

超 深 地 層 研 究 所 計 画
年度報告書(平成 13 年度)

(研究報告)

2002 年 8 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。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2002

超深地層研究所計画
年度報告書（平成13年度）

花室 孝広¹，天野 健治²，三枝 博光²，佐藤 稔紀³，竹内 真司²，中間 茂雄⁴，
濱 克宏²，池田 幸喜²，中野 勝志²，大澤 英昭¹，茂田 直孝¹

要旨

超深地層研究所計画では、結晶質岩の1つである花崗岩を対象に、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」および「深地層における工学技術の基盤の整備」を目標とした調査・試験研究を実施している。本計画は、瑞浪市明世町にある核燃料サイクル開発機構の正馬様用地において、平成8年度より実施してきた。その後、平成14年1月に瑞浪市と瑞浪市明世町の市有地（瑞浪超深地層研究所用地、以下、研究所用地）の賃貸借契約を締結し、超深地層研究所の研究坑道および関連施設を設置することとなった。これを受けて、平成13年度より、研究所用地での調査・研究を開始した。

平成13年度は、平成14年度から研究所用地において作業を開始する地上物理探査および浅層試錐調査の計画・準備を行った。また、本計画や広域地下水流動研究でこれまで行われてきた調査・研究の成果に基づき、研究所用地の地質環境の情報を整理した。

正馬様用地においては、平成12年度から開始したMIU-4号孔の試錐調査を継続し、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤力学に関するデータが得られている。また、MIU-4号孔にモニタリング装置を設置した後、地質構造要素の水理学的な連続性を把握することを目的し、MIU-2号孔を揚水孔とした長期揚水試験を実施した。さらに、これまでの調査結果に基づき、地下水流動解析の解析領域（約4×6 km）において、水理地質構造モデルを構築し、地下水流動解析を実施した。くわえて、研究坑道建設による坑道周辺岩盤の変形挙動などの予備解析を行った。

-
- 1：地層科学研究情報化グループ
 - 2：瑞浪超深地層研究所 研究グループ
 - 3：瑞浪超深地層研究所 施設建設グループ
 - 4：地質環境研究グループ

Mizunami Underground Research Laboratory Project
Annual Report in the 2001 fiscal year

Takahiro Hanamuro¹, Kenji Amano², Hiromitsu Saegusa², Toshinori Sato³, Shinji Takeuchi²,
Shigeo Nakama⁴, Katsuhiro Hama², Koki Ikeda², Katsushi Nakano²,
Hideaki Osawa¹ and Naotaka Shigeta¹

Abstract

The current geoscientific research of the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project have been carried out since the 1996 fiscal year at the Shobasama site in Akeyo-cho, Mizunami City, Gifu Prefecture. The main goals of the MIU Project are to establish appropriate methodologies for reliably investigating and assessing the deep subsurface, and to develop a range of engineering techniques for deep underground application in granite. The site for MIU construction was changed in January 2002, from the Shobasama site to city-owned land (MIU facility site) after lease contract with Mizunami city. The surface-based investigations at the MIU facility site have started since February 2002.

The conceptual modeling work around the MIU facility site has started based on the information from the previous investigations of the Regional Hydrogeological Study and MIU project. Based on the conceptual model, the planning of geophysical survey and shallow borehole investigations has started. These investigations will be done in 2002 fiscal year. Hydrogeological modeling and groundwater flow analysis were performed in the study area (about 4 × 6 km around the Shobasama site). The preliminary analysis based on the rock mechanical model at the Shobasama site was performed to understand the behavior of deformation caused by the construction of shafts.

1: Geoscience Research Integration and Dissemination Group
2: Underground Research Group, Mizunami Underground Research Laboratory
3: Geoscience Facility Construction Group, Mizunami Underground Research Laboratory
4: Geoscience Research Group

【 目 次 】

1 . はじめに	1
1 . 1 概要	1
1 . 2 目標	2
1 . 2 . 1 全体目標	2
1 . 2 . 2 「地表からの調査予測研究段階」(第1段階)の目標	2
2 . 平成13年度の調査・研究の概要	3
3 . 瑞浪超深地層研究所用地における調査・研究	8
3 . 1 研究成果の統合化	8
3 . 2 地質・地質構造に関する調査・研究	8
3 . 2 . 1 目標	8
3 . 2 . 2 実施内容	8
3 . 2 . 2 . 1 既存情報の収集・整理	8
3 . 2 . 2 . 2 地上物理探査	11
3 . 2 . 2 . 3 試錐調査	11
3 . 3 地下水の水理に関する調査・研究	14
3 . 3 . 1 目標	14
3 . 3 . 2 実施内容	14
3 . 3 . 2 . 1 既存情報の収集・整理	14
3 . 3 . 2 . 2 表層水理調査	14
3 . 4 地下水の地球化学に関する調査・研究	16
3 . 4 . 1 目標	16
3 . 4 . 2 実施内容	16
3 . 4 . 2 . 1 既存情報の収集・整理	17
3 . 4 . 2 . 2 浅層試錐調査	17
3 . 5 岩盤の力学に関する調査・研究	18
3 . 5 . 1 目標	18
3 . 5 . 2 実施内容	18
3 . 5 . 2 . 1 物理試験	19
3 . 5 . 2 . 2 力学試験	19
3 . 6 深地層における工学技術に関する研究	20
3 . 6 . 1 目標	20
3 . 6 . 2 実施内容	20

3.6.2.1	瑞浪超深地層研究所のレイアウトと施工計画の検討	21
4.	正馬様用地における調査・研究	23
4.1.	研究成果の統合化	23
4.2.	地質・地質構造に関する調査・研究	23
4.2.1.	目標	23
4.2.2.	実施内容	23
4.2.2.1.	地上物理探査	24
4.2.2.2.	試錐調査	25
4.2.2.3.	地質構造モデルの構築	29
4.3.	地下水の水理に関する調査・研究	29
4.3.1.	目標	29
4.3.2.	実施内容	29
4.3.2.1.	表層水理調査	30
4.3.2.2.	深層水理調査	32
4.3.2.3.	水理地質構造モデルの構築・地下水流動解析	37
4.4.	地下水の地球化学に関する調査・研究	44
4.4.1.	目標	44
4.4.2.	実施内容	44
4.4.2.1.	地表水・降水を対象とした地球化学調査	44
4.4.2.2.	地下水を対象とした地球化学調査	45
4.4.2.3.	固相を対象とした地球化学調査	47
4.4.2.4.	化学組成分布の推定および地下水の地球化学モデルの構築	48
4.5.	岩盤の力学に関する調査・研究	49
4.5.1.	目標	49
4.5.2.	実施内容	49
4.5.2.1.	力学特性調査	49
4.5.2.2.	岩盤力学モデルの構築および解析	50
4.6.	物質移動に関する調査・研究	55
4.6.1.	目標	55
4.6.2.	実施内容	55
4.6.2.1.	室内調査・分析	55
4.6.2.2.	天然に存在する核種を用いた調査・研究	56
5.	調査技術・調査機器に関する研究	58

5.1	目標	58
5.2	実施内容	58
5.2.1	地質構造調査技術開発	58
5.2.1.1	調査手法の予察的構築	58
5.2.1.2	調査手法の適用結果	59
5.2.2	地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発	61
5.2.2.1	1,000 m 対応水理試験装置, 1,000 m 対応地下水の地球化学特性調査機器および 1,000 m 対応揚水試験装置の改良・高度化	61
5.2.2.2	水理試験方法の高度化	61
5.2.2.3	地下水の採水方法の高度化	63
5.2.3	岩盤の力学特性調査技術開発	65
5.2.3.1	1,000 m 対応初期応力測定装置の開発	65
5.2.4	データベースの構築	66
5.2.4.1	調査データ用データベースシステムの構築	66
5.2.5	地質環境データ解析・可視化システムの構築	66
5.2.6	情報提供技術の開発	67
5.2.6.1	VR システムの構築	67
5.2.7	連続波レーダー調査技術の開発	67
5.2.8	トモグラフィデータの解析手法の高度化	67
5.2.9	応力集中による岩盤破壊のモデル化手法の開発	68
6.	まとめ	69
	参考文献	71

APPENDICES

Appendix 1	Time plan and results of the MIU-4 borehole investigations
Appendix 2	Drilling History of the MIU-4 Borehole
Appendix 3	Overview of the MIU-4 Borehole Investigations/Drilling
Appendix 4	Overview of the MIU-4 Drilling and Geophysical/Fluid Logging
Appendix 5	Overview of the MIU-4 Borehole Investigations
Appendix 6	Overview of the MIU-4 Borehole Investigations (On-site Core Description and Borehole TV)

Appendix 7 Overview of the MIU-4 Geophysical/Fluid Logging

Appendix 8 Overview of the MIU-4 Fluid Logging/Hydraulic Packer Test

【図表目次】

図1	瑞浪超深地層研究所用地の位置	4
図2	正馬様用地における調査・研究の概要	4
図3	堆積岩と基盤花崗岩の不整合面の等高線図	9
図4	研究所用地の地質断面図	10
図5	研究所用地周辺のリニアメントおよび推定断層	10
図6	地下壕で確認された断層露頭	11
図7	地上物理探査の測線位置	13
図8	浅層試錐調査の位置	13
図9	研究所用地周辺の地下水流動	15
図10	花崗岩上面からの透水係数の分布	16
図11	研究所用地周辺の地下水の水質	17
図12	地下水の水質の概念	18
図13	DH-2号孔における物理試験結果	19
図14	DH-2号孔における力学試験結果	20
図15	研究坑道のレイアウト案	22
図16	VSP探査の位置	24
図17	試錐調査の位置	24
図18	MIU-4号孔試錐調査の手順	25
図19	MIU-4号孔試錐調査の概要	26
図20	各手法における実蒸発散量の経年変化	31
図21	水理試験の手順	33
図22	流体検層による高透水性部の検出	33
図23	水理試験結果の概要	34
図24	長期揚水試験の観測孔および揚水孔の位置	35
図25	長期揚水試験の概要	35
図26	長期揚水試験の結果の概要	36
図27	各不確実性の関係	37
図28	不確実性を低減させるための調査・解析・評価の流れ	37
図29	不確実性評価の流れ	37
図30	解析結果の比較検討項目	37
図31	構築した水理地質構造モデル	38
図32	地下水の移行距離と時間の関係の例	38
図33	地下水の移行経路の例	38
図34	地下水の移行距離と空隙率で規格化した移行時間の関係の例	39
図35	地質構造モデル	41
図36	観測試錐孔での水位低下量の例	42
図37	MIU-4号孔で採水された地下水の水質	45
図38	ハーカー図	46
図39	MIU-4号孔における物理試験結果	50
図40	MIU-4号孔における力学試験結果	51
図41	クラック密度に関するパラメータ主値(σ_1 / σ_3)の大きさ	52
図42	クラック密度に関するパラメータ主値(σ_1 / σ_3)の方向	52
図43	作成した岩盤力学モデル	52
図44	各坑道展開方向の坑道周辺の変形・亀裂開口量・透水係数・安全率分布図	53
図45	透水性割れ目および近傍母岩における鉱物含有率測定結果	55
図46	透水性割れ目近傍における希土類元素濃度の変化	56

図47	MIU-4号孔における割れ目調査結果	59
図48	水理試験の手順	61
図49	水圧の時間変化曲線	61
図50	揚水試験中の物理化学パラメータ，主要化学成分濃度の測定結果	63
図51	蛍光染料濃度と主要化学成分濃度の関係	63
図52	応力解放に伴うひずみ変化図（深度13.5m地点）	65
表1	平成13年度 調査・研究スケジュール（実績）	5～7
表2	MIU-4号孔と交差すると推定された地質構造の位置と試錐調査で確認された位置	27
表3	試錐調査で確認された各地質構造要素の位置と主要な断層の位置	28
表4	各フェーズに行われた物理検層の実施深度	28
表5	観測流域における岩盤浸透量（平成13年度）	31
表6	MIU-4号孔における水理試験の概要	33
表7	水理パラメータ（ケース1）	41
表8	水理パラメータ（ケース2）	41
表9	解析ケース	42
表10	ウランおよびセシウム濃度表	47
表11	MIU-4孔 AE/DRA法による初期応力測定結果	51
表12	岩盤力学モデルの物性値	53
表13	掘削長82.50～88.65m区間の化学成分	64

1. はじめに

1. 1 概要

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）は、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（原子力委員会、1994）に示された深地層の研究施設のひとつに相当する研究施設として、岐阜県瑞浪市明世町（あけよちょう）の正馬様洞（しょうばさまぼら）にあるサイクル機構用地（以下、正馬様用地）において、「超深地層研究所地層科学研究基本計画」（動燃事業団、1996；以下、基本計画(1996)）に基づき、研究坑道（研究のために掘削される主立坑、換気立坑、水平坑道などからなる超深地層研究所施設の地下部分）の建設に先立つ地表からの調査・研究を進めてきた。

一方、サイクル機構は、1999年11月に「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ -」（サイクル機構、1999；以下、「第2次取りまとめ」）として国（原子力委員会）に報告した。「第2次取りまとめ」の国への報告以降、2000年5月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（平成12年法律第117号）」が成立し、2000年10月には「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（通商産業省告示第591号）」の告示、地層処分の実施主体である「原子力発電環境整備機構」の設立、および「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告）」（原子力安全委員会、2000）の提示が行われ、さらに2000年11月には原子力委員会により新たな原子力長計（原子力委員会、2000；以下、原子力長計(2000)）が決定されるなど、わが国における地層処分の事業化に向けた具体的な取り組みが着実に進められてきた。

このような状況の中で、サイクル機構には原子力長計(2000)において、「地層処分技術的信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けて研究開発を着実に推進すること」という新たな役割が示された。以上のような背景から、サイクル機構では、2001年4月に基本計画(1996)を改訂した(サイクル機構 2001a; 以下 基本計画(2001))。

その後、平成14年1月17日に、瑞浪市と、瑞浪市明世町の市有地（瑞浪超深地層研究所用地）の賃貸借契約を締結し、超深地層研究所の研究坑道および関連施設を設置することとなった。そのため、サイクル機構では、基本計画(2001)および「超深地層研究所計画年度計画書（平成13年度）」（サイクル機構、2001b）の改訂を行った。

本報告書は、改訂した「超深地層研究所地層科学研究基本計画」（サイクル機構、2002a；以下、基本計画(2002)）および「超深地層研究所計画年度計画書（平成13年度改定版）」（サイクル機構、2002b）に基づいて行った平成13年度の調査・研究の成果を取りまとめたものである。

1.2 目標

1.2.1 全体目標

超深地層研究所計画においては、全体目標として以下の2つが設定されている(サイクル機構, 2002a)。

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
深地層における工学技術の基盤の整備

1.2.2 「地表からの調査予測研究段階」(第1段階)の目標

段階目標として以下の3つが設定されている(サイクル機構, 2002a)。

地表からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握

地表からの調査・研究などにより深部地質環境に関する情報を収集し、研究坑道掘削前の未擾乱の地質環境特性を詳細に把握する。また、取得した情報の集約と解釈をとおして、地質環境モデル(地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデルおよび岩盤力学モデル)を構築する。さらに、新たに取得する情報に基づき、適宜、地質環境モデルを更新し、調査の種類・量・解析・評価手法の有効性を評価する。

また、これらの地質環境モデルなどを用いて、研究坑道の掘削により変化することが予想される深部地質環境(たとえば、地下水流動場、深部地下水の地球化学的特性、岩盤の力学的特性など)の研究坑道掘削前の状態を推定する。

研究坑道の詳細設計および施工計画の策定

後述の において策定する研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階における調査・研究計画に基づいて、研究坑道の詳細レイアウトを決定する。この際、本段階において取得する深部地質環境に関する情報、および研究坑道掘削に伴う深部地質環境の変化に関する推定結果などを考慮する。また、実際に適用する施工技術ならびに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を決定する。なお、施工計画は、研究坑道掘削前の深部地質環境を可能な限り乱さないものとするよう配慮することが重要である。

研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査・研究計画の策定

研究坑道の掘削を伴う研究段階における具体的な調査・研究計画、および研究坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画を策定する。この際、前述の深部地質環境に関する情報、ならびに研究坑道掘削に伴う深部地質環境の変化に関する推定結果などをふまえ、「第2次取りまとめ」の評価報告書(原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会, 2000)などに示された今後の研究開発の課題を考慮することが重要である。

2. 平成13年度の調査・研究の概要

地表からの調査予測研究段階については、当初の段階計画の見直しにより、正馬様用地における地質環境特性の把握に重点をおいた第1段階前半(1996～1999年度)、および各分野の調査・研究成果の統合化を図る第1段階後半(2000～2002年度)に分けて調査・研究を進めることとしていた(サイクル機構, 1998)。これまでの第1段階前半においては、段階計画に基づき各分野の調査・研究を実施し、正馬様用地における地質環境特性に関する様々な成果が得られてきた。さらに、第1段階前半の成果を踏まえ、残された調査・研究課題を達成すべく、正馬様用地において第1段階後半の調査・研究を進めてきた。

その後、超深地層研究所計画については、平成14年1月17日に、瑞浪市と瑞浪超深地層研究所用地の賃貸借契約を締結し、超深地層研究所の研究坑道および関連施設を設置することとなった(図1)。今後は、これまで正馬様用地で行ってきた研究の成果を反映し、瑞浪超深地層研究所用地(以下、研究所用地)において第1段階の調査・研究を効率的かつ合理的に進めていくこととなる。また、正馬様用地においては、これまで蓄積してきた月吉断層やその周辺の地質環境の情報や試錐孔などの研究資源を利用し、地質環境のモデル化手法の開発や要素技術開発を継続して行うこととなる。

平成13年度は、平成14年1月17日の賃貸借契約締結以降、瑞浪超深地層研究所用地(以下、研究所用地)において進められる第1段階の調査・研究と、正馬様用地において進められてきた調査・研究とを実施している。

研究所用地においては、地質・地質構造、地下水流動、地下水の地球化学特性についての既存情報の収集・整理を行うとともに、浅層部を対象とした試錐調査の計画と現場調査の準備、および地上物理調査(反射法を用いた弾性波探査)の準備作業を実施した。また、研究所用地付近に存在する既存の試錐孔であるDH-2号孔の岩芯を用いて岩石物性データを取得した。さらに、これまで抽出してきた超深地層研究所で行う必要のある研究項目を参考に、研究坑道のレイアウト案を策定した。

正馬様用地では、平成12年度より開始されたMIU-4号孔の試錐調査を継続し、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤力学に関する情報収集を行った。図2に試錐孔の位置を示す。地質・地質構造に関する調査・研究では、MIU-4号孔の調査を行うとともに、その結果を用いて既存の地質構造モデルとの予備的な比較を行った。岩盤の水理に関する調査・研究では、断層のモデル化の違いなどによる地下水流動解析結果の不確実性に対する要因の把握を行った。地下水の地球化学に関する研究では、MIU-4号孔の試錐調査において、品質管理された地下水の水質データを取得する手法を確立した。岩盤力学に関する調査・研究では、岩盤力学モデルを用いて坑道掘削の影響を解析した。

また、第1段階および第2段階を進めるにあたって必要となる調査技術・調査機器や解析手法の開発を行った。

本計画の平成13年度の調査・研究スケジュール(実績)を表1に示す。

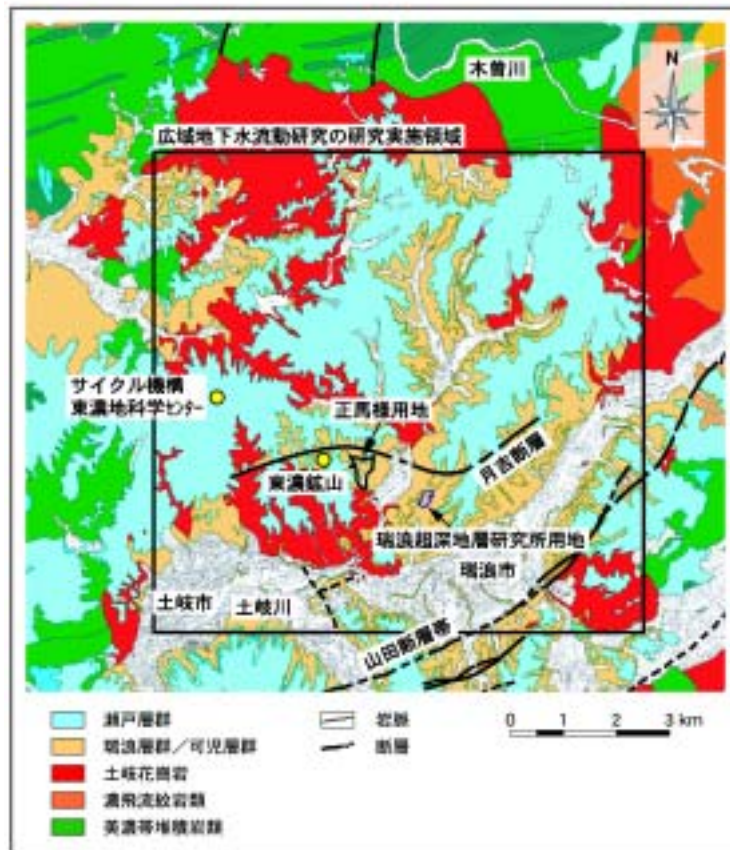


図1 瑞浪超深地層研究所用地の位置



図2 正馬様用地における調査・研究の概要

表1 平成13年度 調査・研究スケジュール(実績)(2/3)

	平成13年度											
	H13									H14		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
[正馬様用地における調査・研究]	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;"> 計画 ——— 実績 </div>											
(1)研究成果の統合化	統合化データフローの改善											
(2)地質・地質構造												
・地上物理探査	試錐孔掘削、VSP探査											
・試錐調査	MIU-4号孔											
・地質構造モデルの構築	MIU - 4号孔の知見によるモデルの更新											
(3)地下水の水理												
・表層水理調査												
・深層水理調査	観測、涵養量の設定方法の検討											
- 水理試験	MIU-4号孔											
- 長期揚水試験	MIU-4号孔へのMP設置											
- 地下水圧の長期観測	AN-1,3号孔、AI-4号孔、MIU-1,2,3号孔における観測 AI-7,10号孔における観測											
・水理地質構造モデルの構築・地下水流解析	解析領域(4km x 6km)におけるモデルの検討、長期揚水試験の予測解析											
(4)地下水の地球化学												
・地表水・降水を対象とした地球化学調査	降水、河川水の採水・分析											
・地下水を対象とした地球化学調査	MIU-4号孔 MIU-2,3号孔(長期揚水試験時)											
・固相を対象とした地球化学調査	MIU-1,2,3,4号孔											
・地球化学モデルの構築	地球化学モデルの検討											
(5)岩盤の力学特性												
・力学特性調査	MIU-4号孔											
・力学モデルの構築	モデルの更新、MBCを用いたモデル化											
(6)物質移行												
・室内調査・分析	MIU-4号孔の岩芯を用いた室内調査・分析											

・天然に存在する核種を用いた調査・研究	MIU-4号孔の岩芯を用いた室内調査・分析									
	岩芯を用いた天然ウラン系列核種や希土類元素などの分析									

表1 平成13年度 調査・研究スケジュール(実績) (3/3)

	平成13年度											
	H13									H14		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
【調査技術・調査機器に関する研究】												<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;"> 計画 ——— 実績 </div>
(1)地質構造調査技術開発												
	VSP探査等の有効性の確認・取りまとめ											
(2)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, 1,000m 対応地下水の地球化学特性調査機器 の改良・高度化	改良(現場対応)											
・1,000m対応揚水試験装置の改良・ 高度化	井戸貯留を小さくするための手法の検討											
・水理試験データの解析手法の高度化	時間微分プロットの体系化整理											
(3)岩盤の力学特性調査機器技術開発												
・1,000m対応初期応力測定装置の開発	適用試験											
(4)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	データベースの運用、今後の開発課題の検討											
(5)地質環境データ解析・可視化システムの 構築	システムの運用と課題の抽出											
(6)情報提供技術の開発												
・VRシステムの構築	VRシステムの改良											
(7)連続波レーダー調査技術の開発												
・トモグラフィデータの解析手法の高度化	特性試験の準備											
・応力集中による岩盤破壊のモデル化 手法の開発	解析手法の改良の検討											
	力学試験の実施による岩盤破壊のメカニズムの把握											

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3. 瑞浪超深地層研究所用地における調査・研究

3.1 研究成果の統合化

これまで、正馬様用地において研究坑道などを掘削し、第2段階以降の調査・研究を行うことを前提に、平成8年度から平成11年度までの研究成果に基づいた調査・解析・評価の統合化データフローを作成してきた（サイクル機構，2001c）。

平成13年度においては、超深地層研究所の研究坑道および関連施設の設置場所が正馬様用地から研究所用地に変更されたことにより、これまで作成してきた調査・解析・評価の統合化データフローをもとに、研究所用地での第1段階の調査・解析・評価の統合化フローとする必要がある。これらについては、平成13年度から研究所用地における第1段階の調査・研究の具体化と合わせて、平成14年度に取りまとめる計画である。

3.2 地質・地質構造に関する調査・研究

3.2.1 目標

地質・地質構造に関する調査・研究の第1段階では、研究所用地の地質・地質構造を把握するとともに、地下水の流動や水質形成などを規制すると考えられる地質構造要素を同定し、地質構造モデルを構築することを目標としている（サイクル機構，2002a）。

平成13年度の目標は、研究所用地およびその周辺の地質・地質構造に関する既存情報を収集・整理するとともに、研究所用地およびその周辺において実施する地上物理探査、および浅層部を対象とした試錐調査（以下、浅層試錐調査）の計画・準備を行うことである。

3.2.2 実施内容

平成13年度より、研究所用地の周辺の地質・地質構造に関する既存情報を収集・整理した。また、研究所用地およびその周辺の地質・地質構造に関する情報を取得するための地上物理探査の計画および準備を行うとともに、堆積岩から花崗岩表層部の地質環境の情報を取得するための浅層試錐調査の計画・準備を行った。

3.2.2.1 既存情報の収集・整理

研究所用地およびその周辺の地質・地質構造を把握するため、既存地質図、リニアメント判読結果、既存試錐孔（広域地下水流動研究（サイクル機構，2001d）、月吉ウラン鉱床を対象とした調査（動燃事業団，1994）など）における調査結果、これまで本計画で行ってきた調査・研究の成果などを収集・整理した。また、リニアメント解析および地表における地表概査を行い、研究所用地およびその周辺の地

質・地質構造に関してこれまでに得られた知見を整理した。研究所用地およびその周辺の地質・地質構造は以下の通りである。

- ・ 研究所用地周辺には、基盤である後期白亜紀の土岐花崗岩とそれを覆う第三系の瑞浪層群が分布する（図1）。
- ・ 堆積岩と花崗岩の不整合面には、起伏の変化に富むチャンネル構造が存在する（図3）。研究所用地近傍にある既存試錐孔（DH-2号孔）では堆積岩の層厚が約170 m程度である。また、研究所用地内で過去に掘削された試錐孔情報から、堆積岩の層厚が場所により大きく変化すると予想される（図4）。
- ・ 堆積岩の最下部には、高透水性と推察される基底礫岩層が分布する。また、堆積岩中の中～上部には低透水性と推察される数層の凝灰質泥岩層が挟在する。
- ・ リニアメント判読結果から、北北西 - 南南東系、北西 - 南東系、北東 - 南西系、東西系から構成される複数の不連続構造が分布する可能性が想定される（図5）。特に、研究所用地南東部の地下壕跡地で確認された北北西 - 南南東系の不連続構造（高角度東傾斜の断層）は、比較的規模が大きく、研究所用地と交差する可能性が高い（図6）。



図3 堆積岩と基盤花崗岩の不整合面の等高線図

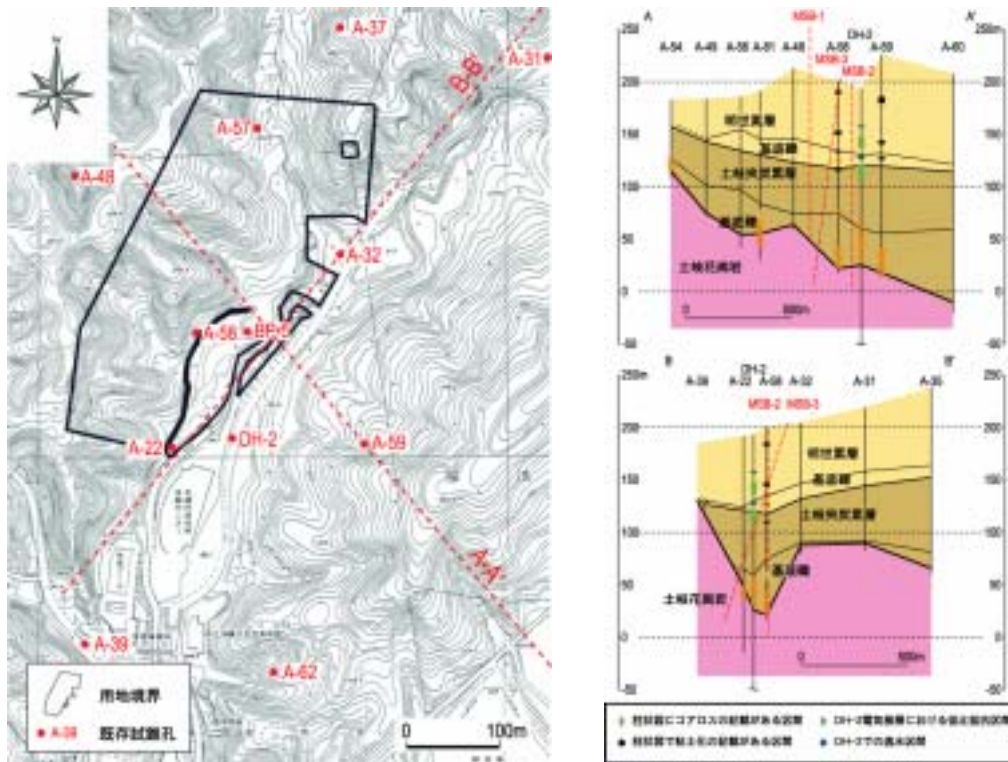


図4 研究所用地の地質断面図

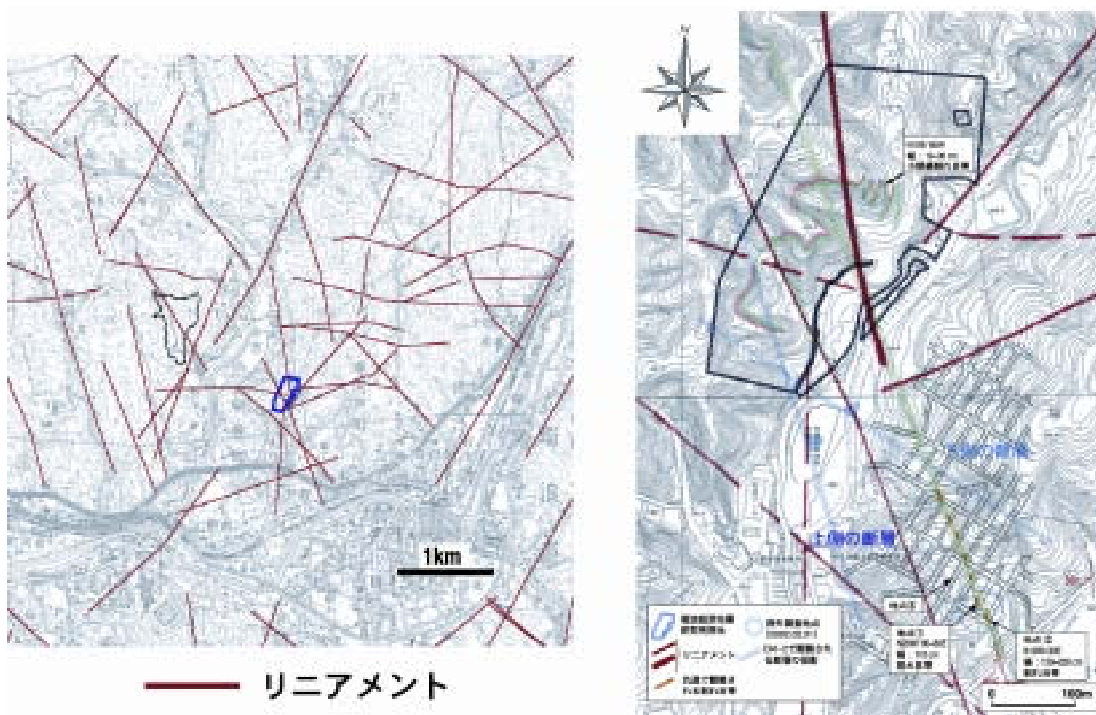


図5 研究所用地周辺のリニアメントおよび推定断層



図6 地下壕で確認された断層露頭

3.2.2.2 地上物理探査

研究所用地およびその周辺の地質・地質構造（断層などの不連続構造，堆積岩と花崗岩の不整合面の形状，堆積岩の堆積構造など）に関する情報を取得するため，研究所用地およびその周辺において行う，反射法弾性波探査の計画・準備を行った。図7に，反射法弾性波探査の測線位置を示す。なお，本調査は平成14年度の上期に実施する予定である。

3.2.2.3 試錐調査

浅層部（堆積岩から花崗岩風化部）の地質環境（地質・地質構造，地下水流動，地下水の地球化学）を把握するとともに，堆積岩から花崗岩風化層までの浅層部における地下水流動を把握するため，研究所用地内における浅層試錐調査（4孔；A号孔～D号孔，総掘削長約800 m）の計画・準備を行った。既存情報の収集・整理で抽出した課題に基づき設定した試錐孔位置図を図8に示す。4孔の試錐孔のうち，2孔（A号孔およびB号孔）は浅層部の岩盤および地球化学に関する情報を取得することを，1孔（C号孔）は研究所用地と交差すると想定されている断層の存在と位置を確認することを，残りの1孔（D号孔）は，研究所用地周辺の地下水流動を把握することを主な目的として行う予定である。これらの試錐孔を利用して，岩芯記載（岩相，変質，割れ目），検層（電気検層，密度検層，中性子・ガンマ検層，スペクトルガンマ検層，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），ポアホールテレビ調査を実施し，また，A号孔およびB号孔においてはこれらの調査に

加えて岩石鉱物試験（顕微鏡観察，エックス線回折，全岩化学組成分析）を実施する予定である。なお 試錐孔の掘削および調査は平成14年度に実施する予定である。各試錐孔で行う主な調査は以下のとおり。

- (a) 試錐孔 A および試錐孔 B (鉛直孔：掘削長約 190 m)
- 岩芯調査：岩相，変質，割れ目等の記載(本数，深度，傾斜角，形状，面上の構造，成因，変質の種類・幅，充填物の種類・幅等)
- 物理および流体検層：電気検層，密度検層，中性子・ガンマ線検層，スペクトルガンマ線検層，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（スピナー式，電磁式，ヒートパルス式）
- ボアホールテレビ調査（BTV 調査）：割れ目の位置，方向，幅，形状など
- 岩石鉱物試験：顕微鏡観察，粉末 X 線回折，全岩化学組成分析
- 水理試験：（揚水試験，スラグ試験，パルス試験）
- 採水・分析
- 原位置測定・分析項目：水温，pH，酸化還元電位，電気伝導度，溶存酸素，主要および微量溶存成分，溶存ガスなど
- MP(Multiple Piezometer) システムによる長期観測：水圧，地下水化学組成
- (b) 試錐孔 C (傾斜孔:掘削長約 270 m)
- 岩芯調査：岩相，変質，割れ目等の記載(本数，深度，傾斜角，形状，面上の構造，成因，変質の種類・幅，充填物の種類・幅等)
- 物理および流体検層：電気検層，密度検層，中性子・ガンマ線検層，スペクトルガンマ線検層，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（スピナー式，電磁式）
- ボアホールテレビ調査（BTV 調査）：割れ目の位置，方向，幅，形状など
- 水理試験：（揚水試験，スラグ試験，パルス試験）
- MP システムによる長期観測：水位，水圧
- (c) 試錐孔 D (鉛直孔：掘削長約 110 m)
- 岩芯調査：岩相，変質，割れ目等(本数，深度，傾斜角，形状，面上の構造，成因，変質の種類・幅，充填物の種類・幅等)
- 物理および流体検層：電気検層，密度検層，中性子・ガンマ線検層，スペクトルガンマ線検層，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（スピナー式，電磁式，ヒートパルス式）
- ボアホールテレビ調査（BTV 調査）：割れ目の位置，方向，幅，形状など
- 水理試験：（揚水試験，スラグ試験，パルス試験）
- MP システムによる長期観測：水圧

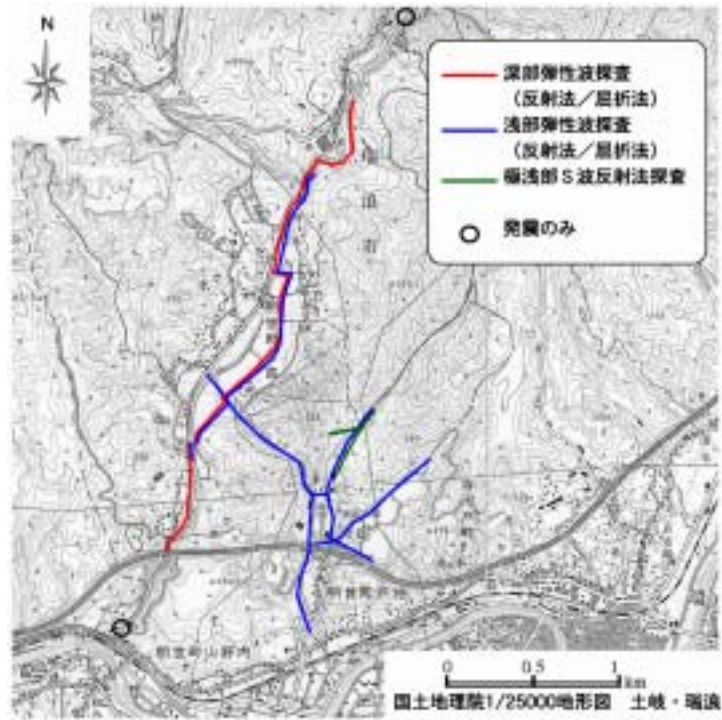


図7 地上物理探査の測線位置

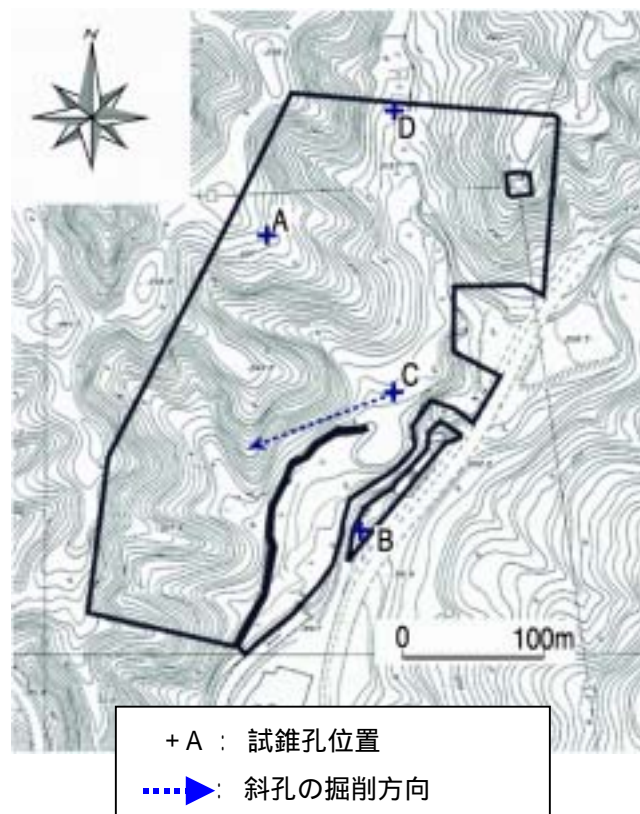


図8 浅層試錐調査の位置

3.3 地下水の水理に関する調査・研究

3.3.1 目標

地下水の水理に関する調査・研究の第1段階では、地質構造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とともに、このモデルを用いて、研究所用地における研究坑道掘削前の地下水流動場を推定することを目標としている（サイクル機構、2002a）。

平成13年度の目標は、研究所用地およびその周辺の地下水流動に関する既存情報を収集・整理するとともに、研究所用地において実施する浅層試錐調査の計画・準備を行うことである。

3.3.2 実施内容

平成13年度より、研究所用地およびその周辺の地下水の水理に関する既存情報を収集・整理した。また、浅層部（堆積岩から花崗岩風化部）の地下水流動に関する情報を取得するため、浅層部を対象として掘削する試錐孔において水理試験・流体検層を行うための計画および準備を行った。

3.3.2.1 既存情報の収集・整理

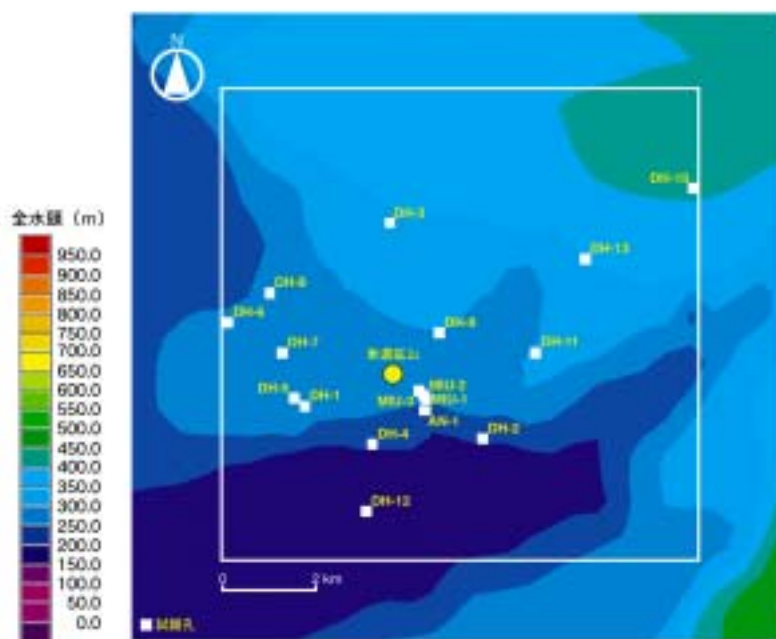
研究所用地およびその周辺の地下水流動を把握するため、広域地下水流動研究における既存試錐孔の調査結果や、これまでに本計画で行ってきた調査・研究の成果などを収集・整理した。研究所用地およびその周辺の地下水流動に関してこれまでに得られた知見は以下の通りである。

- ・ 研究所用地周辺の地下水は、地形に依存し、概ね北東から南西の方向に流れている（図9）。
- ・ 「3.2 地質・地質構造」に示したチャンネル構造、地質構造、断層などに、地下水流動は規制されていると考えられる。
- ・ 花崗岩上面から深度約400mまでの花崗岩の透水性は、それ以深の花崗岩と比較し1オーダー程度透水性が高い（図10）。

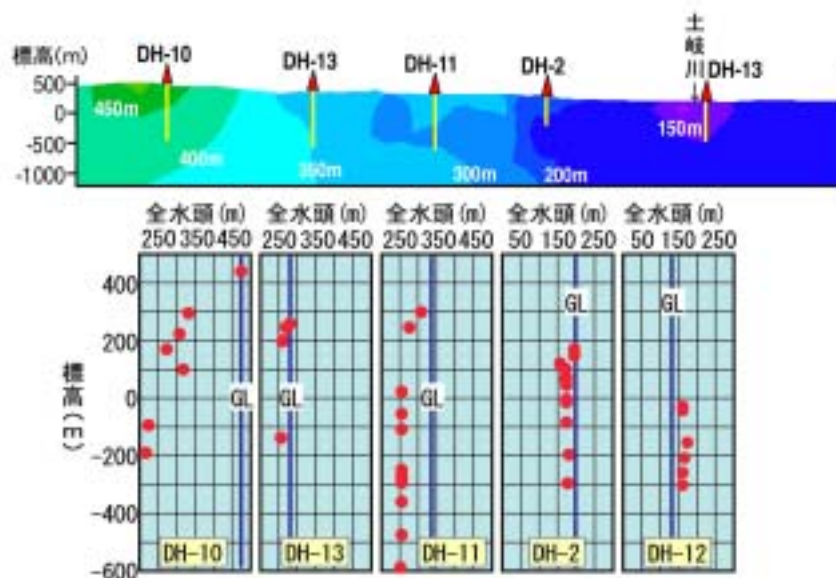
3.3.2.2 表層水理調査

浅層部の地下水流動に関する情報を取得するため、平成14年度に掘削を開始する浅層試錐孔（A号孔～D号孔）における水理試験・流体検層の計画および準備を行った（図8参照）。4孔の試錐孔のうち、2孔（A号孔およびB号孔）は浅層部の岩盤および地球化学に関する情報を取得することを、1孔（C号孔）は研究所用地と交差すると想定されている断層の存在と位置を確認することを、残りの1孔（D号孔）は、研究所用地周辺の地下水流動を把握することを主な目的として行う予定である。これらの試錐孔を利用して、水理試験（揚水試験、スラグ試験、パルス試験）を実施す

るとともに、試錐調査終了後にモニタリング装置を設置して、水位、水圧の長期観測を行う予定である。



(a) 標高-1,000mにおける地下水の全水頭分布（解析結果）



(b) DH-10号孔～DH-12号孔間の全水頭分布（解析結果（上），実測値（下））

図9 研究所用地周辺の地下水流動（サイクル機構，2001d）

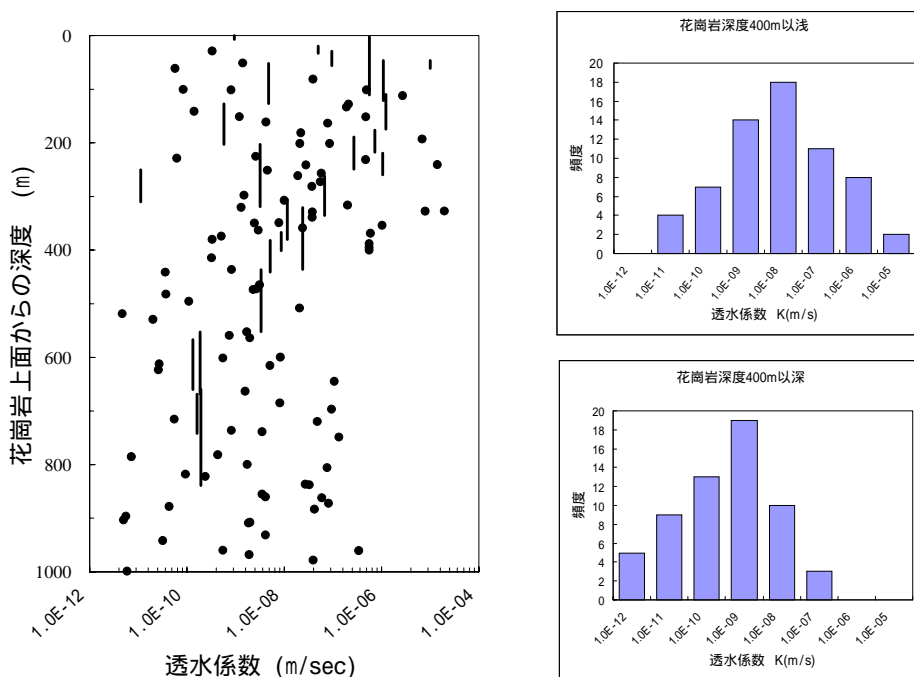


図10 花崗岩上面からの透水係数の分布

3.4 地下水の地球化学に関する調査・研究

3.4.1 目標

地下水の地球化学に関する調査・研究の第1段階では、研究所用地における深部地下水の地球化学的特性の三次元的分布を把握し、水-岩石反応試験や熱力学解析などにより、地下水の水質形成を支配する主要な水-岩石反応を抽出し、上記の地下水の採水や化学分析の結果と合わせて既存の地球化学モデル（水質形成モデル）を確認することを目標としている（サイクル機構，2002a）。

平成13年度の目標は、研究所用地において実施する浅層試錐調査の計画・準備を行うことである。

3.4.2 実施内容

平成13年度より、研究所用地およびその周辺の地下水の地球化学に関する既存情報を収集・整理した。また、浅層部（堆積岩から花崗岩風化部）の地下水の地球化学に関する情報を取得するため、浅層部を対象として掘削する試錐孔において地下水採水や化学分析を行うための計画および準備を行った。

3.4.2.1 既存情報の収集・整理

研究所用地およびその周辺の地下水の地球化学に関する既存情報を把握するため、広域地下水流動研究における既存試錐孔の調査結果や、これまでに本計画で行ってきた調査・研究の成果などを収集・整理した。研究所用地およびその周辺の地下水の地球化学に関してこれまでに得られた知見は以下の通りである。

- ・ 堆積岩中に酸化還元境界が存在する可能性が高い。
- ・ 花崗岩中の浅部（深度 300m 以浅）の地下水は Na-Ca-HCO₃ 型で、中性（pH7）かつ酸化性（Eh>0mV）の地下水であるのに対し、深部（深度 300m 以深）の地下水は、Na-HCO₃ 型で、弱アルカリ性（pH9）かつ還元性（Eh<-300mV）の地下水である（図 11）。
- ・ 土岐川近傍で掘削された試錐孔（DH-12 号孔）において、上記の地下水と異なる、Na-Cl 型の地下水が確認されている（図 12）。Na-Cl 型の地下水が土岐川の南方のみに存在すると仮定した場合、研究坑道を掘削することによる地下水流動の変化により、Na-HCO₃ 型と Na-Cl 型の地下水の混合が予想される。

3.4.2.2 浅層試錐調査

浅層部を対象として平成14年度に掘削する試錐孔（A号孔～D号孔）を利用した地球化学調査の計画策定および調査準備を行った。4孔の試錐孔のうち、2孔を利用して、地下水の採水・分析を行う予定である。

図11 研究所用地周辺の地下水の水質（サイクル機構，2001d）

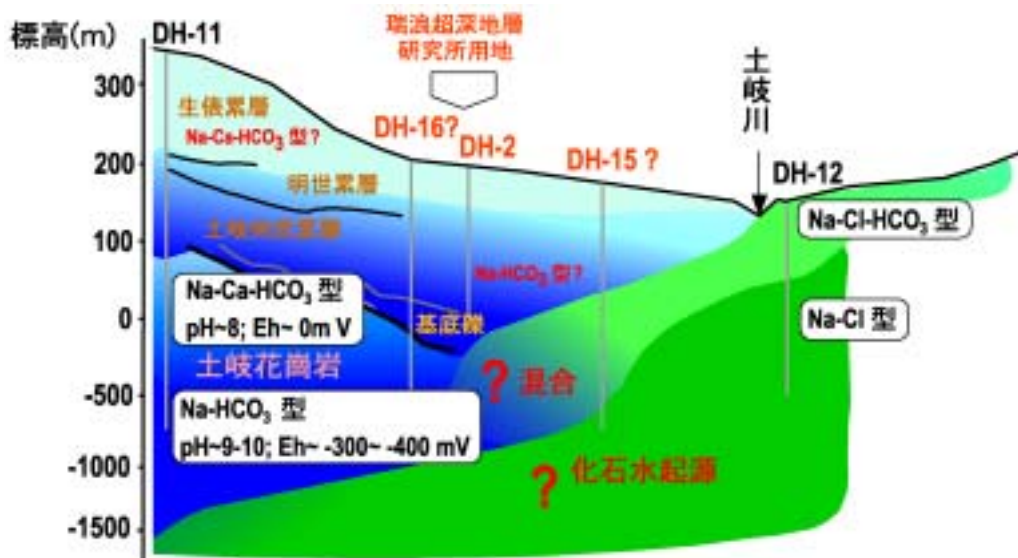


図12 地下水の水質の概念

3.5 岩盤の力学に関する調査・研究

3.5.1 目標

岩盤の力学に関する調査・研究の第1段階では、瑞浪超深地層研究所用地における土岐花崗岩体の力学特性（物理特性、変形特性、強度特性）および初期応力状態を三次元的に把握し、岩盤力学モデルを構築し、このモデルを用いて、研究坑道掘削前の初期応力状態を推定するとともに、研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映するため、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の変形挙動および応力変化、ならびに応力集中に伴う岩盤の損傷範囲を推定することを目標としている（サイクル機構，2002a）。

平成13年度の目標は、瑞浪超深地層研究所用地付近の既存試錐孔で取得された岩芯を用いて室内試験を実施し、岩盤の物性・岩盤力学データを取得することである。

3.5.2 実施内容

平成13年度においては、広域地下水流動研究の試錐調査（DH-2号孔）で取得された岩芯（10深度）を用いて、室内物理試験（密度、単位体積重量、有効空隙率、含水比、弾性波速度）および室内力学試験（一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、圧裂引張試験）を行った。

3.5.2.1 物理試験

図13に物理試験結果を示す。各物性値の分布範囲は、乾燥密度で $2.59 \sim 2.63 \text{g/cm}^3$ 、空隙率で $0.36 \sim 0.92\%$ 、含水比で $0.1 \sim 0.2\%$ 、弾性波速度で $4.0 \sim 5.5 \text{km/sec}$ (P波速度)ならびに $1.9 \sim 2.6 \text{km/sec}$ (S波速度)を示す。

乾燥密度や空隙率、含水比については、ばらつきはあるものの、深度にかかわらずほぼ一定の値を示している。弾性波速度については、500m付近でP波速度およびS波速度ともにやや低下する傾向を示している。

3.5.2.2 力学試験

図14に力学試験結果を示す。各物性値の分布範囲は、一軸圧縮強度で $65 \sim 144 \text{MPa}$ 、圧裂引張強度で $5.1 \sim 11.8 \text{MPa}$ 、静弾性係数(E)で $34 \sim 105 \text{GPa}$ 、ポアソン比で $0.21 \sim 0.42$ を示す。また三軸圧縮試験から得られた粘着力および内部摩擦角はそれぞれ $41 \sim 57^\circ$ 、 $25.3 \sim 60.6 \text{MPa}$ を示す。

一軸圧縮強度については、深度が大きくなるにしたがって値が大きくなる傾向を示す。圧裂引張強度、静弾性係数、ポアソン比については、ばらつきはあるものの、それぞれ 7MPa 、 55GPa および 0.3 程度の値を示す。

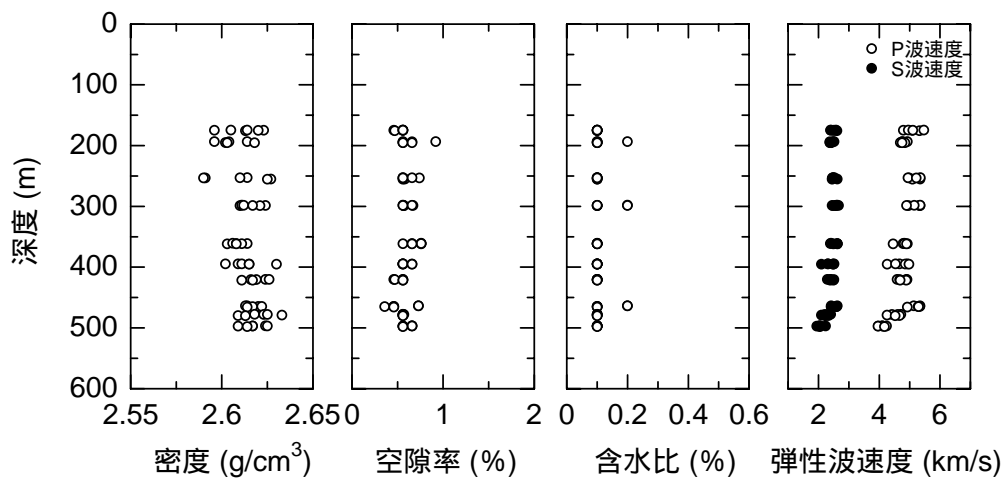


図13 DH-2号孔における物理試験結果

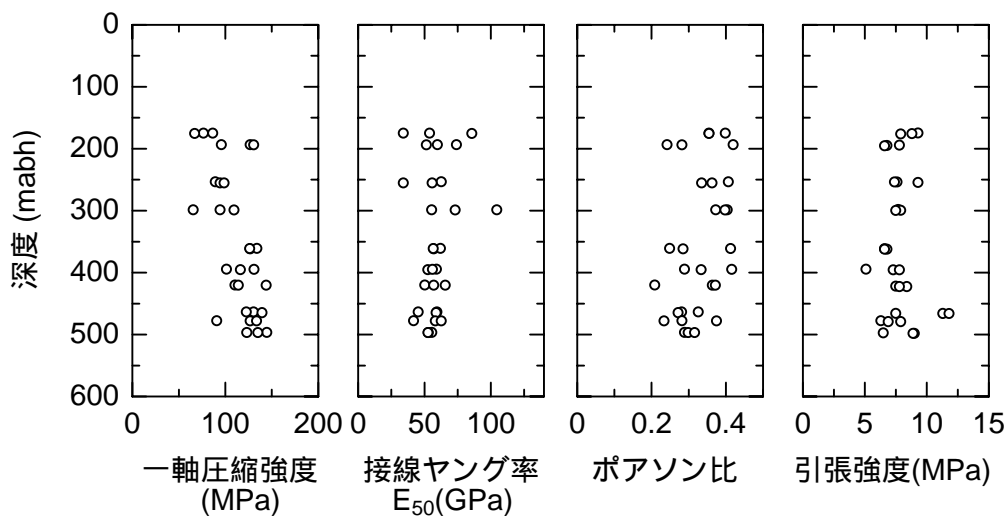


図14 DH-2号孔における力学試験結果

3.6 深地層における工学技術に関する研究

3.6.1 目標

深地層における工学技術に関する調査・研究の第1段階では、研究所用地における深部地質環境に関する情報や次段階以降の調査・研究計画などに基づいて、研究坑道の詳細レイアウトを決定するとともに、実際に適用する施工技術ならびに機器設備を選定し、具体的な施工計画を決定することを目標としている(サイクル機構, 2002a)。

平成13年度の目標は、研究所用地を対象として、研究坑道の詳細なレイアウトを検討するとともに、研究坑道掘削に必要な資機材や機器設備などの仕様および具体的な施工計画を検討することである。

3.6.2 実施内容

平成13年度より、研究所用地を対象として、以下の項目について検討を開始した。「坑道の掘削を伴う研究段階」および「坑道を利用する研究段階」における研究計画に基づき、研究坑道の詳細なレイアウトを検討する。研究坑道掘削に必要な資機材や機器設備などの仕様および具体的な施工計画を検討する。

3.6.2.1 瑞浪超深地層研究所のレイアウトと施工計画の検討

平成13年度より、研究所用地を対象として、以下の項目について検討を開始した。

第2段階および第3段階における研究計画に基づく、研究坑道の詳細なレイアウト

研究坑道掘削に必要な資機材や機器設備などの仕様および具体的な施工計画

これまでの正馬様用地を対象として実施してきた研究坑道のレイアウト案の検討や施工計画案の策定結果を基本とし、この結果を適用することが可能な部分については適用し、適用が困難な部分については課題点として抽出することとした。

研究坑道の詳細なレイアウトの検討においては、調査・研究の内容について、成果の反映時期、実施場所、配置、対象とする地質条件などを考慮し、坑道の掘削延長、断面規模、掘削方法、掘削工程、掘削設備などの検討にもとづきレイアウトを設定した（図15）。

研究坑道掘削に必要な資機材や機器設備などの検討においては、坑内環境と防災、維持管理方法を十分に考慮し、通気解析により施工段階ごとの通気制御方法を検討した。この解析結果にもとづき、通気ファン、風管、集塵機、冷房設備などの通気設備の仕様を設定した。また、研究計画と整合のとれた工程を策定し、施工計画を立案した。施工計画に関する検討においては、立坑掘削技術について、迅速なずり搬出方法、長期耐久性を有する覆工コンクリートの配合、湧水に対するグラウト工法、山はねの発生の可能性のある岩盤条件や坑道レイアウトに関する事例調査、課題の整理を行った。具体的には以下のとおりである。

- ・長期耐久性を有する立坑一次覆工コンクリートの配合に関する調査

従来の土木工事や鉱山掘削における既存の坑道での配合について事例調査を行うとともに、コンクリートに要求される諸条件について施工及び品質の観点から整理し、最適なコンクリート配合の基本仕様を設定し、一次覆工コンクリートの施工計画を立案した。

- ・ずり搬出用替えキブル方法の調査

従来の工事における替えキブル方法と、これまでに考案されてきた各種の替えキブル方法を調査し、その結果にもとづき、簡易、迅速、かつ遠隔で安全に実施できる替えキブル方法を抽出・整理し、施工計画を立案した。

- ・湧水対策工におけるグラウト工法の調査

岩盤の空隙構造を考慮した効率的な止水作業と、グラウトの影響範囲、グラウト止水効果の高い精度の評価が必要であることから、グラウト工法についての事例調査と課題の整理を行った。

- ・山はねに関する文献調査と解析

文献調査により、国内外における山はねの発生状況を調査し、地質状況や坑道レイアウトなどの山はね発生の要因について整理した。また、山はね発生の予測解析を実施し、超深地層研究所の研究坑道掘削時の山はね発生の可能性について検討した。

・研究坑道の通気制御・防災に関する調査・解析

研究坑道において起こりうる災害として、主に火災の発生及び運搬災害などに着目し、災害事例を調査した。この結果から、火災が発生した場合には避難路と避難時間の確保が最も重要であること、坑外まで避難できる安全区画を確保することは困難であることから、防災の基本コンセプトとして、火災発生時は避難所で退避することとし、安全に避難できる位置の選定、退避所のスペース、形状、具備すべき条件について設定した。

また、通気解析により、通気門制御、主要ファン制御、組合せ制御の項目についての通気制御方法の検討を行った。

・通気設備の仕様、構造の設定

掘削切羽の必要通気量にもとづき検討した結果、通気方法は、立坑掘削初期段階(地表から深度500mまで)においては立坑坑口からの風管通気方式とし、深度500mに到達した段階からは坑道通気方式に切り替えることとした。次に、施工段階ごとの通気制御方法の検討として、解析モデルを構築し、通気解析、風量解析、熱環境解析を行った。これらの解析結果にもとづき、坑道通気用の主要ファン、局部ファン、風管、集塵機、立坑坑口における通気設備などの仕様、構造を設定した。

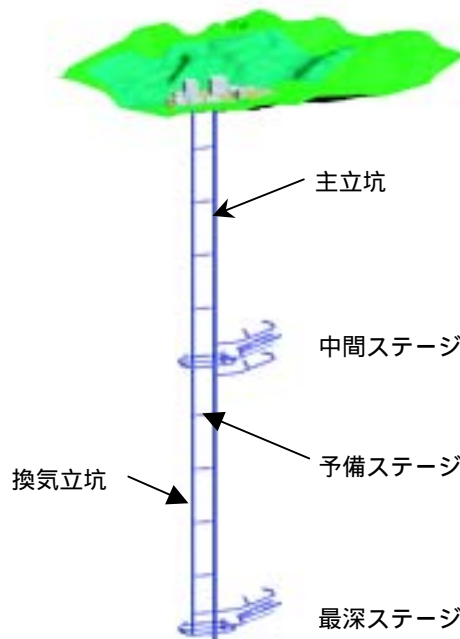


図15 研究坑道のレイアウト案

4．正馬様用地における調査・研究

4．1 研究成果の統合化

これまでに、研究成果の統合化として、分野ごとに統合化データフローを作成した。平成13年度以降については、研究坑道などの建設場所が研究所用地に変更されるにあたり、研究所用地における調査・研究を対象として、改めて統合化データフローを作成し、調査・研究を進めることとなるが、これまでの調査・研究を継続するにあたっては、本統合化データフローに沿って進めるとともに、必要に応じて統合化データフローを改善する必要がある。

平成13年度においては、研究所用地での調査・研究への反映のため、これまで構築してきた統合化の方法論についての取りまとめを開始した。

4．2 地質・地質構造に関する調査・研究

4．2．1 目標

地質・地質構造に関する調査・研究では、正馬様用地の地質・地質構造を把握するとともに、地下水の流層や水質形成などを規制すると考えられる地質構造要素を同定し、地質構造モデルを構築することを目標としている。

平成13年度の目標は、平成12年度より開始したMIU-4号孔（傾斜孔）における試錐調査を継続し、これまでに調査していない正馬様用地北東部の地質・地質構造、および高角割れ目（帯）の頻度分布に関するデータを取得することである（サイクル機構，2002b）。これらの情報を既存の地質構造モデルと比較し、地質構造モデルを更新していくこととなる。なお、これまでに行った試錐調査により推定した地質・地質構造と地上物理探査（反射法弾性波探査）結果との対比結果を補完するため、VSP（Vertical Seismic Profile）探査を行う計画であったが、MIU-4号孔における試錐調査が10月まで行われたこと、その後行う長期揚水試験を優先的に行うこととしたため、VSP探査は平成14年度に行うこととした。

4．2．2 実施内容

平成13年度においては、平成12年度より開始したMIU-4号孔（傾斜孔）における試錐調査を継続し、これまでに調査していない正馬様用地北東部の地質・地質構造、および高角割れ目（帯）の頻度分布に関するデータを取得した。また、これまでに構築した地質構造モデルとMIU-4号孔の試錐調査で得られた新たなデータを予備的に比較した。さらに、これまでに行った試錐調査による地質・地質構造と地上物理探査（反射法弾性波探査）との対比結果を補完するため、平成14年度に行うこととしたVSP探査の計画・準備を行った。

4.2.2.1 地上物理探査

平成13年度は、これまでに行った試錐調査による地質構造モデルと地上物理探査（反射法弾性波探査）との対比結果を補完するため、VSP探査の計画・準備を行った。正馬様用地内において、堆積岩を対象として新たな試錐孔（01MS-06号孔；掘削長113m）を掘削し、VSP探査を実施した。掘削した試錐孔では、あわせて、岩芯観察および物理検層（電気検層、中性子検層、自然放射能検層、密度検層、音波検層、孔径検層、孔曲がり測定）を実施した。掘削する試錐孔は、これまで行われた反射弾性波探査の測線上であること、堆積岩が厚く分布すること、これまでの解析結果で断層を示唆する不連続部が明瞭に認められる、という条件を満たす位置を設定した。試錐孔の位置および発振点のレイアウトを図16に示す。



図16 VSP探査の位置

図17 試錐調査の位置

4.2.2.2 試錐調査

平成12年6月に掘削を開始したMIU-4号孔における試錐調査（図17）は，以下に示す6つのフェーズを基本ケース（図18）として試錐調査を実施した（JNC，1999）。

フェーズ	地質	主な調査項目
I	第四紀末図層堆積物 および第三紀堆積岩 (瑞浪層群世系層)	- 清水(蛍光染料(アミノG酸)入り)による掘削：0-10mabh - ケーシングパイプの挿入とフルホールセメンチング
II	第三紀堆積岩 (瑞浪層群)	- 清水(蛍光染料(アミノG酸)入り)による掘削：10-70mabh - 岩芯記載・サンプリングなど - 土岐夾炭累層基底礫層区間における揚水試験および地下水採水
III	花崗岩風化部 および 花崗岩健岩部	- 清水(蛍光染料(エオシン)入り)による掘削：10-70mabh - 岩芯記載・サンプリングなど - 花崗岩風化部区間における揚水試験および地下水採水 - BTV・物理検層・流体検層 - 明世累層基底礫層区間におけるパルス試験およびスラグ試験 - 鉋孔，ケーシングパイプの挿入，セメンチング
IV	花崗岩中の 断層上盤側	- 清水(蛍光染料(エオシン)入り)による掘削：100-685mabh - 岩芯記載・サンプリングなど - 月吉断層に伴う割れ目帯区間における揚水試験および地下水採水 - BTV・物理検層・流体検層
V	花崗岩中の 断層部	- 清水(蛍光染料(ナフチオン酸ナトリウム)入り)による掘削：685-710mabh - 岩芯記載・サンプリングなど - 月吉断層部区間における揚水試験および地下水採水
VI	花崗岩中の 断層下盤側	- 清水(蛍光染料(ナフチオン酸ナトリウム)入り)による掘削：710-790mabh - 岩芯記載・サンプリングなど - 月吉断層部以深の月吉断層に伴う割れ目帯区間における揚水試験および地下水採水 - BTV・物理検層・流体検層
掘削終了後	土岐花崗岩	- 月吉断層上盤側で2区間以上の揚水試験・地下水採水 - 掘削区間全体を考慮した7区間の揚水試験 - 5区間のパルス試験・スラグ試験 - 6区間の原位圧力測定

図18 MIU-4号孔試錐調査の手順

- 第1フェーズ：第四紀未固結堆積物および第三紀堆積岩(瑞浪層群明世累層)
- 第2フェーズ：第三紀堆積岩(瑞浪層群)
- 第3フェーズ：花崗岩風化部および花崗岩健岩部
- 第4フェーズ：花崗岩中の断層上盤側
- 第5フェーズ：花崗岩中の断層部
- 第6フェーズ：花崗岩中の断層下盤側

平成13年10月に試錐調査を終了するまで,図19に示す調査・試験を行った。なお,本試錐調査は,試錐孔における逸水,崩壊などにより,当初の計画から主に以下の点が変更されている。

- ・ 試錐調査の全体に期間は19ヶ月(当初計画では14ヶ月)とした。
- ・ 水理試験および地下水の採水は,当初の20区間から10区間とした。
- ・ 試錐孔における初期応力測定は実施しないこととした。

本項では,土岐花崗岩を対象にした岩芯記載および物理検層における調査結果の概要を示す。また,掘削状況と調査試験の概要をAppendix 1~5に示す。なお,これまで取りまとめられた成果は,JNC(2001),JNC(2002)に記述されている。

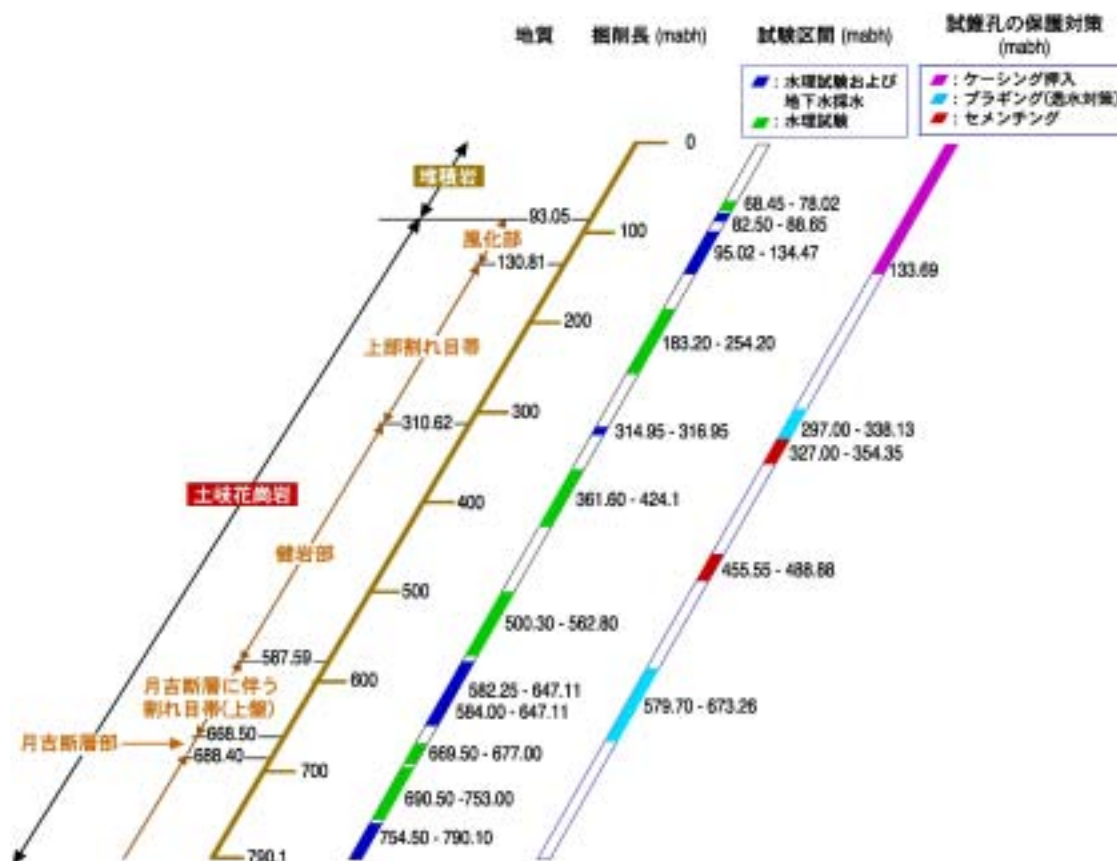


図19 MIU-4号孔試錐調査の概要

MIU-4号孔における地質・地質構造調査は、既存の地質構造モデルを検証し更新すること、水理地質構造モデル構築のためのデータを取得すること、物質移動/遅延現象を理解するために水みちの地質・地質構造、地球化学、幾何学的特性に関するデータを取得すること、割れ目および月吉断層の特性を把握すること、岩相、層序、不連続構造などの地質・地質構造と水理特性の関連を明らかにするための手法を確立することを目的として行った。主な現場調査は、岩芯記載(掘削長、岩相、岩石組織、斑晶の種類・粒径・形状、有色鉱物の含有量、風化、変質、岩盤等級、RQD、割れ目形態、割れ目の密度・位置・傾斜角・形状・幅、割れ目面上の構造、割れ目沿いの変質、割れ目充填物の特徴)、岩芯写真撮影、コアスキャナー、岩芯サンプリングである。また、室内試験として、岩石・鉱物学的調査(顕微鏡観察、X線回折、モード分析、電子顕微鏡分析、EPMA分析など)、地球化学的調査(化学分析、微量分析、同位体分析など)、放射年代測定、空隙構造調査などを行っている。MIU-4号孔試錐孔における地質学的特徴はAppendix 6に示す。これまでに得られた主な結果は以下のとおりである。

これまでの情報に基づき推定した主要な不連続構造(明世累層と土岐夾炭累層の境界(不整合)、土岐夾炭累層と土岐花崗岩の境界(不整合)、月吉断層の位置と、MIU-4号孔試錐調査で確認された位置を比較した結果、その差は20m以内であった(表2)。

割れ目系(密度、方向など)が異なる2つの岩盤、月吉断層(上盤側、下盤側)に伴う割れ目帯、推定されていなかった8つの断層が確認された(表3)。

割れ目充填物の特徴、割れ目に伴う変質や風化の特徴から、複数の高透水性割れ目が確認された。

なお、高透水性割れ目の検出技術の高度化に向け、高透水性割れ目の分類や分析を継続している。

表2 MIU-4号孔と交差すると推定された地質構造の位置と試錐調査で確認された位置

MIU-4号孔と交差すると推定された地質構造	MIU-4号孔と交差すると推定された位置(mabh)	MIU-4号孔で確認された位置(mabh)
不整合 (明世累層/土岐夾炭累層)	39	50.07
不整合 (土岐夾炭累層/土岐花崗岩)	70	93.05
風化帯	70 - 93	93.05 - 130.81
月吉断層	685 - 710	668.50 - 688.40

mabh: 掘削長

表3 試錐調査で確認された各地質構造要素の位置と主要な断層の位置

割れ目帯	MIU-4号孔と交差した位置(mabh)
上部割れ目帯	93.05 - 310.00
健岩部	310.00 - 587.59
月吉断層に伴う割れ目帯(上盤)	587.59 - 668.50
月吉断層に伴う割れ目帯(下盤)	668.50 - 790.10
主要な断層	
No.1	99.58 - 134.80
No.2	303.19 - 312.10
No.3	346.92 - 359.86
No.4	453.03 - 489.43
No.5	756.61 - 758.76
No.6	764.33 - 767.16
No.7	772.96 - 775.90
No.8	779.21 - 781.50

mabh: 掘削長

表4 各フェーズに行われた物理検層の実施深度

	自然水位	比抵抗	マイクロ比抵抗	中性子	自然ガンマ線	密度	キャリパー
	4.7-133.8	5.0-133.9	4.0-133.6	0.0-133.6	0.0-131.9	5.0-133.2	5.1-133.4
	129.8-321.3	129.5-321.4	130.0-321.5	99.8-321.5	98.1-319.8	125.0-321.1	130.1-321.1
	130.0-646.8	130.0-646.9	125.2-647.1	280.0-647.0	280.0-645.3	280.0-646.7	130.1-646.8
	600.0-789.6	600.0-789.8	590.0-789.9	600.0-789.8	600.0-788.1	280.0-789.4	130.0-789.7

また、地球物理学的調査は、水みちと考えられる割れ目帯などの位置を特定すること、不連続構造の方向性と形態に関する情報を取得すること、割れ目特性調査と、地質・地質構造/地球化学/岩盤力学のモデル化に用いる連続的な物性値を取得すること、地下水の地球化学に関する解釈のために原位置の中性子束に関する情報を取得することを目的として、物理検層（電気、マイクロ比抵抗、自然ガンマ線、中性子、密度、音波、孔径、孔曲り）、ボアホールテレビ（BTV）調査をフェーズごとに行った（表4）。物理検層結果の概要はAppendix 7に示す。これまでに得られた結果は以下のとおりである。

12の高透水性割れ目が、物理検層（密度、中性子、マイクロ比抵抗、孔径）で確認された。これらの高透水性割れ目が確認された位置は、掘削水の逸水や流体検層の異常値を示す位置と概ね一致する。

BTV調査で取得された割れ目の方向や形態に関する情報により、異なる2つの岩盤、月吉断層（上盤側、下盤側）に伴う割れ目帯、推定されていなかった8つの断層でそれぞれ特徴的な割れ目系が確認された。

割れ目特性調査と、地質・地質構造/地球化学/岩盤力学のモデル化に用いる連続的な物性値の情報、地下水の地球化学に関する解釈のために原位置の中性子束に関する情報を取得した。

4.2.2.3 地質構造モデルの構築

平成13年度においては、MIU-4号孔の試錐調査の結果とこれまでに構築してきた既存の地質構造モデルとを比較し、既存の地質構造モデルの改善点を確認するなどの評価を行い、地質構造モデルの更新を行っている。

これまでに構築した既存の地質構造モデルでは、モデル化に用いられた試錐調査は鉛直孔であり、高角度傾斜の割れ目に関する情報が不十分である、割れ目分布に着目したより詳細なモデル化を進める上で、水みちの分布に関する情報が不足している、などの課題があった。そのため、平成12年度から約2年間をかけ、斜孔による試錐調査(MIU-4号孔)を行った。現在、MIU-4号孔調査の結果を解析中であるが、現段階までに、高角度割れ目(帯)の分布密度がこれまでの鉛直孔の試錐調査結果から推定されたものと比較してはるかに大きいこと、また高透水性に関連した小規模な地質構造として十数ヶ所の断層岩が関連していることなど知見が得られている。さらに、水みちという観点での割れ目の分類が試みられている。今後、鉛直孔、斜孔における割れ目の遭遇率などを踏まえ、これまでに構築してきた地質構造の概念や地質構造モデルを評価していく。

4.3 地下水の水理に関する調査・研究

4.3.1 目標

地下水の水理に関する調査・研究では、地質構造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とともに、正馬様用地における研究坑道建設前、建設中および建設後の地下水流動場を推定することを目標としている。

平成13年度の目標は、平成11年度までに取得したデータ(試錐調査はMIU-1~3号孔)を用いて、水理地質構造モデルを構築するとともに、MIU-4号孔の試錐調査により、正馬様用地中央部から北東部における岩盤および岩盤中の高角度割れ目(帯)の水理特性を把握することである(サイクル機構,2002b)。さらに、水理学的な連続性に関するデータを取得するため、MIU-4号孔試錐掘削に伴う周辺観測孔(AN-1号孔、AN-3号孔、MIU-1~3号孔)での水圧応答観測を行うとともに、長期揚水試験の試験条件設定のための地下水流動解析および解析結果などに基づいて計画した長期揚水試験を実施することを目標としている。

4.3.2 実施内容

平成13年度においては、表層水理調査として、これまでに設置した表層水理定数観測装置での観測を継続するとともに、AI-7号孔およびAI-10号孔に地下水位観測装置を設置した。また、信頼性のある岩盤浸透量の設定のため、これまでの観測結果の整理ならびに岩盤浸透量算出のパラメータである蒸発散量に関して、異なる算出手法について比較検討を実施した。深層水理調査については、平成12年度から開始

したMIU-4号孔における試錐調査を継続し、これまでに調査していない正馬様用地北東部の水理特性、および高角割れ目（帯）の水理特性に関するデータを取得するとともに、長期揚水試験を行い、割れ目（帯）の水理的な連続性に関するデータを取得した。MIU-4号孔の試錐調査で取得したデータは、これまで構築した既存の水理地質構造モデルと比較し、水理地質構造モデルを更新した。さらに、長期揚水試験を対象とした地下水流動解析を行った。くわえて、水理地質構造モデルで設定した各地質構造要素ごとのパラメータについて、調査・試験から各地質構造要素ごとのパラメータ設定までの流れと、これまでの調査・試験の適用性を整理した。

4.3.2.1 表層水理調査

地下水流動解析の境界条件ならびに初期条件の設定、および地下水流動解析結果の検証に必要な岩盤浸透量の算定のため、表層水収支観測を継続した。

具体的には、これまで正馬川流域に設置した表層水理定数観測システム（地下水位計、河川流量計、気象観測装置、土壌水分計）での観測を継続している。さらに、岩盤浸透量算出に必要なパラメータの1つである蒸発散量に関して、複数の手法を用いて算出した結果を比較し課題の抽出を行なった。

また、長期揚水試験のための観測孔のひとつとして用いるため、瑞浪層群の主要な帯水層（明世累層基底部（99MS-05号孔）、土岐夾炭累層基底部ならびに花崗岩化部（AI孔））への水圧計の設置および観測を実施した。

平成13年度における表層水収支観測システム設置流域における岩盤浸透量を表5に示す。ただし、同表に示す岩盤浸透量は欠測や異常値に対する補正、補完は施していない。これによれば、補正、補完を実施していないものの、正馬川流域、柄石川流域における岩盤浸透量は、上流域の浸透量が下流域のそれよりも多いことが分かる。これは、上流での涵養、下流での流出を表していると考えられる。

また、岩盤浸透量算出に必要なパラメータの1つである蒸発散量に関して、従来採用してきたペンマン法を基本とし、これと異なる設置環境を想定した複数の算出方法（傾度法、ポーエン比熱収支法、ソーンズウェイト法、ハーモン法）を用いて算出した蒸発散量の比較を行なった（図20）。その結果、傾度法を除く他の算出方法を用いた結果、ほぼ同様な実蒸発散量となった。傾度法については、本手法の入力値として必要な地面修正量が正確に求められていないことが原因と考えられる。傾度法による蒸発散量を正確に求めるためには、高さ方向の風速分布を実測することが必要である。

表5 観測流域における岩盤浸透量（平成13年度）

		13年度				13年度	
P:降水量(mm)		(正馬様) 1328.5 (鉢山) 1419.5 (平均) 1374		P:降水量(mm)		(柄石尾根) 1459 (柄石谷) 1322 (平均) 1391	
E:蒸発散量(mm):鉢山		505		E:蒸発散量(mm):柄石尾根		681	
降水量に対する蒸発散量の割合(%)		(正馬様) 38 (鉢山) 36 (平均) 37		降水量に対する蒸発散量の割合(%)		(柄石尾根) 47 (柄石谷) 51 (平均) 49	
正馬川流域	R:河川流出高(mm)	647		柄石川流域	R:河川流出高(mm)	729	
	降水量に対する河川流出高の割合(%)	(正馬様) 49 (鉢山) 46 (平均) 47			降水量に対する河川流出高の割合(%)	(柄石尾根) 50 (柄石谷) 55 (平均) 52	
	G:岩盤浸透量(mm)	(正馬様) 177 (鉢山) 268 (平均) 222			G:岩盤浸透量(mm)	(柄石尾根) 50 (柄石谷) -87 (平均) -19	
	降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(正馬様) 13 (鉢山) 19 (平均) 16			降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(柄石尾根) 3 (柄石谷) -7 (平均) -1	
	R:河川流出高(mm)	546			R:河川流出高(mm)	709	
	降水量に対する河川流出高の割合(%)	(正馬様) 41 (鉢山) 38 (平均) 40			降水量に対する河川流出高の割合(%)	(柄石尾根) 49 (柄石谷) 54 (平均) 51	
	G:岩盤浸透量(mm)	(正馬様) 277.733 (鉢山) 368.733 (平均) 323			G:岩盤浸透量(mm)	(柄石尾根) 69.444 (柄石谷) -68 (平均) 1	
	降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(正馬様) 21 (鉢山) 26 (平均) 24			降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(柄石尾根) 5 (柄石谷) -5 (平均) 0	
	R:河川流出高(mm)	676			R:河川流出高(mm)	730	
	降水量に対する河川流出高の割合(%)	(正馬様) 51 (鉢山) 48 (平均) 49			降水量に対する河川流出高の割合(%)	(柄石尾根) 50 (柄石谷) 55 (平均) 52	
	G:岩盤浸透量(mm)	(正馬様) 147.643 (鉢山) 238.643 (平均) 193			G:岩盤浸透量(mm)	(柄石尾根) 48.896 (柄石谷) -88 (平均) -20	
	降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(正馬様) 11 (鉢山) 17 (平均) 14			降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(柄石尾根) 3 (柄石谷) -7 (平均) -1	

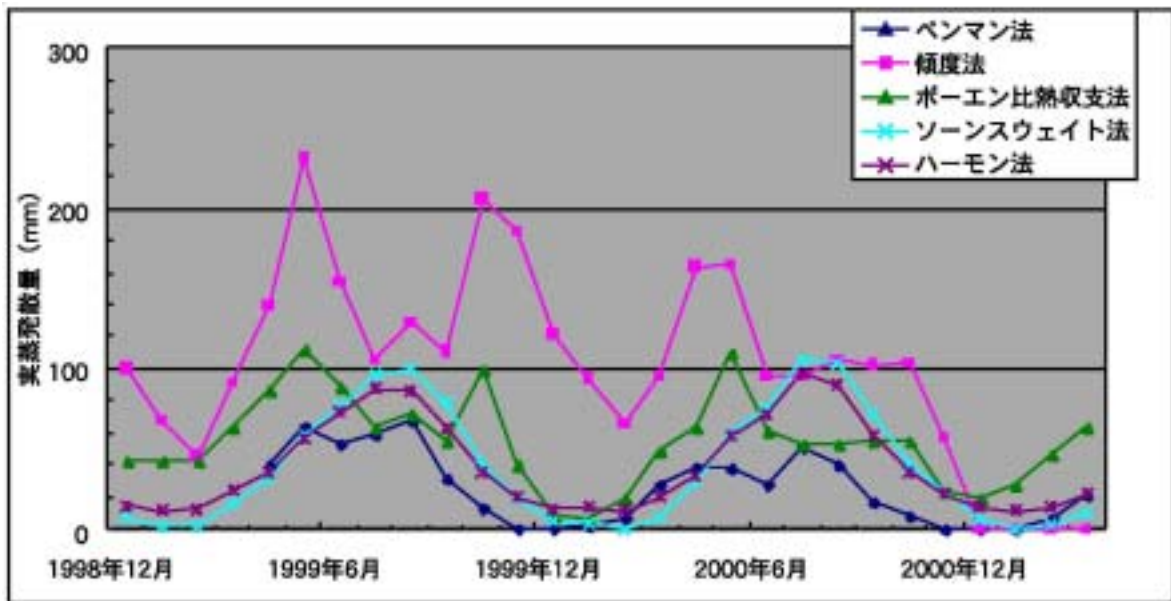


図20 各手法における実蒸発散量の経年変化

4.3.2.2 深層水理調査

平成12年度に掘削を開始したMIU-4号孔において、表層から地下深部までの地下水の間隙水圧の測定、および岩盤(健岩部および割れ目(帯))の透水性を把握するための水理試験を実施した。本調査は、高透水性割れ目と健岩部において、品質の担保された透水量係数、透水係数および水理水頭に関するデータを取得すること、MIU-4号孔掘削中の圧力応答を周辺のMIU-1, MIU-2, AN-1, AN-3号孔で観測することにより、数十～数百m規模の高透水性割れ目の連結性を推定する手法を確立すること、を目的に、流体検層(スピナーフローメータ検層, ヒートパルスフローメータ検層, 温度検層)と水理試験(パルス試験: 極難透水性～難透水性岩盤の測定, スラッグ試験: 難透水性～中程度の透水性岩盤の測定, 揚水試験: 中程度～高透水性岩盤の測定)を行った(表6)。水理試験の手順を図21に示す。これまでに得られた結果は以下のとおりである。

流体検層と、掘削水のモニタリングにより得られた逸水の情報、コア観察結果、物理検層の結果に基づき、高透水性割れ目を特定することができた(図22, Appendix 8)。

掘削継続中および掘削後、花崗岩中の10区間において水理試験を行った(表6)。MIU-4号孔の掘削中に行われた他の試錐孔での長期観測の結果、月吉断層が水理学的な遮水ゾーン(断層と鉛直な方向)となっていること、月吉断層の上盤側の岩盤では水理学的な連続性がよいことが確認された(図23)。

また、割れ目(帯)の水理学的な連続性と水理定数に関する情報を取得すること、水理地質構造モデルをキャリブレーションするためのデータを取得することを目的として、長期揚水試験を行った。本試験は、MIU-2号孔を揚水孔、その周辺の試錐孔(MPシステムを設置しているMIU-1, MIU-3, MIU-4, AN-1, AN-3, DH-2, DH-9, DH-11号孔)を観測孔として行った(図24)。揚水を行ったのはMIU-2号孔の以下の2区間である(図25)。

- GL-970.7～-1012.0 m(標高-746.9～-788.2 m): 月吉断層下部の割れ目帯

- GL-844.0～-867.5 m(標高-620.2～-643.7 m): 月吉断層上部の割れ目帯

結果の概要は以下のとおりである。

月吉断層を越えて、上盤側と下盤側で圧力応答が観測されないことから、月吉断層は水理学的な遮水ゾーンとなっていることが確認された。

揚水孔(MIU-2号孔)における月吉断層に伴う割れ目帯は、上盤、下盤ともに高い透水性を示す。

月吉断層に伴う割れ目帯(下盤側)は、MIU-2号孔とMIU-3号孔で水理学的に連続している。また、月吉断層に伴う割れ目帯(上盤側)は、MIU-1号孔とMIU-2号孔で水理学的に連続している(図26)。

MIU-2号孔とMIU-4号孔の間では、月吉断層に伴う割れ目帯(下盤側)の水理学的な連続性は弱い。その要因として、割れ目帯(下盤側)中の不均質性や割れ目

帯（下盤側）の中の断層が水理学的な遮水ゾーンとなっている可能性が考えられる。

表6 MIU-4号孔における水理試験の概要

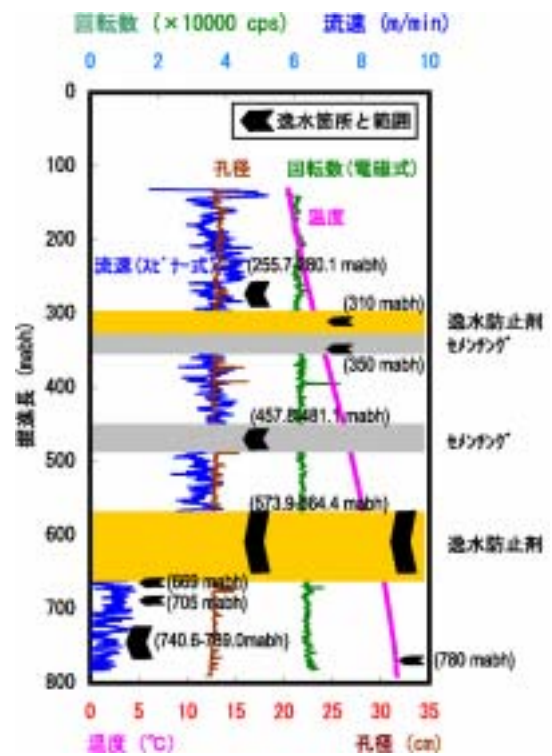


図21 水理試験の手順

図22 流体検層による高透水性部の検出

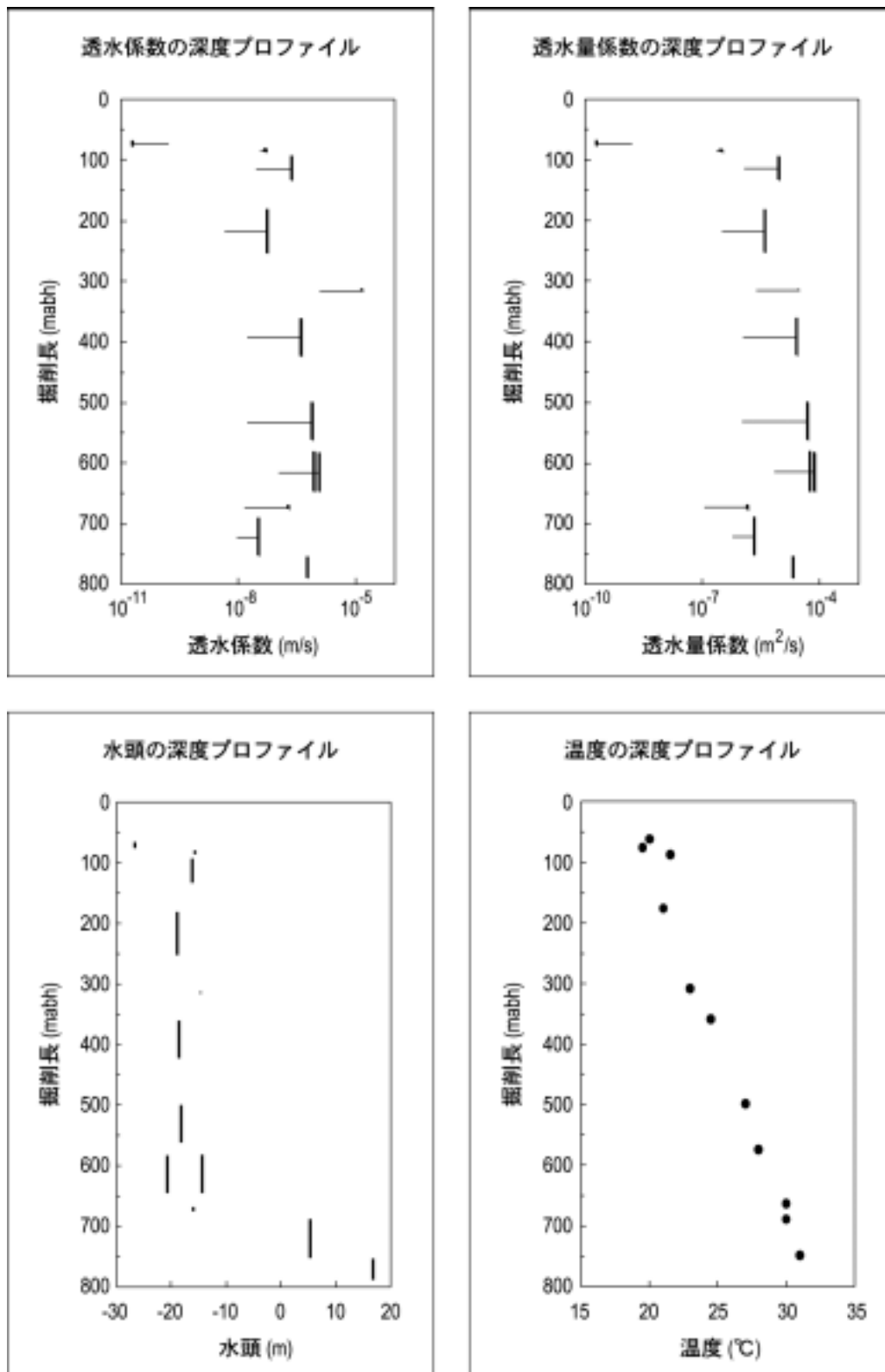


図23 水理試験結果の概要

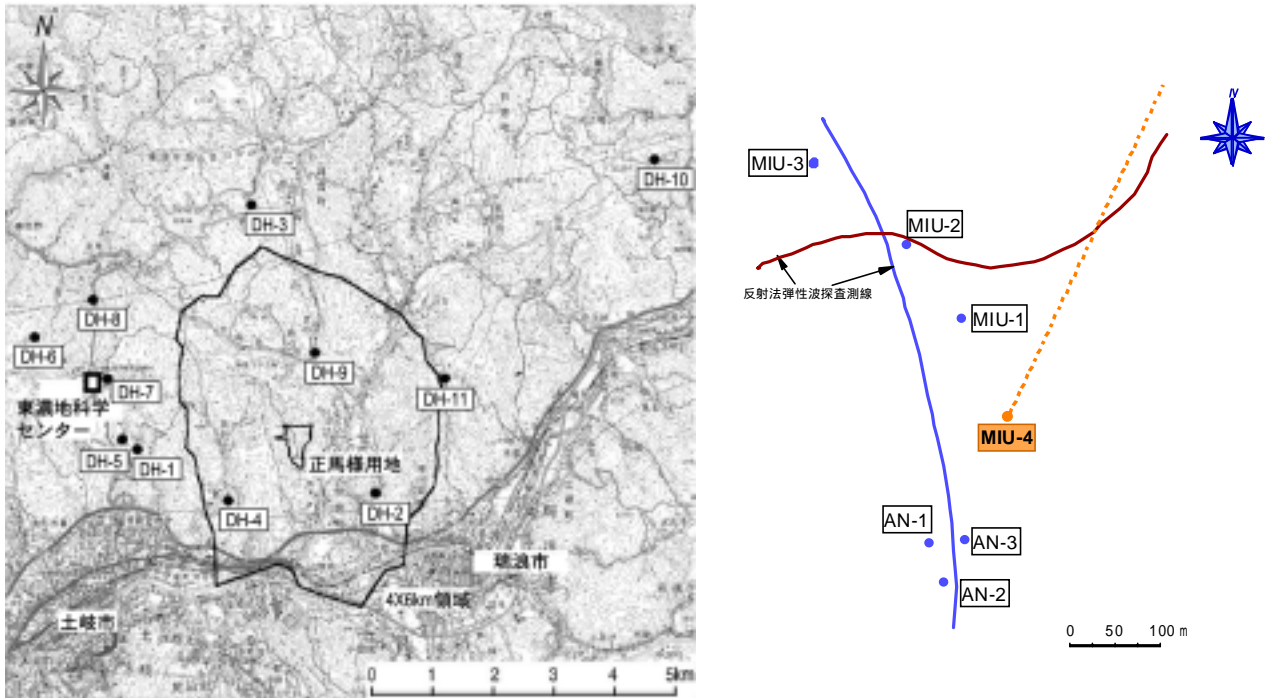


図24 長期揚水試験の観測孔および揚水孔の位置

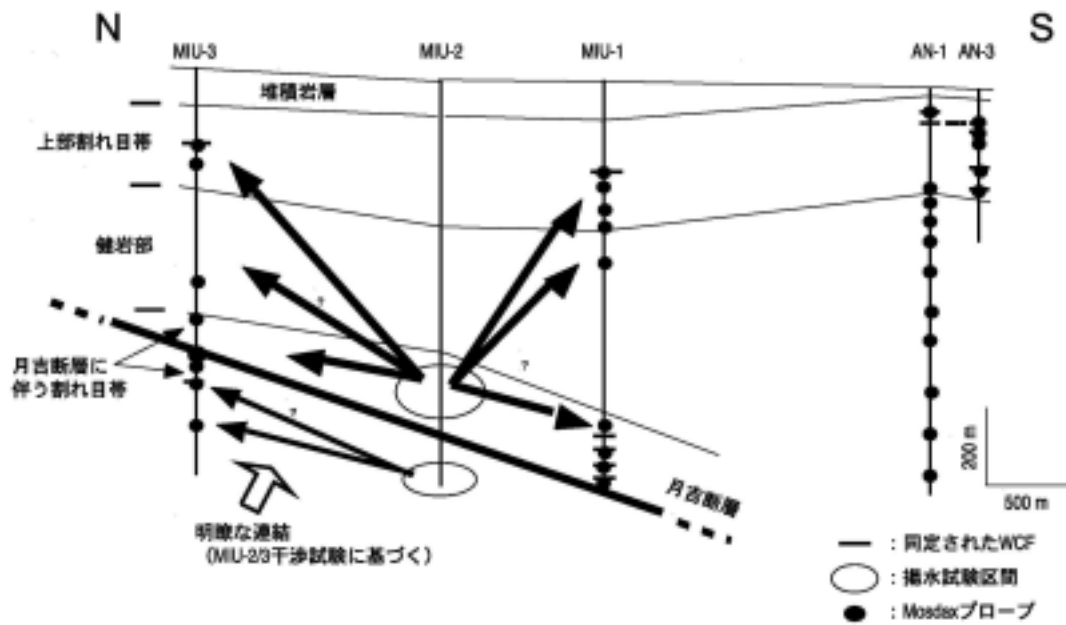


図25 長期揚水試験の概要

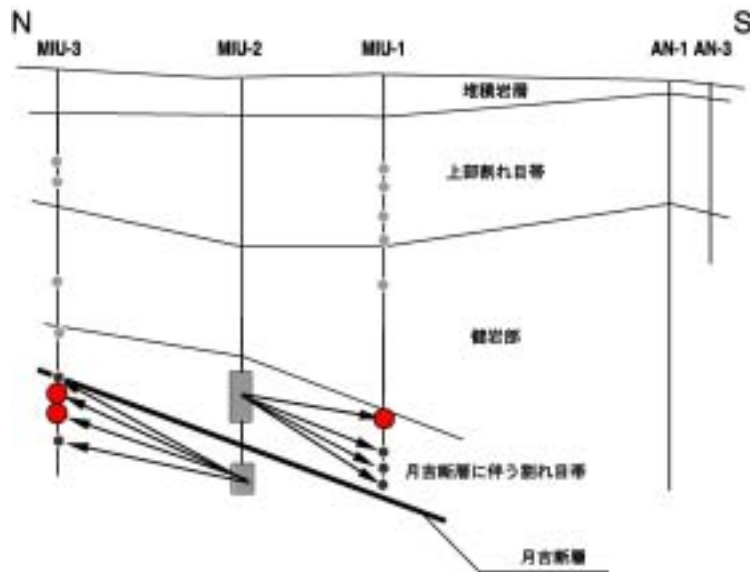


図26 長期揚水試験の結果の概要

4.3.2.3 水理地質構造モデルの構築・地下水流動解

(1) 水理地質構造の概念やモデル化の違いによる地下水流動への影響評価

超深地層研究所計画においては、地表からの調査研究を行っており、主に空中物理探査や地上物理探査、試錐調査を実施している。このような情報により、数 km から数 100m のスケールを対象として、無数に分布する割れ目等に伴う不均質性岩盤の三次元的な地下水流動特性を評価するためのモデル化を行う際には、パラメータやデータ解釈、概念モデルなどに不確実性が存在し(図 27)、これらの不確実性は、水理地質構造のモデル化および地下水流動解析結果の不確実性を生じさせる原因となっている。したがって、合理的・効率的に深部地質環境の調査・解析・評価を実施するためには、この不確実性を評価すること、および不確実性に影響を与える要因を抽出することが重要である。

以上のことから、平成 12 年度より、不確実性を低減させるための調査・解析・評価手法を構築するための検討として、調査の各段階における水理地質構造のモデル化および地下水流動解析結果の不確実性を評価するとともに、その不確実性に影響を与える要因を抽出することを目的とした検討を実施している(図 28)。本検討は、正馬様用地を中心とした東西約 4km、南北 6km の領域(深度方向は、地表から標高 3,000m)を対象に、同一のデータセットを用いて、複数の解析者によるデータの解釈、概念モデルの構築、および水理地質構造のモデル化と、それに基づく地下水流動解析を実施した。さらに、その結果を比較検討することにより、解析結果の不確実性を評価し、また、不確実性に影響を与える要因の抽出を試みている(図 29)。なお、解析結果の比較検討を行うための項目として、地下水の移行経路や移行時間、移行距離を設定した(図 30)。

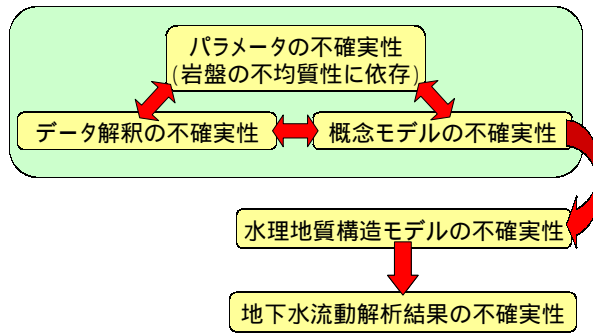


図 27 各不確実性の関係

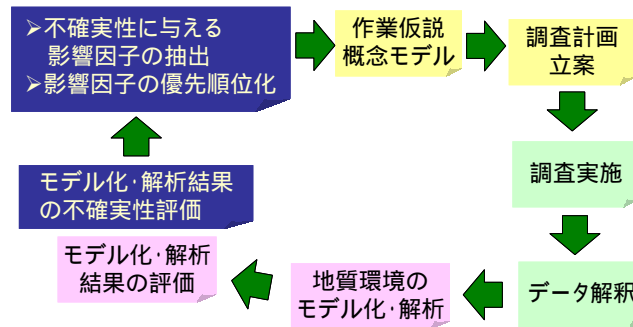


図 28 不確実性を低減させるための調査・解析・評価の流れ

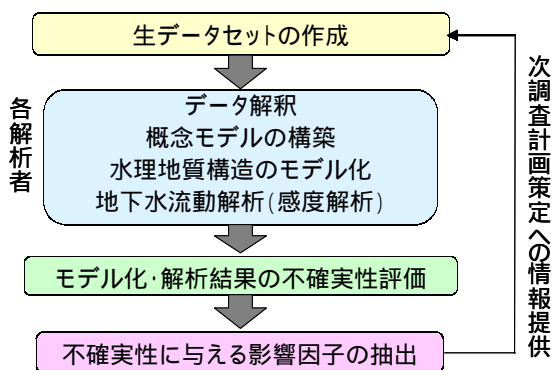


図 29 不確実性評価の流れ

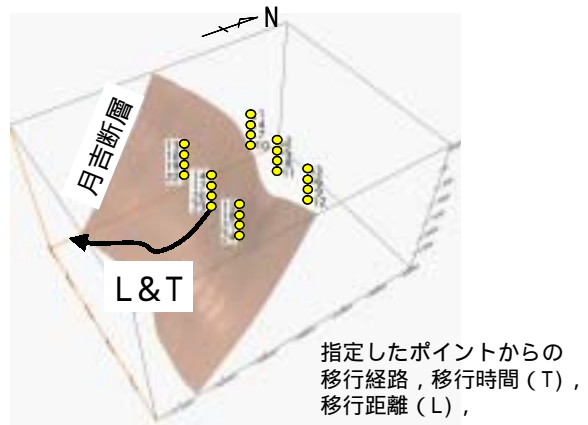


図 30 解析結果の比較検討項目

解析結果の不確実性を検討した結果，以下の点が明らかとなった。

- ・ 解析者によるデータ解釈の違いによって、構築された水理地質構造モデルは、それぞれ異なった。特に、大規模な不連続構造（断層）について、モデル化の対象とした不連続構造が異なるといった結果が表れた（図 31）。
- ・ 概念モデルや解析手法の違いによって、地下水の移行経路や移行時間，移行距離について違いが表れた。例えば，地下水が月吉断層の北側の標高 1,000m の地点を出発点とする場合については，地下水の移行距離は，2km 程度のグループと 6km 程度グループに，移行時間は，10 年前後のグループと数 100～1000 年のグループに分かれる結果となった（図 32）。

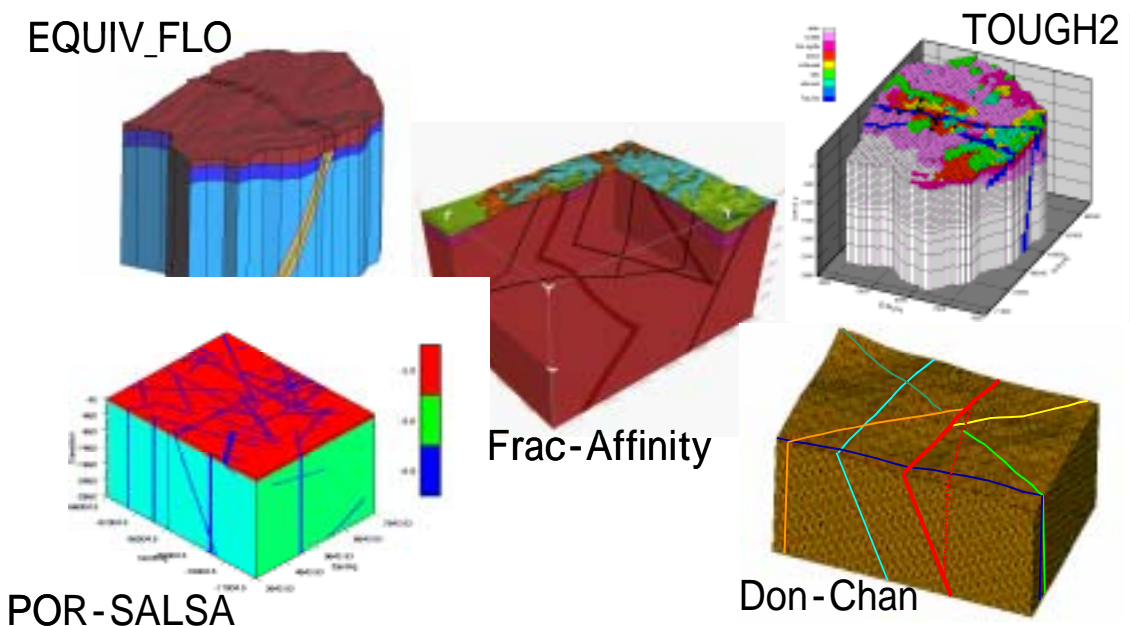


図 31 構築した水理地質構造モデル

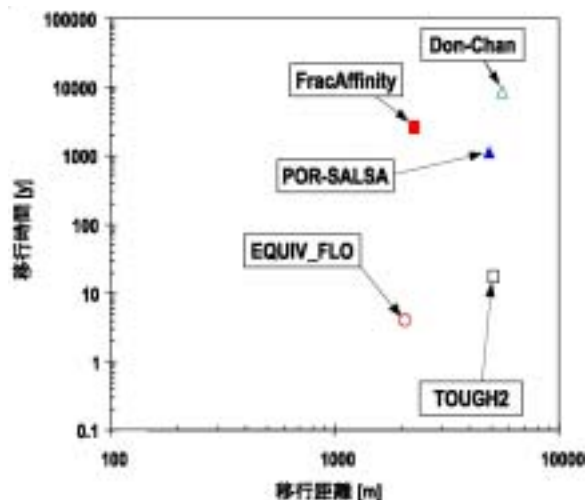


図 32 地下水の移行距離と時間の関係の例

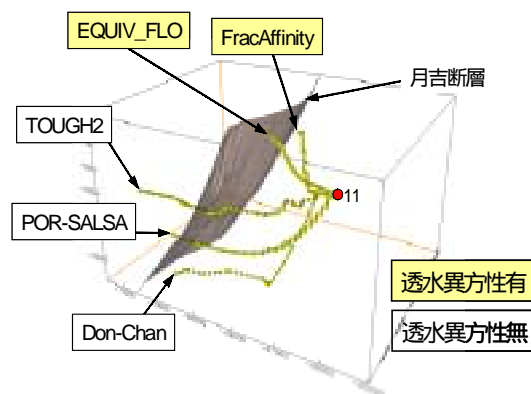


図 33 地下水の移行経路の例

次に、この不確実性評価結果を考察した。出発点 11 の地下水の移行経路を図 33 に示す。この結果から、月吉断層周辺に高透水性の割れ目帯をモデル化し、断層の透水異方性を考慮した場合には、地下水の移行距離は短くなり、また、断層の透水異方性を考慮しない場合については、地下水が月吉断層を通過し下流側へ流動するために移行距離が長くなるといった結果が得られた。このことから、断層の透水異方性や境界条件の設定方法が解析結果の不確実性に与える主な原因であると考えられる。さらに、この地下水の移行経路については、月吉断層の透水異方性のみならず境界条件の影響もあるものと考えられる。地下水の移行時間の違いについては、設定した有効空隙率が影響しているものと考えられる。移行時間が、数 100 ~ 1,000 年のグループは、既存の文献情報に基づき設定している (0.01 ~ 0.3) のに対し、10 年前後のグループは、亀裂密度と透水性の関係から有効空隙率を設定している ($10^{-5} \sim 10^{-3}$)。実流速から求めた地下水の移行時間を有効空隙率で規格化することにより、10 年前後のグループと数 100 ~ 1000 年のグループに分かれた移行時間 (図 34) の違いが低減した。このことから、実効的な空隙率が解析結果の不確実性に与える主な原因の一つと考えられる。

以上のことから、本検討により以下に示す調査研究の必要性が挙げられた。

- ・ モデル化する不連続構造 (断層) の抽出方法および断層の透水異方性のモデル化方法の違いを解消するためには、地上物理探査による断層の存在の有無の確認、および断層が存在する場合は試錐調査により、性状や透水性等の詳細調査が必要である。
- ・ 境界条件の違いを解消するためには、より広範囲な領域において、後背地地形が地下水流動場に与える影響を評価することにより、適切な解析領域や境界条件の設定が必要である。
- ・ 有効空隙率の違いを解消するためには、トレーサー試験を実施することが有効である。

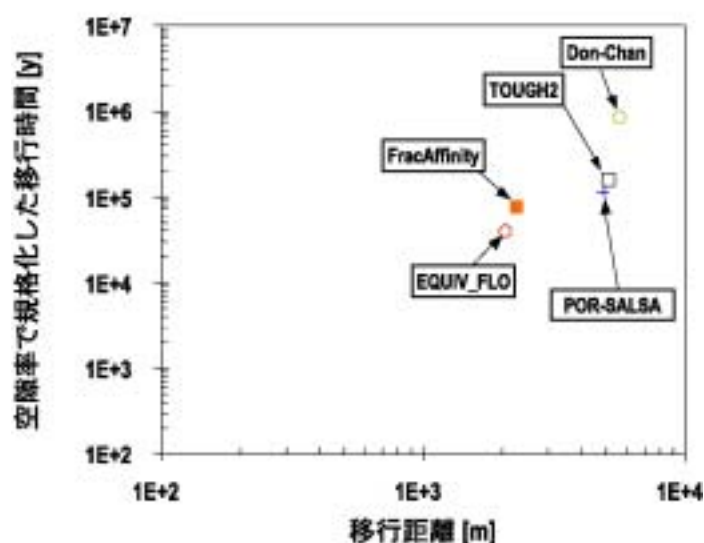


図 34 地下水の移行距離と空隙率で規格化した移行時間の関係の例

また、平成 12 年度の検討を通して抽出した課題として、境界条件、熱対流、断層構造を取り上げて、地下水流動解析結果に与える影響について検討を行った。

境界条件については、解析領域の選定に関わる不確実性を検討するために、河川流域に基づく異なる領域において解析を行い、その結果を比較検討した。その結果、自然界には完全な水頭固定境界もしくは流量固定境界は存在しないため、境界条件の不確実性を低減させるためには、河川流域に基づく解析領域を用いることにより、大局的な地下水流動を模擬できるとともに、不透水境界といった単純な境界条件を適切に設定できることが明らかとなった。

熱対流については、熱水連成解析を実施し、連成解析結果と移流のみの解析結果の比較検討を行った。その結果、標高約 3,000m 程度（本検討での解析領域の下部深度）では、地下水の移行経路に与える大きな影響はないといった結果が得られた。また、原位置で地下水の水質や同位体年代とともに深度方向の温度分布を測定することによって、地表面からの涵養量を推定できる可能性が示された。このことは、地下水涵養量の設定に際する不確実性の低減に寄与できるものと考えられる。

断層構造については、断層運動に伴って形成された断層破碎帯の透水異方性に着目した感度解析を実施した。その結果、地下水の移行経路や移行時間、移行距離に対して、断層運動に伴って形成された構造を考慮した透水異方性による違いが認められた。このことから、断層を対象とした調査においては、透水性のみならず、断層運動に伴って形成された構造も加味した詳細な水理地質学的性状評価を行う必要性が示唆された。また、断層の走向方向と地下水流動方向との関係から各断層の調査優先度を設定できることが明らかとなった。

(2) 長期揚水試験計画策定のための事前検討

割れ目（帯）の水理的な連続性に関するデータを取得するために実施した長期用水位試験について、その試験条件を設定することを目的とした事前解析を実施した。本検討には、岩相の違いおよび月吉断層を対象として構築した地質構造モデル（図 35）を使用した。各地質構造要素に設定した水理パラメータ（透水係数および貯留係数）を表 7, 8 に示す。水理パラメータにおいては、花崗岩の透水係数について 2 ケース設定している。本検討では、揚水時間については、7 日のケースと 14 日のケース、揚水量については、毎分 10L, 15L, 20L のケースを設定した。設定した解析ケースを表 9 に示す。

事前解析の結果（図 36）、以下の点が明らかとなった。

- ・ 月吉断層を挟んで揚水点と反対側の観測点では水位低下が非常に小さい。
- ・ 花崗岩の透水係数の違いにより、観測試錐孔沿いの水位低下量が異なる。
- ・ 揚水孔である MIU-2 号孔から約 2 キロメートル離れた DH-2, 4, 9 号孔では揚水量が 20L であつた 14 日間揚水した場合においても有為な水位低下が認められない。

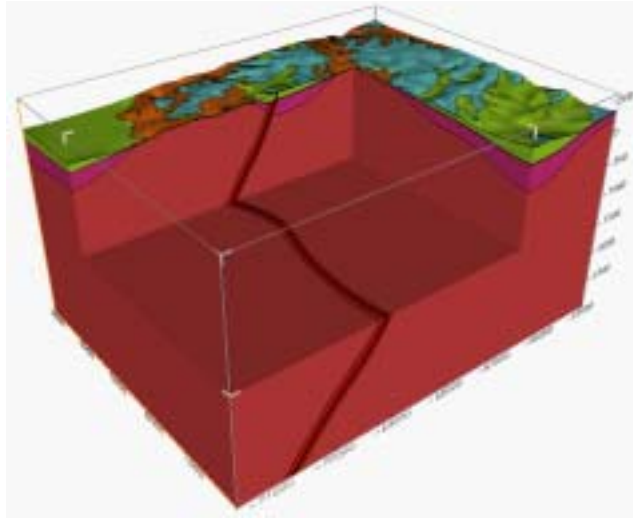


図 35 地質構造モデル

表 7 水理パラメータ (ケース 1)

地質ユニット	Log K (m/s)	比貯留係数 (1/m)
瀬戸層群	-6.0	1E-05
瑞浪層群	-7.1	1E-07
花崗岩風化部+上部割れ目帯	-6.6	1E-07
花崗岩健岩部	-7.3	1E-07
月吉断層に伴う割れ目帯	-6.7	1E-07
月吉断層	-11	1E-05

表 8 水理パラメータ (ケース 2)

地質ユニット	Log K (m/s)	比貯留係数 (1/m)
瀬戸層群	-6.0	1E-05
瑞浪層群	-7.1	1E-07
花崗岩風化部+上部割れ目帯	-6.6	1E-07
花崗岩健岩部	-9.0	1E-07
月吉断層に伴う割れ目帯	-6.7	1E-07
月吉断層	-11	1E-05

表9 解析ケース

計算ケース	パラメータケース	揚水セクション*	揚水期間(日)	揚水速度(L/分)
P14_FW_10L_tsuki_g7	ケース1	下盤**	14	10
P14_FW_10L_tsuki_g9	ケース2	下盤	14	10
P14_FW_15L_tsuki_g7	ケース1	下盤	14	15
P14_FW_15L_tsuki_g9	ケース2	下盤	14	15
P14_FW_20L_tsuki_g7	ケース1	下盤	14	20
P14_FW_20L_tsuki_g9	ケース2	下盤	14	20
P14_HW_10L_tsuki_g7	ケース1	上盤***	14	10
P14_HW_10L_tsuki_g9	ケース2	上盤	14	10
P14_HW_15L_tsuki_g7	ケース1	上盤	14	15
P14_HW_15L_tsuki_g9	ケース2	上盤	14	15
P14_HW_20L_tsuki_g7	ケース1	上盤	14	20
P14_HW_20L_tsuki_g9	ケース2	上盤	14	20
P7_FW_10L_tsuki_g7	ケース1	下盤	7	10
P7_FW_10L_tsuki_g9	ケース2	下盤	7	10
P7_FW_15L_tsuki_g7	ケース1	下盤	7	15
P7_FW_15L_tsuki_g9	ケース2	下盤	7	15
P7_FW_20L_tsuki_g7	ケース1	下盤	7	20
P7_FW_20L_tsuki_g9	ケース2	下盤	7	20
P7_HW_10L_tsuki_g7	ケース1	上盤	7	10
P7_HW_10L_tsuki_g9	ケース2	上盤	7	10
P7_HW_15L_tsuki_g7	ケース1	上盤	7	15
P7_HW_15L_tsuki_g9	ケース2	上盤	7	15
P7_HW_20L_tsuki_g7	ケース1	上盤	7	20
P7_HW_20L_tsuki_g9	ケース2	上盤	7	20

* 揚水セクションは月吉断層沿いの割れ目帯の中に含まれる
 ** 下盤の揚水区間はMIU-2の標高-679.745~-788.725mと設定した
 *** 上盤の揚水区間はMIU-2の標高-492.145~-677.745mと設定した

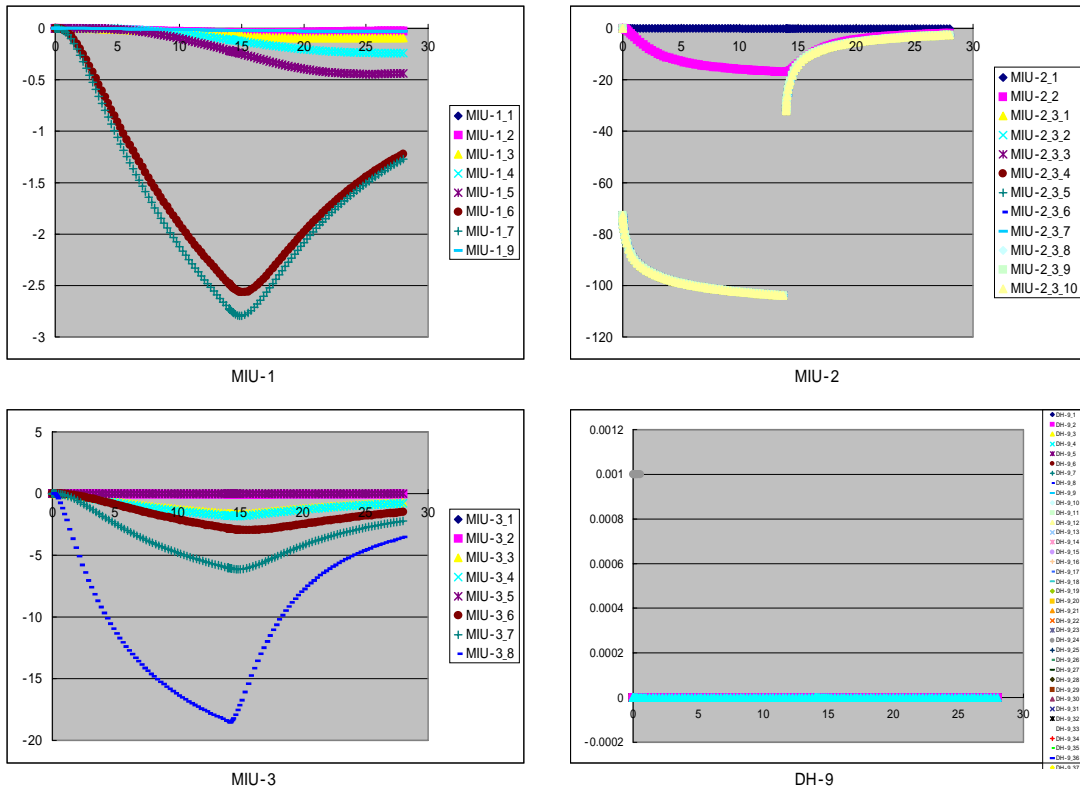


図36 観測試錐孔での水位低下量の例
 (月吉断層下盤から20L, 14日間揚水した場合)

4.4 地下水の地球化学に関する調査・研究

4.4.1 目標

地下水の地球化学に関する調査・研究では、正馬様用地における深部地下水の地球化学特性の三次元的分布を把握し、水-岩石反応試験や理論解析などの結果と合わせて地球化学モデルを構築するとともに、研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化により生じる深部地下水の地球化学的特性の変化を予測することを目標としている。

平成13年の目標は、地表水および降水、MIU-4号孔における地下水、固相を対象とし、地球化学特性データを取得することである。また、これらのデータを用いて正馬様用地における深部地下水の地球化学特性の三次元的分布を推定したのちに、地球化学モデルを構築するとともに、地球化学モデルで設定した各地質要素ごとのパラメータについて調査・試験の適用性を整理することを目標としている(サイクル機構, 2002b)。

4.4.2 実施内容

平成13年度においては、地表水・降水を対象とした地球化学調査および固相を対象とした地球化学調査を継続して実施し、水質や環境同位体などに関するデータなどを取得するとともに、MIU-4号孔における試錐調査およびMIU-2号孔における長期揚水試験を利用して地下水採水や分析などを実施した。

4.4.2.1 地表水・降水を対象とした地球化学調査

正馬様用地内における地下水の水質形成機構および年代・起源を把握する際の初期条件を設定するため、表層水理観測地点において降水および河川水を採取し、それらの地球化学特性(物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成)に関するデータを取得し、その季節変動幅を把握した。また、調査対象とした正馬川の河川水は、MIU-4号孔の試錐掘削用水として使用しており、化学組成や同位体組成などの情報は、同試錐孔を利用した採水調査における基礎情報にもなる。なお、観測期間は、平成13年8月～平成14年3月までである。

(1)降水

降水については、約1ヶ月の降水を1つの容器に集め、各月の降水の平均的な化学組成・同位体組成を把握した。その結果は以下のとおり。

- ・観測期間を通じてpH5.6以下の酸性雨である。
- ・化学成分濃度、水素・酸素安定同位体組成は、降雨をもたらす気団の種類や降雨量により変化する。

(2)河川水

正馬川の河川水を毎月1回採取し、化学成分濃度および水素・酸素同位体組成の

測定を行った。河川水採取にあたっては、降水の影響を可能な限り少なくするため、有意な降雨から最低2日間経過後に採取を行った。主な結果は以下のとおりである。

- ・ Ca-HCO₃ 型の水質である。
- ・ 観測期間を通じて、化学成分濃度、同位体組成ともほとんど変化が認められない。
- ・ 顕著な人為的汚染は認められていない。

以上の結果から、正馬川の河川水は降水が地下において十分に混合した後に河川に流出しており、夏季の降水が主要な地下水源となっていることが考えられる。

4.4.2.2 地下水を対象とした地球化学調査

平成12年度に掘削を開始したMIU-4号孔においては、合計5深度（堆積岩1深度、花崗岩4深度）において地下水採水を実施し、各種測定および分析を実施した。本調査の目的は、地下水の化学特性の深度分布を把握すること、水-岩石反応に関する基礎的な情報（酸化還元電位、地下水の¹⁴C年代の補正など）を取得すること、割れ目帯中の地下水の化学特性、年代（滞留時間）を把握すること、正馬様用地における地下水化学特性の空間分布を把握する際の不確実性を評価する基礎情報を取得すること、地下水の採水技術を改良すること、を目的として行った。その結果の概要は以下のとおりである。

- ・ MIU-4号孔においては、土岐花崗岩中の地下水は、弱アルカリ性（pH 9～10）のNa-HCO₃型であり、これまでの土岐花崗岩中の地下水地球化学に関する研究結果と整合していた（図37）。
- ・ 主要化学成分については、深度依存性は認められない（図37）。
- ・ 地下水は降水起源である。

また、既存の試錐孔（MIU-2号孔）においては、長期揚水試験とあわせて、試錐孔に設置したMPシステムを用いた地下水採水を行った。現在、採水した地下水の化学分析（深部地下水の主要溶存成分、微量溶存成分、溶存ガス、環境同位体、微生物および有機物）を行っているところである。

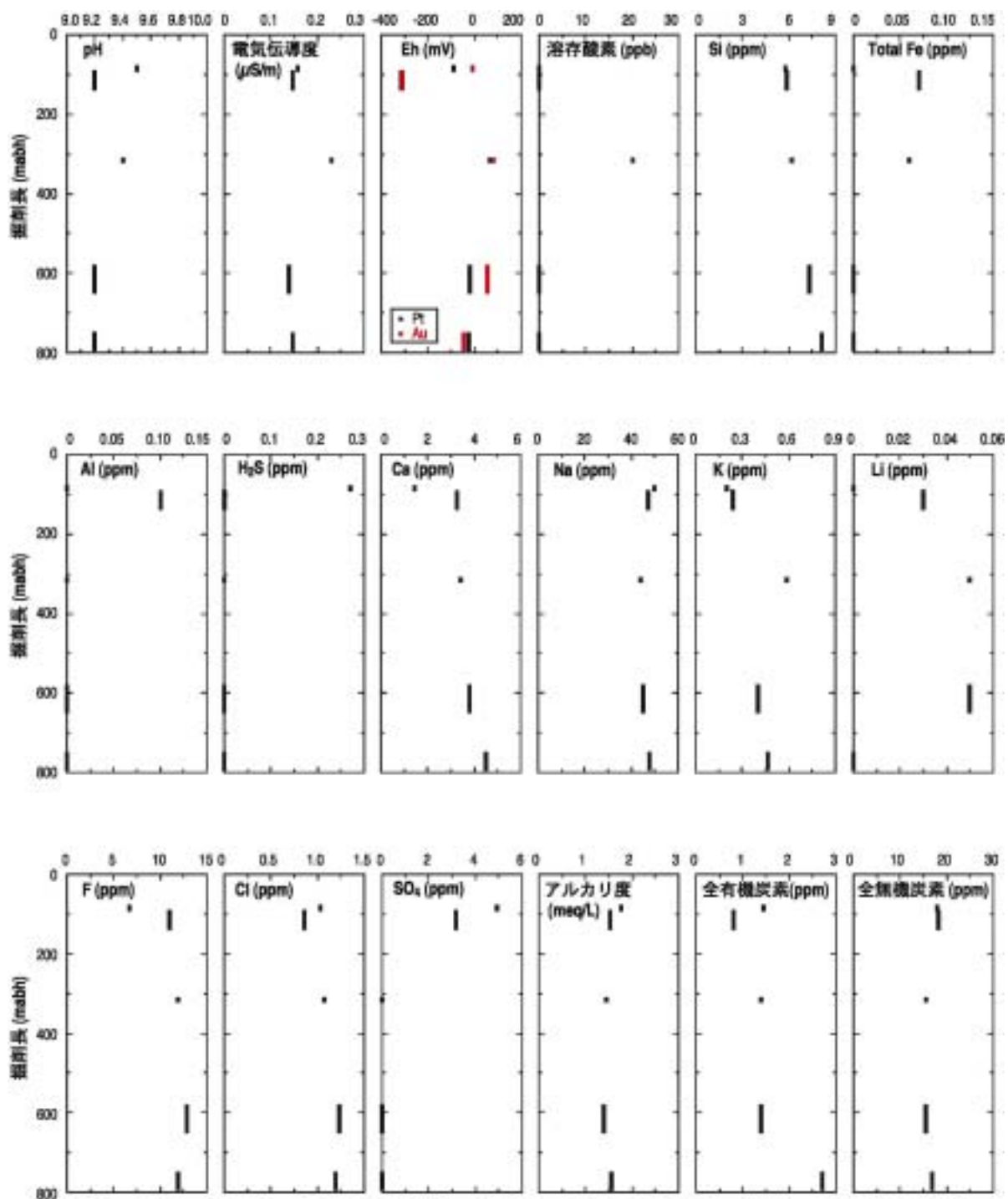


図37 MIU-4号孔で採水された地下水の水質

4.4.2.3 固相を対象とした地球化学調査

MIU-4 号孔では、透水性割れ目における物質移行と物質拡散現象の把握と、土岐花崗岩体の地球化学的な基盤情報の整備を目的として、岩芯試料を用いた化学分析を実施した。分析項目は主要元素 (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , H_2O^- , H_2O^+ , CO_2)、微量元素 (Li , Be , Sc , V , Cr , Co , Rb , Sr , Y , Zr , Nb , Cs , Ba , Hf , Ta , Pb , Th , U , F , Cl , Br , S) である。分析を行った試料は健岩部から採取した 15 試料と、割れ目充填鉱物 (断層岩) および近傍する変質母岩から採取した 15 試料である。

健岩部の花崗岩の主要化学組成は、深度に対し概ね一定の値を示す。図 38 に示したハーカー図では、 SiO_2 の重量比 75% 付近を境に 2 つのグループに分けられる。高い値を示す試料は高変質帯を伴う断層帯 (99.58 - 134.80 mabh 付近) と月吉断層 (668.50 - 688.50 mabh : 断層主部) 近傍で採取された試料である。これらの試料については、 Al_2O_3 , CaO , MgO , MnO が相対的に低い値を示す。これと同様の傾向は微量元素の Ba , F , Sr においても確認できる。

図 38 ハーカー図

最も強く変質している区間の割れ目充填物から採取した試料（表 10 の WCF#1-1, WCF#1-2, WCF#1-3）の微量元素の Ba, F, Sr は, 近傍の変質母岩の濃度よりも小さい値を示した。これらのことは, 上記の元素が（熱）水 - 岩石反応により, 断層岩および割れ目充填物から溶脱したことを示している。

Cs 濃度については, 割れ目充填物より採取された試料（表 10 の WEZ#1-1, WCF#1-1, WCF#1-2, FTZ#1-2, FTZ#2-1, WCF#5-1）の方が, 近傍の変質母岩よりも高い値を示す。また, 健岩部から採取した試料の Cs 濃度よりも高い値を示す。このことは, Cs が, （熱）水 - 岩石反応により, 断層岩および割れ目充填物に濃集したことを示している。

同様に, 変質母岩中の U の濃度は, おおよそ 2-8 ppm であるが, 割れ目充填物（断層岩）では 2-30 ppm となる（表 10）。U が還元環境下で沈澱することを考慮すると, 断層帯主部や割れ目充填物は近傍の変質母岩よりも還元的な環境であることが推察される。

表 10 ウランおよびセシウム濃度表

試料名	掘削深度	岩相	U (ppm)	Cs (ppm)
WEZ#1-1	96.22	割れ目充填物	38.96	27.88
WEZ#1-2	96.22-96.29	変質母岩	20.14	6.39
WCF#1-1	116.35-116.44	断層岩	4.98	6.90
WCF#1-2	117.00-117.22	断層岩	4.16	43.61
WCF#1-3	117.22-117.32	断層岩	4.48	34.09
WCF#1-4	118.00-118.20	変質母岩	9.75	9.03
FTZ#1-1	453.81-453.96	変質母岩	2.04	5.12
FTZ#1-2	453.84-454.17	断層岩	2.24	5.75
FTZ#2-1	673.60-673.66	断層岩	7.06	93.96
FTZ#2-2	673.676-673.710	変質母岩	4.88	16.73
FTZ#2-3	673.40-673.473	変質母岩	4.43	7.16
WCF#5-1	779.742-779.828	断層岩	30.89	27.54
WCF#5-2	779.855-779.953	変質母岩	8.22	5.73
WCF#5-3	779.64-779.736	変質母岩	3.59	4.91
WCF#5-4	780.440-780.563	変質母岩	8.96	5.83

4.4.2.4 化学組成分布の推定および地下水の地球化学モデルの構築

平成13年度においては, 主にMIU-4号孔における地下水の採水および化学分析などの結果に基づき, 正馬様用地内での地下水水質形成に係る主要な水 - 岩石反応を検討した。4.4.2.2で述べたように, MIU-4号孔においては, Na-HCO₃型の地下水が全ての深度において確認されていることから, 正馬様用地においてもこれまでに構築した水質形成モデルが妥当であることを示していると考えられる。

4.5 岩盤の力学に関する調査・研究

4.5.1 目標

本研究では、土岐花崗岩体を例として、結晶質岩中に掘削した空洞の短期・長期にわたる物理的安定性や地下深部における空洞掘削に伴う応力集中による坑道周辺岩盤の破壊現象など、岩盤の力学的挙動を予測・調査・評価する手法およびそれらを合理的かつ的確に研究坑道の設計・建設へ反映するための技術を構築することを目標としている。

平成13年度の目標は、平成12年度から開始したMIU-4号孔の岩芯を用いた力学物性試験を行い、断層近辺の岩盤の力学物性を明らかにするとともに、平成12年度までに作成した岩盤力学的概念モデルおよび平成12年度までに実施した力学試験結果をもとに力学物性分布を定量的に表現した岩盤力学モデルの構築を行う。また、構築した岩盤力学モデルにより、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的な影響を評価することを目標としている（サイクル機構，2002d）。

4.5.2 実施内容

平成13年度においては、MIU-4号孔の岩芯を用いた物性試験（物理試験，力学試験）および初期応力測定（AE法およびDRA法の併用）を行うとともに、DSCA法による室内試験を実施した。また、平成12年度までに作成した岩盤力学概念モデルにジョイントせん断試験の結果を反映させ、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的な影響を解析した。

4.5.2.1 力学特性調査

物理試験結果

図39に物理試験結果を示す。各物性値の分布範囲は、見かけ比重が2.61～2.67，空隙率が0.63～2.0%，含水比が0.096～0.54%，弾性波速度が3.4～5.3km/sec（P波速度）ならびに2.3～2.7km/sec（S波速度）を示す。

見かけ比重は、深度にかかわらずほぼ同じ値（約2.64）を示すのに対し、空隙率，含水比および弾性波速度については、深度によって値が変化する。空隙率については、掘削長200mから500mにかけて、0.6%から2.0%程度まで増加し、掘削長500mから750mの間で1%程度まで低下する。また、含水比についても、掘削長450m付近で0.5%程度と最大値となり、それより深くなると0.1%程度の値を示している。弾性波速度 V_p は、掘削長200mから500mにかけて5.5km/secから3.5km/secまで低下し、掘削長500mから800mにかけて5.5km/secまで増加する。弾性波速度の深度方向の変化は、空隙率および含水比と負の相関関係にある。これは、岩石内部の空隙やマイクロクラックの増減による変化と考えられる。

力学試験結果

図40に力学試験結果を示す。各物性値の分布範囲は、一軸圧縮強度が57～204MPa，

圧裂引張強度が 2.2～10.8MPa，静弾性係数(E_{50})が 22～77GPa，ポアソン比が 0.25～0.44 を示す。

力学物性についても，物理特性と同様に，掘削長 500m 付近で各値が低下する傾向が認められる。ただし，ポアソン比についてはばらつきがあるものの，深度に関わらずほぼ 0.33 程度の値を示す。

物理試験および力学試験の結果からは，掘削長 500～600m 付近の岩石は，内部の空隙やマイクロクラックが卓越し，各物性値を低下させていると考えられる。各物性値が低下する深度は月吉断層の上盤側（月吉断層本体部：掘削長 668.50～688.50m）に位置しており，断層運動の影響で岩石内部の空隙やマイクロクラックが多く存在していることが推測される。

AE/DRA 法による初期応力測定結果

表 11 に AE/DRA 法による初期応力測定結果を示す。掘削長 179m および 441m 付近の孔軸方向の初期応力値はそれぞれ 3.9MPa および 10.5MPa と推定された。MIU-4 号孔の傾斜角度は 30 度ではあるが，鉛直方向の土かぶり圧を考えると，それぞれの深度の土かぶり圧は 4.8MPa と 11.7MPa であり，ほぼ同様の値を示している。

DSCA 法による初期応力測定結果

図 41 および図 42 に DSCA 法による室内試験結果を示す。図に示される (σ_1 / σ_3) はクラック密度に関するパラメータのひとつであり，DSCA 法の基本仮定によれば，これらの大きさの比は主応力の大きさの比に等しく，またそれぞれの方向は主応力の方向に等しいとされるものである。その大きさについては，深度 300m および 550m 以下の月吉断層下盤側で低下しており，これまでの AN-1 号孔から MIU-3 号孔までの調査で得られた深度 300m 付近や断層下盤側での初期応力の水平成分の低下する現象とよく一致している。特に，月吉断層の直下から採取された試料 H のパラメータは他深度のパラメータと比べて極端に小さく，断層の影響による応力の低下が推定される。また，(σ_1 / σ_3) の最大主値の方向，すなわち最大主応力の方向は，N-S から NW-SE 方向に分布しており，これらも AN-1 号孔から MIU-3 号孔まで初期応力測定結果とよく一致した。

4.5.2.2 岩盤力学モデルの構築および解析

岩盤力学モデルの構築

MIU-3 号孔までの調査結果により構築した岩盤力学的概念モデル(松井ほか,2000)および MIU-1～3 号孔のジョイントせん断試験結果(畑ら,2001)などに基づき，研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤への力学的影響評価解析のために用いる岩盤力学モデルを構築した。岩盤構造モデルは，第三紀層，岩盤ゾーン 1～4，月吉断層中心部およびその周辺部（断層上盤側，断層下盤側）の 8 つのゾーンに区分するとともに，月吉断層中心部にジョイント要素，ゾーン 1 と 2 の間，ゾーン 2 と 3 の間に薄層(弱層)を設け，南面および西面側から初期応力測定結果に最も適合する荷重を載荷することによって，岩盤力学モデルを逆解析的に構築した(図 43，表 12)。

研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤への力学的影響評価解析

岩盤の不連続面の影響を考慮できる解析モデルのひとつである、MBC(Micro-mechanics Based Continuum Model (吉田ら,1996))を用い、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤への力学的影響を解析した。MBC モデルは、微視的構造要素(ここでは岩盤中の空隙やマイクロクラックなどをいう)の存在あるいはその発生・成長に支配された材料に対する連続体理論であり、個々のジョイントの挙動に支配される不連続性岩盤の解析に適していると考えられる。

解析モデルは「岩盤力学モデルの構築」で示した岩盤力学モデルを用い、立坑3断面(深度200m,500m,945m)および横坑2深度(深度500m,945m)において2次元有限要素法を用いた掘削に伴う力学的影響評価解析を実施した。坑道周辺の力学的影響としては、MBC 解析で得られる坑道周辺岩盤の変位量、主応力分布、亀裂開口量、安全率、等価透水係数、等価弾性係数などによって評価した。立坑における解析では、岩盤が堅硬なケースでは岩盤挙動としては微小であった。ただし、断層部では岩盤物性が劣るため、大きな変位が発生している。横坑における解析では、坑道展開方向により亀裂開口量、岩盤変位挙動が異なる結果が得られたものの岩盤挙動としては微小であった(図44)。

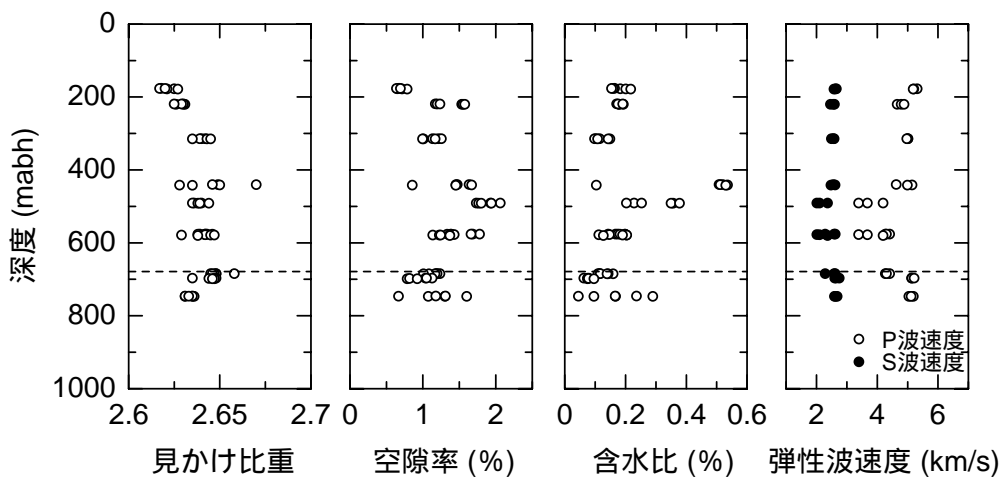


図 39 MIU-4 号孔における物理試験結果
(破線深度は月吉断層の位置を示す)

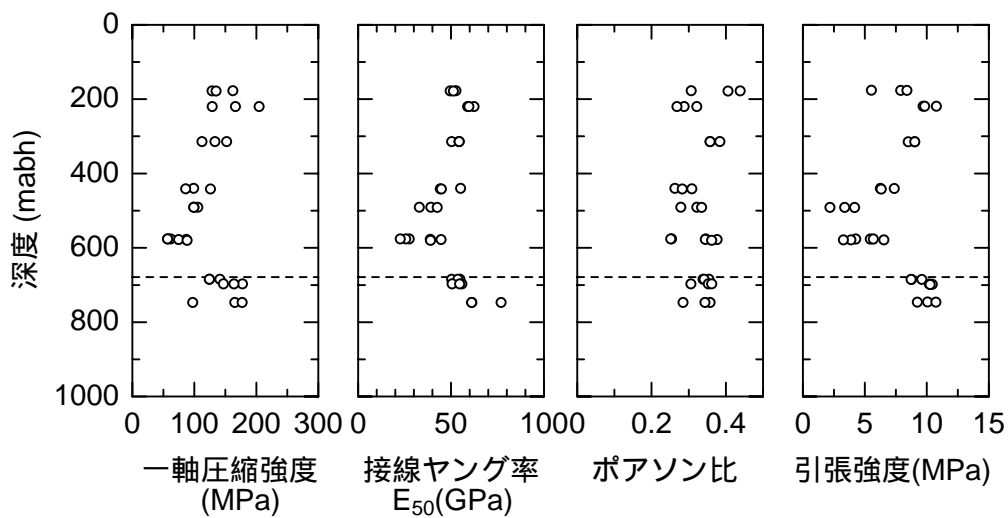


図 40 MIU-4 号孔における力学試験結果
(破線深度は月吉断層の位置を示す)

表 11 MIU-4 孔 AE/DRA 法による初期応力測定結果

採取深度 (mabh)	初期応力評価値 (MPa)	平均値 (MPa)
179.11	3.78	3.94
179.21	4.19	
179.33	3.81	
179.58	3.96	
440.50	9.88	10.36
441.34	12.34	
441.86	10.14	
440.50	9.09	

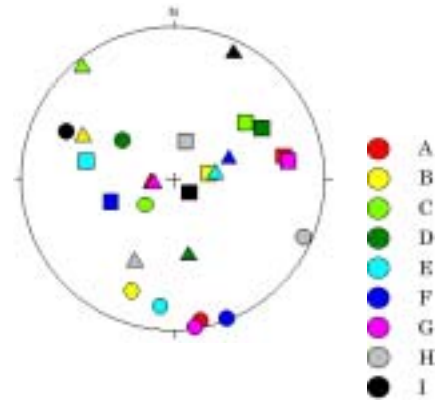
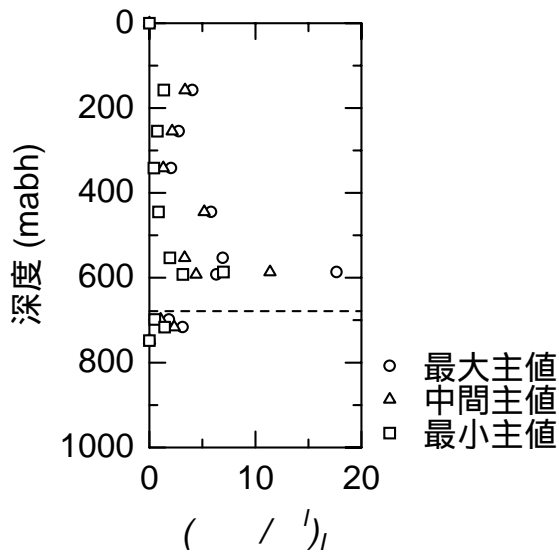


図 41 クラック密度に関するパラメータ主値 (σ_i / σ_1) の大きさ

図 42 クラック密度に関するパラメータ主値 (σ_i / σ_1) の方向

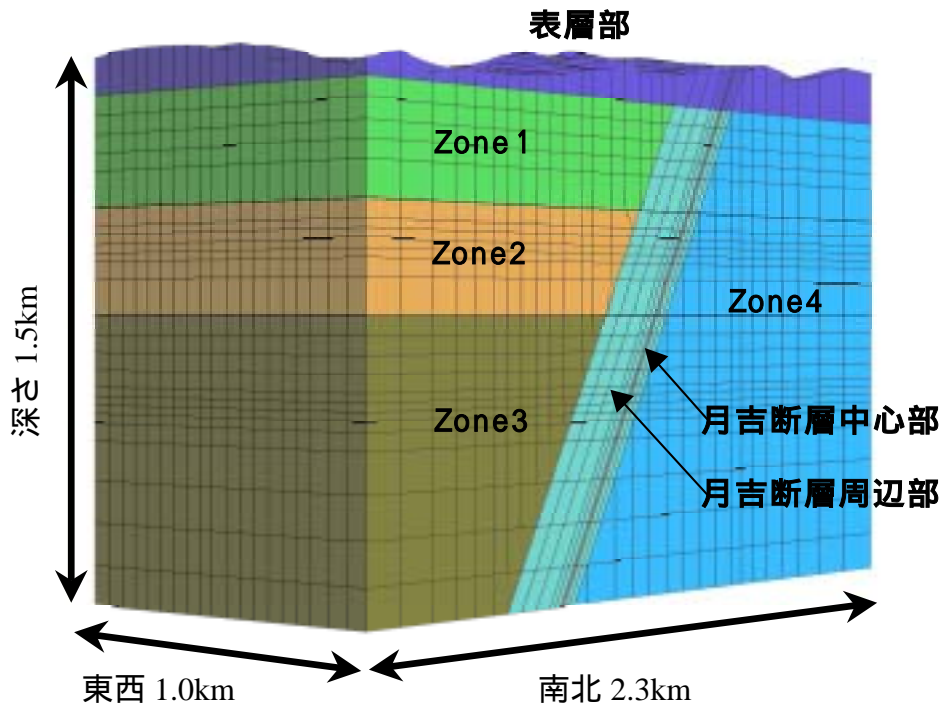
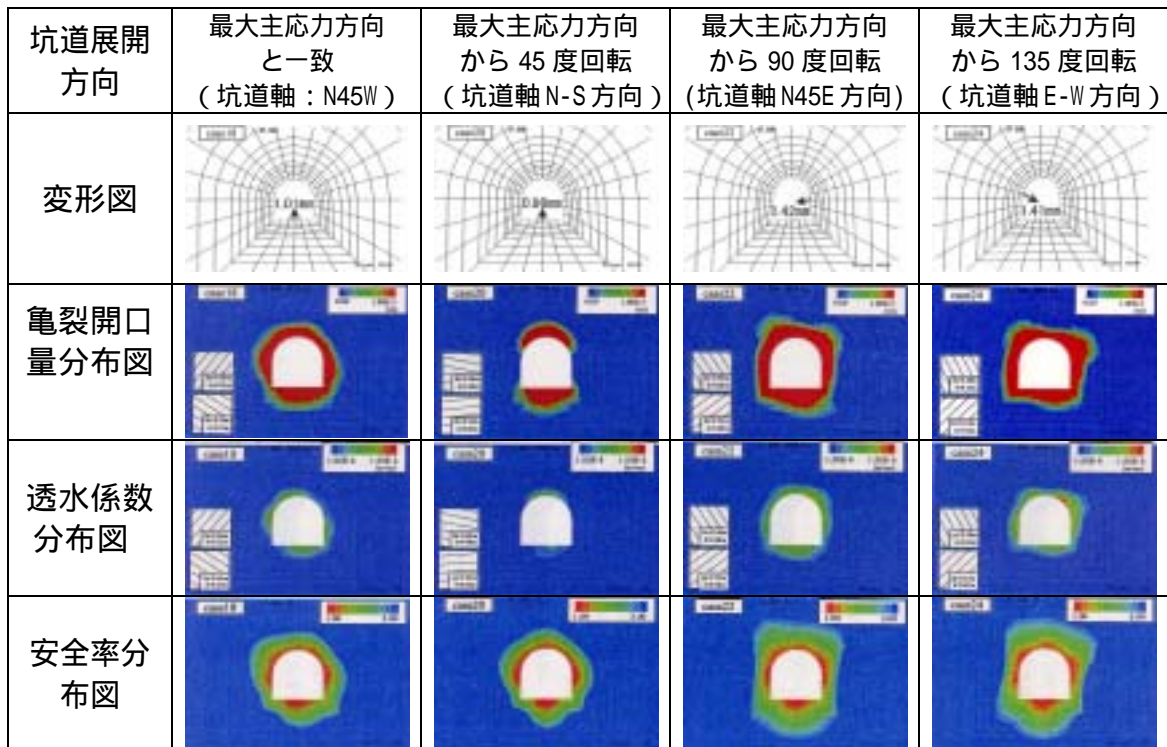


図 43 作成した岩盤力学モデル

表 12 岩盤力学モデルの物性値

項目	表層部	月吉断層上盤岩体			月吉断層下盤岩体	月吉断層部		
	第三紀層	Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	上盤側	中心部	下盤側
弾性係数 (GPa)	2.1	49.9	49.4	47.4	48.7	3.5	1.5	3.5
ポアソン比	0.31	0.36	0.34	0.34	0.39	0.36	0.36	0.36
単位体積重量 (tf/m ³)	1.91	2.6	2.63	2.66	2.62	2.7	2.7	2.7
せん断剛性 (GPa/m)	-	-	-	-	-	-	0.94	-
垂直剛性 (GPa/m)	-	-	-	-	-	-	264.0	-



亀裂開口量分布図および透水係数分布図の左下図は解析時に入力する亀裂の卓越方向を示す
坑道の形状：馬蹄形（幅 3m × 高さ 3m）

図 44 各坑道展開方向の坑道周辺の変形・亀裂開口量・透水係数・安全率分布図（深度 945m における横坑解析結果を例に示す）

4.6 物質移動に関する調査・研究

4.6.1 目標

物質移動に関する調査・研究では、試錐孔を利用した調査により物質の移行・遅延特性に関する基礎情報を整備するとともに、研究坑道におけるトレーサー試験やその試験結果を用いた物質移行解析などの計画の立案を行うことを目標としている。

平成13年度の目標は、岩芯試料を用いて、物質移行特性に関する基礎情報(地球化学的・鉱物学的特性、空隙構造特性、収着・拡散特性など)を取得し、透水性割れ目の水理学的特性や地下水の地球化学的的特性などに関する情報も含めて整備することである(サイクル機構, 2002b)。

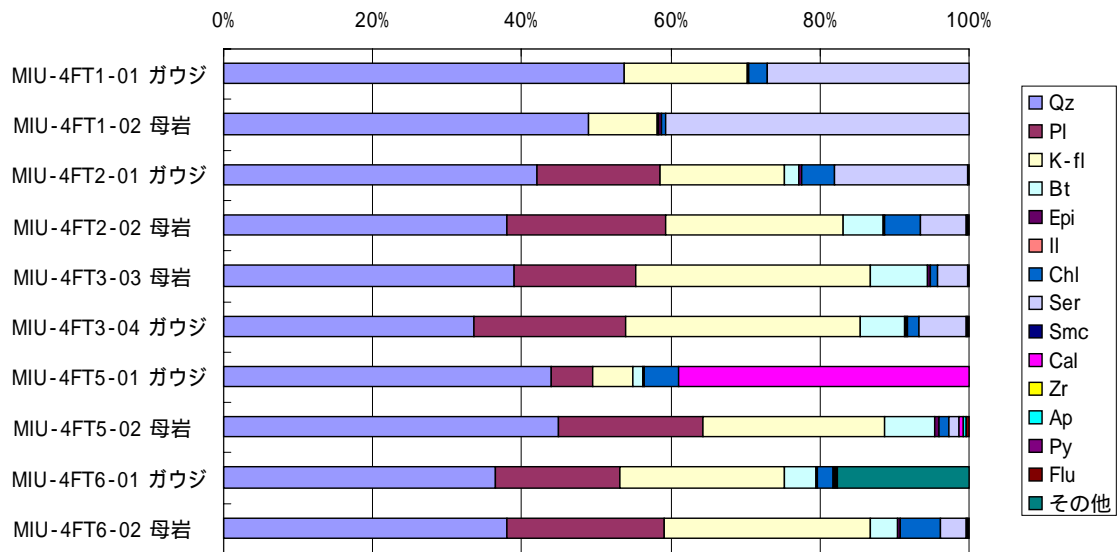
4.6.2 実施内容

平成13年度においては、おもにMIU-4号孔の岩芯を利用し、透水性割れ目中の割れ目充填鉱物層およびその近傍の岩盤を対象とした室内調査・分析を実施するとともに、地球化学的・鉱物学的特性、空隙構造特性および収着・拡散特性に関する情報を取得した。また、透水性割れ目の水理学的特性や地下水の地球化学的的特性などに関する情報も含めて整備した。さらに、岩芯試料を用い、透水性割れ目およびその近傍岩盤における天然ウラン系列核種や希土類元素などの分布や存在量を把握し、地質学的に長期間にわたる物質の移行・遅延現象に関する情報を取得した。

4.6.2.1 室内調査・分析

透水性割れ目およびその周辺母岩を構成する鉱物とその量を把握するために、MIU-4号孔の岩芯試料を対象に構成鉱物の同定および含有率測定を実施した。試料は、粉碎した後、#60(1/4mm径)、#120(1/8mm径)、および#250(1/16mm径)に粒度調整を行い、薄片を作成した。構成鉱物の鑑定および含有率の測定は、薄片試料の偏光顕微鏡による鉱物の晶癖・光学性の観察およびRIMS™による屈折率の測定により実施した。なお、構成鉱物の含有率は、薄片試料を3画分し、1画分について500個分の計数および平均比重から重量百分率を求め、各画数を積算することにより算出した。

構成鉱物の同定および含有率の測定結果を図45に示す。調査の結果、MIU-4号孔に分布する透水性割れ目には、母岩構成鉱物である石英、カリ長石、斜長石、黒雲母のほか、主な二次鉱物としてセリサイト、方解石、緑泥石、緑廉石が観察されることが明らかとなった。また、構成鉱物の量比は、変質作用にほとんど影響されない石英を除いて、透水性割れ目毎に大きく異なっている傾向が確認される。この構成鉱物の量比の差異は、割れ目を介した(熱)水-岩石反応の過程やその程度に影響を受けているものと推察され、今後の調査における(熱)水-岩石反応に着目した透水性割れ目の分類必要性を示唆している。



(凡例: Qz = 石英, Pl = 斜長石, K-fl = カリ長石, Bt = 黒雲母, Epi = 緑廉石, Il = イルメナイト, Chl = 緑泥石, Ser = セリサイト, Smc = スメクタイト, Cal = 方解石, Zr = ジルコン, Ap = アパタイト, Py = 黄鉄鉱, Flu = 螢石)

図 45 透水性割れ目および近傍母岩における鉱物含有率測定結果

4.6.2.2 天然に存在する核種を用いた調査・研究

透水性割れ目およびその周辺母岩における物質の移行挙動を把握するために、MIU-4 号孔の岩芯試料を対象に希土類元素の濃度分析を実施した。試料は、掘削深度約 116 ~ 118m に分布する透水性割れ目を対象に割れ目表面から変質部に向かって 3 試料 (WCF1-2, WCF1-3, WCF1-4) を採取した。採取した試料は、酸分解の後、希土類元素のみをイオン交換法により分離・抽出し、誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) を用いて濃度測定を実施した。

Leedey コンドライトで規格化 (増田, 1979) した分析結果を健岩部試料 (GM-4 : 掘削深度 232m) の結果と合わせて図 46 に示す。希土類元素のパターンから、透水性割れ目から離れるに従って軽希土類元素 (La, Ce, Pr, Nd, Sm) の減少が、また、透水性割れ目に向かうに従って重希土類元素 (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) の増加が特徴的に認められた。特に、重希土類元素の増加は、テトラド効果に特徴的な 4 つの元素毎 (Gd ~ Ho, Er ~ Lu) に周期的に現れる明瞭なパターンを示すことから、水 - 岩石反応の結果と解釈され、地下水中に溶存していた重希土類元素が透水性割れ目から変質部に向かって拡散した可能性が推測される。一方、軽希土類元素のパターンにおいては、透水性割れ目から最も離れた WCF1-4 において Ce 濃度の増加で特徴づけられる Ce 異常が確認された。Ce 異常は、酸化状態を示す 4 価の Ce の関与で生じることから、WCF1-4 は、過去もしくは現在の地質環境下において酸化状態であったことが推測される。以上の結果から、希土類元素の濃度分布やそのパターンは、透水性割れ目やその周辺岩盤における物質の移行に関するプロセスばか

りでなく、岩石と反応した地下水の酸化・還元状態を知るための重要な手段になり
うると考えられる。

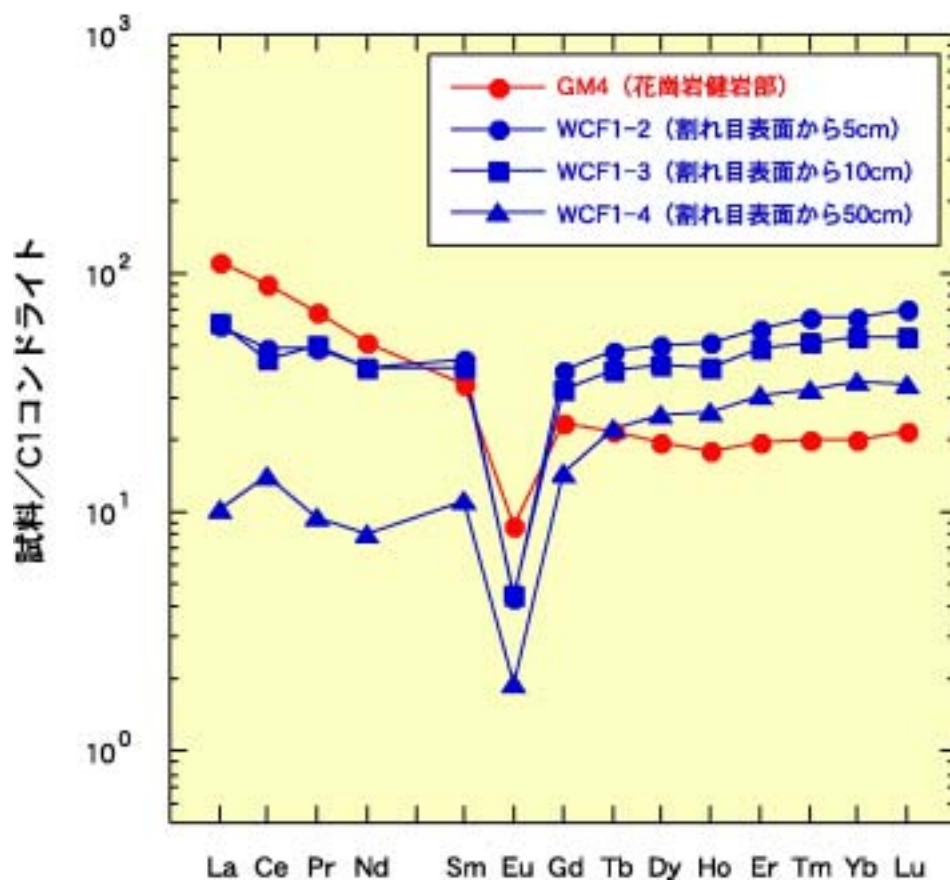


図 46 透水性割れ目近傍における希土類元素濃度の変化

5. 調査技術・調査機器に関する研究

5.1 目標

調査技術・調査機器に関する研究では、地表からの調査・研究に必要とされる既存の調査技術・調査機器の高度化を図るとともに、研究坑道の掘削を伴う調査・研究ならびに研究坑道を利用した調査・研究に必要と考えられる調査技術・調査機器を開発するとともに、開発された個々の調査技術の適用条件や適用範囲などを明確にすることを目標としている(サイクル機構, 2002a)。

平成13年度の目標は、平成12年度までに開発の終了していない調査・解析・評価技術および調査機器の開発を行うことである(サイクル機構, 2002b)。また、改良された個々の調査・解析・評価技術および調査機器については、適用条件や適用範囲などを整理し、報告書として取りまとめることを目標としている。

5.2 実施内容

地表からの調査・研究に関し、平成12年度までに開発の終了していない調査・解析・評価技術および調査機器の開発を行った。また、超深地層研究所計画において開発、適用、改良された個々の調査・解析・評価技術および調査機器については、本計画に適用した根拠、適用条件、適用範囲、取得したデータの解析技術、品質保証などを整理し、報告書として取りまとめ作業を開始した。

5.2.1 地質構造調査技術開発

5.2.1.1 調査手法の予察的構築

透水性割れ目を抽出・分類する調査技術の開発を目的に、これまでの試錐調査の結果から、掘削中の逸水現象や流体検層のアノーマリーなどが認められた割れ目の共通した特徴を導き出し、それらの特徴を把握するための調査手法の予察的構築および適用性の検討を実施した。これまでに掘削されたMIU-1, MIU-2, MIU-3号孔における掘削中の逸水観測および流体検層から地下水の流出入が認められた箇所割れ目データを詳細に見直した結果、以下のような共通の特徴を有することが確認された。

- ・ 割れ目密度が相対的に高く、開口量が大きい。
- ・ 断層運動と推測される変形作用に関連する。
- ・ 割れ目充填部および変質部に特徴的な二次鉱物の形成が認められ、変質作用の程度が大きい場合が多い。
- ・ 特定の物理検層値に“アノーマリー”が認められる。

上述の特徴を把握する調査方法として、“構造地質学的特徴に基づく割れ目調査”、

“ 割れ目を介した（熱）水 - 岩石反応とその程度の特定 ” ， “ アノーマリーを示す物理検層値の統計学的解析 ” の 3 項目を設定した。

5.2.1.2 調査手法の適用結果

5.2.1.1 において設定された 4 つの調査手法の適用を平成 12 年度から掘削を開始した MIU-4 号孔の試錐調査現場において実施し，現在までに“ 割れ目の形態・幾何学的形状の統計学的解析 ” を除く 3 つの調査・解析について終了している。本調査結果から，上記の手法を組み合わせる用いることにより，透水係数で 10^{-5} m/sec 桁から 10^{-8} m/sec 桁までの透水性割れ目を抽出・分類しうる可能性のあることが明らかとなった。各手法における主な結果は，以下のとおりである。

構造地質学的特徴に基づく割れ目調査

既存試錐孔（MIU-1，MIU-2，MIU-3 号孔）において，透水性が高いと考えられる割れ目を観察した結果，断層運動に関連する変形作用が特徴的に認められた。本調査においては，断層岩の水の通しやすさに関連する 3 つの構造地質学的特徴（規模，固結度，変形程度）に着目し，それらを指標にした断層岩の分類案を新たに導入し，MIU-4 号孔の岩芯観察に適用した。

断層岩を分類した調査結果を，掘削中の逸水観測や流体検層において地下水の流出入が認められた深度とともに図 47 に示す。両者を比較した結果，分類された断層岩の内，1 m 以上の規模を有し，未固結状態もしくは面構造を有する（もしくはその両方）に区分されるものは，地下水の流出入が認められる区間と極めて良く一致することが明らかになった。この内，1 区間で実施された水理試験結果は，透水係数で 10^{-6} m/sec 桁を示すことから，本分類案で抽出された区間は，平均的な岩盤の透水係数より 2 ~ 3 桁高い透水性を有する割れ目を抽出しているものと考えられる。

割れ目を介した（熱）水 - 岩石反応とその程度の特定

既存試錐孔（MIU-1，MIU-2，MIU-3 号孔）における調査結果から，地下水の流出入が認められる区間の割れ目に特徴的な鉱物学的な産状として，強い変質作用や特徴的な二次鉱物の形成が認められることが多い。このことから，MIU-4 号孔において，割れ目充填鉱物や割れ目沿いの変質鉱物の調査を行い，以下のような産状に大別されることが確認された。

- ・ 鉄酸化鉱物や水酸化鉄（赤鉄鉱）の割れ目充填，割れ目沿い変質部における黒雲母の褐鉄鉱化・赤鉄鉱化および粒界への沈着
- ・ 自形方解石および自形黄鉄鉱の割れ目充填
- ・ スメクタイトおよび緑泥石を主体とする粘土鉱物の割れ目充填
- ・ 割れ目沿い変質部における黒雲母の緑泥石化
- ・ 割れ目沿い変質部における長石類の粘土化，溶脱作用

一致する結果が得られた。その内の1区間において実施された水理試験が 10^{-6}m/sec 桁の高い透水係数を示すことから、最も程度の大きなアノーマリーは透水性割れ目の存在を示していると推測される。また、アノーマリーの大きさと透水性が単純に相関関係を有しているとするならば、同様な手法を用いることにより、より透水性の低い割れ目を抽出する可能性があると考えられる。したがって、本手法の高度化またはその適用性を判断するためには、上記の特定の物理検層値のアノーマリー程度と透水性との数量的な相関関係の把握とともに、その理論的な説明が必要と考えられる。

5.2.2 地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発

5.2.2.1 1,000 m対応水理試験装置，1,000 m対応地下水の地球化学特性調査機器および1,000 m対応揚水試験装置の改良・高度化

地表から地下深部までの水理特性・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、1,000 m対応および高温（70度）対応の調査機器および単孔式揚水試験に対応できる調査機器を開発してきた。平成13年度までに、パッカーの遮水性をさらに向上させるため、および多数の亀裂を有する岩盤においても遮水性を確保するために、パッカーを多数連結して同時拡張を行える機能を付加する改良を行った。平成14年度については、今後実施予定の1,500 mクラスの試錐孔に対応するため、1,000 m水理試験装置の改良を行う。

5.2.2.2 水理試験方法の高度化

平成12年度から掘削を開始したMIU-4号孔において、水理試験の手順と水理試験結果の解析の改善を行い、MIU-4号孔試錐調査に適用した。試験手順の改善と適用事例の概要は以下のとおりである。

試験手順の改善

水理試験で取得される岩盤の透水性に関するデータの品質を保証するためには、同一測定区間で異なる試験方法を繰り返し行うことにより、算出される透水（量）係数の再現性を確認することが有効である。また、岩盤の透水性に適合した水理試験方法を選択することも、正確な透水性の評価、および調査の効率化にとって重要である。このような観点から、図48に示す試験手順を構築した。この水理試験方法の特徴は、水理試験装置の設置後に行われるパルス試験によって試験区間の概略的な透水性を把握し、低透水性と高透水性の2つの場合に分け、透水性の程度に対応した透水試験方法を繰り返し行うことである。試験区間が高透水性（およそ $5 \times 10^{-7}\text{m/sec}$ 以上）の場合は、スラグ法と揚水試験を実施する。一方、試験区間が低透水性（およそ $5 \times 10^{-7}\text{m/sec}$ 以下）の場合は、さらにスラグ法を用いる試験に区分される。スラグ法では試験時間が長くなるような難透水性岩盤の場合には、パルス法が行われる。水理試験の最後には、再びパルス法による試験が実施される。この測定結果と試験手順の最初に実施したパルス法による測定結果を比較することによ

り、測定期間中に生じた試験状態の変化の有無を確認できる。もし、測定値が異なる場合は、パッカーの遮水状態や試験区間内の孔壁の崩壊などによる岩盤の透水性や埋没による試験区間長の変化などが予測されるため、装置の再設置や孔壁状態の確認などが必要である。

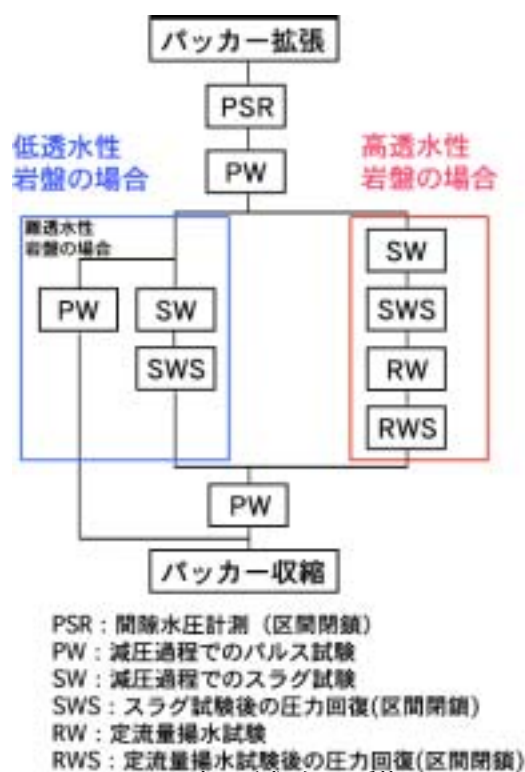


図48 水理試験の手順

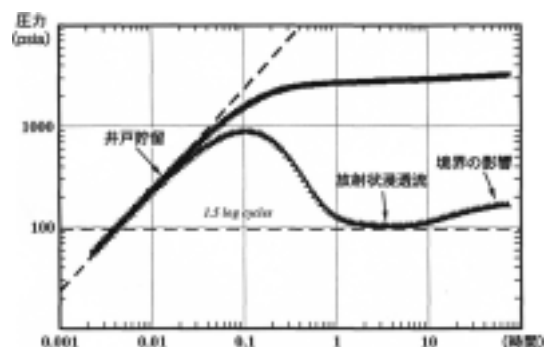


図49 水圧の時間変化曲線

水理試験では、スラグ法およびパルス法の場合は、初期状態の水理場に水頭差を与え、初期状態に回復する過程の水位または水圧変化を、また、揚水試験の場合は揚水過程の水位変化や流量変化および揚水停止後の水位変化を測定することにより、透水係数や比貯留係数を求める。したがって、試験データを解析する上での初期条件となる間隙水圧を試験時に的確に把握しておくことが重要である。また、単孔式の水理試験では、孔内貯留などの影響が顕著に現れ、試験データの品質に大きく影響するため、試験期間中に孔内貯留の影響が収束し、試験対象である岩盤の水理特性に関するデータが得られていることを確認する必要がある。さらに、スラグ法およびパルス法の試験では、試験開始時の水頭差を瞬時に与えること、データ解析を行ううえで必要な水位または水圧の回復量を確保することも留意すべき点である。直線近似法や標準曲線法を用いて透水係数を求める場合は、測定データからデータ解析上の前提である浸透流の形態や境界条件を満たしている範囲を抽出することが測定結果の品質を保証する上で重要となる。測定データからこれらの情報を抽出する方法としては、水位や水圧の時間変化曲線の傾きをプロットする方法が提案されている (Horne, Roland N., 1983)。この方法では、プロットされた曲線の形態が

ら孔内貯留の影響範囲(影響時間)や浸透流の形態を識別することができる(図49)。さらに、プロットされた曲線の形態から、水位(水圧)回復が収束しているか否かを確認することができるため、適切に水理試験を終了することができる。

5.2.2.3 地下水の採水方法の高度化

平成12年度から掘削を開始したMIU-4号孔において、試錐掘削中に水理試験と組合わせて地下水採水を行うなどの調査手順の改善を行い、MIU-4号孔試錐調査に適用した。調査手順の改善と適用事例の概要は以下のとおりである。

調査手順の改善

試錐孔を利用して地下水採水を行う際に、データの品質は大きく下記の3点に支配されると考えられる。

・掘削水の選定、水質管理

調査対象地域において降水系地下水(溶存成分濃度が低い、緩衝能が小さい)の存在が想定される場合には、試錐掘削中の周辺地下水における汚染の程度を低減するために、想定する地下水水質と類似した水質の掘削水を使用することが必要である。すなわち、降水系地下水が存在する場を、塩水を使用して掘削した場合、地層水の採取が不可能となることや、塩水系地下水が存在しているといった誤った解釈を導く可能性が高い。

東濃地域では、既存の研究結果から、正馬様用地においても降水系地下水が優勢であることが想定されていることから、領域内の河川水(主に地下水、雨水の混合水)を使用することとした。また、掘削水は循環使用が原則であるため、水質の管理も重要である。試錐掘削中には、掘削水とカッティングスラグが反応することにより、掘削水中の溶存成分濃度が著しく上昇する。その結果、溶存成分濃度の高い掘削水を使用することになってしまい、データ品質を低下させることになる。それを防止するために、常時掘削水の水質をモニタリングし、定期的に掘削水を交換するなど、掘削水水質を一定に保つことが必要である。さらに、掘削水中に蛍光染料などのトレーサー物質を一定濃度で添加しておくことにより、地下水採水時には、染料濃度を指標として掘削水の残留割合を定量的に把握することが可能である。

・採水調査実施時期

土岐花崗岩中には透水性の高い割れ目(帯)が存在している。試錐掘削中にこのような割れ目に遭遇すると、大量の掘削水が注入されることになる。目的深度までの試錐孔掘削終了後に、地下水採水を実施する調査プログラムとした場合には、掘削水による汚染の程度が著しく、地層水を採取することが極めて困難になるケースがあった。これを避けるために、試錐掘削中に逸水帯に遭遇した場合、直ちに地下水採水を実施することが可能となる柔軟な調査プログラムが必要である。

・当該試錐孔における優先調査項目

試錐調査においては実施する各調査項目の優先順位を決める必要がある。全ての調査項目について、品質の高いデータを取得することは、試錐調査中のトラブルを考えると、現実的ではない。したがって、優先順位が高い調査項目を、当初

計画どおり実施することにより、他のデータの品質を低下させることもあり得る。このようなトラブル発生時にも迅速な対処が可能で、かつ目的を果たせるような柔軟で合理的な調査プログラムが必要である。以上述べたことを考慮した調査プログラムを構築した（JNC，1999）。

適用事例

ここでは、MIU-4号孔の掘削深度82.50～88.65m（堆積岩：地表からの深度72.00～77.44m）での採水結果とMIU-4号孔における調査で得た知見について述べる。

MIU-4号孔では堆積岩と花崗岩を明確に分けて調査するために、堆積岩/花崗岩不整合直上で掘削を停止し、シングルパッカー式で地下水採水を実施した。地下水採水中には、前述の蛍光染料濃度に加えて、地上における物理化学パラメータ測定、主要化学成分濃度測定を実施した。本深度においては、掘削水による地層水の汚染が0.6%まで減少し、当初設定した基準値1.0%を満足することができた。この原因のひとつに、試錐掘削停止後直ちに採水を実施したことが考えられる。なお、地下水タイプはNa-HCO₃型、pH=9.5と弱アルカリ性であった（図50および51、表13：サイクル機構，2001b）。

MIU-4号孔においては、合計5深度（堆積岩1深度、花崗岩4深度）において地下水採水を実施し、各種測定および分析を実施した。その結果、MIU-4号孔においては、土岐花崗岩中の地下水は、弱アルカリ性（pH 9～10）のNa-HCO₃型であり、これまでの土岐花崗岩中の地下水地球化学に関する研究結果と整合していた。

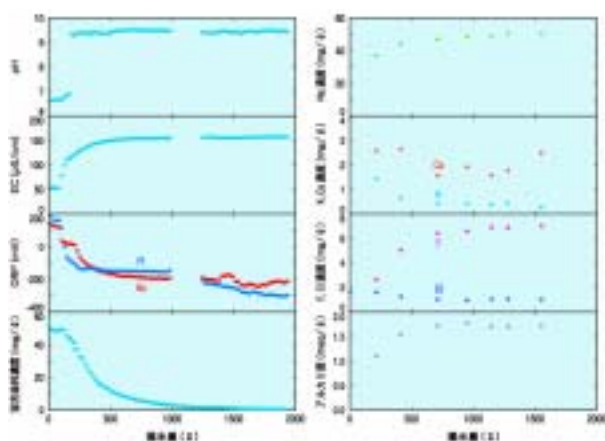


図50 揚水試験中の物理化学パラメータ、主要化学成分濃度の測定結果

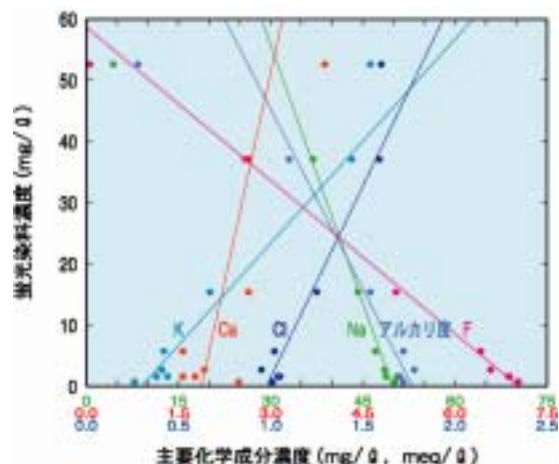


図51 蛍光染料濃度と主要化学成分濃度の関係

表 13 掘削長 82.50～88.65m 区間の化学成分

採水区間：掘削長82.50～88.65m 地質：土岐炭炭層			
pH	9.5		
EC (μS/cm)	157		
Eh _H (mV)	-88		
Eh _A (mV)	-7		
DO (ppb)	0.0		
Na ⁺ (mg/ℓ)	49.83	F ⁻ (mg/ℓ)	6.67
K ⁺ (mg/ℓ)	0.20	Cl ⁻ (mg/ℓ)	1.08
Mg ²⁺ (mg/ℓ)	<0.1	SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	4.94
Ca ²⁺ (mg/ℓ)	1.44	H ₂ S (mg/ℓ)	0.27
T.Fe (mg/ℓ)	<0.05	7335度 (meq/ℓ)	1.76
Al (mg/ℓ)	<0.1	TIC (mg/ℓ)	17.9
Si (mg/ℓ)	5.8	TDC (mg/ℓ)	1.5
湧水量 (ℓ)	1891.6		
蛍光染料(アミノG酸) (mg/ℓ)	0.33		

5.2.3 岩盤の力学特性調査技術開発

5.2.3.1 1,000 m対応初期応力測定装置の開発

岩盤の初期応力は地質環境のデータのひとつであるとともに、超深地層研究所計画における研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的影響を数値解析で評価する際の境界条件として不可欠である。現在、一般的に用いられている初期応力測定手法としては、水圧破碎法や応力解放法などの試錐孔を利用する方法と、AE法やDRA法、DSCA法などのコアを利用する方法がある。それぞれの方法は実用段階から研究開発段階までの様々なレベルにあるとともに、測定する上での制約条件やさらには適用深度についても制限があり、深度1,000mにおける三次元初期応力を求めることができる信頼性の高い方法は現状では存在しない。このため、サイクル機構では深度1,000mを対象とした三次元初期応力を測定する手法を確立することを目的として、初期応力測定プローブの開発を実施してきた。平成13年度は、これまでに製作した初期応力測定プローブを用いて原位置適用試験を実施した。具体的には、原位置試験に必要な付帯装置、すなわちプローブを試錐孔孔底まで運搬し、孔底にて切り離す装置（プローブ運搬、切り離し装置）を製作し、初期応力測定プローブと組み合わせて東濃鉱山坑内の試錐孔を用いて、深度13.5m、18.2mおよび19.4mにおいて応力解放にともなう解放ひずみの測定を行った（図52）。図に示されるように、オーバーコアリング直後よりひずみの変化があらわれていることがわかる。また、ひずみ変化の曲線は、水平面内にゲージが配置されているch1～3では正の方向（応力の解放する方向）のみに変化しており、それ以外のゲージでは一旦負の方向に変化した後、正の方向にひずみ変化が転じている。なお、ひずみ変化はオーバーコアリング深度30cm以降ではほぼ安定しており、十分に応力解放が行われたことが示されている。

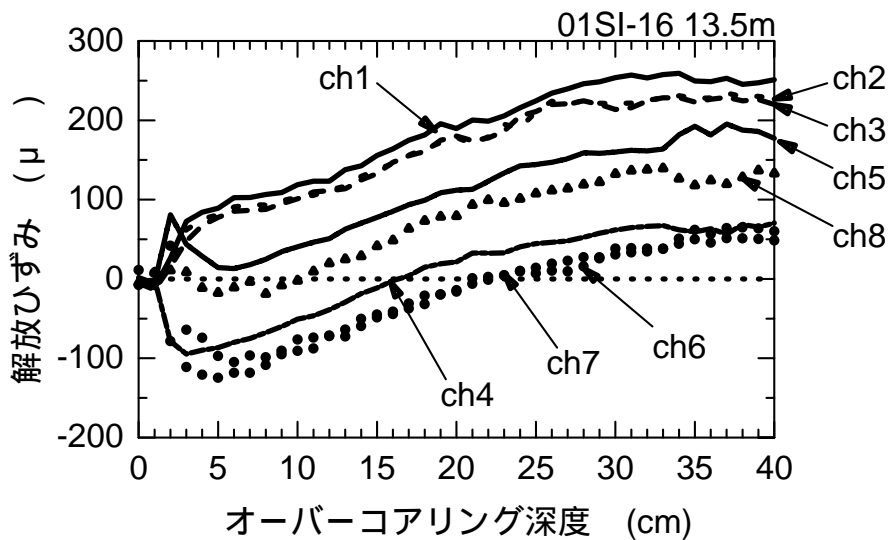


図 52 応力解放に伴うひずみ変化図 (深度 13.5m 地点)

5.2.4 データベースの構築

5.2.4.1 調査データ用データベースシステムの構築

東濃地科学センターにおける調査データの効率的かつ有機的な利用のため、平成12年度までにデータを適切に管理する調査データ用データベース（以下、地層科学研究データベース）を構築し、超深地層研究所計画および広域地下水流動研究で取得された測定データの解析・解釈後の最終データとその背景情報を管理してきた。

平成13年度は、これまでに構築してきたデータベースシステムの構築の現状と今後の開発課題を取りまとめた（サイクル機構，2002c）。今後の開発課題には、調査で取得された補正されていない試験値・測定値から補正・解析等の加工を行ったデータ、また、加工されたデータに解釈を加えたデータまでを管理するためのデータベースおよびデータ取得時の情報を管理するためのデータベースの追加により、管理データの履歴追跡を可能とし、追跡性・透明性を担保すること、およびインターネットWebサーバの構築による公開などが挙げられる。

5.2.5 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地下水流動解析を行うとともに、地下水流動などの解析結果を三次元に可視化できる一連の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

要な道具となる。平成12年度までに本システムの開発は終了し、システムのメンテナンスを継続して行っている。

平成13年度、主に本システムの機能のうち、地下水流動解析コードについて、解析結果のアウトプット方法の改善などを行っている。

5.2.6 情報提供技術の開発

5.2.6.1 VRシステムの構築

本計画を一般の方々にわかりやすく説明するため、VR(バーチャルリアリティー)技術を利用した情報提供を実現する。平成12年度までに、本計画において実施している調査・研究について一般の方々の理解を促進させるために、VRシステムの適用を開始し、本計画および研究所施設紹介のためのデスクトップパソコン用の「超深地層研究所の仮想体験」ソフトの開発と改良などを実施するとともに、従来作成したソフトウェアの整理・改良、超深地層研究所に設置する具体的なシステムの検討、および関連して必要となるVR技術の開発などを行った。

平成13年度においては、これまでに整備したVR体験ソフトウェアについて、計画の進捗に伴う施設レイアウトの修正や研究坑道での研究紹介内容の見直しなどを行った。また、視覚以外の感覚を利用したVR技術の検討を行い、前年度実施した東濃鉦山での音響測定結果を利用した音響VR体験についての試作ソフトを作成するとともに、他の感覚を利用したVR体験に必要な要素技術の技術的に可能性についての検討を行い、今後の要素技術開発における課題の抽出を行った。

更に、より多くの方々に超深地層研究所についての理解を深めていただくために、インターネット上でVR技術を利用した情報発信に関する技術的な検討や、一般に普及しているパソコンやゲーム機を活用した既存ソフトウェアの使用についての技術的な検討を行い、今後の開発課題の抽出を行った。

5.2.7 連続波レーダー調査技術の開発

レーダートモグラフィ調査が適用されるスケールは、一般に数10 m程度が限界であるが、信号に連続波を採用することにより、探査距離を飛躍的に拡大できる可能性がある。

平成13年度においては、探査距離の拡大と空間分解能向上の両立の可能性を検証するため、12年度までに開発した実験機と時間区間蓄積型データロガー等を組み合わせた特性試験(地下レーダーとしては比較的低い周波数を対象とする)を行うための準備を行った。

5.2.8 トモグラフィ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のトモグラフィ調査が、地下深部での不連続面の広がりを調査するうえで有効である。

平成13年度においては、抽出された課題のうちとくに速度構造初期モデル依存性が大きい点（初期モデルから大幅な修正が期待できない点や初期モデルと真の速度構造の違いが大きいと安定した解が得にくい点など）について、他の解法の導入などを含めて改良を検討した。

論文等による技術情報収集を主に上記課題の解決方法について検討した結果、これまでに扱ってきた時間領域の解法と比較して、周波数領域の解法（逐次修正解析の初期段階では低周波数成分を扱って比較的大きな構造を再現し、解析が進むにつれて高周波成分を扱って小さな構造を再現する解法）が有効である可能性があることがわかった。

本解法の適用性やメリット・デメリットを明らかにしながら、引き続き上記課題の解決方法について検討を行う。

5.2.9 応力集中による岩盤破壊のモデル化手法の開発

地下空洞掘削に伴う周辺岩盤の物性変化の範囲および程度を把握することは、地下空洞の設計・施工の最適化及びコスト削減の観点から重要となる。これまでに東濃鉱山および釜石鉱山で実施してきた掘削影響試験では、地下空洞掘削により影響を受ける領域が、掘削により物理的ダメージを受けて物性が変化する領域（掘削損傷領域）と応力再配分現象に伴う既存割れ目の変位や空隙の閉塞などにより物性が変化する領域（応力再配分領域）の組合せで構成されるという概念モデルを構築した。しかし、これまでの調査試験では、上記の掘削影響領域は弾性的な挙動に納まっており、岩盤の破壊現象は生じておらず、地下深部に坑道を掘削された場合に生じる可能性のある応力集中による岩盤の破壊のメカニズムについては十分に解明されていない。

平成13年度は、岩盤モデル化手法の開発に必要な岩盤破壊のメカニズムを解明するために、花崗岩を用いた大型岩石供試体に対して力学試験を実施し、試験後の大型岩石供試体から破壊により損傷を受けた岩石供試体を採取し、さらに力学試験を実施することにより、岩石供試体の破壊現象ならびにこれにともなう岩石の損傷領域の力学物性の変化を把握した。また、多数の不連続面を含む岩盤を等価な連続体に置き換えるクラックテンソル手法の岩盤損傷評価への適用性について検討した。

6. まとめ

平成14年1月17日に瑞浪市と賃貸借契約を締結し、超深地層研究所の研究坑道および関連施設を設置することとなった研究所用地においては、平成14年度から作業を開始する地上物理調査および浅層部を対象とした試錐調査の計画・準備を行った。また、本計画や広域地下水流動研究でこれまで行われてきた調査・研究の成果に基づき、研究所用地の地質・地質構造、地下水流動および地下水の地球化学特性についての既存情報の収集・整理を行うとともに、研究所用地付近に存在する既存の試錐孔であるDH-2号孔の岩芯を用いて岩石物性データを取得した。さらに、これまで抽出してきた超深地層研究所で行う必要のある研究項目を参考に、研究坑道のレイアウト案を策定した。

正馬様用地においては、平成12年度から開始したMIU-4号孔の試錐調査を継続し、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤力学に関するデータが得られている。また、MIU-4号孔にモニタリング装置を設置した後、地質構造要素の水理的な連続性を把握することを目的し、MIU-2号孔を揚水孔とした長期揚水試験を実施した。さらに、これまでの調査結果に基づき、地下水流動解析の解析領域（約4×6km）において、水理地質構造モデルを構築し、地下水流動解析を実施した。くわえて、研究坑道建設による坑道周辺岩盤の変形挙動などの予備解析を行った。平成13年度に得られた正馬様用地における調査・研究の主な結果は以下の通りである。

地質・地質構造に関する調査・研究：平成12年度より開始したMIU-4号孔における試錐調査を実施した。これまでに得られた主な結果は、これまでの情報に基づき推定した主要な不連続構造の位置とMIU-4号孔試錐調査で確認された位置の差が20m以内であったこと、割れ目系に基づいて岩盤を2つに分類するとともに、月吉断層に伴う割れ目帯の分布、推定されていなかった8つの断層の分布を確認したこと、さらに、割れ目充填鉱物の特徴や割れ目に伴う変質や風化の特徴から複数の高透水性割れ目が確認されたことが挙げられる。なお、高透水性割れ目の検出技術の高度化に向け、高透水性割れ目の分類や分析を継続している。また、地質構造モデルの構築については、MIU-4号孔試錐調査の結果を解析中であり、今後、鉛直孔、斜孔における割れ目の遭遇率などを踏まえ、これまでに構築してきた地質構造の概念や地質構造モデルを評価していく。

地下水の水理に関する調査・研究：表層水理調査を継続するとともに、MIU-4号孔試錐調査により、これまでに調査していない正馬様用地北東部の水理特性および高角割れ目（帯）の水理特性に関するデータを取得した。また、長期揚水試験を実施し、割れ目（帯）の水理的な連続性に関するデータを取得した。地下水流動解析については、水理地質構造の概念やモデル化の違いによる地下水流動への影響解析として、複数のモデルによる地下水流動解析を実施した。その結果、水理地質構造の概念や解析手法の違いにより、地下水の移行経路や移行時間・移行距離に違いが表れた。検討の結果、これらの不確実性の低減のためには、地上物理探査による断層の存在の有無の確認、断層が存在する場合には試錐調査による

詳細調査，適切な解析領域や境界条件の設定，および実効的な空隙率の把握が必要であることが明らかになった。

地下水の地球化学に関する調査・研究：降水・河川水を対象とした調査を継続するとともに，MIU-4号孔における試錐調査およびMIU-2号孔における長期揚水試験を利用して深部地下水を対象とした調査を実施した。また，固相を対象とした地球化学調査として，MIU-4号孔試錐調査で得られた岩芯試料を用いた化学分析を実施した。降水・河川水を対象とした調査の結果，正馬川の河川水は降水が地下において十分混合した後に河川に流出しているものと考えられる。MIU-4号孔における試錐調査では，合計5深度（堆積岩1深度，花崗岩4深度）で調査を実施した。その結果，土岐花崗岩中の地下水は弱アルカリ性のNa-HCO₃型であり，主要化学成分については深度依存性が認められなかった。なお，MIU-2号孔における長期揚水試験において採水した地下水の化学分析は現在実施中である。MIU-4号孔岩芯試料の化学分析の結果，健岩部の花崗岩の主要化学組成は深度に対して概ね一定の値を示すこと，変質部の分析結果から，Ba, F, Srの溶脱およびCsの濃集が（熱）水-岩石反応の度合いを反映していることが明らかとなった。

岩盤の力学に関する調査・研究：MIU-4号孔の岩芯を用いて力学物性試験を実施するとともに，平成12年度までに作成した岩盤力学概念モデルにジョイントせん断試験の結果を反映させ，研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的な影響を解析した。力学物性試験では，土岐花崗岩の物理特性・力学物性に関する物性値 AE/DRA法およびDSCA法による初期応力測定結果が得られた。物理試験・力学試験の結果から，MIU-4号孔の掘削長500～600m付近の岩石は内部の空隙やマイクロクラックが卓越し，各物性値が低下していることが明らかとなった。

参考文献

- 動力炉・核燃料開発事業団（1994）：日本のウラン資源，動燃事業団技術報告書，PNC TN7420 94-006.
- 動力炉・核燃料開発事業団（1996）：超深地層研究所地層科学研究基本計画，動燃事業団技術資料，PNC TN7070 96-002 .
- 原子力安全委員会（2000）：高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告).
- 原子力委員会（1994）：原子力の研究，開発及び利用に関する長期計画（平成6年6月24日）.
- 原子力委員会（2000）：原子力の研究，開発及び利用に関する長期計画（平成12年11月24日）.
- 原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会（2000）：我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性（平成12年10月1日）.
- 畑浩二，丸山誠，鳥井原誠（2001）：土岐花崗岩中の割れ目を対象としたジョイントせん断試験．サイクル機構技術資料（契約業務報告書；株式会社大林組），JNC TJ7430 2001-002
- Horne, Roland N. (1995) : Modern Well Test Analysis: A Computer -Aided Approach, Petro Way.
- Japan Nuclear Cycle Development Institute (1999) : Working Programme for MIU-4 Borehole Investigation, サイクル機構技術資料，JNC TN7410 99-007.
- Japan Nuclear Cycle Development Institute (2001) : An overview of the MIU-4 Borehole Investigations during Phases I and II, サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2001-002.
- Japan Nuclear Cycle Development Institute (2002) : An Overview of the MIU-4 Borehole Investigations during Phases III, サイクル機構技術資料，JNC TN7410 2002-003.
- 核燃料サイクル開発機構（1998）：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 ,サイクル機構技術資料 ,JNC TN7410 99-004.

- 核燃料サイクル開発機構（1999）：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ - , サイクル機構技術資料, JNC TN1410 99-020 ~ 024.
- 核燃料サイクル開発機構（2001a）：超深地層研究所地層科学研究基本計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-009.
- 核燃料サイクル開発機構(2001b): 超深地層研究所計画年度計画書(平成13年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-013.
- 核燃料サイクル開発機構(2001c): 超深地層研究所計画年度報告書(平成12年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-011.
- 核燃料サイクル開発機構(2001d): 広域地下水流動研究年度報告書(平成12年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-017.
- 核燃料サイクル開発機構（2002a）：超深地層研究所地層科学研究基本計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018.
- 核燃料サイクル開発機構（2002b）：超深地層研究所計画年度計画書（平成13年度改定版）, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-019.
- 核燃料サイクル開発機構(2002c): 地層科学研究データベースシステム構築の現状, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-003.
- 増田彰正（1979）：希土類元素からみた火成岩の多様性, 岩波講座・地球科学 4, 地球の物質科学 III . 241-264 .
- 松井裕哉, 前田信行, 吉川和夫（2001）：MIU-3号孔における力学特性調査結果及び正馬様用地における土岐花崗岩体の岩盤力学的概念モデル, サイクル機構技術資料, JNC TN7420 2001-001
- 吉田秀典, 堀井秀之（1996）：マイクロメカニクスに基づく岩盤の連続体モデルと大規模空洞掘削の解析, 土木学会論文集 No.535/ -34, pp.23-41

APPENDICES

Appendix 1. Time plan and results of the MIU-4 borehole investigations

November 16 2001
/ K. Nakano

Field activities / investigations			2000												2001												2002						
			Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar						
Plan	Actual																																
1 Site preparation (including drilling phase I) 0 - 10mabh	1 Site preparation(including drilling phase I) 0 - 10.20mabh																																
2 Drilling phase II 10 - 70mabh	2 Drilling phase II-1 10.20 - 78.02mabh																																
	3 Hydraulic test 1 Toki lignite-bearing Formation/ 68.45 -78.02mabh																																
	4 Drilling phase II-2 78.02 - 88.65mabh																																
3 Hydraulic test and GW sampling 1 basal conglomerate of the Toki lignite-bearing	5 Hydraulic test and GW sampling 2 basal conglomerate of the Toki lignite-bearing Formation/ 82.50 -88.65mabh																																
4 Drilling phase III 70 -100mabh	6 Drilling phase III 88.65 - 134.47mabh																																
5 Hydraulic test and GW sampling 2 weathered section of the Toki granite / 70-93	7 Hydraulic test and GW sampling 3 weathered section of the Toki granite / 95.02-134.47mabh																																
6 Fluid logging, Geophysical Investigations, BT 10 -100mabh	8 Fluid logging, Geophysical Investigations, BT 10.20 -134.47mabh																																
7 Hydraulic test and GW sampling 3 basal conglomerate of the Akeyo Formation / 3																																	
8 Reaming and casing installation 10 -100mabh	9 Reaming and casing installation 10.20 -134.00mabh																																
	10 Drilling phase IV-1 134.47 - 316.95mabh																																
	11 Hydraulic test and GW sampling 4 MCF in the highly fractured domain / 314.95 - 316.95mabh																																
	12 Drilling phase IV-2 316.95 - 322.00mabh																																
	13 Fluid logging, Geophysical Investigations, BT 134.47 (134.00) - 322.00mabh																																
	14 Borehole protection / plugging work in the interval of 297.00 - 322.00mabh																																
	15 Drilling phase IV-3 322.00 - 338.13mabh																																
	16 Borehole protection / plugging work in the interval of 297.00 - 338.13mabh																																
	17 Drilling phase IV-4 338.13 - 488.88mabh																																
	18 Retrieval work of drilling rods jammed from 304.70 to 362.88mabh																																
	19 Borehole protection / cementing the interval 327.00 - 354.35mabh																																
	20 Retrieval work of drilling rods jammed from 362.88 to 488.88mabh																																
	21 Borehole protection / cementing the interval 455.00 - 488.88mabh																																
9 Drilling phase IV 100 - 685 mabh	22 Drilling phase IV-5 488.88 - 647.11mabh																																
10 Hydraulic test and GW sampling 4 highly fractured zone along the Tsukiyoshi	23 Hydraulic test and GW sampling 5 highly fractured zone along the Tsukiyoshi fault (hanging wall) / 582.25 - 647.11mabh																																
	24 Hydraulic test and GW sampling 6 highly fractured zone along the Tsukiyoshi fault (hanging wall)/ 584.00 - 647.11mabh																																
11 Fluid logging, Geophysical Investigations, BT 100 - 685mabh	25 Fluid logging, Geophysical Investigations, BT 322.00 (134.00) -647.11mabh																																
	26 Hydraulic test and GW sampling 7 highly fractured domain / 183.20 - 254.20mabh																																
	27 Drilling phase IV-6 647.11 - 673.26mabh																																
	28 Borehole protection / plugging work in the interval of 579.70 - 673.26mabh																																
12 Drilling phase V 685 - 710mabh	29 Drilling phase V 673.26 - 688.50mabh																																
13 Hydraulic test and GW sampling 5 core of the Tsukiyoshi fault / 685 - 710mabh																																	
14 Drilling phase VI 710 - 790mabh	30 Drilling phase VI 688.50 - 790.10mabh																																
15 Hydraulic test and GW sampling 6 highly fractured zone along the T. fault (fo	31 Hydraulic test and GW sampling 8 highly fractured zone in the granite below the T. fault / 754.50 -790.10mabh																																
16 Fluid logging, Geophysical Investigations, BT 710 - 790mabh	32 Fluid logging, Geophysical Investigations, BT 647.11 (134.00) -790.1mabh																																
	33 Hydraulic test 9 core of the Tsukiyoshi fault / 669.50 -677.00mabh																																
17 Hydraulic tests and GW samplings 7 and 8 / 2 intervals from 100 to 685mabh	34 Hydraulic test and GW sampling 10-1 fractured zone in the granite below the T. fault / 690.50 - 753.00mabh																																
	35 Hydraulic test and GW sampling 10-2 fractured zone in the granite below the T. fault / 690.50 - 753.00mabh																																
18 Hydraulic tests 9 - 15 / 7 intervals from 100 to 790mabh	36 Hydraulic test and GW sampling 11 sparsely fractured domain in the granite / 500.30 - 562.80mabh																																
	37 Hydraulic test and GW sampling 12 sparsely fractured domain in the granite / 361.60 - 424.10mabh																																
19 Hydraulic tests 16 - 20 / 5 intervals from 100 to 790mabh																																	

20	Site restoration	38	Site restoration																											
21	In situ stress measurements / 6 intervals from 100 - 790mabh																													
22	Installation of multi-packer system	39	Installation of multi packer system																											
23	Long-term hydraulic / hydrochemical monitoring	40	Long-term hydraulic / hydrochemical monitoring																											
	Plan		Actual																											
Field activities / investigations				Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar		
				2000												2001												2002		