要がある。また、ある地点で取得された試験値・測定値は、同時に別の地点で行われている他の研究、試験や工事の影響を受けていることも考えられる。そこで、各作業の「現場での活動の記録」を保存し、同時に行われた作業を確認することを可能とするためのデータベースを構築する。

(i) 平成 10 年度

- ・市販の工程管理ソフトを導入し、試行を通じて運用方法を検討する。

(ii) 平成 11 年度

- ・データベースの設計および構築を行う。

7. 3. 9 地質環境データ解析・可視化システムの構築

本計画によりもたらされる地質環境に関する多種多量のデータに基づいて地質構造をモデル化し、さらに地質構造や地下水の流動現象などを解析し、その結果を 3 次元に可視化できる計算機システムを構築する。本システムは分野の異なる研究間に地質環境の認識の共有化を図ることのみならず、専門家以外への情報提供にも重要な道具（手段）となる。

(i) 平成 10,11 年度

- ・これまでに構築されたシステムが有する水理解析コードを、立坑掘削の影響を計算可能なものに改良（飽和不飽和浸透流解析コードへの改良）する。

7. 3. 10 情報公開技術の開発

(1) VR システムの構築

本計画を一般の方々に分かりやすく伝えるために、ヴァーチャルリアリティー（以下 VR）技術を利用した情報公開の方法を以下の 2 項目で検討する。

①超深地層研究所の仮想体験

あたかも研究所を訪れたかのように動き回れるシミュレータを作り、一般に公開し超深地層研究所を紹介する。開発は地上部・地下部に分けて行う。

地上部：計画の進展により周囲の景観がどの様に変わるかを疑似体験できる景観シミュレータを作る。

地下部：最新のVR技術を取り入れて、立坑、坑道などの地下部の紹介を行う。

②研究成果（地下水流动、地質構造等）のイメージ化

超深地層研究の研究の進展に伴って得られた研究成果をどのように公開していくかについて検討する。

(i) 平成10,11年度

- ・平成9年度に構築したデスクトップパソコン用の「超深地層研究所の仮想体験」ソフトの改良を行う。
- ・より大規模なVR技術を用いたシステムを検討する。
- ・研究の進捗に合わせ、「研究成果のイメージ化」の方法を検討する。

(2) 説明用模型の作成

超深地層研究所計画での研究の概要を一般に公開するための「技術説明用模型」を作成した。さらに、試錐調査に対する理解を得るために「ボーリング作業の技術説明用模型」を作成する。

(i) 平成10年度

- ・平成9年度の概略設計に基づき、ボーリング作業の技術説明用模型の詳細設計および製作を行う。

8. 参考文献

東濃地科学センター(1996)：超深地層研究所地層科学研究基本計画, PNC TN 7070
96-002

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