JAEA-Review 2011-007



超深地層研究所計画 年度報告書(2009 年度)

Mizunami Underground Research Laboratory Project Annual Report for Fiscal Year 2009

國丸 貴紀	〕 見掛	信一時	郭 ī	西尾 🕫	和久	鶴田	忠彦
松岡 稔幸	♀ 早野	明(竹内	竜史	三枝	博光	
大山 卓也	1 水野	崇,	予野	剛男	平野	享	
竹内 真司	〕尾方	伸久	濱	克宏	池田	幸喜	
山本 勝	弥富 注	≜介 Ⅰ	島田	顕臣	松井	裕哉	
伊藤 洋昭	3 杉原	弘造					

Takanori KUNIMARU, Shinichiro MIKAKE, Kazuhisa NISHIO, Tadahiko TSURUTA Toshiyuki MATSUOKA, Akira HAYANO, Ryuji TAKEUCHI, Hiromitsu SAEGUSA Takuya OHYAMA, Takashi MIZUNO, Takeo TANNO, Toru HIRANO Shinji TAKEUCHI, Nobuhisa OGATA, Katsuhiro HAMA, Koki IKEDA Masaru YAMAMOTO, Yosuke IYATOMI, Akiomi SHIMADA, Hiroya MATSUI Hiroaki ITO and Kozo SUGIHARA

> 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2011

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department, Japan Atomic Energy Agency 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2011

超深地層研究所計画 年度報告書(2009年度)

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

國丸 貴紀, 見掛 信一郎⁺⁴, 西尾 和久^{**}, 鶴田 忠彦, 松岡 稔幸, 早野 明⁺², 竹内 竜史, 三枝 博光, 大山 卓也⁺³, 水野 崇, 丹野 剛男^{**}, 平野 享^{*1}, 竹内 真司⁺¹, 尾方 伸久, 濱 克宏, 池田 幸喜⁺⁴, 山本 勝⁺⁴, 弥富 洋介, 島田 顕臣, 松井 裕哉, 伊藤 洋昭, 杉原 弘造

(2011年1月12日受理)

独立行政法人日本原子力研究開発機構東濃地科学センターでは、「地層処分技術に関する研究開 発」のうち深地層の科学的研究(地層科学研究)の一環として、結晶質岩(花崗岩)を対象とした超深地 層研究所計画を進めている。本計画は、「第1段階;地表からの調査予測研究段階」、「第2段階;研究 坑道の掘削を伴う研究段階」、「第3段階;研究坑道を利用した研究段階」の3段階からなり、現在は、第 2段階である「研究坑道の掘削を伴う研究段階」を進めている。第2段階の調査研究では、研究坑道の掘 削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把 握、研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認を目的とした調査研究を進めると ともに、第3段階(研究坑道を利用した研究段階)の調査研究計画の策定を進めている。

本報告書は,2002年2月に改訂した「超深地層研究所地層科学研究基本計画」に基づき,超深地層 研究所計画の第2段階「研究坑道の掘削を伴う研究段階」における2009年度に実施した1)調査研究, 2)施設建設,3)共同研究等の成果を取りまとめたものである。

2009 年度は、研究坑道の建設として、主立坑を深度 300.2m~459.6m、換気立坑を深度 331.2m~ 459.8m まで掘削するとともに、深度 400m レベルに主立坑と換気立坑をつなぐ水平坑道を掘削した。研 究坑道における調査研究では、研究坑道の掘削が立坑近傍の間隙水圧に与える影響を把握するため に、深度 300m ボーリング横坑(換気立坑)において3本の地下水水圧観測用のボーリング孔を掘削し地 下水水圧モニタリングを開始した。また、深度 300m における地下水水質の把握および研究坑道の掘削 に伴う研究坑道周辺の水質変化を把握することを目的として、深度 300m 予備ステージにおいてボーリン グ調査を行い、地下水水質モニタリングを開始した。さらに、独立行政法人産業技術総合研究所との共 同研究として、深度 300m における地下水水質分布の把握、研究坑道の掘削に伴う水質変化の把握、コ ロイド・有機物・微生物を対象とした調査手法の開発および割れ目帯や断層の分布に関する情報を取得 するために、深度 300m 研究アクセス坑道においてボーリング調査を実施し、地下水水質モニタリングを 開始した。これらの調査研究に加え、電気探査(自然電位測定)による地下水流動モニタリング,既存ボ ーリング孔における地下水水圧・水質モニタリングおよび表層水理観測などを継続した。

以上の調査結果を用いて,第1段階において構築した地質環境モデル(地質構造モデル,岩盤力学 モデル,水理地質構造モデルおよび地球化学モデル)の更新/妥当性確認の考え方を整理した。

東濃地科学センター(駐在):〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64

^{+1;}地層処分研究開発部門研究開発統括ユニット

^{+2;}地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット

^{+3;}地層処分研究開発部門 幌延深地層研究ユニット

^{+4;}東濃地科学センター

^{※;}技術開発協力員

^{*1;}西松建設株式会社

Mizunami Underground Research Laboratory Project

Annual Report for Fiscal Year 2009

Takanori KUNIMARU, Shinichiro MIKAKE⁺⁴, Kazuhisa NISHIO^{**}, Tadahiko TSURUTA, Toshiyuki MATSUOKA, Akira HAYANO⁺², Ryuji TAKEUCHI, Hiromitsu SAEGUSA, Takuya OHYAMA⁺³, Takashi MIZUNO, Takeo TANNO^{**}, Toru HIRANO^{*1}, Shinji TAKEUCHI⁺¹, Nobuhisa OGATA, Katsuhiro HAMA, Koki IKEDA⁺⁴, Masaru YAMAMOTO⁺⁴, Yosuke IYATOMI, Akiomi SHIMADA, Hiroya MATSUI, Hiroaki ITO and Kozo SUGIHARA

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received January 12, 2011)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) at Tono Geoscience Center (TGC) is pursuing a geoscientific research and development project namely the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project in crystalline rock environment in order to construct scientific and technological basis for geological disposal of High-level Radioactive Waste (HLW). The MIU Project has three overlapping phases: Surface-based Investigation phase (Phase I), Construction phase (Phase II), and Operation phase (Phase III). The MIU Project has been ongoing the Phase II whose aims are development of geological models, understanding the variation of the geological environments and applicability of technologies and techniques during the shaft and tunnel excavation. A plan of the Phase III also will be established in Phase II.

This report introduces the results of the investigations, construction and collaboration studies in fiscal year 2009, as a part of the Phase II based on the MIU Master Plan updated in 2002.

Main and Ventilation Shafts of the MIU have been excavated from GL-300.2m to GL-459.6m, GL-331.2m to GL-459.8m respectively in 2009 fiscal year. A horizontal tunnel at the GL-400m level has been connected between Main and Ventilation Shafts. Three new borehole investigations for groundwater pressure and hydrochemical monitoring were carried out at the -300m Stage. The aims of these investigations are summarized as follows;

i) Groundwater pressure monitoring;

To understand change of water pressure during shaft construction and to obtain data for updating the hydrogeological model,

ii) Hydrochemical monitoring;

To understand spatial distribution of groundwater chemistry and hydrochemical changes during shaft construction,

+1; Research and Development Integration Unit

+3; Horonobe Underground Research Unit

*1 ; Nishimatsu Construction Corporation

^{+2;} Geological Isolation Research Unit

^{+4;} Tono Geoscience Center

ℜ; Collaborating Engineer

iii)Hydrochemical monitoring conducted by JAEA and National institute of Advanced Industrial and Technology(AIST);

To understand spatial distribution of groundwater chemistry and hydrochemical changes during shaft construction, development of methodology for characterizing colloid, organics and microbes and understanding distribution of fault and fractures.

Additionally, the electrical survey, groundwater pressure and hydrochemical monitoring, shallow hydrological investigations, etc. have been continued.

Method of revision and testing of the geological environmental models (geological, rock mechanical, hydrogeological and hydorchemical models), which was developed in Phase I, using the data obtained in the investigation results has been summarized.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory, MIU Project, Geological Disposal of HLW, Crystalline Rock This is a blank page.

目 次

1. はじめに	1
2. 超深地層研究所計画の概要	3
2.1 超深地層研究所計画の目標	4
2.2 調査研究の進め方	4
2.3 超深地層研究所周辺の地質	9
2.4 瑞浪超深地層研究所の施設概要	10
3. 2009 年度の調査研究の概要	12
3.1 研究所用地における調査研究の概要	12
3.2 研究所用地における施設建設の概要	13
3.3 正馬様用地における調査研究の概要	13
4. 研究所用地における調査研究および施設建設	15
4.1 研究所用地における調査研究	15
4.1.1 地質・地質構造に関する調査研究	15
4.1.2 岩盤力学に関する調査研究	38
4.1.3 岩盤の水理に関する調査研究	50
4.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究	78
4.1.5 物質移動に関する調査研究	99
4.1.6 深地層の工学技術の基礎の開発	. 102
4.2 正馬様用地における調査研究	. 112
4.3 研究所用地における施設建設	. 122
5. 共同研究·施設供用	. 125
6. 地層処分技術に関する分野間の連携研究	. 135
7. おわりに	. 137
付録 広域地下水流動研究 2009 年度報告	. 138

JAEA-Review 2011-007

Contents

1. Introduction	1				
2. Overview of the Mizunami Underground Research Laboratory Project					
2.1 Goals of the MIU Project	4				
2.2 Outline of the R&D activities	4				
2.3 Geology	9				
2.4 Overview of the MIU facilities	10				
3. Outline of the R&D activities in FY2009	12				
3.1 R&D activities at the MIU Construction Site	12				
3.2 Construction at the MIU Construction Site	13				
3.3 R&D activities at the Shobasama Site	13				
4. Results of investigations and construction at the MIU Construction Site in FY2009	15				
4.1 Geological investigations	15				
4.1.1 Geological investigations	15				
4.1.2 Rock mechanical investigations	38				
4.1.3 Hydrogeological investigations	50				
4.1.4 Hydrochemical investigations	78				
4.1.5 Mass transport investigations	99				
4.1.6 Development of engineering technology for deep underground	102				
4.2 Investigation plan at the Shobasama Site	112				
4.3 Construction at the MIU Construction Site	.122				
5. Research collaboration with related research organizations	.125				
6. Research collaboration among the geological disposal technologies					
7. Conclusions					
Appendix Results on the Regional Hydrogeological Study Project in FY2009	. 138				

1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下,原子力機構)東濃地科学センターは,原子力政策大綱¹⁾に定められている「深地層の研究施設等を活用して,深地層の科学的研究,地層処分技術の信頼 性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発,安全規制のための研究開発を引き続 き着実に進めるべきである」との方針に基づき,地層処分技術に関する研究開発のうち深地層の科学的 研究(地層科学研究)を進めている。このうち,超深地層研究所計画は,結晶質岩(花崗岩)を主な対象 として岐阜県瑞浪市において進めている研究計画である。

東濃地科学センターでは、1994年6月に公表された「原子力の研究,開発及び利用に関する長期計 画(以下,原子力長計)」²⁾において定められた「地層処分研究開発の基盤となる深部地質環境の科学的 研究を着実に進めること」との方針および深地層の研究施設の位置づけに基づき「超深地層研究所地層 科学研究基本計画(以下,基本計画)」³⁾を1996年11月に策定し、超深地層研究所計画における調査 研究を進めてきた。その後、2000年11月に策定された原子力長計⁴⁾において核燃料サイクル開発機構 (以下,サイクル機構;現:原子力機構)に新たな役割が定められことに伴い、2001年4月に基本計画の 改訂を行った⁵⁾。さらに、2002年1月に瑞浪市明世町の市有地の賃貸借契約を瑞浪市と締結し、超深地 層研究所の研究坑道などを同市有地に設置することとしたことを機に、基本計画を改訂した⁶⁾。

その後,2008年3月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」(以下,「基本方針」)および「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」(以下,「最終処分計画」)の改定に関する閣議決定がなされ(同年4月施行),「基本方針」においては研究開発機関の役割として,深地層の研究施設や研究開発の内容の公開を通じた国民との相互理解促進への貢献について明示され,「最終処分計画」においては,処分事業の実施主体による精密調査地区の選定時期が「平成20年代前半」から「平成20年代中頃」に変更された。一方,これまでの超深地層研究所計画での調査研究により得られた地質環境情報から,研究坑道を設置している市有地の深度300m付近は,より深部の地質環境と比較して割れ目が多く 湧水の可能性があることが予想された。以上のような「基本方針」と「最終処分計画」の改定およびこれまでの調査研究で得られた成果を踏まえ,深度300mに新たに研究坑道を設置し調査研究を実施することにより,深部での調査研究の成果とあわせて技術の高度化が可能になることや研究の場を広く一般に公開することで地層処分に関する国民との相互理解に貢献できることなどから,2008年度に深度300mに調査研究用の水平坑道の整備を背景に,原子力機構では2010年に基本計画を改訂した⁷。

本報告書は、2009 年度の年度計画⁸⁾に基づき実施した、超深地層研究所計画の第2 段階(研究坑道の掘削を伴う研究段階)における 2009 年度の調査研究の成果を示したものである。

また,東濃地科学センターでは,地質環境特性の研究を担うプロジェクトのひとつとして,超深地層研究所計画に先立ち広域地下水流動研究を進めてきた⁹⁰。この研究は,広域における地表から地下深部 までの地質・地質構造,岩盤の水理や地下水の水質を明らかにするために必要な調査・解析技術などを 開発することを目標として,1992 年度より研究対象とする地下水流動系の涵養域から流出域までを包含 する約 10km 四方の領域を対象に調査研究を実施してきており,2004 年度末をもって主な現場調査を終 了した。2005 年度からは,土岐花崗岩における水理学的・地球化学的な基礎情報の取得および地下水 流動解析結果の妥当性確認のためのデータ取得を目的として,既存の観測設備を用いた表層水理観 測(河川流量観測,降水量観測)および既存のボーリング孔を用いた地下水長期モニタリングを継続して いる。なお,超深地層研究所計画では,広域地下水流動研究で取得されたこれらの観測データを,研究 坑道の建設に伴う周辺の岩盤や地下水の変化を把握するために利用している。本報告書の巻末の付録 に,広域地下水流動研究における 2009 年度の調査研究の成果を示す。

参考文献

- 1) 原子力委員会:"原子力政策大綱"(2005).
- 2) 原子力委員会:"原子力の研究,開発及び利用に関する長期計画"(1994).
- 3) 動力炉·核燃料開発事業団:"超深地層研究所地層科学研究基本計画", PNC TN7070 96-002 (1996).
- 4) 原子力委員会:"原子力の研究,開発及び利用に関する長期計画"(2000).
- 5) 核燃料サイクル開発機構: "超深地層研究所地層科学研究基本計画", JNC TN7410 2001-009 (2001).
- 核燃料サイクル開発機構: "超深地層研究所地層科学研究基本計画", JNC TN7410 2001-018 (2002).
- 7) 日本原子力研究開発機構: "超深地層研究所地層科学研究基本計画", JAEA-Review 2010-016 (2010).
- 8) 日本原子力研究開発機構: "超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)", JAEA-Review 2009-017(2009).
- 9) 動力炉·核燃料開発事業団:"広域地下水流動研究基本計画書", PNC TN7020 98-001 (1997).

JAEA-Review 2011-007

2. 超深地層研究所計画の概要

超深地層研究所計画における調査研究は、研究坑道の建設に先立って開始し、研究坑道の完成後 までの約 20 年をかけて実施する。本計画では、研究坑道の建設工程やこれに伴う調査研究の課題、対 象、空間スケールなどの違いを考慮し、計画全体を、第1段階(地表からの調査予測研究段階)、第2段 階(研究坑道の掘削を伴う研究段階)および第3段階(研究坑道を利用した研究段階)の3段階に区分し て調査研究を進めている。このように段階的に研究を進めることにより、人工的な擾乱を受けていない地 質環境と、その地質環境が研究坑道の掘削などにより変化していく状況を把握することが可能となる。ま た、深部地質環境に関する情報量が段階的に増加することにより、評価すべき項目の重要度を段階的 に把握するとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法と結果の精度との関係を事例的に示すことが可 能になると考えられる。

本計画では、岐阜県瑞浪市明世町にある原子力機構用地(図 2-1:正馬様用地)において「地表からの調査予測研究段階(第1段階)」を進めてきた。その後、2002 年1月に瑞浪市と市有地の賃貸借契約 を締結し、超深地層研究所の研究坑道等の施設を市有地(図 2-1:瑞浪超深地層研究所用地;以下、研 究所用地)に設置し、調査研究を進めることとした。



図 2-1 超深地層研究所の設置場所

2.1 超深地層研究所計画の目標

超深地層研究所計画においては,全体目標と段階目標を以下のように設定している1)。

- 【全体目標】
 - ① 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
 - ② 深地層における工学技術の基盤の整備
- 【段階目標】
 - 第1段階:地表からの調査予測研究段階
 - 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
 - ② 研究坑道の詳細設計および施工計画の策定
 - ③研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査研究計画の策定

第2段階:研究坑道の掘削を伴う研究段階

- ① 研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部 地質環境の変化の把握
- ② 研究坑道の施工・維持・管理に係わる工学技術の有効性の確認
- ③ 研究坑道を利用した研究段階の調査研究計画の策定

第3段階:研究坑道を利用した研究段階

- ① 研究坑道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の拡張による深部地質環 境の変化の把握
- ② 深地層における工学技術の有効性の確認

2.2 調査研究の進め方

本計画の全体目標のひとつである「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」に関しては, 高レベル放射性廃棄物の地層処分にとって重要な地質環境特性を安全評価,地下施設の設計・施工 および環境影響評価の観点から,調査研究の個別目標と課題を図2.2-1に示すとおり設定している²⁾。こ れらの個別目標と課題に対する研究成果の反映を念頭において,不均質性を有する地質環境を限られ た調査量で効率的に理解していくという考え方に基づき,広域地下水流動研究と組み合わせて,四つの 空間スケールを設けて調査研究を進めている。図2.2-2に空間スケールの概念,表2.2-1に空間スケー ルと対象範囲の地層処分技術に関する研究開発における位置付けを示す²⁾。

JAEA-Review 2011-007



図 2.2-1 調査研究の個別目標と課題 3)



図 2.2-2 空間スケールの概念²⁾

表	2.2-1	空間スケー	-ルの対象範囲と位置付け ²)
---	-------	-------	---------------------------	---

	空間スケール/対象範囲	地層処分技術に関する研究開発における位置付け
リージョナル スケール	平面:数百[km²]程度 (数十[km]×数十[km]) 深さ:10[km]程度	・ローカルスケールの研究領域/境界条件の設定
ローカル スケール	平面:数十[km ²]程度 (数[km]×数[km]) 深さ:数[km]程度	・地層処分システム全体の安全評価 ・地下施設の設計のための基礎情報の収集 ・サイトスケールの研究領域/境界条件の設定
サイト スケール	平面:数[km ²]程度 (数百[m]~数[km]×数百[m]~数[km]) 深さ:2~3[km]程度	・人エバリア周辺から対象岩盤全体の安全評価 ・地下施設建設時の力学・水理状態の予測 ・ブロックスケールの研究領域/境界条件の設定
ブロック スケール	平面:数百[m ²]程度 (数十〜数百[m]×数十〜数百[m]) 深さ:数百[m]~1[km]程度	 人エバリアから生物圏までの一部における安全 評価 ・地下施設建設時の力学・水理状態の予測 ・より小スケールの研究領域/境界条件の設定

本研究の実施にあたっては、空間スケールを区分して段階的に調査研究を進め、その進展に伴う情報量の増加に応じて、地質環境特性に係る理解度(不確実性)や調査の達成度を順次評価しつつ、次の調査または段階へ移行する判断が重要であるとの考え方に基づき、図 2.2-3 に示す繰り返しアプローチを採用している²⁾。図 2.2-4 に繰り返しアプローチに基づく第1段階から第2段階にいたる調査研究の進め方を示す。



図 2.2-3 調査研究の繰り返しアプローチ²⁾



図 2.2-4 研究所用地における第1段階から第2段階にいたる調査研究の進め方2)

それぞれの空間スケールにおいて,繰り返しアプローチを適用して調査研究を合理的に進めていくた めには,繰り返しアプローチにおける「調査」→「データの解釈」→「モデル化・解析」の具体的な道すじを 示すことが重要と考えられる。本計画では,海外のサイト特性調査の事例⁴⁾を参考にして,第2段階にお ける個別目標および課題の達成に向けた,調査から概念化/モデル化/シミュレーションに至る系統的 なデータの流れを記述・整理した統合化データフロー³⁾を構築し,この統合化データフローに基づいて調 査研究を進めている。図2.2-5に第2段階の調査研究のために構築した統合化データフローの一例を 示す。

この統合化データフローは、地下施設の設計・施工および安全評価の観点から整理した調査研究の 個別目標と課題に対して、第1段階の調査研究の成果に加えて、第2段階の調査研究の種類と組み合 わせ、取得するデータの種類、データの解釈および異なる分野で得られた情報の統合など、実際の作業 の流れに沿って基本的な調査研究の進め方を示したものである。調査研究の進展に伴って蓄積された 科学的・技術的知見を踏まえて統合化データフローの妥当性を評価し、さらにその最適化および詳細化 を段階的に図ることにより、地層処分にとって重要な地質環境特性を理解するための体系化された調査・ 評価技術が整備されることになる。



図 2.2-5 研究目標/反映先と系統的なデータの流れを記述・整理したフローの例 30

2.3 超深地層研究所周辺の地質

研究所用地および正馬様用地ならびにその周辺においては,基盤をなす後期白亜紀の花崗岩(土岐 花崗岩)を新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)が不整合に覆い,さらにそれを固結度の低い新第三紀 鮮新世の砂礫層(瀬戸層群)が不整合に覆っている(図 2.3-1)⁵。



図 2.3-1 超深地層研究所周辺の地質概要

2.4 瑞浪超深地層研究所の施設概要

瑞浪超深地層研究所は,超深地層研究所計画に係わる主要な施設である地上施設と研究坑道から なる(図 2.4-1,図 2.4-2)。地上施設は,立坑掘削に用いる櫓設備と巻上設備,掘削に伴い必要となる 給排水設備,換気設備,コンクリートプラント,排水処理設備などの付帯設備,作業全体に係る設備とし ての受変電設備,非常用発電設備,資材置場,火工所,管理棟などからなる。一方,研究坑道は,主立 坑,換気立坑,二つの水平坑道群(中間ステージおよび最深ステージ),深度 300m における調査研究 用の水平坑道(深度 300m 研究アクセス坑道)および深度 100m ごとに主立坑と換気立坑をつなぐ予備ス テージなどからなる。深度 300m 研究アクセス坑道については,2008 年度に,以下に示す理由により設置 することとした。



図 2.4-1 瑞浪超深地層研究所の地上施設



⁽坑道の位置や長さなどは計画であり、地質環境や施工条件などにより決定していく。) 図 2.4-2 瑞浪超深地層研究所の研究坑道イメージ図

平成 12 年 6 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 6 月, 法律第 117 号, 以下,「最終処分法」)が公布され, この法律に基づき同年 10 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関 する基本方針」⁶⁾(以下,「基本方針」)および「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」⁷⁾(以下, 「最終処分計画」)が定められた。この「基本方針」および「最終処分計画」は, 今後の技術の変化など,事 情の変更に応じて所要の見直しを行うものとされており, 平成 20 年 4 月に改定が行われた。改定された 「基本方針」では,『研究開発機関は, 最終処分の安全性, 信頼性について, 分かりやすい情報発信に 努めるとともに, 深地層の研究施設等においては, 当該研究施設や研究開発の内容の積極的な公開等 を通じて, 特定放射性廃棄物の最終処分に関する国民との相互理解促進に貢献していくことが重要であ る』とされている。「最終処分計画」では, 精密調査地区選定時期が平成 20 年代前半から平成 20 年代中 頃に, 処分施設建設地選定時期が平成 30 年代後半から平成 40 年前後に変更された。一方, これまで の瑞浪超深地層研究所における調査研究により得られた地質環境情報などから, 深度 300m 付近は, 調 査研究の対象となる結晶質岩中に位置しているが、それよりも深部の花崗岩とは異なる地質条件(割れ 目が多く湧水の可能性がある)を有していることが明らかとなっていた。

以上のような「基本方針」と「最終処分計画」の改定およびこれまでの調査研究で得られた成果を鑑み ると、深度 300m に研究坑道を設置し調査研究を実施することにより、深部での調査研究の成果とあわせ て技術の高度化が可能となること、研究の場を早期に確保し時間のかかる調査研究を進めることができる こと、研究の場を広く一般に公開することで地層処分に関する国民との相互理解促進に貢献できることか ら、2008 年度に深度 300m において調査研究用の水平坑道を整備することとした。

なお,研究坑道のレイアウトは,今後,研究所用地で取得される地質環境の情報に基づき必要に応じ て見直す。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構: "超深地層研究所地層科学研究基本計画", JNC TN7410 2001-018 (2002).
- 2) 核燃料サイクル開発機構: "高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築-平 成 17 年取りまとめー分冊 1 深地層の科学的研究-", JNC TN1400 2005-014 (2005).
- 3) 太田久仁雄, 佐藤稔紀, 竹内真司, 岩月輝希, 天野健治, 三枝博光, 松岡稔幸, 尾上博則: "東濃 地域における地上からの地質環境の調査・評価技術", JNC TN7400 2005-023 (2005)
- Nagra: "Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I and II", Nagra Technical Report NTB96-01(1997).
- 5) 糸魚川淳二: "瑞浪地域の地質", 瑞浪市化石博物館専報, No1, pp.1-50 (1980).
- 6) 通商産業省(2000): "特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定めた件", 平成12年10月2日, 通商産業省告示第591号.
- 7) 通商産業省(2000): "特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画を定めた件", 平成12年10月2
 日,通商産業省告示第592号.

3. 2009 年度の調査研究の概要

2009 年度の調査研究は、「超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)」¹⁾に基づいて実施し、概ね 当初計画通り実施できた。以下に各調査研究の概要を示す。なお、詳細については、第4章以降に記 述する。

3.1 研究所用地における調査研究の概要

研究所用地では,第1段階における調査研究を2004年度までに終了し,第2段階における調査研究 として,研究坑道の掘削を伴う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による深部 地質環境の変化の把握,研究坑道の施工・維持・管理に係る工学技術の有効性の確認および研究坑道 を利用した研究段階の調査研究計画の策定を進めている。以下に,地質・地質構造,岩盤力学,岩盤水 理,地下水の地球化学および物質移動の調査研究に関する2009年度の成果の概要を示す。詳細につ いては,第4章以降に個別に記述する。

地質・地質構造に関する調査研究では、第1段階において構築した地質構造モデルの妥当性を確認 するために、研究坑道の掘削に伴う壁面調査、弾性波探査(逆 VSP 探査)および電気探査による地下水 流動モニタリングを実施した。また、これらの調査研究で得られた情報を用いて、第1段階で構築したサ イトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認を行うとともに、ブロックスケールの地質構造モデルを構 築するためのデータセットの整備を行った。その結果、壁面調査により、主立坑に分布する断層の深度 約460m までの変形や変質の不均質性、換気立坑においては高角度を有する透水性割れ目の分布や 特徴を把握した。また、逆VSP探査ではMIZ-1号孔などの調査において確認されている規模の大きい断 層と一致する不連続構造を抽出するとともに、電気探査による地下水流動モニタリングでは微弱な応答 から信号成分を抽出するための解析手法を確立した。これらの調査結果を踏まえ、サイトスケールの地質 構造モデルを更新するとともに、ブッロクスケールの地質構造モデルについては、データセットの整備とし て、充填鉱物の種類、透水性などの指標に基づく定性的な割れ目の類型区分などを実施した。

岩盤力学に関する調査研究では、岩盤の長期挙動の予測、坑道周辺の掘削影響領域の予測および 第1段階で作成した岩盤力学モデルの妥当性を確認するために、長期挙動に関する現象論的研究や 理論的研究、クラックテンソルモデルによる坑道周辺岩盤の変形挙動予測解析、原位置で採取した試料 を用いた室内試験を実施した。岩盤の長期挙動に関しては、一軸圧縮試験結果と本研究で開発したコ ンプライアンス可変型構成方程式による解析結果が概ね一致した。また、石英の溶融量が作用する応力 に依存することが明らかとなった。これらのことから、次段階として長期間におよぶ原位置における検証試 験の準備が整った。また、微視的な岩盤の長期変化について、結晶質岩中の石英などのケイ酸塩鉱物 の溶融現象が一因となる可能性を示すことができた。掘削影響の予測では、地表からの調査結果に基づ く変形解析結果は地圧の方向や割れ目の方向と調和していたことから、クラックテンソルモデルのような 割れ目分布の特性を考慮する変形解析手法は掘削影響領域の予測に有効であることを示すことができ た反面、地上からの調査段階での割れ目の幾何学特性評価精度の向上が課題となることが明示された。 力学モデルの妥当性の確認では、第1段階で作成した力学モデルは、第2段階で実施中の室内試験結 果や初期応力測定結果と概ね整合していることが分かった。このことから第1段階で作成した岩盤力学 モデルは現時点では概ね妥当であることを示した。

岩盤の水理に関する調査研究では,第1段階で構築した水理地質構造モデルの妥当性確認に係わる方法論の整備および研究坑道の掘削に伴う地下水位や地下水圧といった地下水流動場の変化の把握を目的とした調査研究を実施した。具体的には,地下水流動場の変化を把握するための湧水量計測および地下水長期モニタリングを継続的に実施するとともに,地下水長期モニタリングなどから得られる情報に基づき,サイトスケールの水理地質構造や地下水流動場の解釈および水理地質構造モデルのキ

ャリブレーションを実施した。また、キャリブレートした水理地質構造モデルに基づく地下水流動解析を実施し、研究坑道の掘削に伴う地下水位分布や水頭分布の変化、研究坑道における湧水量や湧水区間などを推定した。さらに、ブロックスケールの水理地質構造モデルを構築した。これらの調査・モデル化・解析作業を通じて、第1段階で構築した水理地質構造モデルの更新の考え方(調査データの使用方法を含む)を検討し、湧水量や水圧変化に基づく水理地質構造モデルの更新の流れを整理した。さらに、地質環境情報の統合的解釈による地質環境モデルの更新の流れを整理した。

地下水の地球化学特性に係わる研究では、第1段階で構築した地下水の地球化学概念モデルの妥当性を確認することおよび研究坑道掘削が地下水の水質分布に与える影響を把握することを目的とした水質観測ならびに三次元での非定常移流分散解析を実施した。水質観測の結果、堆積岩浅部にNa-HCO3型地下水が分布し、堆積岩深部および花崗岩中にはNa-Cl型地下水が分布していることが示され、第1段階の調査研究において構築した地球化学概念モデルと整合的であった。また、坑道周辺の水質分布については、研究坑道掘削による地下水流動状態の変化と対応した水質変化が、水質観測および水圧観測から示されている。非定常三次元移流分散解析により、深部の地下水が上昇することによる水質分布の変化が再現できたことから、本手法は研究坑道掘削に伴う水質分布の変化を予測するための手法として有効であると考えられ、研究坑道掘削による地下水流動場の変化に伴う水質についても把握されつつある。これらのことから、第2段階での採水調査により研究坑道掘削の影響による水質分布の変化を把握し、第1段階で得られた調査研究結果に基づいた三次元移流分散解析との比較を行うことで、第1段階で構築した地下水の地球化学概念モデルの妥当性を確認することが可能である。

地質環境モデルの構築・更新を繰り返すことにより,地質環境特性データの過不足や不確実性の低減の程度を把握でき,地質環境特性の調査手法および調査技術の有効性の確認ができるとともに,次の段階の研究課題の抽出が可能になると考えられる。また,抽出された課題に対して目的を明確にした調査が実施可能となる。これにより,適用した一連の技術の有効性を確認しつつ,深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備していくことが可能になると考えられる。

物質移動に関する調査研究では、物質移動試験計画を策定するために重要となる物質の遅延特性 に関する既存情報(物質の収着・拡散特性、物質移動に寄与する空隙構造や空隙率、コロイド/有機物 /微生物が物質移動に及ぼす影響など)を収集・整理し、試験計画立案の方針を検討した。

3.2 研究所用地における施設建設の概要

研究所用地では、2003年7月より研究坑道の掘削を開始した。2009年度は、主立坑では深度300.2m ~459.6m、換気立坑では深度331.2m~459.8mまで掘削した。深度400mレベルでは、主立坑と換気立 坑をつなぐ予備ステージが貫通した。2009年度の立坑掘削において、主立坑では、掘削壁面の自立性 が低い領域については、地山補強(シリカレジン注入)を行うことにより安定性の改善を図りつつ掘削を行った。換気立坑では、湧水量を抑制する対策として、深度約421m~428m、深度446m~453mの区間に おいてプレグラウトを実施した。また、研究坑道の掘削に伴う周辺環境への影響の有無を確認するため、周辺環境モニタリングを継続した。

3.3 正馬様用地における調査研究の概要

正馬様用地では,超深地層研究所計画の全体目標のひとつである,深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備に関連し,これまでに蓄積してきた月吉断層とその周辺の地質環境に関する情報や,ボーリング孔などの研究資源を利用した要素技術開発の場として活用し,研究所用地での調査研究の効率化を図るための要素技術の高度化に向けた調査研究を実施してきている。

2009 年度は、2008 年度に引き続き、断層に着目した地下水流動場の把握を目的として、正馬様用地内の深層ボーリング孔を用いた地下水の長期モニタリングおよび地下への涵養量の把握を目的とした表

層水理観測システムによる表層水理観測を継続した。

参考文献

1) 日本原子力研究開発機構: "超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)", JAEA-Review 2009-017 (2009).

4. 研究所用地における調査研究および施設建設

2009 年度に実施した研究所用地における調査研究および施設建設について以下に取りまとめる。研究坑道レイアウトおよび研究坑道における主な調査位置を図 4-1 に示す。



4.1 研究所用地における調査研究

4.1.1 地質・地質構造に関する調査研究

(1) 実施概要

2009 年度は、研究坑道の掘削に伴う壁面調査および弾性波探査(逆 VSP 探査)を継続し、研究坑道 とその周辺の地質・地質構造の分布、幾何形状、岩石・鉱物学的特徴などの情報を取得した。また、研 究所用地周辺における地下水流動を規制する断層や割れ目帯の分布を把握することを目的として、研 究坑道の掘削などに伴う地下水流動の変化を利用した、電気探査による地下水流動モニタリングを継続 した。これらの調査研究で得られた情報を用いて、第1段階で構築したサイトスケールの地質構造モデル の妥当性の確認を行うとともに、ブロックスケールの地質構造モデルを構築するためのデータセットの整 備と、それらデータセットの解析・評価手法の検討を行った。さらに、第2段階以降の調査に必要な調査 解析技術として、物理探査、地質調査、モデル化手法の高度化・体系化を継続した。なお、年度計画¹⁾ で地質調査手法の高度化として実施を予定していた簡易弾性波の計測については、予察的な計測の結 果、発振点と受振点の間隔が狭いこと(1~2m程度)、岩盤の緩みに起因すると考えられる計測値のばら つきが極めて大きいことが判明した。この課題の解決には計測時の安全確保を含めた研究坑道の掘削 方法の検討が必要であることから、当面は同計測を中断するとともに、第3段階の調査研究における適 用方法などを検討することとした。その他の実施項目については、当初計画通りに実施した。

(2) 実施内容

1) 調査試験

① 物理探査(逆 VSP 探査, 電気探査を用いた地下水流動モニタリング)

(a) 逆 VSP 探査

研究坑道の掘削進行方向の前方や研究坑道周辺の地質構造の三次元分布を推定する技術を整備 することを目的として,主立坑の掘削に伴う発破振動(堆積岩部:深度約 25m 間隔,花崗岩部:深度約 50m 間隔)を利用した逆VSP 探査を実施している。本調査は2005 年度から開始し,これまでに計7回(主 立坑深度:52.8m, 80.9m, 106.5m, 135.8m, 152.0m, 200.2m, 253.6m)の測定を実施した。

2009 年度は、主立坑の深度 301.3m における発破振動を地上に放射状に展開した測線で測定した (図4.1.1-1,表4.1.1-1,表4.1.1-2)。なお、地上に展開した測線での測定は、中間ステージが整備され る深度 500m の発破までとし、その後は、より高分解能なデータ取得が可能となる研究坑道内(中間ステ ージ)に測線を移行する予定であったが、2008 年度に深度 300m 研究アクセス坑道が設置されたことに 伴い、地上の測定を 301.3m の発破を以って終了し、研究坑道内での測定に移行することとした。



項目	仕様	
発震点	主立坑深度 301.3m の発破 1 深度	
震源	発破(単発および段発)	
受振点	逆 VSP 探査測線 No.1~5(144 点)	
受振点間隔	10m 間隔	
記録長 / サンプリング間隔	単発:2sec / 1msec	
	段発:20sec / 1msec	

表-4.1.1-1 逆 VSP 探査仕様

表-4.1.1-2 逆 VSP 探査測線と受振点数

測線夕	測線長(m)	受振占数(ab)	受振点 No	
次小水 1	深圳永 及 (111/	又派黑奴(61)	始点※	終点
No.1 測線	210	22	1	22
No.2 測線	140	15	23	37
No.3 測線	260	27	38	64
No.4 測線	590	60	65	124
No.5 測線	190	20	125	144
合計	1390	144		

※受振点 No の始点は各測線とも主立坑側に位置する

2009 年度に取得したデータとこれまでに測定した 7 回のデータを合わせて,高角度傾斜の断層を対象としたデータ処理・解析を実施した。データ処理・解析にはこれまでに技術開発として実施してきた,IP 変換法²⁾を適用し,高角度傾斜の断層の抽出を行った。なお,IPとは図 4.1.1-2 に示すように,震源位置の反射面に対する鏡像点(Image Point)のことである。

反射面の幾何学的な位置を示す IP と震源の中点(=IP 中点)を求めた結果,主立坑の南西側おいて 集中する傾向が認められ(図 4.1.1-3(a)),その範囲は主立坑の南側に位置している規模の大きい断層 (図 4.1.1-3(b)の IF_S200_13:これまでに MIZ-1 号孔のボーリング調査³⁾や反射法弾性波探査³⁾などを基 に確認・推定した断層)付近に一致することがわかった。この結果は,研究所周辺に分布する断層を推 定する手法として本手法が妥当であることを示すとともに,研究所周辺には IF_S200_13 断層と同等かそ れよりも規模の大きな断層が分布していないことを示唆するものであり,これまでの調査結果とも矛盾しな い。



図 4.1.1-2 IP (Image Point)の概念図





(a) IP 中点の空間分布(花崗岩部での発破(それぞれ 200m, 250m, 300m 付近)のデータのみ表示) (b) 既存の地質構造モデルと IP 中点分布の比較

図 4.1.1-3 逆 VSP 探査結果

(b)電気探査による地下水流動モニタリング(自然電位測定)

地下水流動を規制する地質・地質構造の分布および地下水流動の変化する場所や流動の方向を推定する技術を整備することを目的として、2008 年度に引き続き、電気探査法による地下水流動モニタリング(自然電位測定)を研究所用地周辺の地上において継続した(図 4.1.1-4、表 4.1.1-3)。



0m 100m 200m 300m 400m

図 4.1.1-4 自然電位測定の電極配置

表 4.1.1-3 自然電位測定仕様

	レコーダー部	データロガー	計測ユニット(8チャンネル/ユニット)	
		[キーエンス社製 NR-600]	スタンドアロンユニット	
		フィルター	64チャンネルエイリアスフィルター	
使用機器	電極/ ケーブル類	LANケーブル		
		基準電極ケーブル		
		電極	ステンレス製[φ10mm×長さ400mm] 炭素棒[φ5mm×長さ150mm×4本]	
测空仕堆	測定点数	80 点		
別に江尔	サンプリング間隔	1 sec		

2009 年度は,2008 年度における深度 300m 研究アクセス坑道掘削やその先行ボーリング調査 (08MI13 号孔:図 4-1)における大量の湧水の発生など⁴⁰のように地質環境に大きなインパクトを与える事 象は発生せず,研究坑道内の掘削工事や調査に伴う自然電位の変化は確認されなかった。

2009 年度は、これまでに取得した自然電位測定データについて、その時間的および空間的な特徴を分析するとともに、データに含まれる信号成分を抽出する方法などについて検討を行った。

三つの時間帯(1:00~5:15), (8:00~12:15), (16:00~20:15)のデータについて, スペクトル解析した結

果の例を図 4.1.1-5 に示す。その特徴として,取得したデータの周期 100 分以下の短周期領域(図 4.1.1-5 中の赤色点線)では、(1:00~5:15) と(8:00~12:15)および(16:00~20:15)の時間帯のノイズレベ ルが大きく異なるが、周期 100 分以上の領域(図 4.1.1-5 中の青色点線)では、各時間帯のノイズレベルの違いが小さいことが確認された。周期 100 分以下のノイズレベルの違いは、測定エリアの南方(距離 1 ~2km)の JR 中央線の運行時間(5 時~翌1 時に運行)や、企業および一般家庭の電気使用量の変化、調査エリア内を複数横断する中部電力の高圧電線の第2 深夜電力(1 時~6 時;昼間の電圧と比較して低電圧)などの人工ノイズが原因であると推測される。



※分析期間内の全データを使用して、時間毎の自然電位の平均値を求め、このうち、(1:00~5:15),(8:00~12:15),(16:00~20:15)の 各データをスペクトル解析(毎分あたりで計算)して比較

図 4.1.1-5 自然電位測定データのスペクトル解析の例

電極ごとの平均自然電位から、基準電極自身の自然電位の変化であるバイアス成分や基準電極から の距離の違いによる自然電位の変化である一次傾向面成分(以下,「空間トレンド」とする)を除去する前 後のスペクトル分布を図 4.1.1-6 に示す。その結果, 10 分,1000分の全ての周期において、基 準電極からの距離の違いに起因する北東-南西方向の自然電位の勾配(一次傾向面)が除去されている ことが確認できる。さらに、空間トレンド除去後のデータから、各電極の自然電位変化の時間的な傾向(以 下,「時間トレンド」とする)を除去する前後のスペクトル分布を図 4.1.1-7 に示す。その結果、時間トレンド 除去後のスペクトル分布は、10分、100分、1000分の周期に関係なく同様の傾向を示していることから、 時間トレンド除去後のデータには地下水流動による信号は含まれておらず、信号は除去した時間トレンド 中に含まれているものと考えられる。また、周期 10分のスペクトル分布は、時間トレンドの除去の前後で ほとんど変化していないことから、信号はおおよそ周期 100分以上に含まれると考えられる。

以上のことから,信号が微弱な自然電位測定において,信号成分を抽出する方法として上記のような スペクトル解析の適用が有効であることがわかった。今後は,これまで取得したデータに対して上記の方 法を用いた評価を行う。

なお、本探査は、瑞浪市民公園の地下壕内(以下、地下壕内という)を除き、2009 年度末をもって測定 を終了し、測定機材を撤去した(図 4.1.1-4)。今後は、主立坑断層とその周辺の割れ目の水理地質構造 に着目して、地下壕内と研究坑道内の測定(4.1.1.(2)3)①(b))を組み合わせた調査を継続する予定であ る。



図 4.1.1-6 一次傾向面除去の前後のスペクトル分布



図 4.1.1-7 時間トレンド除去の前後のスペクトル分布

②研究坑道の壁面調査

研究坑道の壁面調査の 2009 年度調査範囲を表 4.1.1-4 に示す。また, 壁面調査の主な実施事項を 表 4.1.1-5 に示す。2009 年度は, 主立坑については深度 300.2~459.6m, 換気立坑は深度 331.2~ 459.8m, および深度 400m 予備ステージにおいて調査を実施した。

研究坑道	調査範囲
主立坑	・深度 300.2~459.6m
換気立坑	・深度 331.2~459.8m
水平坑道	・深度 400m 予備ステージ

表 4.1.1-4 2009 年度の壁面調査範囲

実施項目	計測仕様
壁面地質調査	・地質・地質構造マッピング ・可視画像撮影 ・岩石,湧水試料の採取 等
壁面物性計測	 ・岩盤分類評価(電研式, RMR 法, 新 JH 式) ・岩盤物性計測(シュミットロックハンマー計測, 帯磁率計測等) ・三次元レーザー計測(分解能約3.8mm:主立坑, 深度400m 予備ステージの一部)
調査時間	 ・立坑:2.6m 壁面高に対して約3時間 ・水平坑道:1.0m 側壁幅に対して約1時間

(a) 主立坑における変質を伴った断層の分布と特徴

2008年度までの調査²⁾により確認されていた変質を伴った断層は、主立坑の深度約460mまで連続することを確認した(図4.1.1-8)。断層の走向はN30°~40°Wであり、傾斜は鉛直~80°W傾斜である。 断層は、厚さ数 cm 程度の断層ガウジを伴う断層岩と断層ガウジに沿った変質帯からなり、水平成分の変 位を示唆する低角度の条線が確認される場合がある。断層ガウジは沿った変質帯からなり、水平成分の変 位を示唆する低角度の条線が確認される場合がある。断層ガウジはれ土化により原岩組織の 判別が困難である強変質帯を伴うが、深度400m付近から強変質帯の幅が概ね数十 cm 程度に限定され るとともに、前述のように400m以深では断層ガウジがほぼ1条となることから、立坑内においては深度 400m以深から変質帯の規模が縮小する傾向にある。また、深度400m付近から、湧水(表面が濡れる~ 滴水程度)を伴った断層や割れ目が増加する傾向にある。堆積岩との不整合直下(深度約167m)から断 層ガウジに近接して分布してきた貫入岩の連続的な分布は深度350m付近までに限られ、以深は大きさ 数十 cm~約1m大の暗色包有岩状に散在する^{5)など}。

主立坑に分布する断層は、変形や変質の程度が深部にかけて減少する傾向にあることが明らかになった。しかし断層の走向方向における変形や変質の規模や特徴に関する情報は取得されていない。したがって、断層の変形や変質に関する不均質性を評価するため、立坑に沿った鉛直方向の情報取得とともに、断層の走向延長部へのボーリング調査などによる情報に基づき、断層の三次元的な不均質性を評価する必要がある。

(b) 換気立坑における割れ目の分布と特徴

換気立坑においては、深度約220m付近から連続していたNW 走向を有し雁行状に配列する高角度の割れ目は深度とともに頻度が減少し、深度350m以深ではほとんど確認されない。一方、NE 走向の高角度傾斜の割れ目が深度290m以深から頻度を増し、深度350m以深では最も卓越する(図4.1.1-8、図

4.1.1-9)。NE 走向の割れ目は鉛直方向に雁行状に発達して母岩の灰色変質を特徴的に伴う。割れ目の介在鉱物としては一般的に NW 走向および NE 走向いずれも緑泥石および炭酸塩鉱物の両方あるい はどちらか一方を介在するが, NE 走向の割れ目については,緑泥石に比べて炭酸塩鉱物を介在する場 合が多く,一部では介在鉱物を欠く割れ目も認められる。

また,換気立坑においては,深度約400~460mにかけて,パイロットボーリング調査⁶⁾によりNE 走向の 高角度割れ目に関連する透水性の高い構造が確認されていたことから,立坑掘削時のさぐり削孔などの 結果に基づき,深度約421~428mおよび446~453mの区間について,立坑掘削に先立ってグラウトを 実施した(4.3(1)2)参照)。グラウト材の充填は区間中に卓越するNE 走向の割れ目に確認されるが,グ ラウト材の充填が認められない割れ目との方位的な違いは認められない(図4.1.1-10)。グラウト材の充填 状況は,トレース長の短い割れ目(概ね1m以下)については,割れ目の全トレースがグラウト材に充填さ れている場合が認められるが,トレース長が数mに及ぶ割れ目の場合は,グラウト材の充填が数+ cmか ら数mに限定されている。また,割れ目の交差部や,平行する高角度割れ目を繋ぐ低角度の割れ目にも グラウト材が認められる。換気立坑において認められた高角度を有する透水性割れ目については,深度 300m研究アクセス坑道において確認された高角度を有する透水性割れ目²⁾との成因の関連などについ て,地質構造発達プロセス(4.1.1(2)3)③参照)の解釈も踏まえた検討を行い,研究所用地およびその周 辺に分布する透水性割れ目の分布や特徴の分類を通して,地質構造モデルへ反映していく。



図 4.1.1-8 壁面地質調査の結果



図 4.1.1-10 換気立坑深度 444.2~459.8m の壁面展開図(左)と割れ目のシュミットネット(右)

2) モデル化・解析

①地質構造モデルの構築・更新

(a)サイトスケールの地質構造モデル

2009 年度は, 立坑深度 300m までの地質調査結果(2008 年度に実施²⁾⁴⁾に加え, 深度 301.3m の逆 VSP 探査(4.1.1(2)1))の結果などを追加したデータセットを整備した(表 4.1.1-6, 図 4.1.1-11)。

表 4.1.1-6 地質構造モデルの更新のためのデータセット²⁾

モデルの更新にあたっての検討事項	整備したデータセット
断層およびダメージゾーン(割れ目帯または変質帯)等の 不連続構造モデルの新規構築	▶ボーリング調査結果:総合柱状図 07MI07 号孔, 07MI08 号孔, 07MI09 号孔, 08MI13 号孔, 09MI20 号孔, 09MI21 号孔
低角度傾斜を有する割れ目の集中帯(LAFZ : <u>L</u> ow <u>A</u> ngle <u>F</u> racture <u>Z</u> one)の下底面モデルの形状修正	 > 壁面地質調査結果:観察記載・スケッチ 主立坑,換気立坑,深度 300m ステージ > 孔間(06MI03-07MI08 号孔)トモグラフィ探査結果 300m 株はひを図
主立坑に沿って分布する断層およびダメージゾーンのモ デル形状の修正	 → 弾圧波速度万和図, L1私前方和図 > 逆 VSP 探査結果 反射面の解釈断面 IP 変換(再解析)に基づくIP 中点の空間分布



図 4.1.1-11 地質構造モデルの更新データセットの空間配置²⁾

これらのデータセットをもとに、モデル化の対象とする長さ 200m 以上の不連続構造 ⁷⁾の有無の確認, ボーリング孔で確認した低角度傾斜を有する割れ目の集中帯(Low Angle Fracture Zone:以下, LAFZ) 下限深度と LAFZ 下底面モデルの分布深度との比較,主立坑の壁面で確認した断層およびダメージゾ ーン(割れ目帯または変質帯)とそれらのモデル分布位置との比較を行った。その結果,割れ目帯を形 成する脆弱部(一部の割れ目帯は湧水/逸水帯として機能)がいくつか確認されたものの(図 4.1.1-11),

JAEA-Review 2011-007

これらは、割れ目帯の規模や地質学的特徴から研究所用地を超える規模の断層に相当する不連続構造 ではなく、サイトスケールの地質構造モデルにおいて新規に構築すべき地質構造要素はなかった。また、 ボーリング孔で確認したLAFZ下限深度は、既存のLAFZ下底面モデルの分布深度とほぼ一致していた。 主立坑に沿って分布する断層モデルは、深度 300m 水平面上で、既存の地質構造モデル (Substage200:既存モデルに、主に深度 200m 予備ステージの調査・試験結果を追加して更新したモデ ル)における予測位置と坑道掘削面における確認位置との離隔約 6.8m などを踏まえ、断層およびダメー ジゾーンの形状を修正した(図 4.1.1-12)。なお、更新した地質構造モデルの名称は、既存モデルに、主 に深度 300m ステージの調査・試験結果を追加して更新したモデルであることから、"Stage300"地質構造 モデルとした。



図 4.1.1-12 更新した地質構造モデル(Stage300)

研究坑道内での調査試験によって取得される地質情報は増加・蓄積されているものの, 調査試験の 範囲はサイトスケール領域³⁾のごく一部であり, サイトスケール領域全体でみれば, 得られる情報は離散 的で情報量の粗密の差が著しい。このような状況は原子力発電環境整備機構が行う実際のサイト特性調 査においても生じる可能性が高く, 今後も引き続き, 離散的な取得情報間における地質構造分布の予測 手法(補間手法)を高度化するとともに, 取得情報量にばらつきのある空間における地質構造モデルの 妥当性を評価する手法について検討を進める予定である。

(b) ブロックスケールの地質構造モデル

ブロックスケールでモデル化の対象とする地質構造要素のうち, 岩盤中の割れ目は地質環境の不均 質性の要因の一つであり, その方位・大きさ・空間分布の推定は, 地下水流動経路や物質移動の解析の 基礎となるブロックスケールの地質構造モデルにおいて重要である。

2009 年度は, 2008 年度に整備した概念モデル構築のためのデータセットに加え, ボーリング調査 (09MI20 号孔, 09MI21 号孔:図 4.1.1-11)の岩芯観察とボアホールテレビの解析結果, 孔内検層結果を もとに、多変量解析を用いた岩盤中の脆弱部に関する区間判定⁸を行った。なお、解析に用いた変量は、 割れ目密度・RQD(Rock Quality Designation)・孔径・湧水量・電磁フローメーター検層結果(流量)であ る。その結果、抽出した割れ目帯を形成する脆弱部(一部の割れ目帯は湧水/逸水帯として機能)に、 それぞれ代表的な方位を与えて三次元で可視化した(図 4.1.1-13)。



図 4.1.1-13 ボーリング孔の検層データ等の多変量解析結果 (抽出された脆弱部の三次元可視化像)

また,割れ目単体の空間分布については,研究坑道の壁面地質調査結果に基づくデータセット(割れ 目トレース線の三次元位置情報)を用いて可視化することができる。2009 年度は,研究坑道の深度 300m ステージで確認した割れ目について,充填鉱物の種類,母岩の変質状況,透水性,割れ目の卓越方位 などの指標に基づく定性的な割れ目の類型区分を実施した(表 4.1.1-7)。深度 300m 研究アクセス坑道 で確認した割れ目を対象に,類型区分に従い,個々の割れ目を分類するとともに,これらの方位・大きさ・ 空間分布を三次元で可視化した(図 4.1.1-14)。

割れ目単体のモデル化にあたり、その大きさは割れ目のトレース線の長さに基づく円盤形状の直径として与えている。これは、可視化するうえでの処理にすぎず、割れ目の大きさを推定したものではない。また、割れ目の空間分布については、壁面地質調査では抽出の対象とならない母岩中の微小な割れ目もボーリング孔データなどから抽出し、それらの割れ目の統計量を算出してマルチスケールで推定する必要がある。今後は、割れ目の空間分布や性状に関する統計量に基づく確率論的モデルの構築も並行しつつ、調査試験結果に整合する割れ目の空間分布モデルを構築する予定である。

タイプ	充填鉱物	母岩変質	開口・湧水・ グラウト	透水性への 影響	変形時階	時期目安 Ma	温度目安 ℃	備考
I 割れ目(高温型)	Chl	無し	少ない	遮水性	1~2	69-43	300-200	母岩変質は無いが、緑泥石を介在する
Ⅱ 断層	-	強変質	僅少	遮水性	2	64-43	400-300	ガウジを有し,塩基性貫入岩や岩級Dの強変質部をともなう
Ⅲ 割れ目(高温変質型)	Chl	緑色·白色	少ない	遮水性	2	64-43	300-200	割れ目を通じて母岩を幅数㎝程度に緑色変質させる
Ⅳ 割れ目(低温型)	Carb, Cl, 無し	橙色・グレー	有り	透水性	1~3	69-24	<200	ChlもCarbともに充填している場合は、IVと認定する
V 割れ目(低角度)	Carb, 無し	無し	有り	透水性	3~4	43-22	<100	傾斜30°以下の割れ目

表 4.1.1-7 深度 300m ステージで確認された割れ目の類型区分

5	タイプ	区分する上での特徴					
I 害	別れ目(高温型)	断層ガウジや母岩変質は認められず、緑泥石を充填する割れ目					
Ⅱ 断	斤層	断層ガウジを伴う割れ目(すなわち断層)					
Ⅲ 割	別れ目(高温変質型)	断層ガウジは無く、母岩に白色・緑色変質を生じさせた割れ目					
IV 害	別れ目(低温型)						
V 割	別れ目(低角度)	断層ガウジや母岩変質は認められず,割れ目の傾斜が30°以下の割れ目					



図 4.1.1-14 深度 300m 研究アクセス坑道周辺の割れ目のトレース線(上)と面状構造モデル(下)
3)技術開発

①物理探査手法の高度化

(a)弾性波探査における断層・割れ目帯抽出手法の高度化

弾性波探査による断層・割れ目帯の抽出手法を整備することを目的として,逆 VSP 探査データを用いた地震波干渉法および IP(Image Point)変換法の解析²⁾を継続して実施した。

研究坑道を利用した予備試験として,深度 300 m 研究アクセス坑道でボーリング孔掘削時の振動を測 定し,地震波干渉法を用いて水平構造に着目した解析を実施した。

なお、地震波干渉法は、図 4.1.1-15 の概念図で示すように、地中の震源からの波を受振点 A と B の 二点で測定し(図 4.1.1-15:左)、それらの相互相関処理を行うことにより、受振点 A を仮想震源として受 振点 B で受振した記録を合成(図 4.1.1-15:右)できる手法である。合成された記録は反射法弾性波探査 と等価な記録であり、通常の反射法弾性波探査の処理・解析が適用可能となる。



図 4.1.1-15 地震波干渉法の概念図

測定は,深度 300m の花崗岩部に掘削された深度 300m 研究アクセス坑道内に測線を設置し(図 4.1.1-16),主に深度 300m 予備ステージで実施されたボーリング(09MI20 号孔)の掘削振動を取得した。 測定仕様を表 4.1.1-8 に示す。



図 4.1.1-16 測定レイアウト(深度 300m 研究アクセス坑道)

JAEA-Review 2011-007

項目	仕様	
測定点数	41ch	
測定点間隔	2m	
測線長	80m	
サンプリング間隔	1msec	
記録長	20 時間	

表 4.1.1-8 測定仕様

解析の結果得られた反射断面を図4.1.1-17に示す。得られた反射断面からは、水平方向の連続性に 着目してみると、0~50 ミリ秒において振幅があり比較的連続するイベントがいくつか確認される(図 4.1.1-17の矢印)。



図 4.1.1-17 解析により得られた反射断面

抽出されたイベントが,連続した割れ目帯からの反射波に起因したものかどうかを検討するために,数値シミュレーション解析を実施した。

換気立坑のパイロットボーリング孔の孔内検層やボアホールテレビデータを参照し,花崗岩内の水平 坑道下に割れ目帯が分布する速度構造モデルを作成し,シミュレーションデータを作成した(図 4.1.1-18, 表 4.1.1-9)。



図 4.1.1-18 使用した数値シミュレーションモデル

項目	仕様	
測定点数	41ch	
測定点間隔	2m	
測線長	80m	
震源波形	リッカーウェーブレット	
震源周波数	200Hz	
記録長	50msec	
サンプリング間隔	0.1msec	

表 4.1.1-9 シミュレーション仕様

シミュレーションで得られたデータに対して地震波干渉法解析を実施した結果を図 4.1.1-19 に示す。 数値シミュレーション結果には割れ目帯からの明瞭な反射波を確認することができ,実際の解析結果で 認められた比較的連続性の良いイベントが,割れ目帯からの反射波である可能性が示唆される。

今後は,深度 300m 研究アクセス坑道の同区間において取得した主立坑の深度 440m 付近の発破振動データの解析作業を実施し,研究坑道周辺の断層や割れ目帯等の不連続構造を対象とした詳細な 解析評価を実施する予定である。



図 4.1.1-19 数値シミュレーション結果

(b) 電気探査(自然電位測定)による地下水流動モニタリング技術の開発

地下水流動を規制する地質・地質構造の分布および地下水流動の変化する場所や流動の方向を推定する技術を整備することを目的として、深度300m研究アクセス坑道を利用した自然電位測定を実施した。自然電位測定は、深度300m予備ステージでのボーリング孔(図4.1.1-18の09MI20号孔)の掘削期間を含む、2009年7月18日から9月24日に実施した。受信測線は、深度300m研究アクセス坑道の坑壁に沿って1測線を設け、2m間隔で40点に炭素棒電極を設置した。基準電極は、測線から約10mの地点に設置し、データ取得は、測定期間中、常時1秒間隔で行った。自然電位測定電極配置を図4.1.1-20に、測定の仕様を表4.1.1-10に示す。



JAEA-Review 2011-007

使用機器	レコーダー部	データロガー	計測ユニット(8チャンネル/ユニット)	
		[キーエンス社製 NR-600]	スタンドアロンユニット	
		フィルター	64チャンネルエイリアスフィルター	
	電極/ ケーブル類	LANケーブル		
		基準電極ケーブル		
		電極	炭素棒[φ5mm×長さ150mm×4本]	
測定仕様	測定点数		40 点	
	サンプリング間隔	1 sec		

表 4.1.1-10 自然電位測定仕様

自然電位測定の結果,深度 300m 研究アクセス坑道掘削のための先行ボーリング掘削時に 1,200L/ 分の湧水に遭遇した区間において,自然電位の上昇が確認された(図 4.1.1-21)。この自然電位が上昇 した区間は,測定期間中に壁面の亀裂から湧水が確認された区間とも一致することから,深度 300m 研 究アクセス坑道周辺の透水性構造を捉えていると考えられる。また,2009 年 8 月 4 日から 9 月 3 日に実 施された深度 300m 予備ステージにおける 09MI20 号孔のボーリング掘削に伴う湧水量(排水量-送水 量)の増加が確認された際には,全測点においておよそ 5 分後に自然電位の低下が確認され(図 4.1.1-22),ボーリング掘削に伴う地下水流動に対する自然電位の応答を確認することができた。

今後は、今回の測定に加えて深度300mステージの南西部にも測線を配置し、主立坑で確認されている断層や周辺の割れ目帯の地下水流動への影響について、地上での測定と合わせて検討していく予定である。



※既存の深度 300m 研究アクセス坑道水平スライス断面(岩級分布・グラウト充填割れ目・先行ボーリング時の湧水量)に自然電位変 化量, 坑壁からの湧水箇所を重ねて表示。自然電位の時間変化量は 2009 年 9 月 1 日午前 11 時 00 分の各測点における自然電位 を基準値として, 同 9 月 1 日午前 11 時 42 分の自然電位から基準値を差し引いた値で算出

図 4.1.1-21 2009 年 9 月 1 日 11 時 42 分の自然電位の時間変化量(△SP)と湧水量の比較



②地質調査手法の高度化

地質構造モデルの検討結果などを効率的に地下施設の設計・施工(図 2.4-1)に反映させる技術とし て,壁面物性計測(表 4.1.1-5)により取得された情報に基づき,地質構造と岩盤物性の関連について検 討を行っている。主立坑には前述の通り変質を伴った断層が分布しており,岩盤の変質の特徴と岩盤物 性が関連する可能性が高いことから,(変質)鉱物の種類の違いなどに起因する反射スペクトルの相違に 着目した分光計(ハイパースペクトルカメラ⁹⁾)計測による岩盤性状の区分に関する検討を行った。具体 的には第1段階の調査研究で実施したMIZ-1号孔のボーリング調査³⁾により取得したコアのうち,主立坑 に分布する断層と同様の性状を有するコアを対象に,密度検層,速度検層および割れ目密度に基づい て区分した変質性状¹⁰⁾について,分光計を用いて相対反射率を計測した(図 4.1.1-23)。その結果, 450nmおよび800nm付近の波長領域において相対反射率が変質の程度により異なることが確認された。 ボーリングコアの切断面における相対反射率と鉱物の分布の検討から,450nm および 800nm 付近の波 長領域の相対反射率の相違は雲母類の分布の有無を反映している可能性が高い結果が得られており, 同手法は主立坑における断層の変質の特徴である雲母粘土鉱物²⁰の量比に着目した変質区分に利用 できる可能性が示唆された。本計測は非破壊・非接触で,かつ計測時間は数分程度であることから,上 述の結果と合わせて,効率的な岩盤物性(性状)の把握に活用できるものと考えられる。





③地質構造モデル化手法の高度化

2009 年度は、地質構造モデルが有する不確実性の評価や不確実性の低減(調査の質・量が十分で ない領域の地質分布の推定など)を図るために、地球統計学や地質構造発達過程の復元シミュレーショ ンを複合した地質構造分布の推定技術を整備した。

地質構造モデルの構築に資する技術のひとつとして、マルチスケールでの亀裂の空間分布モデル化 手法について研究開発を行った。研究所を中心とする東西12km、南北8km(深度方向に1.5km)の領域 を対象に、鉱物粒子間の亀裂から断層やリニアメントに相当する大きさまでの不連続構造を抽出し、地下 水の透水係数・水質データの特性も踏まえて地球統計学的にそれらの空間的相関構造を解析した結果、 以下の成果が得られた。

- ・地球統計学を用いた亀裂の空間分布シミュレーションコード(GEOFRAC)¹¹⁾を用いた解析により、 研究坑道の壁面地質調査結果を含む異なるスケールの亀裂を比較したところ、単位面積あたりの 累積頻度分布と長さとの関係は、長さが中央値以上の範囲において、べき乗則で近似できること を確認した。また、亀裂密度分布のセミヴァリオグラム(空間的な相関性の尺度)に関して、レンジ (相関が 0 となる最小距離)と長さの中央値が正の相関を、シル(セミヴァリオグラムの上限値)と長 さの中央値が負の相関を示すことを確認した(図4.1.1-24)。これらの関係から、マルチスケールの 亀裂分布を空間的に表現することが可能であり、確率論的なモデルを構築できる。
- GEOFRAC に含まれる逐次ガウスシミュレーション手法により亀裂と透水係数の空間分布を総合的に解析したところ,異方性が認められるとともに,透水係数の大きな亀裂の方向が最大主圧縮応力軸および阿寺断層(活断層)の方向と調和的であることが示唆された(図 4.1.1-25)。



図 4.1.1-24 亀裂の長さ(中央値)と密度分布セミヴァリオグラムのレンジ(左)とシル(右)との関係



図 4.1.1-25 亀裂の透水係数と走向(左)および走向・傾斜(右)との関係

また、研究所用地およびその周辺で確認される地質・地質構造に関する調査結果や、既往の研究事 例、ならびにアナログ実験や数値シミュレーションによる地質構造発達プロセスの復元により、未調査領 域への既知の地質構造の外挿や未発見の断層分布の予測、不確実性を評価する技術の開発を目標と して、地質構造発達プロセスに基づく地質モデリング技術の開発を継続した。さらに、研究所用地および その周辺のボーリングコアを用いて主に花崗岩を対象とした古応力解析を実施するとともに、既往の研 究事例の収集・解析を行い、京都大学との共同研究として実施したアナログ実験の結果も踏まえ(5.(1) ①参照)、月吉断層を含めた研究所用地およびその周辺の地質構造発達プロセスを構築した(表 4.1.1-11)。それによると花崗岩体の形成後の早い時期に、既に主立坑に分布する断層や月吉断層の原 型が形成され(表 4.1.1-11の 64-43Ma に相当)、その後の日本海拡大に伴うリフト形成により、瑞浪層群 の堆積と研究所用地の花崗岩上面に認められるチャンネル構造(月吉チャンネル)の形成が開始された と推定した。本発達プロセスについては、瑞浪層群堆積時の古応力解析の実施や、その他の地域にお ける中新統堆積益の形成との関連などの確認および想定される発達プロセスのオプションケースに関す る検証による発達プロセスの妥当性の確認が課題であることから、今後も検討を継続する。

その他,地質・地質構造モデルの不確実性を評価するための手法の整備として、ベイズ法を用いた断層の存在確率分布の可視化^{12),13)}とその出力データを定量的に評価するセルエントロピー¹⁴⁾を組み合わせた不連続構造の不確実性評価ツールを構築した。

年代(Ma)	応力状態	イベント・参考文献	本地域のイベント
69-64	σ ₁	土岐花崗岩の定置・冷却の開始 Yuguchi et al., in prep	花崗岩の冷却が割れ目形成を促す
64-43	σ ₁ σ ₃	太平洋プレートの沈み込み 高木ほか(2008)	マイクロクラック・割れ目・カタクレーサ イト・断層ガウジの形成、貫入岩の貫 入 主立坑断層の形成
43-24	σ ₁	太平洋プレートの沈み込み方向の変化 Maruyama & Seno(1986)	透水性の高角度割れ目、低角度割れ 目の形成
24-15	O3 Para	リフトの開始・第一瀬戸内期	瑞浪層群の堆積 月吉チャンネル構造の形成 → モデル実験による検証
15-14	*	西南日本弧の時計回り回転 Ito et al.,(2006)	月吉断層、主立坑断層の幾何形状が 現在の配置になる

表 4.1.1-11 地質構造発達プロセスの概要

 σ_1 :最大主応力, σ_3 :最小主応力

参考文献

- 竹内真司,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,天野健治,松岡稔幸,早野明,竹内竜史,三枝博光, 大山卓也,水野崇,平野享,尾方伸久,濱克宏,池田幸喜,山本勝,弥富洋介,島田顕臣,松井裕 哉,伊藤洋昭,内田雅大,杉原弘造:"超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)", JAEA-Review 2009-017(2009).
- 2) 鶴田忠彦, 松岡稔幸, 程塚保行, 田上雅彦, 石田英明, 早野明, 栗原 新, 湯口貴史: "超深地層研 究所計画 地質・地質構造に関する調査研究(2008 年度)報告書", JAEA-Research 2010-039 (2010).
- 3) 三枝博光,瀬野康弘,中間茂雄,鶴田忠彦,岩月輝希,天野健治,竹内竜史,松岡稔幸,尾上博則, 水野崇,大山卓也,濱克宏,佐藤稔紀,久慈雅栄,黒田英高,仙波毅,内田雅大,杉原弘造,坂巻 昌工: "超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第1段階)研究成果報告書", JAEA-Research 2007-043 (2007).
- 4) 竹内真司,國丸貴紀,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,松岡稔幸,早野明,竹内竜史,三枝博光,大山卓也,水野崇,平野享,尾方伸久,濱克宏,池田幸喜,山本勝,弥富洋介,島田顕臣,松井裕哉,伊藤洋昭,杉原弘造:"超深地層研究所計画 年度報告(2008 年度)", JAEA-Review 2010-014(2010).

- 5) 田結庄良昭:"茨城複合岩体の暗色包有物", 岩石鉱物鉱床学会誌, 79, pp.133-145(1984).
- 6) 鶴田忠彦, 竹内真司, 竹内竜史, 水野崇, 大山卓也: "瑞浪超深地層研究所における立坑からのパ イロットボーリング調査報告書", JAEA-Research 2008-098 (2009).
- 7) 松岡稔幸, 熊崎直樹, 三枝博光, 佐々木圭一, 遠藤令誕, 天野健治: "繰り返しアプローチに基づく 地質構造のモデル化(Step1 および Step2), JNC TN7400 2005-007(2005).
- 8) 鐙顕正, 天野健治: "多変量解析を利用した断層分布区間の判定", 日本応用地質学会研究発表会 講演論文集平成18年, pp.263-266 (2006).
- 9) 佐鳥新: "ハイパースペクトルの活用と技術動向", 農業機会学会誌, 70, pp.26-31 (2008).
- 10) 鐙顕正, 天野健治, 小池克明: "多変量解析を用いたボーリング孔での断層の区間判定と岩盤区分", 資源・素材 2009(札幌)-平成 21 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会講演集(2009), pp.201-204.
- 11) 小池克明, 劉 春学, 天野健治, 栗原 新:"広域的な地質構造・物性分布の空間モデル作成と有 効性の検証: 東濃地域における亀裂分布を主としたケーススタディ", 124, pp. 700-709 (2008).
- 12) Martin, J. A., Amano, K., Saegusa, H. and Matsuoka, T.: "Geoscientific studies in the Mizunami Underground Research Laboratory - Development of a methodology for evaluation of uncertainty of fault distribution", Proc. Japan Geoscience Union Meeting, G018P-021 (2005).
- 13) Martin, J. A., Umeda, K., Conner, B. C., Weller, N. J., Zhao, D. and Takahashi, M.:" Modeling long-term volcanic hazards through Bayesian inference: An example from the Tohoku volcanic arc, Japan", Jour. Geophys. Res., 109, B10208(2004).
- 14) 正路徹也:"地球科学情報の評価",情報地質,14-4, pp.285-299 (2003).

4.1.2 岩盤力学に関する調査研究

(1) 実施概要

2009 年度は、年度計画 ¹に基づき、調査研究として土岐花崗岩の試料を用いた室内物理・力学試験 を実施した。モデル化・解析としては、第1段階で構築した力学モデルの妥当性の検討を行った。また、 その結果から得られた課題の検討のため、クラックテンソルによる変形解析を行った。さらに、調査技術 開発では、岩盤の長期挙動評価手法の確立を目的とした、結晶質岩を対象とした岩石の変形挙動に認 められる時間依存性に関する研究および石英溶解などの化学-力学現象に関する研究のこれまでの成 果の取りまとめを実施した。なお、年度計画 ¹⁾で実施予定であった換気立坑深度 200m でのひずみ計測 は、換気立坑の掘削深度が約 300m (2009 年 1 月現在)とひずみ計設置深度より 100m 程度離れており、 掘削による換気立坑深度 200m の変形には影響がないこと、また設置しているひずみ計では岩盤の長期 挙動変形を計測するには精度が不足しているため、2009 年度は計測を行わなかった。

(2) 実施内容

1) 調査試験

2009 年度の調査試験では、第2段階において継続して行われている換気立坑の掘削ズリを用いた土 岐花崗岩の室内物理・力学試験結果²⁰の妥当性の確認のため、図 4-1 に示されている、06MI03 号孔の 深度 210m~230m で採取されたボーリングコアと、換気立坑の深度 430m で採取された掘削ズリを用いて クロスチェックを目的とした室内物理・力学試験を実施した。06MI03 号孔の深度 210m~230m および換 気立坑の深度 430m は、土岐花崗岩であり、今回の試験で使用した岩石試料は、中粒~粗粒の黒雲母 花崗岩で、灰白色を呈するものであった。また試験に用いた岩石試料は、風化変質の認められないもの を選定した。

JAEA-Review 2011-007

室内物理・力学試験の結果を図 4.1.2-1 に示す。各物性値とも、試料の採取地点による相違は認められないことから、岩石の物性は深度方向に概ね一様であり、立坑に分布する花崗岩体が力学的には概ね一様であると思われる。また、深度 210m~230m の P 波速度および一軸圧縮強さにおいて今回実施した試験の方が既往のデータよりも若干高い数値結果となっているが、その他では 06MI03 号孔の深度 210m~230m および換気立坑の深度 430m の位置ともに、既往のデータに概ね一致している。



図 4.1.2-1 本試験(06MI03 号孔・換気立坑)と既往試験結果の比較

2) モデル化・解析

①第1段階の予測の妥当性検討

2009 年度は,超深地層研究所計画の第1段階で構築した岩盤力学概念モデル²⁰を,第2段階の力 学調査結果³¹と比較検討し,妥当性の評価を行った。第1段階の地表からの調査(MIZ-1号孔での調査 結果)で行われた初期地圧測定および室内物理・力学試験より得られた結果を既得情報とし,構築され た岩盤力学概念モデル²⁰を図 4.1.2-2 に示す。



図 4.1.2-2 第1段階の調査に基づき構築された岩盤力学概念モデル

次に,2009年度までに第2段階で実施した岩盤力学調査の概要を示す。初期応力測定は,立坑深度 100m(06MI06号孔:図4-1)と200m(08MI14号孔:図4-1)で,コアを用いる方法(AE/DRA,DSCA)と原 位置測定法(水圧破砕法,円錐孔底ひずみ法)で実施した。また,立坑深度100m(土岐夾炭累層)およ び200m(土岐花崗岩)において,室内物理・力学試験を実施した。表4.1.2-1に,第1段階で実施した MIZ-1号孔における調査結果⁴⁾,深度100m,深度200mにおける調査結果の比較⁴⁾,表4.1.2-2および 表4.1.2-3に深度100m,深度200mにおける初期応力測定の結果⁴⁾,図4.1.2-3に第1段階と第2段 階の初期応力測定結果の比較⁴⁾を示す。

表 4.1.2-1 から,花崗岩部の粘着力以外の物性値についてはほぼ同等の値を示している。また,図 4.1.2-3 においては,表4.1.2-2,表4.1.2-3 の結果を図中に示し,第1段階でのMIZ-1号孔における初 期応力測定結果(図中凡例;●▲)と,深度100m および深度200m での初期応力測定結果(図中凡例; ○△)を比較している。図4.1.2-3より,深度200mの花崗岩部では,MIZ-1号孔の結果と比較した結果, 水平面内の最大主応力は,絶対値および方位とも調和的である。また,深度100m ではMIZ-1号孔には 比較すべき測定結果はないが,左図において,堆積岩の応力値は花崗岩部の応力値を外挿したものよ り小さく等方的であると推定できる。右図においては,水平面内の最大主応力の方位は堆積岩部も花崗 岩部も概ね一致している。このように,第1段階で実施したMIZ-1号孔での調査結果と,深度100m およ び深度200m での調査結果は概ね調和しており,このことから,第1段階で構築した岩盤力学概念モデ ルは現時点では妥当であると言え,岩盤の長期挙動予測や掘削影響領域の把握のための基礎的なデ ータとなりうることを示すことができた。ただし初期応力状態について、MIZ-1号孔における測定結果は深度 600m の断層帯付近を境に応力状態が変化していることを示していることから ⁵⁾,岩盤としての力学特性を考えるうえでは、内在する不連続構造の影響に関する予測の妥当性の検討が課題としてあげられる。

調査地点	MIZ-1 (平均值)	立坑深度 200(m) (平均値±σ)	MIZ-1 (平均值)	立坑深度 100(m) (平均値±σ)	
岩相	土岐右	花崗岩	土岐夾炭累層		
乾燥状態のみかけ比重 (乾燥相対密度)	2.62	2.62±0.01	1.47	1.51±0.11	
含水比(%)	0.41	0.24 ± 0.00	30.5	29.7 ± 4.5	
有効空隙率(%)	1.12	1.05 ± 0.09	44.3	44.6±3.6	
P 波弾性波速度(km/s)	5.45	5.42 ± 0.20	2.39	2.57 ± 0.29	
S 波弾性波速度(km/s)	2.91	3.44 ± 0.19	1.09	1.22 ± 0.12	
ー軸圧縮強さ(MPa)	173	143.2 ± 9.4	12.3	10.7±2.0	
50%接線ヤング率(GPa)	53.9	51.9 ± 4.3	4.5	4.97±1.16	
ポアソン比	0.265	0.34 ± 0.07	0.290	0.42 ± 0.05	
圧裂引張強さ(MPa)	6.48	6.32 ± 0.71	1.00	0.782 ± 0.184	
粘着力(MPa)	39.1 側圧 0-30MPa 時	16.3±0.9 側圧 0-20MPa 時	3.30 側圧 0-30MPa 時	3.99±0.68 側圧 0-4MPa 時	
内 部摩擦角(°)	52.2 側圧 0-30MPa 時	64±1 側圧 0-20MPa 時	24.3 側圧 0-30MPa 時	15.4±4.2 側圧 0-4MPa 時	

表 4.1.2-1 室内物理・力学試験の結果一覧

表 4.1.2-2 初期応力測定結果(深度 100m)

測定 地点 (mabh)	解析可 能な成 分数	ステレ オネッ ト図番	最大主応力 $\sigma_{ m l}$	中間主応力 σ_2	最小主応力 σ_3	備考
5.0	10	(a)	3.35±0.38 (9°/8°)	2.67±0.13 (144°/79°)	1.49±0.11 (278°/8°)	
6.0	12	(b)	3.28±0.07 (149°/44°)	2.03±0.09 (9°/38°)	1.59±0.05 (262°/21°)	鉛直に近い 成分無し
7.0	16	(c)	2.79±0.02 (136°/7°)	2.03±0.02 (44°/13°)	1.84±0.01 (255°/75°)	確率誤差が 最小
8.0	2			评価不能		値なし
8.5	9	(d)	2.46±0.48 (110°/20°)	1.38±1.04 (212°/30°)	-0.88±0.99 (352°/52°)	解析精度が
9.0	9	(e)	3.74±0.34 (312°/5°)	2.06±0.35 (43°/9°)	0.41±0.28 (193°/80°)	不足

06MI-06 号孔の円錐孔底ひずみ法で評価された初期応力

※初期応力は圧縮を正として大小関係(最大・最小)を示した、±値は確率誤差、 括弧内は初期応力の軸の方向(真北からの時計回り角度/傾斜伏角)を示す

測定 地点 (mabh)	解析可 能な成 分数	ステレ オネッ ト図番	最大主応力 $\sigma_{ m l}$	中間主応力 σ_2	最小主応力 σ_3	備考
12.8	16	(a)	8.2±0.3 (298°/26°)	4.0±0.4 (190°/33°)	0.7±0.3 (58°/46°)	コアディス キング発生
13.0	16	(b)	7.7±0.6 (310°/7°)	4.5±0.5 (213°/43°)	-1.4±0.5 (48°/46°)	コアディス キング発生
13.4	15	(c)	11.9±0.5 (314°/5°)	2.9±0.4 (219°/46°)	1.0±0.4 (49°/44°)	機器故障で 途中欠測
17.9	16	(d)	12.4±0.4 (300°/5°)	5.5±0.4 (203°/51°)	3.1±0.4 (34°/38°)	
18.4	11	(e)	10.4±0.3 (118°/9°)	6.6±0.2 (220°/55°)	3.0±0.3 (22°/34°)	
19.2	16	(f)	9.5±0.6 (137°/21°)	5.2±0.4 (253°/49°)	2.8±0.6 (32°/33°)	

表 4.1.2-3 初期応力測定結果(深度 200m) 08MI-14 号孔の円錐孔底ひずみ法で評価された初期応力

※初期応力は圧縮を正として大小関係(最大・最小)を示した、±値は確率誤差、 括弧内は初期応力の軸の方向(真北からの時計回り角度/傾斜伏角)を示す





〇深度100·200m調査結果

SH・Shは円錐孔底ひずみ法で得た水平3成分から計算 100mは測定地点7.0mの値、200mはコアディスキングした 2点を除く08MI-14号孔の4点を総合して評価したもの

●MIZ-1孔調査結果 SH・Shは水圧破砕法で得たもの 〇深度100·200m調査結果

SH方位は円錐孔底ひずみ法で得た水平3成分から計算 100mは測定地点7.0mの値、200mはコアディスキングした 2点を除く08MI-14号孔の4点を総合して評価したもの

●MIZ-1孔調査結果(エラーバーは確率誤差) SH方位は水圧破砕法で得たもの

図 4.1.2-3 第1段階と第2段階での初期応力測定結果の比較

②クラックテンソルによる掘削影響予測の妥当性検討

クラックテンソルとは、統計的な意味で割れ目が均質に分布している領域における割れ目の密度・大きさ・方向などの幾何学特性を表現するテンソル量である。クラックテンソルモデルは多数の割れ目を含む 岩盤を等価な連続体モデルに置き換えて解析するモデルである。クラックテンソルモデルの概要を図 4.1.2-4 に示す。



図 4.1.2-4 クラックテンソルモデルの概要

多くの割れ目を含む岩盤が巨視的な応力 σ を受けて変形するとき,発生する巨視的なひずみ ε は, 基質部に生じるひずみと割れ目に生じるひずみとの和から定式化され,式(4.1)のように表される。

$$\varepsilon_{ii} = \left(M_{iikl} + C_{iikl} \right) \sigma_{kl} \tag{4.1}$$

ここで、 M_{ijkl} は基質部のコンプライアンステンソル、 C_{ijkl} は割れ目のコンプライアンステンソルを表す。 岩盤の基質部のヤング率およびポアソン比をE, v、割れ目の幾何学特性を表す 2 階と 4 階のクラック テンソルをそれぞれ F_{ij}, F_{ijkl} 、割れ目の垂直剛性とせん断剛性をそれぞれh, gと表すと、式(4.1)は次式 のように書き換えることができる。

$$\varepsilon_{ij} = \left[\frac{1}{E}\left\{(1+\nu)\delta_{ik}\delta_{jl} - \nu\delta_{ij}\delta_{kl}\right\} + \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{g}\right)F_{ijkl} + \frac{1}{4g}\left(\delta_{ik}F_{jl} + \delta_{jk}F_{il} + \delta_{il}F_{jk} + \delta_{jl}F_{ik}\right)\right]\sigma_{kl}$$
(4.2)

ここで, *δ*_{ij} はクロネッカーのデルタを表す。

式(4.2)より、クラックテンソルはヤング率の逆数に相当するものであることがわかる。

2009 年度は、換気立坑の深度 350m の壁面観察結果とパイロットボーリングデータより深度 500m の割 れ目の分布・頻度を推定し、推定された割れ目データに基づいて、予察的な変形解析を行った。また、 第1段階の調査結果に基づくクラックテンソル(2004 年度)⁶⁰について、パイロットボーリング調査および第 2段階での壁面観察結果に基づくクラックテンソル(2009 年度)⁷⁰と比較し再検討を実施した。

第1段階の調査結果に基づくクラックテンソル(2004年度)と第2段階の壁面観察結果に基づくクラックテンソル(2009年度)の比較結果を表4.1.2-4に示す。また、それぞれのクラックテンソルに基づいて算定された岩盤の平均的なヤング率を同時に示す。その結果、第1段階で設定したクラックテンソルは、パイロットボーリング調査や壁面地質調査結果に基づき再度算定したものより小さい。この要因は主に第1

段階調査時にほとんど捉えられなかった連続性が明瞭な NE 走向の割れ目の影響によることがわかった。 これは、ボーリング孔軸の方向により、捉えられる割れ目の方向の分布が偏ってしまうことによるもので、 第1段階の地表からの調査では、ボーリングを三次元的な配置を考慮して実施し、複数のボーリング調 査により得られた割れ目データを総合的に活用することで改善できると考えられる。

	2009 年度の解析結果	2004 年度の解析結果				
解析に用いたクラックテンソル	$\begin{bmatrix} 1.484 & -0.316 \\ sym. & 0.446 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.434 & 0.076 \\ sym. & 0.546 \end{bmatrix}$				
解析結果を用いて算定された 岩盤の平均的なヤング率	14 (GPa)	23.8 (GPa)				

表 4.1.2-4 クラックテンソルの比較

表 4.1.2-5 に算定された換気立坑の深度 500m のクラックテンソル, 図 4.1.2-5 に, 算定されたクラック テンソルを用いた換気立坑の深度 500m の変形解析結果を示す。

変形解析結果は,壁面観察で確認された連続性が明瞭な NE 走向の割れ目および初期地圧の最大 地圧方向(NW)の影響を受けた変形解析結果となっている。今回の再評価結果の妥当性検証は今後の 課題ではあるが,地質調査結果に基づいた割れ目データより,不連続面を考慮した岩盤の変形挙動解 析例を示すことができた。

岩盤等級	F_0	$F_{ij} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ sym. & F_{22} \end{bmatrix}$	$F_{ijkl} = \begin{bmatrix} F_{1111} & F_{1122} & F_{1112} \\ & F_{2222} & F_{2212} \\ sym. & F_{1212} \end{bmatrix}$
СН	1.930	$\begin{bmatrix} 1.484 & -0.316 \\ sym. & 0.446 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.575 & 0.128 & 0.041 \\ & 0.122 & -0.013 \\ sym. & 0.128 \end{bmatrix}$

表 4.1.2-5 算定されたクラックテンソル





図 4.1.2-5 換気立坑の深度 500m における予察的変形解析結果

3) 技術開発

岩盤の長期挙動評価手法の確立を目的とし、岩盤の時間依存性挙動に関する現象論的研究および 理論的研究を行った。現象論的研究では、原位置において予測される挙動を実験室内において再現し、 岩石の時間依存性挙動を解明する研究を行った。具体的には、田下凝灰岩の長期クリープ試験を行っ て、時間依存性挙動を現象論から検討し、またコンプライアンス可変型構成方程式を用いて変形解析を 行い、岩盤の長期挙動予測に関する研究を行った。理論的研究では、岩盤の時間依存性挙動の主な原 因である結晶質岩の石英溶解現象を実験室内で再現し、化学・力学連成現象を解明する研究を行った。 具体的には、石英の圧力溶解について、実験条件を変え、溶解速度の応力依存性や時間変化を実験 により測定した。

①岩盤の時間依存性挙動の現象論的研究

1997 年度から継続している田下凝灰岩の長期クリープ試験では、湿潤条件、破壊強度の3割という低 応力レベル下で、10年以上経過した後でもクリープひずみは、僅かではあるが増加を示すことが確認さ れた。現状では、長期のクリープ挙動に関する知見が少ないが、破壊強度の3割という低応力下で、10 年以上経過してもなお、クリープひずみが収束せず、クリープ変形が進行していくということが確認された。 このことは岩盤の時間依存性挙動さらには長期挙動予測の把握のための重要な知見である。今後も試験の継続と現象に関する検討を行っていく必要がある(図 4.1.2-6 参照)。



図 4.1.2-6 田下凝灰岩の長期クリープ試験(横軸は時間の対数軸)

また、コンプライアンス可変型構成方程式を用いて岩石の一軸圧縮試験の解析を行い、試験結果と比較した事例を図4.1.2-7に示す。なお、試験試料は、MIZ-1号孔の深度475mのボーリングコアより採取したものである。応力は一軸圧縮強度で、ひずみは一軸圧縮強度/ヤング率でそれぞれ正規化した。解析結果は、岩石の変形挙動を良く再現しており、コンプライアンス可変型構成方程式を用いることで、弾性変形、塑性変形、破壊および破壊後の挙動と、岩石の変形挙動を弾性変形から破壊後の挙動まである程度の精度で予測することが可能であると言える。よって、2009年度までに実施した一連の研究開発により、地上からの調査予測研究段階で、調査領域の岩石の物性や岩盤の初期応力が把握できれば、実験室規模の岩石の変形挙動予測が可能な技術体系がほぼ整備できた。今後は、その技術を原位置における岩盤長期挙動予測へ発展させるために、原位置試験による検証を開始し、構築した技術体系の有効性を検証していく。



(採取位置; MIZ-1 号孔の深度 475m, 岩種; 土岐花崗岩) (応力は一軸圧縮強度で, ひずみは一軸圧縮強度/ヤング率でそれぞれ正規化してある)



②岩盤の時間依存性挙動の化学-力学現象による理論的研究

結晶質岩の時間依存性挙動をもたらす,ケイ酸塩鉱物の変形特性や溶解速度を確認することを目的 として,閉じた容器内の溶媒中で代表的なケイ酸塩鉱物である石英を試料として用い,圧力溶解させる 閉鎖溶液系(Closed-fluid)実験と,溶媒が容器を通過する下で石英試料を圧力溶解させる開放溶液系 (Flow-through)実験を行なった。開放系の試験結果を,図4.1.2-8 に示す。なお実際の地質環境は開放 系の条件に近いと考えられる。試験は3種類の圧力(7.32MPa, 13.71MPa, 21.42MPa)下で実施し,圧力 が高い方が溶融量が大きいことが確認された。また、7.32MPa および13.71MPa 下での試験では15 日を 経過するあたりでは、溶融量が一定値に収束する傾向が認められるが、21.42MPa 下の試験では15 日程 度の経過日数では溶融量は収束せず、さらに増加する傾向があることが分かった。このように、ケイ酸塩 の溶解現象が圧力に依存することを示すことができた。

今回の実験より、岩石中の鉱物の溶解による微視的な変化や変形が岩盤の時間依存性挙動、すなわちクリープ挙動や応力緩和現象に影響を及ぼすことが推定される。岩石の溶解がこのような挙動にどの 程度の影響を及ぼすのか、その影響を評価することが今後の検討課題である。



図 4.1.2-8 ケイ酸塩の圧力溶解の圧力依存および経時変化

参考文献

- 竹内真司,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,天野健治,松岡稔幸,早野明,竹内竜史,三枝博光, 大山卓也,水野崇,平野享,尾方伸久,濱克宏,池田幸喜,山本勝,弥富洋介,島田顕臣,松井裕 哉,伊藤洋昭,内田雅大,杉原弘造:"超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)", JAEA-Review 2009-017(2009).
- 2) 平野享, 中間茂雄, 山田淳夫, 瀬野康弘, 佐藤稔紀: "超深地層研究所計画(岩盤力学に関する調 査研究) MIZ-1 号孔における岩盤力学調査" JAEA-Research 2009-031 (2009).
- 3) 瀬野康弘, 中間茂雄, 山田淳夫, 平野享, 佐藤稔紀: "超深地層研究所計画における岩盤力学に関する調査研究年度報告書 (2006 年度)" JAEA-Research 2008-084 (2008).
- 4) 松井裕哉, 平野享: "超深地層研究所計画 第2段階の力学調査結果に基づく岩盤力学概念モデル の妥当性評価" 第39回岩盤力学に関するシンポジウム 講演集 (社)土木学会 講演番号10
- 5) 山田淳夫, 佐藤稔紀, 中間茂雄, 加藤春實: "瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地 層の科学的研究-水圧破砕法による初期応力測定結果と地質構造—"地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会要旨集, G018-P003 (CD-ROM) (2005).
- 6) 郷家光男, 堀田政國, 若林茂樹, 中谷篤史: "クラックテンソル・仮想割れ目モデルによる瑞浪超深地 層研究所研究坑道の掘削影響解析" JNC TJ7400 2005-058 (2005).
- 7) 郷家光男, 堀田政國, 若林茂樹, 中谷篤史: "クラックテンソルによる瑞浪超深地層研究所研究坑道の掘削影響予測解析(2009 年度)" JAEA-Research 2010-043(2010).

4.1.3 岩盤の水理に関する調査研究

(1)実施概要

2009 年度は、年度計画¹⁾に基づく調査・解析などを計画通りに実施した。具体的には、換気立坑深度 300mのボーリング横坑から掘削した地下水水圧観測ボーリング(09MI17-1 号孔、09MI18 号孔、09MI19 号孔:図 4-1)による地下水水圧モニタリングを開始するとともに、湧水量計測、地表から掘削されたボー リング孔および研究坑道内に掘削されたボーリング孔での地下水長期モニタリング、表層水理観測を継 続した。これらのモニタリングで得られた情報を用いて、2008 年度に更新したサイトスケールおよびブロッ クスケールの水理地質構造モデルの妥当性を確認するとともに、モデルを適宜更新した。また、これらの 水理地質構造モデルの更新を通じて、モデル更新の考え方を整理した。

(2)実施内容

1)調査試験

①立坑の集水リングを用いた湧水量計測

研究坑道掘削により生じる湧水は、その周辺の地下水流動場に影響を与える要因と考えられることから、湧水量の経時変化や立坑沿いでの湧水量の違いを把握するための観測を実施している。

図 4.1.3-1 に 2010 年 3 月時点での集水リングおよび流量計の設置位置を示す。両立坑には,約25m ごとに集水リングを設置し,区間ごとの湧水量(区間湧水量)を計測している。予備ステージ,ボーリング 横坑への湧水は予備ステージ直下の集水リングに集められ,立坑からの湧水と併せて計測している。な お,両立坑とも深度 0m~100m 間については,湧水量が少ないことから区間湧水量は計測せず 100m 間 の総湧水量として計測している。また,換気立坑深度 200m 連接部については,連接部周囲の側溝が集 水リングと同様の集水機能を有していることから,側溝に集められた流量を集水リングの流量としている (図 4.1.3-2 参照)。

各予備ステージには直上100m区間の湧水量を計測するための流量計を設置するとともに、研究坑道 全体からの排水量や研究坑道掘削の際に地上から研究坑道内に供給される給水量を計測するための 流量計を設置し、これらの計測値を用いて各集水リングでの湧水量の観測結果を補正している²⁾。



図 4.1.3-1 研究坑道内の排水系統図(2010 年 3 月時点)



図 4.1.3-2 換気立坑深度 200m での湧水量の計測

研究坑道掘削の進捗に伴う両立坑からの総湧水量および研究坑道全体の総排水量を図 4.1.3-3 に 示す。図中の主立坑湧水量には、7 月下旬から計測を開始した深度 300m 研究アクセス坑道からの湧水 量が含まれる。研究坑道および両立坑からの総湧水量は、立坑の掘削が進むにつれて増加している。 主立坑および換気立坑の総湧水量を比較すると、主立坑の掘削深度が 400m に達するまでの間は換気 立坑の総湧水量が概ね 50~100m³/日程度多い。また、8 月および 10 月に主立坑および研究坑道の総 湧水量が一時的に増加しているが、これは 09MI20 号孔の掘削および 09MI21 号孔の掘削に伴う湧水量 の増加と考えられる。

図 4.1.3-4 に深度 300m 研究アクセス坑道での湧水量計測開始後の両立坑からの湧水量および深度 300m 研究アクセス坑道からの湧水量を示す。深度 300m 研究アクセス坑道からの湧水量は,計測開始時 の約 150 m³/日から徐々に増加し,主立坑掘削深度が 400m に到達時に約 200m³/日となり,その後はほ ぼ一定であった。また,この間の主立坑湧水量(図 4.1.3-3 に示す主立坑湧水量から深度 300m 研究アク セス坑道の湧水量を差し引いた値)は,ばらつきが見られるものの約 100m³/日であった。このことから,図 4.1.3-3 で確認された主立坑の湧水量の増加は,深度 300m 研究アクセス坑道からの湧水量の増加であ り,主立坑からの湧水量は期間を通してほぼ一定であることが確認できた。また,主立坑と換気立坑の湧 水量を比較すると,換気立坑の湧水量は主立坑に比べ,約 250~300m³/日多いことが確認できた。



図 4.1.3-3 両立坑の掘削進捗に伴う研究坑道および両立坑の総湧水量



図 4.1.3-4 両立坑および深度 300m 研究アクセス坑道からの湧水量

主立坑および換気立坑に設置した各集水リングでの湧水量を図 4.1.3-5, 図 4.1.3-6 に示す。 WR(V)13 に関しては, 12月1日~3月24日の期間において, 流量計に繋がる配管の不具合による計測 値の異常があったため, 当期間の湧水量は, 換気立坑深度 300m~400m 間の総湧水量(図 4.1.3-1 中 の EF.8 の計側値)から同区間に設置している集水リングでの計測値(図 4.1.3-1 中の TF.14, TF.15, TF.16 の計測値)を差し引いた値を用いている。

主立坑については、観測値にばらつきが大きいものの、いずれの集水リングにおいても、概ね 20m³/ 日程度の湧水が確認できる。また、深度 300~400m に設置している全ての集水リングで、10 月に一時的 な湧水量の増加が生じているが、これは深度 300m 研究アクセス坑道での 09MI21 号孔掘削によるものと 考えられる。

換気立坑については,深度約 160m に位置する集水リング(WR(V)7)で最も湧水量が多く, 130~ 150m³/日程度の湧水が確認できる。また,その他の集水リングについては,0~50m³/日程度の湧水が確認できる。



図 4.1.3-5 主立坑における集水リングに集まる湧水



②研究坑道からの調査ボーリング孔を用いた地下水長期モニタリング

研究坑道の掘削が立坑近傍の間隙水圧に及ぼす影響を把握するため,研究坑道内および研究坑道 近傍の6本のボーリング孔(05ME06号孔,07MI08号孔,07MI09号孔,09MI17-1号孔,09MI18号孔, および09MI19号孔)を用いた地下水水圧観測を行った。研究坑道内のボーリング孔の位置を図4-1に, 研究坑道周辺のボーリング孔である05ME06号孔の位置を図4.1.3-7に示す。また,各ボーリング孔の観 測区間一覧表を表4.1.3-1に示す。なお,05ME06号孔は地表から掘削したボーリング孔であるが,水圧 観測の目的が研究坑道内から掘削したボーリング孔と共通であるため,本章にその結果を示す。

05ME06 号孔および 07MI08 号孔には直接水圧計測方式の水圧モニタリング装置である MP システム (Westbay 社(現 Schlumberger 社製), 07MI09 号孔にはピエゾ水頭計測方式の PIEZO システム(ダイヤ コンサルタント社製)を設置している。また, 09MI17-1 号孔, 09MI18 号孔および 09MI19 号孔には, いず れもピエゾ水頭計測方式のシングルパッカーシステムを設置している。なお, 研究坑道内は湧水環境に あることから, ピエゾ管ロ元に圧力センサーを設置し, 閉鎖系での観測を実施している。水圧観測方式の 概念を図 4.1.3-8 に示す。



図 4.1.3-7 ボーリング孔位置図



図 4.1.3-8 観測方式の概念図

JAEA-Review 2011-007

05ME06号孔	1					孔口標高	: 201.12m
口胆亚日	区間深度 (m)					区間長	山山 后行
区间番方	G.L. (-	m)	E.	L. (m	1)	(m)	11 頁
_	78.0 \sim	181.8	123.1	\sim	19.4	103.8	保護ケーシング内
1	182.7 \sim	190.5	18.5	\sim	10.7	7.8	土岐花崗岩(変質部)
2	191.4 \sim	200.6	9.8	\sim	0.5	9.3	土岐花崗岩(変質部)
3	201.5 \sim	210.8	-0.4	\sim	-9.7	9.3	土岐花崗岩(変質部)
4	211.7 \sim	221.0	-10.6	\sim	-19.9	9.3	土岐花崗岩(変質部)
5	221.9 \sim	234.2	-20.8	\sim	-33.1	12.3	土岐花崗岩(変質部)
6	235.1 \sim	245.4	-34.0	\sim	-44.3	10.3	土岐花崗岩(変質部)
7	246.3 \sim	251.1	-45.2	\sim	-50.0	4.8	土岐花崗岩(変質部)
8	252.0 \sim	270.3	-50.9	\sim	-69.2	18.3	土岐花崗岩(変質部)
9	271.2 \sim	280.5	-70.1	\sim	-79.4	9.3	土岐花崗岩(変質部)
10	281.4 \sim	287.7	-80.3	\sim	-86.6	6.3	土岐花崗岩(変質部)
11	288.6 \sim	304.0	-87.5	\sim	-102.9	15.4	土岐花崗岩(変質部)
07MI08号7	1					孔口標高	: 1.00m
区間釆号		区間深度	<u> </u>			区間長	
区间面方	G.L. (-	m)	E.	.L.(m	l)	(m)	坦貝
1	216.1 \sim	229.9	-15.2	\sim	-29.0	13.9	土岐花崗岩
2	234.5 \sim	255.5	-33.6	\sim	-54.6	21.0	土岐花崗岩
3	260.1 \sim	271.4	-59.2	\sim	-70.5	11.4	土岐花崗岩
4	276.0 \sim	285.4	-75.1	\sim	-84.5	9.3	土岐花崗岩
5	290.0 \sim	296.3	-89.1	\sim	-95.4	6.3	土岐花崗岩
6	$300.9 \sim$	308.8	-100.0	\sim	-107.9	7.9	土岐花崗岩
7	313.4 \sim	326.9	-112.5	\sim	-126.0	13.5	土岐花崗岩
	- /						
07M109号4	1		÷ ()			<u> 北口標局</u>	: 0. 70m
区間番号	a (<u> </u>	芟 (m)	- /	<u>```</u>	区間長	地質
	G.L. (-	m)	<u> </u>	L. (m	1)	(m)	
1	$204.5 \sim$	213.2	-3.6	\sim	-12.3	8.7	土岐化岡岩
2	$214.2 \sim$	226.7	-13.3	\sim	-25.8	12.5	土岐花岡岩
3	$227.7 \sim$	247.2	-26.8	\sim	-46.3	19.5	土岐化岡岩
4	$248.2 \sim$	275.7	-47.3	\sim	-74.8	27.5	土岐花崗岩
5	276.7 ~	325.2	-75.8	\sim	-124.3	48.5	土岐化岡宕
00MT17 1	⊐. 71					刀口插古	. 100 74
09M117-17	ラ化	反胆沉	在 (m)			<u>北日保向</u> 反明日	: -100.74m
区間番号	С І (—	<u> [] (木)</u> m)	<u> え (II)</u>	I (m)		地質
1	9. L. (-	252.6			-151 7	(III) 6_0	上岫龙岗鸟
1	340.0	552.0	-145.7		-101.7	0.0	上 叹 化 岡 石
09MI18号孔 孔口標高・-100.73m							
反胆乏日		区間深度	度 (m)			区間長	山山 府开
区间备亏	G.L. (-	m)	E.	.L. (m	1)	(m)	- 地 負
1	345.6 \sim	352.6	-144.7	\sim	-151.7	7.0	土岐花崗岩
<u>09MI19号</u> 3	1		-			孔口標高	: -100.72m
区間悉号		区間深度	度 (m)			区間長	- 世 「 哲
	G.L. (-	m)	E.	.L. (m	1)	(m)	
1	346.6 \sim	352.6	-145.7	\sim	-151.7	6.0	土岐花崗岩

表 4.1.3-1 調査ボーリング孔の観測区間一覧表

- 57 -

各孔で観測されたデータについては、研究坑道内での作業や地震の発生時間と水圧変化が生じた時間を対比し、人為的な作業や地震の影響を確認した。2009年度の研究坑道内での主な作業を以下に示す。また、地震に関して、2009年度に国内で震度5弱以上を観測した地震と瑞浪市での震度1以上の地震を表4.1.3-2に示す。

<主立坑での主な作業>

- ・ 立坑深度 300.2~400.2m の掘削(2009 年 4 月上旬~2009 年 9 月上旬)
- ・ 深度 400m 予備ステージの掘削(2009 年 9 月中旬~2009 年 10 月中旬)
- ・ 深度 300m 研究アクセス坑道でのボーリング孔 (09MI21 号孔)の掘削 (2009 年 9 月下旬~2009 年 11 月上旬)
- ・ 立坑深度 400.2~460.2mの掘削(2009 年 11 月下旬~2010 年 3 月)
 なお,09MI21 号孔の掘削では、最大約 260L/分の湧水が発生(2009 年 10 月上旬~中旬)した。

<換気立坑での主な作業>

- ・ 立坑深度 300.2~400.2m の掘削(2009 年 4 月上旬~2009 年 8 月下旬)
- ・ 深度 300m ボーリング横坑での地下水水圧観測ボーリング孔(09MI17-1 号孔, 09MI18 号孔, 09MI19 号孔)の掘削(2009 年 4 月中旬~2009 年 5 月中旬)
- ・ 深度 300m 予備ステージ避難坑での地下水水質観測ボーリング孔(09MI20 号孔)の掘削(2009 年 7月下旬~2009 年 9月中旬)
- ・ 深度 400m 予備ステージの掘削(2009 年 9 月上旬)
- ・ 立坑深度 400.2~460.2m の掘削(2009 年 9 月中旬~2010 年 3 月)
- ・ プレグラウト作業 深度 420.8~428.4m(2009 年 10 月中旬~下旬)
- ・ プレグラウト作業 深度 445.6~453.4m(2010 年1月上旬~下旬)

なお,09MI20 号孔の掘削では,最大約 150L/分の湧水が発生(2009 年 9 月上旬)し,09MI17-1 号孔,09MI18 号孔,09MI19 号孔の掘削では,20~60L/分の湧水が発生(2009 年 4 月中旬~5 月中旬)した。

日時(日本時間)	震源	震源深さ	マグニチュード(M)	最大震度	瑞浪市で
		(km)			の震度
2009/05/25 20:26	静岡県西部	26	4.7	3	2
2009/06/11 07:53	岐阜県美濃東部	11	3.7	3	1
2009/07/14 03:57	岐阜県美濃東部	50	3.5	2	2
2009/07/27 09:44	愛知県西部	41	4.0	3	2
2009/08/11 05:07	駿河湾	23	6.5	6 弱	3
2009/08/13 07:48	八丈島東方沖	57	6.6	5 弱	—
2009/12/17 23:45	静岡県伊豆地方	4	5.0	5 弱	_
2009/12/18 08:45	静岡県伊豆地方	5	5.1	5 弱	_
2010/01/10 01:44	遠州灘	26	4.3	3	1
2010/02/27 05:31	沖縄本島近海	37	7.2	5 弱	_
2010/03/14 17:08	福島県沖	40	6.7	5 弱	_

表 4.1.3-2 2009 年度に発生した主な地震*

"-"は震度が観測されなかったもの

*:国土交通省気象庁ホームページ(<u>http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/shindo_index.html</u>) より検索

各孔での水圧観測結果を以下に示す。以下の図中では間隙水圧を換算し,全水頭の変化として示し, 全水頭は標高で表記した。

(a) 05ME06 号孔における地下水圧変化

05ME06 号孔の観測結果を図 4.1.3-9 に示す。本孔では、11 区間で観測を実施しており、8 月下旬の水圧観測プローブの点検作業による数日間の欠測期間を除き、観測データが得られた。

2009年度中の各区間の主な水頭変化は以下の通りである。

- ・区間 No.1~6 では主立坑の切羽深度が観測区間の深度に近づくに従って, 発破と同期した全水 頭の変化が確認されていたが(2006年3月~2008年7月頃まで), 切羽深度が各区間の深度より 深くなってからは, 発破に同期した全水頭の変化は確認されなくなった。
- 区間 No.4~6 については、2008 年 10 月頃まで低下していた全水頭が 2008 年 11 月以降、回復に転じ、2009 年 12 月末時点で 2008 年 7 月頃の全水頭(E.L.-35~50m 付近)で安定した。これは、 深度 300m 予備ステージでの探り削孔(2008 年 8 月中旬頃)や予備ステージの掘削により生じた湧水が、予備ステージの覆工により抑制されたためと考えられる^{2),3)}。
- ・区間 No.7~11 では主立坑の切羽深度が観測区間に近づくにつれて,主立坑の発破に同期した 全水頭の変化が確認されたが,切羽深度が観測区間以深となった後は主立坑の発破と同期した 全水頭の変化は確認されず,緩やかな全水頭の低下が継続した。
- 区間 No.1~6 および No.10,11 では、2009 年9月に深度 300m 予備ステージで実施された 09MI20 号孔の掘削に伴う全水頭の変化が生じた。一方、区間 No.7~9 ではこの期間の全水頭の変化が 不明瞭であった。
- ・ 駿河湾を震源とする M6.5 の地震によって区間 No.1~6 の全水頭が約 20 日間程度上昇傾向を示した。一方,区間 No.7~11 では全水頭の変化が明瞭ではなかった。



図 4.1.3-9 05ME06 号孔の地下水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示 地表は約 EL.200m)

(b) 07MI08 号孔における地下水圧変化

07MI08 号孔の観測結果を図 4.1.3-10 に示す。本孔では、7 区間で観測を実施しており、8 月下旬の水圧観測プローブの点検作業による数日間の欠測期間を除き、観測データが得られた。

- 2009年度中の各区間の主な水頭変化は以下の通りである。
 - ・ 全ての区間で、全水頭の低下が確認された。
 - ・ 区間 No.1~5 では、切羽深度が 300m 以深となった後、立坑部の発破と同期した変化が確認されなくなった。
 - ・区間 No.6,7 では主立坑の発破に伴う全水頭の変化が確認され,区間 No.6 では約10mの瞬間的な上昇(4月上旬)や約12mの瞬間的な低下(5月下旬)が生じた。
 - ・ 2009 年 10 月中旬から下旬にかけて深度 300m 研究アクセス坑道で実施された 09MI21 号孔の掘 削に伴う湧水(最大約 260L/分)の影響により、区間 No.1~5 では約 1.5m,区間 No.6 では約 4m, No.7 の区間では約 2m の全水頭の低下が確認された。



・ 全ての区間で地震による長期的な全水頭の変化は確認されなかった。

図 4.1.3-10 07MI08 号孔の地下水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示 地表は約 EL.200m)

(c) 07MI09 号孔における地下水圧変化

07MI09 号孔の観測結果を図 4.1.3-11 に示す。No.1~4の区間では水圧センサーに生じたノイズ等の 影響により数日程度の欠測が生じたものの、1 年を通じて継続的に観測データが得られている。また、 No.5の区間では8月~9月の期間の欠測を除くと、1年を通じて観測データが得られている。なお、No.5 については、ロープ式水位計による定期観測を実施している。

2009年度の主な水頭の変化は以下の通りである。

- ・ 区間 No.1~3 では全水頭の値,変化量および変化の傾向は概ね等しい。また,区間 No.4 では, 全水頭が区間 No.1~3 よりも低い状態が継続的に生じている。一方,区間 No.5 では全水頭の変 化は確認されなかった。
- ・ 深度 300m 予備ステージで実施された 09MI20 号孔の掘削の影響により, 2009 年 9 月に区間 No.1

~4で全水頭の変化が確認された。

- ・ 換気立坑側立坑部で実施されたプレグラウトの影響により,2010年1月上旬に区間 No.1~4 で全 水頭の上昇が確認された。
- ・ 駿河湾を震源とする M6.5 の地震によって区間 No.1~4 の全水頭が約 20 日間程度上昇傾向を示した。また,その他の地震では,全水頭の変化は確認されなかった。



図 4.1.3-11 07MI09 号孔の地下水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示 地表は約 EL.200m)

(d) 09MI17-1 号孔, 09MI18 号孔および 09MI19 号孔における地下水圧変化

09MI17-1 号孔, 09MI18 号孔および 09MI19 号孔の観測結果を図 4.1.3-12 に示す。09MI17-1 号孔, 09MI18 号孔および 09MI19 号孔では, 各々1 区間で観測を実施しており, 全てのボーリング孔で1 年を 通じて継続的に観測データが得られた。

2009年度の主な水頭の変化は以下の通りである。

- ・いずれのボーリング孔においても、深度 300m 予備ステージで実施された 09MI20 号孔の掘削や、 換気立坑での作業による全水頭の変化が確認された。
- ・ 2010年1月上旬に各孔で確認された全水頭の上昇は、換気立坑の掘削作業で実施されたプレグ ラウトの影響であると考えられる。
- ・ 駿河湾を震源とする M6.5 の地震によって各孔の全水頭が約 20 日間程度上昇傾向を示したが, その他の地震では,全水頭の変化は確認されなかった。
- ・ 換気立坑の掘削が進むにつれて 09MI17-1 号孔と 07MI18 号孔および 07MI18 号孔と 07MI19 号 孔の全水頭値の差が大きくなった(図 4.1.3-13)。







図 4.1.3-13 換気立坑周辺の全水頭分布図

(e)まとめ

研究坑道からの調査ボーリング孔を用いた地下水長期モニタリングの結果,主立坑沿いに分布する断層の南西側に位置する07MI09号孔,09MI17-1号孔,09MI18号孔,09MI19号孔では,換気立坑周辺の作業(立坑の掘削を含む)に伴う全水頭の変化は確認されたが,主立坑の掘削や深度300m研究アクセス坑道でのボーリング孔掘削など,断層の北東側での作業に伴う全水頭の変化は確認されなかった。

一方,主立坑近傍の07MI08号孔では,主立坑および深度300m研究アクセス坑道での作業に伴う全 水頭の変化は確認されたが,換気立坑周辺の作業(立坑の掘削を含む)に伴う全水頭の変化は確認さ れなかった。これらのことは,主立坑沿いの断層が断層面に直交する方向に対して低透水性であるとす るこれまでの調査,研究結果⁴と整合的であった。

また,主立坑沿いに分布する断層の近傍に位置する05ME06号孔では,深度300m研究アクセス坑道の掘削,主立坑の掘削,換気立坑の掘削など,主立坑沿いに分布する断層の南西側,北東側の両側での作業に伴う全水頭の変化が確認された。このことから,主立坑沿いの断層が局所的に複雑な構造を有している可能性が示唆された⁵。

換気立坑近傍の 09MI17-1 号孔, 09MI18 号孔, 09MI19 号孔でのモニタリングの結果から, 換気立坑 から数 m のごく近傍の範囲において大きな動水勾配が生じている可能性が考えられた。よって, 研究坑 道掘削を考慮した地下水流動解析を実施する際には, ここで観測された水圧分布を再現するために人 工構造物による影響を含むスキン効果を考慮する必要性があると考えられる⁶⁾。

③地表からのボーリング孔を用いた地下水長期モニタリングおよび表層水理観測

研究坑道の掘削が研究所用地周辺の地質環境へ与える影響を把握することを目的として地下水長期 モニタリング,表層水理観測を継続して実施した。

(a) 地表からのボーリング孔を用いた地下水長期モニタリング

地表からのボーリング孔を用いた地下水長期モニタリングでは2008年度に引き続き,研究所用地内の 堆積岩~花崗岩上部を対象とした MSB-1 号孔(掘削長約 200m)および MSB-3 号孔(掘削長約 200m) において直接水圧計測方式の MP システム(Westbay 社(現 Schlumberger 社)製)を用いて間隙水圧の モニタリングを継続するとともに,花崗岩を対象とした MIZ-1 号孔(掘削長約 1,300m)において,ピエゾ水 頭計測方式の HSPMP システム(Solexparts 社製)を用いて間隙水圧のモニタリングを実施した(図 4.1.3-8参照)。観測孔位置を図 4.1.3-14 に示す。また,地下水長期モニタリングを実施しているボーリン グ孔の観測区間一覧表を表 4.1.3-3に示す。なお、05ME06 号孔は地表から掘削したボーリング孔である が,水圧観測の目的が研究坑道近傍の間隙水圧変化の把握であることから、モニタリング結果は 4.1.3 ②に記した。

2009 年度の研究坑道での主な作業や地震情報については、4.1.3②に記載した通りである。地表からのボーリング孔を用いた地下水長期モニタリング結果を以下に示す。なお、図中では間隙水圧を換算し 全水頭の変化として示し、全水頭は標高で表記した。

JAEA-Review 2011-007



図 4.1.3-14 研究所用地内観測孔位置図(研究所用地内)
表 4.1.3-3 地下水長期モニタリングを実施しているボーリング孔の観測区間一覧表

MSB-1号孔

孔口標高:253.081m

区間番号	区間深	度 (m)	区間長	一曲一一		
	G.L. (-m)	E.L. (m)	(m)	迎員		
1	66.4 \sim 116.3	$186.7 \sim 136.8$	49.9	明世累層および本郷累層		
2	117.2 \sim 131.6	$135.9 \sim 121.5$	14.4	□ 本郷累層(基底礫岩)		
3	132.5 \sim 176.3	120.6 \sim 76.8	43.8	層 土岐夾炭累層		
4	$177.2 \sim 195.1$	$75.9 \sim 58.0$	17.9	^样 土岐夾炭累層(基底礫岩)		
5	196.0 \sim 201.0	57.1 \sim 52.1	5.0	土岐花崗岩 (風化部)		

MSB-3号孔

孔口標高:204.622m

区間番号		度 (m)		区間長					
	G.L.(-m)		E.L. (m)		(m)		地 貝		
1	14.5 \sim	66.9	190.2 ~	137.7	55.8		明世累層および本郷累層		
2	67.8 ~	80.7	136.9 ~	123.9	13.8	瑞	本郷累層(基底礫岩)		
3	81.6 ~	87.6	123.1 \sim	117.0	6.4	很層	断層		
4	88.4 ~	131.6	116.2 ~	73.1	45.9	群	土岐夾炭累層		
5	132.4 ~	166.0	72.2 \sim	38.6	35.8		土岐夾炭累層(基底礫岩)		
6	166.9 ~	170.6	37.7 \sim	34.1	3.9	±	土岐花崗岩 (風化部)		
7	171.4 ~	187.0	33.2 ~	17.6	16.6	1	土岐花崗岩		

MIZ-1号孔			孔口標高	: 206.56m
区間番号	区間深	度 (m)	区間長	
	G.L. (-m)	E.L. (m)	(m)	地 貝
1	116.5 \sim 231.8	90.1 ~ -25.2	115.3	土岐花崗岩
2	232.7 \sim 289.7	$-26.2 \sim -83.2$	57.0	土岐花崗岩
3	290.7 \sim 640.7	$-84.2 \sim -434.2$	350.0	土岐花崗岩
4	641.7 \sim 717.1	-435.1 \sim -510.6	75.4	土岐花崗岩
5	718.1 \sim 901.4	$-511.5 \sim -694.8$	183.3	土岐花崗岩
6	902.3 \sim 945.5	$-695.8 \sim -739.0$	43.2	土岐花崗岩
7	945.8 \sim 966.9	$-739.2 \sim -760.3$	21.1	土岐花崗岩
8	967.1 \sim 1127.7	$-760.5 \sim -921.1$	160.6	土岐花崗岩
9	1128.7 \sim 1149.1	$-922.1 \sim -942.6$	20.5	土岐花崗岩
10	$1150.1 \sim 1276.0$	$-943.6 \sim -1069.5$	125.9	土岐花崗岩

a) MSB-1 号孔

MSB-1 号孔の観測結果を図 4.1.3-15 に示す。MSB-1 号孔では, 5 区間で観測を実施している。7 月 下旬, 1 月下旬に水圧観測プローブの点検による 1 日程度の欠測期間があるものの, 1 年間を通して観 測データが得られている。

2009年度の主な水頭変化は以下の通りである。

- ・ 区間 No.1,2 では自然変動(人為的な影響を伴わないバックグランドの変化)と思われる年間 1m 程度の緩やかな全水頭の低下が生じており,研究坑道掘削に伴う明瞭な全水頭の変化は確認されなかった。
- ・ 区間 No.3~5 では概ね同じ全水頭と変化傾向を示し,深度 300m 研究アクセス坑道で実施した 09MI21 号孔の掘削に伴う湧水の影響と思われる全水頭の低下が確認された。
- ・ 09MI21 号孔の掘削作業以降,区間 No.3 では全水頭が上昇傾向を示している。一方,区間 No.4,5 では,09MI21 号孔の作業以前の全水頭の低下傾向が継続している。区間 No.3 での全水 頭の上昇の原因は不明である。
- ・ 駿河湾を震源とする地震に伴い、区間No.1では数十 cm 程度の低下、区間No.3~5では数十 cm 程度の上昇が生じた。区間No.2 では全水頭の変化は見られなかった。また、それ以外の地震については、明瞭な全水頭の変化は確認されなかった。



図 4.1.3-15 MSB-1 号孔の地下水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示 地表は約 EL.200m)

b) MSB-3 号孔

MSB-3 号孔の観測結果を図 4.1.3-16 に示す。MSB-3 号孔では,7 区間で観測を実施しており,6 月 中旬から 9 月中旬にかけて水圧観測プローブおよび観測機器の異常に伴う欠測期間があるが,それ以 外の期間については観測データが得られている。

2009年度における主な水頭変化は以下の通りである。

- ・ 区間 No.1 では降雨による全水頭の変化が確認されており,年度末には全水頭が上昇する傾向を示したが,研究坑道掘削の影響と考えられる全水頭の変化は確認されなかった。
- ・ 区間 No.2 では年間約 1m 程度の全水頭の低下を示した。また, 堆積岩掘削時に発破等の影響が 確認されていた区間 No.3, No.4 についても, 年間約 1m 程度の全水頭の低下を示した。
- ・ 区間 No.2~4 については、換気立坑の発破に同期した全水頭の変化は確認されなかった。
- ・ 区間 No.5~7 では研究坑道掘削の影響による全水頭の低下傾向が見られたほか, 深度 300m 予備ステージで実施した 09MI20 号孔の掘削に伴う全水頭の変化が確認された。また, 換気立坑深度 445.6~453.4m でのプレグラウト以降, 全水頭がほぼ一定の値となった。
- 本年度の主だった地震の発生時期が欠測期間であったため、地震に伴う全水頭の変化を確認することはできなかった。



図 4.1.3-16 MSB-3 号孔の地下水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示 地表は約 EL.200m)

c) MIZ-1 号孔

MIZ-1 号孔の観測結果を図 4.1.3-17 に示す。MIZ-1 号孔では, 10 区間で観測を実施している。

MIZ-1 号孔では、水圧モニタリング装置設置当初から、スタンドパイプ内(スタンドパイプに接続される チューブ内)での溶存ガスの遊離によるものと推測される異常値が確認されていること、その対策としてス タンドパイプ内の水を循環し溶存ガスを除去することにより、その後 1 箇月程度は安定したデータ取得が 可能なことを確認している³⁾。2009 年 12 月中旬から 2010 年 1 月下旬にかけて、溶存ガスの遊離と考え られる変化が確認されたため、この期間については、欠測扱いとした。

MIZ-1 号孔での主な作業としては,正常な水圧データを取得するためスタンドパイプ内の水の循環作 業および地下水の水質変化を調べるための採水作業を実施している。

2009年度の主な水頭変化を以下に示す。

- ・ 区間 No.1~3 では緩やかな全水頭の低下が継続的に生じており、1 年間で約 5m 低下した。
- ・ 区間 No.1~7 では深度 300m 研究アクセス坑道で実施した 09MI21 号孔の掘削に伴う湧水の影響 と思われる全水頭の低下が約 2m 生じている。
- ・ 区間 No.8~10 では、緩やかな全水頭の低下が生じていると考えられる。
- ・ 全ての地震に対して、全水頭の変化は確認されなかった。
- ・ 2010 年 2 月下旬以降区間 No.4~10 で全水頭の上昇が確認される。この期間, MSB-1 号孔等, その他の観測孔で全水頭の上昇が確認されないことから, 溶存ガスの遊離による影響によりスタン ドパイプ内の水位が上昇している可能性がある。 今後, データを確認し, 必要に応じてスタンドパイ プ内の水の循環を行うこととする。



図 4.1.3-17 MIZ-1 号孔の地下水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示 地表は約 EL.200m)

d)まとめ

研究所用地内における地下水長期モニタリングの結果から,堆積岩上部(MSB-1 No.1,2 と MSB-3 No.1~4)において研究坑道掘削に伴う地下水圧の変化が確認できないという結果は,本郷累層(泥岩層)が鉛直方向に対して低透水性を有する構造として機能していることを示していると考えられる。また,

主立坑沿いに分布する断層の北東側と南西側の研究坑道掘削と地震に対する地下水圧の変化傾向の 違いから,主立坑沿いに分布する断層は断層面に直交する方向に対して低透水性であると考えられる。

これらの結果は、第1段階での調査、観測結果⁴とも整合していることから、堆積岩浅部や主立坑沿い に分布する断層の水理特性に関する解釈の妥当性を裏付ける結果が得られたものと考える。

(b)表層水理観測

表層水理観測では、立坑掘削に伴う浅部地下水流動の変化を把握するための気象要素(雨雪量,気温,湿度,風速など),地下水位,土壌水分,地表傾斜(東北大学との共同研究)の観測を実施している(図 4.1.3-14 参照)。

04ME01 号孔は坑口の標高が E.L.192.71m, 深度が 47.0m のボーリング孔で瑞浪層群を対象として, 投込式水位計(水圧センサー)を用いて孔内水位を観測している。図 4.1.3-18 に 04ME01 号孔の水位お よび降水量を図 4.1.3-19 に 04ME01 号孔の水位および立坑の掘削深度を示す。なお, 04ME01 号孔の 水位観測については, 水圧センサーの故障*よるデータ欠損が生じているため, 2010 年 2 月末までのデ ータを示す。

04ME01 号孔の水位は、降雨に対応した変動が確認されるものの、研究坑道掘削工事に伴う変動は確認されていない。この結果は、先に述べた MSB-1 号孔、MSB-3 号孔の浅部でのモニタリング結果(本郷 累層(泥岩層付近)が鉛直方向に対して低透水性を有する構造として機能)と整合しており、また、これまでの調査、観測結果 4とも整合していることから、堆積岩浅部の水理特性に関する解釈の妥当性を裏付ける結果を得ることができたと考えられる。



*:2010年3月末時点において,原因究明中

図 4.1.3-18 研究所用地内の地下水位および降水量



図 4.1.3-19 研究所用地内の地下水位および立坑掘削深度

2)モデル化・解析

①水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析

水理地質構造モデルの妥当性確認およびその更新に係わる方法論を整備することを目的として,水 理地質構造モデルの構築および地下水流動解析を継続的に実施している。

具体的には、更新された地質構造モデルおよび地表および研究坑道から掘削したボーリング孔での 長期水圧モニタリングなどから得られる情報に基づき、サイトスケール(2km四方の領域)およびブロックス ケール(数十m~100m四方の領域)の水理地質構造モデルのキャリブレーションを行っている。さらに、 研究坑道の掘削に伴う地下水位分布や水頭分布の変化、研究坑道における湧水量や湧水区間などを 予測評価するために、更新された水理地質構造モデルを用いて地下水流動解析を実施している。これら は、研究坑道の設計・施工への情報提供および研究坑道の掘削に伴う地下水流動場の変化を用いたモ デルキャリブレーションに必要な調査項目や仕様を抽出すること(第2段階での調査計画策定への情報 提供)も目的としている。

これまで、第2段階における調査研究では、研究坑道掘削時の湧水量が計測されているとともに、それに関連した水圧変化が周辺ボーリング孔で観測されている。この水圧変化には、研究坑道掘削に伴う比較的長期間のトレンドを有する変化と、発破や一時的な湧水量の増加に伴う短期間の変化があり、さらに地震による影響も観測されている。また、地表での高精度傾斜計により研究坑道掘削に伴う地表面の微小な変位が観測されている。

2009 年度は、これらのデータに基づきサイトスケールの水理地質構造モデルのキャリブレーションを実施した。具体的には、深度 300m ステージ掘削終了までに取得された地質構造に関するデータを用いて更新された地質構造モデルを基に水理地質構造モデルを構築するとともに、研究坑道への湧水量や水圧低下量の観測値を用いた地下水流動解析により、そのモデルのキャリブレーションを行った。 地下水流動解析を行う際には境界条件の影響を考慮し、ローカルスケール(約 10km 四方の領域)にお

JAEA-Review 2011-007

いてサイトスケール領域の水理地質構造をより詳細にモデル化するといった入れ子モデルを採用した。 キャリブレーションの際には、涵養量やグラウトによる止水効果に着目した。キャリブレーションの結果、研 究坑道掘削前のボーリング孔での水頭分布を再現する上では、涵養量の空間的な不均質性を適切に考 慮する必要性が示唆された。また、グラウトによる止水効果を考慮した解析により、湧水量変化の実測値 を説明可能であることが明らかとなった。キャリブレーションされた水理地質構造モデルを用いた地下水 流動解析による湧水量の実測値と解析値の比較結果を図 4.1.3-20 に示す。この図より、地下水流動解 析によって主立坑と換気立坑への実際の湧水量が概ね再現できているとともに、概ね一定の湧水量が 連続しているといった時間変化の傾向が再現できていることがわかる。一方、解析では、湧水量の増加が ない状況下で水圧が低下するといった実現象を再現するには至っていない(図 4.1.3-21)。このことは、 水理地質構造や貯留係数のみならず、地質構造の見直しの必要性を示していると考えられる。



図 4.1.3-20 キャリブレーションした水理地質構造モデルによる湧水量の実測値と解析値 (図 4.1.3-21 中 Case③の場合)



図 4.1.3-21 キャリブレーションした水理地質構造モデルによる水圧変化の実測値と解析値

さらに、同モデルを用いた地下水流動解析により、今後の湧水量や水圧変化を予測した。湧水量は、 深度 1,000m までの掘削後で約 4,000m³/日と予測された。また、水圧低下は、これまでの検討結果と同 様に水頭低下範囲は、月吉断層の影響により、月吉断層北側にはほとんど及ばない結果となった。また、 月吉断層南側においても、研究所用地周辺に分布する断層の影響により、断層を境に水頭低下量に大 きな差が生じる結果となった。図 4.1.3-22 に水頭低下の空間分布の解析結果の一例を示す。図は、研 究坑道掘削前の初期状態からの水頭低下量を全水頭の差として表示している。

これらの検討を通じて,第1段階で構築したサイトスケールの水理地質構造モデルの更新の考え方を 検討し,湧水量や水圧変化に基づく水理地質構造モデルの更新の流れを整理した(図4.1.3-23)。

JAEA-Review 2011-007



図 4.1.3-22 水圧低下量の予測結果 (研究坑道深度 1,000m 掘削終了後の定常状態の例)



図 4.1.3-23 湧水量や水圧変化に基づくサイトスケールの水理地質構造モデルの更新の流れ

第2段階では立坑や水平坑道の壁面観察などにより,高角から低角までの不連続構造の幾何学的特 性や地質学的特性に関する情報を蓄積しており,地質構造モデルが更新されている。第1段階で構築し たブロックスケールの水理地質構造モデルの更新に資することを目的として,詳細な地質学的情報と湧 水量や水圧変化に関するデータを組み合わせ,岩盤中の割れ目分布に起因した水理学的不均質を評 価するために,ブロックスケール(数十m~100m四方の領域)の割れ目ネットワークモデルを用いた水理 地質構造モデルの構築を行った(図4.1.3-24)。このモデルは,ボーリング調査結果に基づき推定した不 連続構造の卓越方向と三次元密度を用いてモデル化領域内に割れ目を発生させるとともに,個々の割 れ目に透水量係数を割当てることによって構築した。これまでは,主に鉛直方向のスキャンライン沿いに 取得された割れ目特性データに基づくモデル化を実施してきたが,本年度は,08MI07号孔および深度 300mステージでの地質調査結果を付加した検討を実施し,水理地質構造モデルを更新した。

今後は、ブロックスケールの水理地質構造モデルの妥当性確認および必要に応じた更新を行う。また、 前述の湧水量計測データや水圧応答モニタリング結果に基づき更新されたサイトスケールの水理地質 構造モデルに、ブロックスケールでの水理地質構造モデルの構築結果を反映させることによって、第2段 階での水理地質構造モデルを構築することを計画している(図 4.1.3-25)。

JAEA-Review 2011-007



図 4.1.3-24 透水性構造ネットワークモデル構築結果



図 4.1.3-25 サイトスケールおよびブロックスケールの水理地質構造モデルの更新の流れ

さらに、水理地質構造モデルを更新する際、第2段階で取得した各分野のデータを統合的に解釈した うえでモデルを構築する必要がある。このことから、水理地質構造モデルの更新のみならず、地質構造モ デルや地球化学モデルの更新も含めた地質環境モデルの更新のフロー図として整理した。このフロー図 を図 4.1.3-26 に示す。



図 4.1.3-26 地質環境モデル更新のフロー

3)技術開発

①水圧モニタリング装置の適用性の検討

直接水圧計測方式である MP システムを用いたボーリング孔では,2009 年度は,大きな不具合は生じなかった。MP システムについては2008 年度より1回/年の頻度での作動確認および1回/3年の頻度での水圧観測プローブのオーバーホールを実施しており,これらのメンテナンスを実施することにより,安定した観測が可能となっている。

一方,ピエゾ水頭計測方式の水圧モニタリング装置を用いたボーリング孔については,研究坑道内の ボーリング孔では大きな不具合は生じなかったものの,HSPMP システムを用いている MIZ-1 号孔では, 一部観測区間において地下水中の溶存ガスの遊離の影響と考えられる水位変動が確認されている²⁰。こ の対策として,スタンドパイプ内の遊離ガスの排除を目的とした揚水を実施した結果,揚水を行うことによ り遊離ガスの影響を受けていないと考えられるデータが取得可能であることが確認できた。しかしながら, 揚水条件や揚水後の正常な観測期間の関係については,まだ最適化されるに至っていない。よって,今 後も観測データの状況に応じてガスの排除を目的とした揚水を行うとともに,作業を通して最適な実施頻 度や実施条件について検討を行う。

②地質環境データ解析・可視化システムの構築

データ解釈,地質構造および水理地質構造のモデル化,地下水流動解析ならびにモデル化・解析結果の可視化に関する作業を通じて,抽出されたシステムの問題点の改善および機能の拡張を継続的に

実施した。

2009 年度は、本システムを用いて、研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化に関するデータに基づ く水理地質構造モデルの更新および今後の変化の予測を行うこと、さらにはそのモデル化・解析作業の 効率性を向上させることを目的として、地下水流動解析コード(Frac-Affinity)の解析グリッドの作成方法 やパラメータの入力方法、解析ソルバーなどの改良を実施した。さらには、改良した解析コードの信頼性 確認のために、検証済みの解析コード(Transin III⁷⁾)と同一条件下での解析を実施した。具体的には、 割れ目部と健岩部が混在するモデルによる立坑掘削を模擬した飽和一不飽和問題での非定常地下水 流動解析を実施した。その結果、整合的な結果(図 4.1.3-27)が得られ、改良した解析コードの妥当性を 確認した。



図 4.1.3-27 Frac-AffinityとTransin III による解析結果の比較 (単純モデルによる立坑掘削を模擬した非定常飽和-不飽和解析の結果)

参考文献

- 竹内真司,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,天野健治,松岡稔幸,早野明,竹内竜史,三枝博光, 大山卓也,水野崇,平野享,尾方伸久,濱克宏,池田幸喜,山本勝,弥富洋介,島田顕臣,松井裕 哉,伊藤洋昭,内田雅大,杉原弘造:"超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)", JAEA-Review 2009-017(2009).
- 2) 竹内竜史, 三枝博光, 大山卓也, 毛屋博道, 佐藤敦也, 小坂寛, 武田匡樹, 大丸修二, 竹内真司: "超深地層研究所計画 岩盤の水理に関する調査研究(2008 年度)報告書" JAEA-Research 2010-018(2010).
- 3) 毛屋博道, 竹内竜史: "超深地層研究所計画における地下水の水圧長期モニタリング-2009 年度 -" JAEA-Data/Code 2011-002(2011).
- 4) 三枝博光,瀬野康弘,中間茂雄,鶴田忠彦,岩月輝希,天野健治,竹内竜史,松岡稔幸,尾上博則,水野崇,大山卓也,濱克宏,佐藤稔紀,久慈雅栄,黒田英高,仙波毅,内田雅大,杉原弘造,坂巻 昌工: "超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第1段階)研究成果報告書" JAEA-Research 2007-043 (2007).
- 5) 毛屋博道,武田匡樹,竹内竜史:"長期水圧モニタリング結果を用いた水理地質構造モデルの検討 (その2)",日本地下水学会2009年秋季講演会講演要旨,pp.320-325(2009).
- 6) 武田匡樹, 竹内竜史, 小坂寛, 大山卓也, 毛屋博道:"研究坑道の掘削を考慮した地下水流動解析 における立坑の境界条件設定に関する考察", 日本地下水学会 2009 年秋季講演会講演要旨, pp.24-27 (2009).
- 7) Galarza G, Medina A, Carrera J. "Transin III user's guide". El Berrocal Project report Publisher by Enresa, Madrid, Spain (1996).

4.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究

(1) 実施概要

2009年度は、第1段階で構築した地下水の地球化学概念モデルの妥当性を確認することおよび研究 坑道掘削が地下水の地球化学環境に与える影響を把握することを目的とした採水調査を実施した。採 水調査は、1)研究坑道掘削時の切羽および研究坑道内に設置した集水リング、2)予備ステージから掘削 したボーリング孔(07MI07号孔および09MI20号孔)、3)地上から掘削した既存ボーリング孔(MSB-2号孔, MSB-4号孔およびMIZ-1号孔)で実施した。また、深度 300m予備ステージからボーリング孔(MSB-2号孔, ボーリング孔(09MI02号孔)を利用した水質観測を開始した。これらの採水調査の結果を踏まえ、今後の 研究坑道掘削に伴う地下水水質分布の変化を予測することを目的として、地下水流動状態の変化を考 慮した地下水水質分布に関する移流分散解析を実施した。その他、第3段階で予定している物質移動 に関する調査研究の基盤情報となる地下水中の金属元素の存在状態に関する研究、地層処分で考慮 される時間スケール(数万年程度)での地球化学環境の変化を把握するための地質環境の長期挙動に 関する検討を行った。なお、2009年度は地下水水質の長期変遷に関する調査として、岩芯から採取した 二次鉱物を対象とした分析を計画していたものの、十分な試料量が得られなかったために分析を実施で きなかったため、同位体水文学的手法を用いた地下水流動状態の長期的な変化に関する検討を行った。 その他の実施項目については、当初計画¹⁾通りに実施した。

(2) 実施内容

1) 調査試験

①立坑壁面および集水リングを用いた坑内湧水の採取・分析

壁面湧水は研究坑道掘削直後の擾乱が少ない地下水の地球化学特性の把握,集水リングでは研究 坑道掘削の影響を経時的にとらえることを主な目的として,湧水を対象とした測定・分析を実施した。採 水の頻度は,切羽湧水が切羽観察時の1回,集水リングでは設置後から6箇月間は1回/週,それ以降 は1回/月である(同位体については年2回)。測定・分析項目は,物理化学パラメータ(水温,pH,酸化 還元電位,電気伝導度,溶存酸素濃度),蛍光染料濃度(ウラニン,ナフチオン酸ナトリウム,アミノG酸), 主要成分(Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, F⁻など),同位体(δ¹⁸O, δD, ³H, ¹⁴C)などである。2009 年度においては,深 度 300m 研究アクセス坑道からの湧水についても分析を実施した。壁面湧水は発破後の壁面観察時に 試料を採取しているが,主立坑では分析を行うための試料量が壁面観察の時間内では得られなかった ために,壁面湧水の分析を実施できなかった。十分な試料量が採取できなかった理由として,主立坑で は坑道沿いに認められる断層が低透水性であり,採水箇所が断層の中にあるため,湧水量が少ないこと が考えられる。表 4.1.4-1 には集水リングの設置深度を,図 4.1.4-1 には分析結果を示す。

分析の結果,主立坑と換気立坑では水質分布およびその変化の傾向が異なることが認められた。主 立坑の集水リングにおける pH の観測結果では,以下のことがわかった。

- ・集水リング No.WR_M11(深度 264.8m)以浅では概ね 8 から 10 の範囲に分布
- ・集水リング No.WR_M13(深度 302.6m)については約 11 程度の値を維持
- ・集水リング No.WR_M14(深度 336.2m)以深については, 観測開始当初に pH10 以上の値を示すものの, その後は低下し, 集水リング No.WR_M11(深度 264.8m)以浅の値と同様の範囲に分布

集水リング No.WR_M13(深度 302.6m)以深で pH が高い値を示す原因としては, コンクリートライナーとの反応が考えられる。その後, pH が低下している区間については, 時間の経過とともに本来の pH に回復しつつあると考えられる。集水リング No.WR_M13(深度 302.6m)で pH が高い値を維持した原因としては 湧水量の違いによりコンクリートライナーとの反応速度が違うことが考えられるが, 現時点では明確ではなく, 観測を継続し, 検討していく。 他方, 換気立坑の集水リングにおける pH の観測結果では, 深度により変化の傾向が異なる結果となった。主な観測結果は以下の通りである。

- ・集水リング No.WR_v9(深度 200.0m)以深では, 観測期間当初の pH が 10 以上の範囲に分布
- ・ただし,集水リング No.WR_v9(深度 200.0m)から集水リング No.WR_v13(深度 302.6m)までは,集水リ ング No.WR_v11(深度 265.0m)を除き, pH が 10 以下に低下
- ・集水リング No.WR_v15(深度 365.0m) および集水リング No.WR_v16(深度 393.9m)以外では 2009 年 7月を境に,低下傾向から上昇傾向へと変化

集水リング No.WR_v9(深度 200.0m)以深で確認できた高い pH の原因は,主立坑と同様にコンクリート ライナーとの反応の影響が示唆される。ただし,2009 年 7 月以降に pH が上昇する原因としては, pH が 高い地下水の流入もしくは炭酸ガスなどの脱ガスによる変化が考えられる。ここでは,多くの深度で pH が 一様に上昇していることから,後者の可能性が高い。このことは 2009 年 7 月を境に研究坑道近傍での水 圧分布が変化したことを示唆しており,今後,水理学的データと比較して,整合的に解釈できるような検 討を行っていく。

地下水中の溶存成分濃度については,水質観測の結果,主立坑では以下のことがわかった。

- ・地下水中での保存性が高い CI 濃度に着目すると, 各深度において概ね一定
- ・集水リング No.WR_M9(深度 200.0m)以深の各集水リングにおいて, CF濃度が同様の範囲に分布
- ・変化が少ない CI⁻濃度に対して、Na⁺濃度および Ca²⁺濃度は集水リング No.WR_M10(深度 236.2m)
 以深で変動

研究所用地周辺に分布する Na-Cl型地下水は,溶存成分濃度が深度とともに増加し,浅部の溶存成 分濃度の低い地下水と,深部の溶存成分濃度の高い地下水が混合することにより水質が形成されている ことが示されている²⁰。主立坑では変質を伴う低透水性の断層が分布することから,粘土鉱物などの生成 により透水性が低い断層中心部ではその外部と水質分布が異なり,深度依存性を示さない,もしくはそ の程度が小さいと考えられる。また, Cl-濃度が変化していないことから,異なる水質を持つ地下水の混入 がないと想定すると, Na⁺および Ca²⁺濃度の変化は粘土鉱物を介したイオン交換反応によるものと考えら れる。ただし, Ca²⁺濃度については, コンクリートライナーとの反応による変化も想定できる。

他方, 換気立坑では以下のことがわかった。

- ・Cl-濃度は集水リング No.WRv9(深度 200.0m)以深で 2009 年 7 月から低下
- ・集水リング No.WRv13 (深度 302.6m) 以浅では 2009 年 9 月を境に低下量が減少
- ・集水リング No.WRv14(深度 331.2m)以深では 2010 年 1 月までほぼ一定の低下量で CI-濃度が減 少

・集水リング No.WRv14 (深度 331.2m) 以深の Na⁺濃度および Ca²⁺濃度は Cl⁻濃度と同様に減少

換気立坑に設置した集水リングより採取した地下水においてpHおよび溶存成分濃度が変化する2009 年7月では、換気立坑の掘削が深度376.9mから深度396.9mまで進行している。また、7月22日には 後述する09MI20号孔の掘削を開始している。07MI07号孔では09MI20号孔掘削後から水圧が低下す るものの、水圧低下の開始時期が9月であるため、09MI20号孔の掘削が集水リングでの水質の変化の 原因となったとは考えにくい。MSB-2号孔およびMSB-4号孔の水圧観測結果においても、2009年7月 を境とした圧力分布の変化は認められない(4.1.4(2)③参照)。これらのことから、換気立坑に設置した集 水リングより採取した地下水に認められる水質の変化は、深部からの地下水の上昇と、浅部からの地下 水の流入の割合が変化したことが原因と考えられる。この変化の原因としては、研究坑道の掘削が進展 したことにより、浅部の地下水がより多く流入するようになったこと、もしくは深部から上昇する地下水の流 量が減少したことのいずれかが考えられる。

また,主立坑および換気立坑における集水リングでの水質観測結果と比較するため,深度 300m 研究 アクセス坑道における2箇所(主立坑の中心から44m 地点と79m 地点)から採取した湧水の CF濃度分 析結果を図 4.1.4-2 に示す。CI-濃度は観測期間において概ね一定の範囲に分布する。この傾向は,換気立坑における水質観測結果とは異なっており,主立坑沿いに認められる低透水性の断層を境に,南側と比較して北側では研究坑道掘削による水質分布の変化の程度が小さいと考えられる。

表 4.1.4-1 研究坑道内の集水リング設置深度 (-は湧水がない区間, /は設置していない集水リングを示す。 集水リング No は図 4.1.3-1 に対応)

集水リング	主立坑		集水リング	換気立坑			
No	深度 GL-(m)	標高(m)	No	深度 GL-(m)	標高(m)		
WR _M 1	-	-	WR _v 1	-	_		
WR _M 2	43.5	157.4	WR _v 2	-	_		
WR _M 3	77.0	123.9	WR _v 3	68.5	132.4		
WR _M 4	_	_	WR_V4	94.0	106.9		
WR _M 5	_	_	WR_V5	102.6	98.3		
WR _M 6	136.2	64.7	WR_V6	131.2	69.7		
WR _M 6(1)	151.8	49.1	WR _v 6(1)				
WR _M 7	167.4	33.5	WR _v 7	165.0	35.9		
WR _M 8	_	_	WR _v 8	191.0	9.9		
WR _M 9	202.6	-1.7	WR _v 9	200.0	0.9		
WR _M 10	236.2	-35.3	WR _v 10	231.0	-30.1		
WR _M 11	264.8	-63.9	WR _v 11	265.0	-64.1		
WR _M 12	_	_	WR _v 12	294.0	-93.1		
WR _M 13	302.6	-101.7	WR _v 13	302.6	-101.7		
WR _M 14	336.2	-135.3	WR _v 14	331.2	-130.3		
WR _M 15	372.0	-171.1	WR _v 15	365.0	-164.1		
WR _M 16	394.4	-193.5	WR _v 16	393.9	-193.0		



- 81 -

図 4.1.4-1 各集水リングにおける水質分析結果

9/26

日付

● WR_v3 ● WR_v4 ● WR_v5 ● WR_v6 ● WR_v7 ● WR_v8 ● WR_v9 ● WRv10 ● WRv11 ● WRv12 ● WRv13 ◆ WRv14 ◆ WRv15 ◆ WRv16

11/25

0

3/25

1/24

.

5/29

8

6

3/30

0

7/28



図 4.1.4-2 深度 300m 研究アクセス坑道での水質分析結果

②予備ステージボーリング孔(07MI07 号孔, 09MI20 号孔)における地下水水質観測

2009 年度は、深度 300m における地下水の地球化学環境と研究坑道掘削の進捗に伴う地球化学環 境の変化の把握を目的として、深度 300m 予備ステージに設置された避難所からボーリング調査(09MI20 号孔)を行った。ボーリング調査では、避難所から北西方向に向かって傾斜角 3°下向きに掘削長 103m のボーリング孔を掘削した(図 4-1 参照)。掘削後, 孔径検層, ボアホールテレビ(BTV)検層, 電磁フロー メータ検層および水理試験を実施した。各検層および試験の結果に基づき, 6 区間の観測区間を設定し、 多区間水質モニタリング装置を設置した。その後, 各区間に滞留した掘削水を排除するための予備排水 を実施し、水質モニタリングを開始した。モニタリング項目は、物理化学パラメータ(間隙水圧, 水温, pH, 酸化還元電位, 電気伝導度, 溶存酸素濃度), 主要元素, 安定・放射性同位体および蛍光染料濃度で ある。物理化学パラメータは区間ごとに連続モニタリングとし、主要元素および蛍光染料濃度は1回/週, 安定・放射性同位体および溶存ガスは1回/月の頻度で分析を実施した。また、本孔の掘削時に蛍光ビ ーズ(Fluoresbrite Carboxylate Microspheres 0.50ph YG)を添加し、掘削水によるコアへの微生物学的 汚染の程度を予察的に調査した。

各区間の設置深度と区間長および中間座標を表 4.1.4-2 に示す。09MI20 号孔における水質観測区間 の設定については、水理学的特性の異なる箇所や研究坑道からの距離に応じた観測区間の設定を前 提とした検討を行った。研究坑道近傍の水質分布については、研究坑道掘削に伴う地下水流動の変化 に応じて変化していることが明らかとなっており²⁾、地下水流動の変化は、研究坑道掘削による影響の程 度と水理学的特性に依存すると考えられる。そのため、作業日報に記載された湧水量、掘削モニタリング 結果、電磁フローメータ検層結果、水理試験結果から得られる水理学的データに基づき、ボーリング孔を 水理学的特性の違いにより区分し、その後、岩芯写真およびBTV 検層のデータを利用して詳細なパッカ ー設置位置を決定した。各試験結果および設定した区間と各区間での予備排水後の水質を図 4.1.4-3 に示す。

また,地下水試料への掘削水の混入を定量的に評価するための品質管理として,掘削水へトレーサーとして蛍光染料(ウラニン)を0.2 mg/L で添加し,掘削中は蛍光染料濃度を±10%の範囲で管理した。 なお,孔内からの湧水による掘削が可能となり,送水が不要となった段階で,蛍光染料による掘削水管 理を停止した。多区間水質モニタリング装置設置後の水質分析の結果,蛍光染料濃度は各区間におい て検出下限値未満であり、掘削水の残留はないと判断した。また、コアに対する掘削水からの微生物学 的汚染を把握するための品質管理として、粒径 0.5 µm の蛍光ビーズ(Fluoresbrite Carboxylate Microspheres 0.50ph YG)を掘削長 21.6m からの掘削時に掘削水に添加し、掘削後のコアを蛍光顕微鏡 で観察した。その結果、割れ目表面では蛍光ビーズの付着が確認され(図 4.1.4-4)、掘削水による微生 物学的な汚染が生じている可能性を確認した。このことから、コアを利用した微生物の DNA 解析や代謝 活性実験などを行う場合には、掘削水からの汚染により混入した微生物を原位置の微生物と誤って解釈 する恐れがあり、群集構造や代謝活性速度を正しく評価できない可能性がある。掘削水からの汚染を最 小限にするためには、掘削水を定期的に滅菌することや、ボーリング孔からの湧水を掘削水として利用し て掘削した区間のコアを使用することなどが考えられるが、さらなる検討が必要である。

09MI20号孔および 07MI07号孔 (深度 200m予備ステージの避難所から掘削; 傾斜角下向き約5°の 水平孔)における多区間地下水モニタリング装置を利用した水質観測では, 定期的な採水, 分析および 物理化学パラメータ(水温, pH, 酸化還元電位, 電気伝導度, 溶存酸素濃度)と間隙水圧の連続測定を 実施した。観測項目は主要元素(Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, F⁻など), 同位体(δ¹⁸O, δD, ³H, ¹⁴C), および蛍光染 料濃度(ウラニン, ナフチオン酸ナトリウム, アミノG酸)である。これらのうち, 主要元素および蛍光染料濃 度は 07MI07号孔では1回/月, 09MI20号孔では1回/週の頻度で実施した。その他, 安定同位体, 放 射性同位体および溶存ガスは2回/年の頻度で分析を行った。また, 2009年度は 09MI20号孔から採取 した地下水を対象として, 微生物が地球化学環境形成へ及ぼす影響を把握するために, 微生物の群集 組成を明らかにするための解析を実施した。具体的には, 地下水試料をろ過し, ろ過膜上の全DNAを抽 出した後, PCR(*P*olymerase *C*hain *R*eaction)法を用いて増幅したバクテリアの 16S rDNA(保存性の良い 遺伝子の一つ)について, 群集組成を把握するための DGGE(*D*enaturing *G*radient *G*el *E*lectrophoresis) 解析を実施した。

図4.1.4-5に両孔における水質分析結果を示す。両孔では孔底から孔口に向かって区間1から区間6 までの6区間を設定している。2008年度までの水質観測においては、07MI07号孔における水質観測結 果より、研究坑道近傍では研究坑道掘削による地下水流動状態の変化に伴う深部地下水(溶存成分濃 度の高い地下水)の上昇(Upconing)の影響を受けて水質分布が変化していることを示した³⁾。研究坑道 近傍において深部地下水が上昇することにより、研究坑道から掘削する水平ボーリング孔では孔口(研 究坑道側)から孔底にかけて濃度が減少する水質分布を示す。2009年度における07MI07号孔および 09MI20号孔の両孔での水質観測結果においても同様の傾向が認められることから、両孔における水質 分布は研究坑道掘削の影響により変化していると考えられる。その他、2009年度の07MI07号孔におけ る水質観測では以下のことが確認できた。

- ・2009年8月に区間2および区間6以外の水質が同様の範囲に分布
- ・2010年2月に区間6以外の5区間の水質が同様の範囲に分布(区間3,区間4および区間5の 水質が変化し,区間1および区間2に近い値へと変化)

複数の区間における水質が同様の値を示す原因としては、パッカーの収縮により閉塞していた各区間 が連結してしまうこと、もしくは研究坑道掘削の影響により水質分布が変化する過程で同様の水質を示す ことが考えられる。前者の場合には各区間が連結することにより、間隙水圧分布も同じ値を示すことが予 想される。ただし、図4.1.4-6に示した通り、2009年8月および2010年2月のいずれの時点においても、 類似した水質を示す各区間が連結したような間隙水圧分布は認められない。そのため、2009年8月およ び2010年2月においては、水質分布が変化する過程で同様の水質を示したと考えられる。また、間隙水 圧と水質の変化傾向は大局的には類似しており、地下水流動状態の変化に伴い水質が変化しているこ とを示す。ただし、2010年2月以降に区間3、区間4および区間5においてCL濃度が低下し、区間1、 区間2を含めて水質が近い値を示した時期には、間隙水圧が低下する傾向が見られなかった。このこと は、集水リングから採取した地下水における調査結果と同様に、各区間での地下水の流入と流出の割合 は変化しないために間隙水圧は変動しないものの,流入する地下水の供給源が深部から浅部へと変化 することによって水質がより低い濃度へと変化していると考えられる。

他方,09MI20号孔における水質観測では、以下のことが確認できた。

- ・観測開始以来, Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻などの主要成分濃度は低下し, 低下量は孔口に近いほど大きい
- ・観測開始時には区間1と区間6でのCI濃度の差が約250mg/Lであったが、2010年2月には約150 mg/Lまで減少
- ・CГ濃度は、区間1および区間2以外では観測期間を通じて概ね一定の割合で低下

間隙水圧は観測期間を通じて低下傾向を示すものの(図 4.1.4-6), 2010 年 1 月頃を境に,低下量はより緩やかに変化する。これらのことから、09MI20 号孔においても 07MI07 号孔と同様に各区間へ流入する地下水の供給源が変化し、水質が変化していると考えられる。

地表から掘削したボーリング孔(MIZ-1 号孔)での採水調査結果に基づいて確認できる各深度における CI濃度は,深度 200m で約 120mg/L,深度 300m で約 180mg/L となる。07MI07 号孔および 09MI20 号孔における区間 1(立坑から最も遠い区間)での CI濃度は,2010 年 2 月の時点で,それぞれ約 50 mg/L となっている。特に 07MI07 号孔においては,区間 6 を除いて概ね同じ値を示す。このことは,MIZ-1 号孔で得られた CI-濃度の深度分布が水平方向に均質であると仮定すると,研究坑道近傍では深部からの地下水が上昇して CI-濃度が研究坑道掘削前の状態に対して上昇しているものの,濃度が上昇している領域より外側では浅部からの地下水の流入により濃度が低下していると考えられる。特に 2010 年 1 月以降は,両孔における各観測区間で間隙水圧の変化が少ないのに対して,水質の変化は顕著であることから,深度 200m 以深の領域において,地下水流動状態が研究坑道近傍においても浅部から深部への流れへと変化したと考えられる。

DGGE 解析の結果により得られた 09MI20 号孔における微生物の群集構造を図 4.1.4-7 に示す。 DGGE 解析の結果,09MI20 号孔では研究坑道からの距離に応じて,各区間で微生物の群集構造が漸 移的に変化していることがわかった。区間 1 から区間 5 にかけて,硝酸還元菌が減少しているのに対し, より還元的な環境を示す硫酸還元菌が増加しており,研究坑道からの距離に応じてより酸化的な環境へ と変化していると考えられる。DGGE 解析のための試料は 2009 年 10 月に採取していることから,上述し たように孔口付近で深部からより還元的な地下水が流入していたと考えられ,微生物の群集構造が水質 に依存して変化していると考えられる。これらの結果から,微生物は硝酸や硫酸などの酸化剤を消費し, 地下環境を還元的に維持する役割を担うとともに,水質とともに群集構造が変化することによって,水質 の変化を緩衝する緩衝材としての機能も有していると考えられる。

	区間深度	叓(mabh)	区問E(ma)	座標(世界測地系)					
区間No.	上部	下部	区间天(m)	Х	Y	EL	GL		
1	96.0	101.9	5.9	-69008.479	6416.443	-98.778	-299.678		
2	84.9	84.9 96.0 11.1		-69000.027	6383.603	-100.823	-301.723		
3	58.5	84.9	26.4	-68986.915	6383.603	-100.823	-301.723		
4	34.7	58.8	24.1	-68972.707	6361.966	-102.17	-303.07		
5	19.5	34.8	15.3	-68966.448	6352.433	-102.764	-303.664		
6	0.0	19.5	19.5	-68964.902	6350.079	-102.911	-303.811		

表 4.1.4-2 09MI20 号孔における各区間の設置位置



図 4.1.4-3 09MI20 号孔での調査結果概要



図 4.1.4-4 花崗岩の割れ目の表面に付着した蛍光ビーズ (緑色の粒状の物質が蛍光ビーズ)



図 4.1.4-5 07MI07 号孔および 09MI20 号孔での水質分析結果(その 1)



図 4.1.4-5 07MI07 号孔および 09MI20 号孔での水質分析結果(その 2)





③既存ボーリング孔における地下水水質観測

研究所用地内の浅層ボーリング孔(MSB-2号孔, MSB-4号孔:図4.1.3-14)において,1回/月の頻度 で水圧観測および地下水の採水調査を実施した。また,MIZ-1号孔の二つの区間を対象とした採水調 査を実施した(4.1.3(2)1)③(a)c)に示した採水調査に該当)。なお,MSB-2号孔およびMSB-4号孔で の採水調査ではMPシステム(Westbay社(現Schlumberger社)製)を利用したバッチ式採水,MIZ-1号 孔ではHSPMPシステム(Solexparts社製)を利用したポンプ採水により地下水を採取した。

間隙水圧の測定結果(全水頭へ換算)を図 4.1.4-8 に示す。間隙水圧測定の結果,以下のことが確認 できた。

- ・MSB-2 号孔では区間 6(最上部が区間1,最深部が区間 10)までは深度とともに水頭が低下し,区 間 7 から区間 10 では概ね同様の範囲に分布
- ・MSB-4号孔では、高水頭の区間3以浅と低水頭の区間4以深の二つの領域に区分可能
- ・MSB-4号孔の低水頭の区間では、深度とともに水頭が低下し、区間6および区間7は概ね同じ範囲に分布
- ・両孔の水頭を比較すると、全般的には MSB-2 号孔でより低い値を示し、瑞浪層群と花崗岩の不整 合面直下に設置された MSB-2 号孔区間 9 および MSB-4 号孔区間 7 において 2010 年 2 月時点 では、約 50m の水頭差を確認
- ・観測期間を通して MSB-2 号孔の区間 7 以深および MSB-4 号孔区間 6 および区間 7 では, 水頭 が約 5m 低下

両孔における水頭の違いは,主立坑沿いに認められる低透水性の NNW 断層により研究坑道掘削の 影響の程度が異なるためと考えられる。ただし,2009 年度においては,両孔における水頭の低下量がほ ぼ同じであり,研究坑道掘削の影響が少なかった MSB-4 号孔では深度 300m 研究アクセス坑道の影響 により水頭が低下していると考えられる。

MSB-2号孔および MSB-4号孔での水質観測結果を図4.1.4-9に示す。水質観測の結果,以下のことが確認できた。なお, MSB-2号孔の区間3および区間5, MSB-4号孔の区間4では,全水頭がそれらの区間の採水ポート(MP システムでバッチ式採水を行う際の採水口)より低下したため,採水できなかった。

・MSB-2号孔においては,2009年10月以降,区間6以深の各区間において溶存成分濃度が変化, ただし各溶存成分の変動傾向は一定ではなく,Na⁺濃度の変動は各区間で同じ傾向を示すのに対 し、CΓ濃度は各区間において異なる傾向を確認 ・MSB-4号孔では,各溶存成分濃度は概ね同様の範囲に分布,ただし,区間5および区間6のCl-濃度については,他の区間と比較して変動幅が大きい

MSB-2 号孔での水質変化について, Na-Cl型地下水において Na⁺濃度と Cl-濃度の変動傾向が異な る事は, Na-HCO₃型地下水のような Na/Cl比の異なる地下水が混入していることを示唆しており, 浅部からの地下水の流入が考えられる。これらの変動の傾向は間隙水圧の変動とは整合的でなく, 各区間の透水性や他の帯水層との連結性が水質の変動幅を決定する要因となっていると考えられる。

MIZ-1号孔での採水調査の結果について、CF濃度の分布を示す(図4.1.4-10)。MIZ-1号孔ではこれ まで、ボーリング調査中に実施した採水調査(2003年度および2004年度)の他、2005年度、2008年度 に二つの区間を対象とした採水調査を実施している。採水調査の結果、深度1,150mの区間においては、 2005年度から明瞭な変化は認められず、今回の採水調査を含めても概ね同じ濃度を示す。他方、深度 650mの区間については、掘削調査時の採水調査と比較して、2008年度の採水調査ではCF濃度が上昇 しており、2009年度の分析結果は2008年度の結果とほぼ同じ値を示す。この濃度変化の原因としては、 研究坑道掘削の影響により深部地下水が流入していることが考えられ、研究坑道掘削の影響が深度 650mまで及んでいることが示唆される。



図 4.1.4-8 MSB-2 号孔および MSB-4 号孔における全水頭値

JAEA-Review 2011-007



図 4.1.4-9 MSB-2 号孔および MSB-4 号孔における水質分析結果



図 4.1.4-9 MSB-2 号孔および MSB-4 号孔における水質分析結果



図 4.1.4-10 MIZ-1 号孔における水質分析結果

④地下水中の金属元素の存在状態に関する調査

地下水中のコロイドが物質の移行に与える影響を検討するため、コロイドを形成している、もしくはコロ イドに吸着していると考えられる微量金属元素の存在状態に関する調査を行った。2009 年度は、地下水 中の微量金属元素濃度分析に加えて、ろ過膜上に捕集されたコロイドについても分光学的分析を実施 した。また、2008 年度の分析では検出下限を下回っていた希土類元素(Rare Earth Elements: REE)につ いて、濃縮作業を行うことによって Eu 以外の REE の定量が可能になった。コロイドに対する分光学的分 析として、サイズや形状を把握するための電子顕微鏡観察、元素の酸化数を把握するための X 線分光 分析、有機物の種別を把握するための赤外線分光分析を実施した。

図 4.1.4-11 に 07MI07 号孔における区間 6 以外の 5 区間 (4.1.4(2)1) ②参照) から採取した地下水の 分画サイズに対する REE 濃度を示す。採水区間ごとの REE 濃度に大きな差は見られなかった。区間 1, 区間 2 および区間 4 における REE 濃度は分画サイズが小さくなるに伴い濃度が低下している。このこと は、REE がコロイドを形成し、ろ過膜上に捕集されているためにろ液中の REE 濃度が分画サイズと相関性 を持ったものと考えられる。なお、区間 3 および区間 5 については、採取試料量の都合から原水を分析す るための試料が確保できなかった。

ろ過膜上のコロイドに対する電子顕微鏡観察の結果,地下水中のコロイドは Fe, Al, Siなどを含む無 機物と有機物の混合物であることが分かった(図 4.1.4-12)。コロイドのサイズや形状に定形はなく,1~ 数十 μmの様々な粒子が不均一に分布していた。サイズ分画および採水区間ごとに,コロイドの構成元 素の共通性や系統的な変化は見られなかった。コロイドとして存在する元素のうち Fe に着目した X 線分 光分析では、3 価の Fe の標準試料と類似性を示したことから、コロイド中の Fe は 3 価が支配的であるこ とが示された。X 線吸収スペクトルの解析の結果,水酸化鉄と有機酸鉄が共存している可能性が示され た。また、コロイド中の有機物に着目した赤外線分光分析では、コロイド中の有機物が腐植物質(動植物 遺骸由来の高分子有機物)を多く含むことが示された。水酸化鉄と腐植物質は REE と強く錯生成すること が知られており、REE はコロイド中でこれらの物質と結合している可能性がある。

これらの結果から、07MI07 号孔から採取した地下水中にはコロイドが存在し、コロイドは主に水酸化鉄、 有機酸鉄および腐植物質であると考えられる。また、地下水中の REE はこれらのコロイドと結合し、分画 サイズ依存性を持って存在していると考えられる。今後は、コロイド中で微量金属元素と相互作用する可 能性のある成分について定量化を行い、熱力学的計算を用いた地下水中の微量金属元素の存在状態 の推定を検討していくとともに、それに伴う調査技術開発を行う計画である。



図 4.1.4-11 07MI07 号孔における分画サイズに対する地下水中の REE 濃度の変化



図 4.1.4-12 コロイドの電子顕微鏡観察, X 線分光分析, 赤外線分光分析結果

⑤地下水水質の長期変遷に関する調査

2009 年度は、地下水水質の長期変遷に関する調査として、同位体水文学的手法を用いた地下水流 動状態の長期的な変化に関する検討を行った。具体的には、これまで取得された東濃地域における地 下水中の酸素・水素安定同位体データを整理し、同位体組成から想定される起源の異なる地下水の分 布(もしくは混合)状態を推定した。

その結果,現在の地下水の主流動方向に沿う北東-南西方向の変化については,月吉断層を境とした北側では,酸素安定同位体比が相対的に高く(図 4.1.4-13),南側では低い地下水が分布することがわかった。また,地下水の主流動方向とほぼ直交する北西-南東方向の変化については,研究所用地周辺における花崗岩浅部の地下水と正馬様用地や東濃鉱山周辺の花崗岩深部の地下水は,月吉断層北側と比較して相対的に酸素安定同位体比が低いことがわかった。炭素 14 年代測定結果と合わせると,月吉断層南側の地下水は,月吉断層北側の地下水と比較して相対的に寒冷な時期に涵養された古い地下水であることが考えられる。一方,研究所用地周辺における花崗岩深部の地下水は,正馬様用地や東濃鉱山周辺の深部や研究所用地周辺の浅部と比較して相対的に高い同位体比を示す。これらの地下水は,CГ濃度の高い Na-Cl 型の地下水²⁾であり,他の地域(正馬様用地,東濃鉱山周辺の深部,研究所用地周辺の浅部)の地下水と起源の異なる地下水の存在が想定される。Na-Cl型地下水の起源については明確ではないものの,化石海水である可能性が指摘されている。Na-Cl型地下水の起源を化石海水と仮定すると,研究所用地周辺の花崗岩深部の地下水は,酸素・水素安定同位体比が低い寒冷気候下に涵養された地下水あるいは現在の天水との混合により説明することができる。

今後は,研究所用地周辺の深部に分布するNa-Cl型地下水の起源に関する検討を進めるとともに,地 下水中の同位体や水質の空間分布からも過去の地下水の流動状態を推定する手法の検討を行ってい く。



図 4.1.4-13 酸素安定同位体比の断面分布図

⑥モデル化・解析

研究坑道掘削に伴う周辺の地下水流動場の変化により水質分布も変化が生じると考えられる。水質変化は水理地質構造に大きく依存していると考えられるため,研究坑道掘削に伴う地質環境の変化に基づく水理地質構造モデルの更新を行う上で非常に貴重な情報である。

そこで、本研究では、研究坑道掘削が水質変化に与える影響を解析的に評価する上での重要因子の 特定に関する検討を行うことを目的として、非定常移流分散解析によるCL濃度の変化に関する解析を実 施した。解析コードは、大成建設(株)が開発した EQUIV_TRANS を用いた。解析では、地下水流動解析 と整合性を持たせるため、解析領域を約9km×9kmとし、解析メッシュも地下水流動解析(図4.1.3-22参 照)に用いたものと同じものを用いた。また、解析の初期条件を設定するために、現在の地形分布や水理 地質構造において解析領域が全て海水で満たされていたと仮定し、その状態からの降雨による洗い出し 状況を数値解析的に推定し(図4.1.4-14)、水質観測結果に基づく現在の水質分布を再現している解析 時間断面を抽出した(図4.1.4-15)。よって、図中の時間は解析上の時間であり実際の時間変遷を示して いるものではない。さらに、この結果を初期条件として用いた非定常移流分散解析を実施し、研究坑道 掘削に伴う地下水流動場の変化による水質分布への影響および坑道内湧水中のCL濃度の変化に関す る推定を行った(図4.1.4-16)。

前者の解析の結果(図 4.1.4-14),海水が天水によって洗い出される過程において月吉断層を境に濃度分布が変化する過程が確認できることから,現在の地下水中の CL濃度分布の形成には,地下水流動場に大きな影響を与えていると考えられている月吉断層および断層に伴う割れ目帯が影響したことが示唆された。

後者の解析の結果,地下水流動場の変化により,深部にある CI 濃度の高い地下水が上昇する Upconing 現象が生じ,坑道内湧水に含まれる CI 濃度は時間とともに上昇すると予測された。

初期状態の水質分布および研究坑道掘削後の水質変化には、水理地質構造だけでなく、各水理地 質構造の水理学的特性、初期条件および境界条件など、様々な影響要因が考えられる。今後、これらの 影響要因が湧水および観測孔内の塩化物イオン濃度分布の時間変化に与える影響について感度解析 を行うとともに、予測結果と観測結果を比較することにより、研究坑道周辺の水理地質構造および各水理 地質構造の水理学的特性の同定を試みる予定である。



図 4.1.4-14 洗い出し解析結果の例

JAEA-Review 2011-007



図 4.1.4-15 洗い出し解析結果(t=6,850years)とボーリング孔での観測値の比較(DH-15 号孔)



図 4.1.4-16 研究坑道掘削に伴う塩化物イオン濃度の変化の解析結果

3) 技術開発

地下水中の酸素,メタンなどの溶存ガスは、地下水の pH や酸化還元状態の形成に影響し、また、地下水中での微生物活動の指標となるなど、地下水の地球化学環境を構成する重要な要素である。2008 年度は、地下水中の溶存ガスの組成をより高い精度で定量する目的で、研究坑道内に設置している水 質連続モニタリング装置を用いた採取方法に関して、高圧ガス充填法、圧力制御弁による方法、ピストン 方式について検討を行った⁴。2009 年度は、これらの中から最も正確に地下水試料の水圧を調整できる と考えられるピストン方式を取り入れた採水容器の製作を行った。

溶存ガスを採取する際の課題は、汚染の原因となる大気との接触と、脱ガスの原因となる間隙水圧の 低下であり、ピストン方式を取り入れた採水容器は、これらの課題を解決できる手法である。製作した容 器は、地下水圧(約 2MPa)に対して、耐圧・気密性能を有するステンレス製とした。容器内は、図 4.1.4-17に示すとおり、シャフトを取り付けたピストンによって2室(上流側/下流側)に仕切られており、ピ ストンは上流側と下流側の圧力差によって、容器内を移動する構造になっている。実際の採水において は、採水する前にポンプによって水を下流側に送り込むことにより、下流側を加圧状態(地下水圧以上) にしておき、上流側地下水採水口と水質連続モニタリング装置(被圧状態にある研究坑道内のボーリン グ孔からの地下水を、被圧状態を保持したまま採水することが可能)を接続する。この時点では、下流側 が加圧状態(地下水圧以上)であるため、上流側に地下水は流入してこない。その後、下流側の加圧状 態の水を極低速度で排出することにより、上流側に地下水が流入し、大気と接触することなく、また、間隙 水圧の低下を最小限に留めて、採水することが可能となる。実際に、09MI20号孔に設置した多区間水質 モニタリング装置に製作したピストン式採水容器を接続し、地下水を採水した結果、原位置の地下水圧 (1.8MPa)を圧力低下範囲 0.05MPa 以内で採水することが可能であった。今後は、採水後の容器内水圧 の保持能力(1 週間保持は確認済み)の長期試験および採取した試料のガス分析の実施を予定してい る。



図 4.1.4-17 開発した採水容器の模式図

参考文献

- 竹内真司,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,天野健治,松岡稔幸,早野明,竹内竜史,三枝博光, 大山卓也,水野崇,平野享,尾方伸久,濱克宏,池田幸喜,山本勝,弥富洋介,島田顕臣,松井裕 哉,伊藤洋昭,内田雅大,杉原弘造:"超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)", JAEA-Review 2009-017(2009).
- Iwatsuki, T., Furue, R., Mie, H., Ioka, S. and Mizuno, T.: "Hydrochemical baseline condition of groudnwater at the Mizunami underground research laboratory (MIU)", Appl. Geo. Chem., 20, pp.2283-2302(2005).
- 3) 水野崇, 齋正貴, 萩原大樹, 青才大介, 山本祐平: "瑞浪超深地層研究所における地球化学研究 -第 1 段階における地球化学概念モデルの妥当性確認方法について-", 2009 年度日本地球化学会第 56 回 年会講演要旨集, pp.114.
- 4) 竹内真司,國丸貴紀,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,松岡稔幸,早野明,竹内竜史,三枝博 光,大山卓也,水野崇,平野享,尾方伸久,濱克宏,池田幸喜,山本勝,弥富洋介,島田顕臣, 松井裕哉,伊藤洋昭,杉原弘造:"超深地層研究所計画 年度報告書(2008 年度)", JAEA-Review 2010-014(2010).

4.1.5 物質移動に関する調査研究

2009 年度は, 2010 年度以降の5 箇年に実施する物質移動試験の計画を策定するために, 物質の遅延特性に関する既存情報(物質の収着・拡散特性, 物質移動に寄与する空隙構造や空隙率, コロイド/ 有機物/微生物が物質移動に及ぼす影響など)を整理した。さらに, 国内外の物質移動試験に関する 先行事例の調査を行った。

国内外の物質移動試験に関する先行事例調査では、スイスのモン・テリ岩盤研究所¹⁾およびグリムゼ ル原位置試験場^{2),3)}、スウェーデンのフォルスマルク⁴⁾およびエスポ岩盤研究所^{5~8)}、日本の釜石原位 置試験場⁹⁾の物質移動試験を対象とした。この先行事例調査の結果を参考にして、2010年度以降から5 箇年の物質移動試験の計画を策定した。物質移動特性の評価項目と試験研究の関係を表4.1.5-1に示 す。亀裂性岩盤中の物質移動現象は、亀裂中の移流、分散、亀裂表面(または充填物質中)への収着、 亀裂に接する岩盤のマトリクス中への拡散とそこでの収着で表現される(図4.1.5-1)。超深地層研究所計 画における物質移動試験では、実際の地質環境である研究坑道周辺の数十 m スケールの岩盤を対象 にして、物質移動の遅延特性を評価するためのパラメータの取得手法を整備する。さらに、取得したパラ メータの不確実性を評価するために、それぞれのスケールでの物質移動に関する現象を理解し、岩石マ トリクスへの拡散や収着などの遅延に寄与する微視的な構造から、地下水流動に寄与する数十m スケー ルの亀裂の構造における物質移動特性を連続的に評価できる調査解析手法を整備することが重要であ る。そのため、試験の対象を割れ目ネットワーク(~数+m)、単一透水性割れ目(~約5m)、岩石マトリク ス(数+cm)に分けて実施する。

	試験対象	割れ目ネットワーク (~数10m)		単一透水性割れ目 (~約5m)			岩石マトリクス (~数10cm)					
	調査	水理地質 構造調査	トレーサー 試験	トレーサー 試験	大型試験体 試験	割れ目の 内部構造調査	長期拡散 試験	収着・拡散 試験	空隙構造 調査			
	原位置 /室内	原位置	原位置	原位置	室内	室内	原位置	室内	室内			
	馴れ目の地質学的特性											
	・母岩/充填鉱物の岩石学・鉱物学的特徴	0					0					
	・割れ目密度/開口幅	0				0	0					
	水理特性に関するバラメータ											
	・湧水量/湧水圧/間隙水圧	0					0					
	・透水量係数/透水係数	0			0		0					
	・WCFの位置/密度	0					0					
	・割れ目の連続性	0	0									
	物質移行経路に関するパラメータ											
	・水理学的/物質移行開口幅		Δ	Δ	Δ							
	・分散長		Δ	Δ	Δ							
取得	・水理的有効間隙率		Δ	Δ	Δ							
デ	・マトリクス拡散寄与面積		Δ	Δ	Δ							
タ	透水性割れ目の三次元形状					0						
	岩石マトリクスにおける収着・拡散に関するバ	ラメータ										
	・拡散係数			Δ	Δ		0	0				
	・分配係数			Δ	Δ		0	0				
	・有効間隙率						0	Δ	0			
	・マトリクス拡散深さ			Δ	Δ		0	0				
	岩石マトリクスにおける空隙構造								0			
	地下水の地球化学的特性											
	水質(pH、Eh、溶存イオン濃度)		0	0			0					
	⊐ □ √ド		0	0			0					
	微生物		0	0			0					

表 4.1.5-1 物質移動特性評価に係わる課題と試験研究の関係

○:試験の実測値など直接的に取得するデータ △:モデル解析などにより間接的に取得するデータ



図 4.1.5-1 物質移動特性に係わる様々なスケールとプロセス
また、岩石マトリクスにおける収着・拡散に関する評価については、スイスのグリムゼル原位置試験場に おいて実施しているLTD(Long-Term Diffusion)試験の成果を活用した評価を行う計画である。この試験 は、原子力機構が参加している共同研究であり、原位置における亀裂岩盤中での放射性核種のマトリク ス拡散現象を定量的に把握することを目的としている。原子力機構は、この試験によって得られたパラメ ータを室内試験によって得られた収着・拡散に関するパラメータと比較することにより、室内試験データの 原位置への適用手法を検討する計画である。土岐花崗岩についても同様の室内試験を実施し、LTD 試 験の成果を活用することにより、実際の地質環境を対象とした収着・拡散に関するパラメータの設定手法 および設定値の不確実性の推定手法について検討する計画である。

- 1) P. Wersin, et al. (2004): Long-term diffusion experiment at Mont Terri: first results from field and laboratory data, Elsevier, Applied Clay Science 26,
- 2) W. R. Alexander, K. Ota, et al. (eds) (2001) : "The Nagra-JNC in situ Study of safety relevant radionuclide retardation in fractured crystalline rock II: the RRP project methodology development, field and laboratory tests", Nagra Technical Report, NTB00-06
- P.A. Smith, W.R. Alexander, et al. (2001): The Nagra-JNC in situ study of safety relevant radionuclide retardation in fractured crystalline rock I: Radionuclide Migration Experiment -Overview 1990-1996, Nagra Technical Report, NTB00-09
- 4) J. Crawford, Kemakta Konsult AB(2008):Bedrock transport properties Forsmark Site descriptive modelling SDM-Site Forsmark, SKB Rapport R-08-48
- 5) P. Andersson, et al. (2002): Final report of the TRUE Block Scale project 1. Characterisation and model development, SKB Technical Report TR-02-13
- P. Andersson, et al. (2002): Final report of the TRUE Block Scale project 2. Tracer tests in the block scale, SKB Technical Report TR-02-14
- A.Winberg, et al. (2000): Final report of the first stage of the Tracer Retention Understanding Experiments. SKB Technical Report TR-00-07
- Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (SKB) (2009): Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 2008. SKB Technical Report TR-09-10
- 9) 核燃料サイクル開発機構 (1999): "釜石原位置試験総括報告書", 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7410 99-001.

4.1.6 深地層の工学技術の基礎の開発

(1)実施概要

深地層における工学技術に関する研究の目標は、現状のあるいは新たに開発される工学技術を瑞浪 超深地層研究所の地質環境に適用することにより、地下深部に研究坑道を設置し、安全かつ合理的に 施工・維持・管理できることを確認することである。2009 年度は、年度計画¹⁾に基づく計測・評価などを当 初計画通りに実施した。具体的には、2008 年度に引き続き、実際の建設工事を通じて、掘削技術、対策 工、品質確保技術や安全対策などの有効性の評価、設計時に適用した岩盤分類に基づく岩盤モデル およびその岩盤モデルに基づく空洞安定性解析のために設定した岩盤物性(強度・変形特性)について の掘削ズリを用いた一軸圧縮試験結果との比較検討、力学的な観点からのパイロットボーリング調査の 有効性の検討を実施した。グラウト施工については、2008 年度までに取りまとめた湧水抑制対策に関す る知見を整理し、深度 400m 以深のグラウト施工計画を策定し、グラウト施工を実施した。この中でグラウト 施工技術の高度化のため、超微粒子セメントを用いたグラウト施工を実施しており、深度 300m までのグラ ウト施工と同様に報告書²⁾として取りまとめている。また、深度 300m 研究アクセス坑道の一角において実 施を予定している施工対策影響評価試験の具体的な計画を策定した。

(2)実施内容

1)調査試験

①計測エ

計測工は,2008 年度に実施した深度 300m 連接部における各種計測とともに,主立坑および換気立 坑の一般部となる深度 350m 地点において,地中変位計測,覆エコンクリート応力計測,鋼製支保工応 力計測(主立坑のみ)を実施した。このうち,両立坑の地中変位計測結果を例として図 4.1.6-1 に示す。

主立坑側では、深度 250m 地点と同様、地中変位の発生状況が異方的であることと、立坑壁面から 1m 程度までの範囲で 10mm 以上の変位が生じている点は共通しているが、深度 250m 地点では E1~E3 測 線上の変形が大きかったのに対し、深度 350m 地点はそれに直交する方向の変位が大きい特徴がある。 さらに、E4 方向の測線では、立坑壁面から 2~3m の地点で、坑道方向への 40mm 程度の大きな変位が 生じている。図 4.1.6-2 には、掘削の進行に伴うE4 測線の地中変位計の各アンカーポイントの動きを示し ているが、測定断面から立坑底面が 40m 近く進行した時点で一度各アンカーポイントが引っ張られ、掘 削停止期間中、急激に縮む方向に動いていることがわかる。以上の動きは、単純な坑道掘削に伴う応力 解放で生じたのではなく、主立坑およびその周辺部に鉛直方向に連続的に存在する脆弱な断層あるい はそれに付随する変質部がある大きさの塊として滑る、いわゆる高抜けに近い現象が生じた可能性が高 いと考えられる。なお、現在は変位および覆工応力の変化も安定した状態にある。

換気立坑側の変位は、深度 350m 地点においても、1mm 以下の変位しか認められない(図 4.1.6-3)。 また、0.5m 地点よりも坑道壁面の方が変位が小さくなっているが、これは 250m 地点の計測結果と同様、 現在立坑掘削で適用している覆エコンクリートの剛性が高いために立坑壁面近傍の変位が拘束されて いることを示している。

今後は,深度 400m 以深において同種の計測を実施し,引き続き岩盤の挙動分析を実施する予定である。





図 4.1.6-3 換気立坑一般部における地中変位計測結果(深度 350m 地点)

②施工情報のデータベース化

これまでに実施した計測工データ, 坑内管理データ, サイクルタイムに関するデータ, 掘削の仕上がり に関するデータおよび掘削機械・設備に関するデータは, 専用に設けたデータサーバー上にすべてデ ジタル化して保存・管理している。今後も同システムにおけるデータ管理を継続するとともに, 最終的には データベースとして取りまとめる予定である。

③解析·検討

2008 年度は、設計の妥当性評価として、2007 年度に引き続き、設計時に適用した岩盤分類に基づく 岩盤モデルおよびその岩盤モデルに基づき空洞安定性評価のために設定した岩盤物性(強度・変形特性)について、詳細な比較検討を実施した。

図 4.1.6-4 は, 2006 年度までの地表からの調査および既存情報に基づき設計時に設定した換気立坑 深度 400m までの範囲の岩盤モデルと施工時の地質観察結果に基づき構築した岩盤モデルを示してい る。調整設計時には,主立坑・換気立坑とも深度 400m までの範囲で CL 級以上の岩盤と予測していた。 換気立坑は, B~CM 級の岩盤となっており,調整設計時の予測とほぼ一致している。

2009 年度は地中変位計測で把握している実際の岩盤の変形挙動を再現するため,設計時に用いて いた平面ひずみを仮定した二次元平面のモデル化ではなく,実際の掘削の進行状況を忠実に反映でき る軸対象モデルによる数値解析を試みた。図 4.1.6-5 には,今回のモデル化・解析のステップを示すが, 実際の施工状況の変化(発破掘削と掘削損傷領域の形成→覆工設置を繰り返す)を考慮するとともに, 地中変位計の設置時期も実際の施工サイクルにあわせ解析結果を整理した。結果を図 4.1.6-6 に示す が,このような解析および解析結果の整理を行うことで,実際の計測値で見られる挙動(壁面で変位が拘 束されるような挙動:図 4.1.6-3 参照)を概ね再現できることがわかった。



図 4.1.6-4 設計時と研究坑道における地質観察結果に基づき評価した電中研式岩盤等級区分の比較 (換気立坑 深度 400m までの範囲)

JAEA-Review 2011-007



図 4.1.6-5 換気立坑側を対象とした逐次掘削解析手順および解析物性値



図 4.1.6-6 実測値の比較のための逐次掘削解析結果の処理(地中変位)

④パイロットボーリング調査の有効性評価

主立坑では、深度 200m 以深の岩盤は複雑な地質の状況を反映し、D~CM の幅広い範囲の岩盤等 級区分となっており、調整設計時に設定した岩盤と同等かそれより脆弱な岩盤となっている。これは、調 整設計時までに想定していなかった断層および付随する変質領域の出現によるものである。そこで、主 立坑側で地上からパイロットボーリング調査が実施されていた場合に、力学的観点からどのような予測が 可能であったかを検討するため、深度 190m 付近から実施した湧水抑制対策のためのパイロットボーリン グ調査(06MI02 号孔:図 4-1)の再分析やコアなどを利用した室内試験およびその結果に基づく数値解 析を実施した。

図 4.1.6-7 に実施設計時,坑道壁面観察,パイロットボーリング調査時の電中研式岩盤分類結果を併記する。パイロットボーリング調査時の電中研式岩盤分類結果は,壁面観察時のそれと概ね対応しており,設計段階においてこの情報が取得できていれば主立坑の地質状況を反映した岩盤モデルの設定が可能であったことが示唆される。図 4.1.6-8 には,主立坑パイロットボーリングコアを用いた一軸圧縮試験結果の例を示す。本試験により,設計段階で評価できていなかった CL,D 級に相当する岩盤の岩石コアレベルでの弾性係数や強度の情報が取得できた。

次に、今回実施した室内試験結果などに基づき、岩盤等級に応じた物性値を再設定するとともに、有限要素法に基づく三次元弾塑性解析を実施し、実測結果と比較した。図4.1.6-9 には、等級ごとに再設定した岩盤物性値を、図4.1.6-10 はパイロットボーリング調査結果に基づく岩盤等級区分を考慮した三次元の岩盤モデルを示す。岩盤物性値の見直しでは、各岩盤等級毎の前述の岩石コア試験結果を用いたが、主立坑の場合は、その内径(6.5m)の範囲においても不均一に岩盤の地質状況が異なっていることから既往の研究事例と比較しつつ設定した。具体的には、既往の研究事例との対比により、各等級の岩盤の平均的な弾性係数はコア試験結果の1/100 に、内部摩擦角は実施設計あるいは既往の研究事例の最低値を選択し、粘着力は内部摩擦角の推定値と前述の一軸圧縮試験結果の最低値から求めた。

地中変位計測と鋼製支保工応力計測に関する解析結果と実測結果の比較例を図 4.1.6-11 に示す。 パイロットボーリング調査結果と室内試験結果に基づく解析結果は、当初設計に比べ主立坑側で見られ る岩盤の変形や支保工に発生する応力を概ね再現していることがわかる。このことから、パイロットボーリ ングによるコアの取得と室内試験の重要性が示された。

以上の結果から,掘削予定地点でのパイロットボーリング調査の実施は,地下施設の設計の精度向上 に対し有効であると判断される。しかし,主立坑側の岩盤のように,数mのスケール内でも地質状況が不 均質である場合の岩盤物性値の設定方法については,今後も検討を行う必要があると考えられる。







図 4.1.6-9 室内試験結果に基づく弾性係数の決定方法と各等級の岩盤物性値の再設定結果

JAEA-Review 2011-007



図 4.1.6-10 設計時の岩盤モデルと再設定した岩盤モデル(三次元 FEM 解析)



図 4.1.6-11 解析結果と実測値の比較(上図:地中変位,下図:支保工応力)

⑤施工対策影響評価試験の計画検討

2009 年度は、2008 年度に実施した概念検討に基づくより詳細な試験計画の検討を実施した。図 4.1.6-12 は新規坑道掘削前に実施する必要があるプレグラウチング計画を、図 4.1.6-13 はプレグラウチ ング実施中の計測用ボーリング孔配置および計測項目の検討例を示したものである。これらの検討例で は、新規に掘削する坑道を二つの領域に分け、プレグラウチングの施工方法の違いによる周辺岩盤の地 質環境への影響の差を比較するという概念に基づき検討を進めているが、試験の目標設定や試験期間 の設定などに検討の余地があることから、本検討結果を踏まえ、外部専門家との議論などを通じ計画案 の更新を進める予定である。



図 4.1.6-12 試験坑道掘削時のプレグラウチング計画案



図 4.1.6-13 施工対策影響評価試験時の計測レイアウトおよび計測項目案 (上図:グラウト材浸透範囲・カ学関連調査,下図:水理・地球化学関連調査)

参考文献

 竹内真司,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,天野健治,松岡稔幸,早野明,竹内竜史,三枝博光, 大山卓也,水野崇,平野享,尾方伸久,濱克宏,池田幸喜,山本勝,弥富洋介,島田顕臣,松井裕 哉,伊藤洋昭,内田雅大,杉原弘造:"超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)", JAEA-Review 2009-017(2009).

- 2) 石井洋司,渡辺和彦,神谷昇,早野明,見掛信一郎,竹内真司,池田幸喜,山本勝,杉原弘造: "深度 400m 以深の換気立坑掘削において実施したプレグラウチングの施工結果と考察", JAEA-Technology 2010-044 (2010).
- 3) 吉中龍之進, 櫻井春輔, 菊池宏吉 編 著:岩盤分類とその適用 第2編 岩盤分類各論, 土木工学 社, p51.

4.2 正馬様用地における調査研究

(1)実施概要

2009 年度の正馬様用地での調査研究では、年度計画¹⁾に基づく長期観測について計画通りに実施 した。具体的には、月吉断層に着目した地下水流動場の把握のための地下水長期モニタリングおよび 涵養量の把握のための表層水理観測を継続した。

(2)実施内容

1)調査試験

①地下水長期モニタリングおよび表層水理観測

(a)地下水長期モニタリング

地下水長期モニタリングでは 2008 年度に引き続き, AN-1 号孔, AN-3 号孔, MIU-1 号孔, MIU-2 号 孔, MIU-3 号孔および MIU-4 号孔において直接水圧計測方式である MP システム(Westbay 社(現 Schlumberger 社)製)を用いて間隙水圧のモニタリングを継続した(図 4.1.3-8 参照)。

AN-1 号孔, AN-3 号孔, MIU-1 号孔の観測区間は全て月吉断層の上盤側に位置する。また, MIU-2 号孔, MIU-3 号孔, MIU-4 号孔は月吉断層を貫通しており, 断層の上盤側, 下盤側それぞれに観測区間を設置している。観測孔の位置を図 4.2-1 に示す。また, 地下水長期モニタリングを実施しているボーリング孔の観測区間一覧表を表 4.2-1 に示す。

2009年度の正馬様用地内のボーリング孔での間隙水圧測定結果を図 4.2-2 に示す。なお、図中では間隙水圧を換算し全水頭の変化として示し、全水頭は標高で表記した。



図 4.2-1 水圧モニタリング孔位置図(正馬様用地内)

表 4.2-1(1)	地下水長期モニタリングを実施しているボーリング孔の観測区間ー	覧表
	(正馬様用地内)	

AN-1号孔							孔口標高	: 216.38m	
区明委旦			区間深	度 (m)			区間長	観測区間	
区间留方	G.	L. (-	m)	E.	L. (r	n)	(m)	2009年度	- 地 眉
1	49.2	\sim	97.7	167.2	\sim	118.7	48.5	0	土岐花崗岩
2	98.7	\sim	150.4	117.7	\sim	66.0	51.7	_	土岐花崗岩
3	202.3	\sim	250.7	14.1	\sim	-34.3	48.4	_	土岐花崗岩
4	251.7	\sim	268.5	-35.3	\sim	-52.2	16.9	_	土岐花崗岩
5	301.5	\sim	349.7	-85.1	\sim	-133.3	48.2	_	土岐花崗岩
6	450.1	\sim	507.2	-233.7	\sim	-290.8	57.1	0	土岐花崗岩
7	508.2	\sim	536.4	-291.8	\sim	-320.0	28.2	_	土岐花崗岩
8	543.3	\sim	549.7	-326.9	\sim	-333.3	6.4	_	土岐花崗岩
9	597.8	\sim	646.5	-381.4	\sim	-430.1	48.7	_	土岐花崗岩
10	743.7	\sim	792.8	-527.3	\sim	-576.4	49.1	0	土岐花崗岩
11	793.8	\sim	840.5	-577.4	\sim	-624.1	46.8	_	土岐花崗岩
12	934.0	\sim	994.1	-717.6	\sim	-777.7	60.1	0	土岐花崗岩

〇は水圧観測プローブを設置している区間

AN-3号孔	-3号孔 孔口標高:214.09m									
口田本口			区間深度	度 (m)			区間長	観測区間	ᆂᄝ	
区间留方	G.	L. (-1	m)	E.L. (m)			(m)	2009年度	11 倍	
1	93.9	\sim	103.5	120.2	\sim	110.6	9.6	0	土岐花崗岩	
2	118.0	\sim	130.6	96.1	\sim	83.5	12.6	_	土岐花崗岩	
3	149.5	\sim	159.1	64.6	\sim	55.0	9.6	0	土岐花崗岩	
4	254.5	\sim	274.6	-40.4	\sim	-60.5	20.1	0	土岐花崗岩	
5	295.0	\sim	304.6	-80.9	\sim	-90.5	9.6	0	土岐花崗岩	
	ーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー									

MIU-1号孔

孔口標高:220.074m

	2						
反明承已		区間深	度 (m)	区間長	観測区間	···· ··· ··· ···· ···· ··············	
区间备亏	G.L.	(-m)	E.L. (m)	(m)	2009年度	一地眉
1	194.9	~ 205.2	25.2 \sim	14.9	10.3	0	土岐花崗岩
2	234.2	~ 262.0	-14.1 ~	-41.9	27.8	—	土岐花崗岩
3	329.0	~ 349.3	-108.9 ~	-129.2	20.3	_	土岐花崗岩
4	377.9	~ 390.7	-157.8 ~	-170.6	12.8	_	土岐花崗岩
5	458.2	~ 468.1	-238.1 ~	-248.0	9.9	0	土岐花崗岩
6	835.7	~ 869.6	-615.6 ~	-649.5	33.9	0	土岐花崗岩
7	926.4	~ 948.7	-706.3 ~	-728.6	22.3	—	土岐花崗岩
8	951.2	~ 971.6	-731.1 ~	-751.5	20.4	—	土岐花崗岩
9	974.1	~ 1014.0	-754.0 ~	-793.9	39.9	0	土岐花崗岩

〇は水圧観測プローブを設置している区間

表 4.2-1(2) 地下水長期モニタリングを実施しているボーリング孔の観測区間一覧表 (正馬様用地内)

MIU-2号孔							孔口標高	: 223.775m	
区間釆旦			区間深度	度 (m)			区間長	観測区間	革函
区间留方	G.	L. (-	m)	E.	L. (1	n)	(m)	2009年度	地 眉
1	104.0	\sim	187.3	119.8	\sim	36.5	83.3	_	土岐花崗岩
2	188.2	\sim	260.4	35.6	\sim	-36.6	72.2	0	土岐花崗岩
3	261.3	\sim	333.1	-37.5	\sim	-109.3	71.8	_	土岐花崗岩
4	334.0	\sim	397.2	-110.2	\sim	-173.4	63.2	_	土岐花崗岩
5	398.1	\sim	498.4	-174.3	\sim	-274.6	100.3	0	土岐花崗岩
6	499.3	\sim	603.0	-275.5	\sim	-379.2	103.7	_	土岐花崗岩
7	603.9	\sim	699.2	-380.1	\sim	-475.4	95.3	_	土岐花崗岩
8	700.1	\sim	800.9	-476.3	\sim	-577.1	100.8	_	土岐花崗岩
9	801.8	\sim	887.1	-578.0	\sim	-663.3	85.3	0	土岐花崗岩
10	889.5	\sim	912.5	-665.7	\sim	-688.7	23.0		月吉断層
11	913.4	\sim	933.2	-689.6	\sim	-709.4	19.8	_	土岐花崗岩
12	934.1	\sim	1012.0	-710.3	\sim	-788.2	77.9	0	土岐花崗岩
								○け水圧観測プロ―ブを	設置 ている区間

〇は水圧観測プローブを設置している区間

MIU-3号孔							孔口標高	: 230. 476m	
口田老日			区間深度	度 (m)			区間長	観測区間	14 困
区间留方	G.	L. (-r	n)	E.L. (m)			(m)	2009年度	- 地 僧
1	183.3	\sim	239.6	47.2	\sim	-9.1	56.3	0	土岐花崗岩
2	240.5	\sim	319.3	-10.0	\sim	-88.8	78.8	_	土岐花崗岩
3	531.3	\sim	604.0	-300.8	\sim	-373.5	72.7	_	土岐花崗岩
4	604.9	\sim	690.8	-374.4	\sim	-460.3	85.9	0	土岐花崗岩
5	691.7	\sim	723.7	-461.2	\sim	-493.2	32.0	_	土岐花崗岩
6	724.6	\sim	780.5	-494.1	\sim	-550.0	55.9	0	月吉断層
7	781.4	\sim	832.4	-550.9	\sim	-601.9	51.0	_	土岐花崗岩
8	876.1	\sim	941.5	-645.6	\sim	-711.0	65.4	0	土岐花崗岩
							-		「記里」イリア反即

〇は水圧観測プローブを設置している区間

MIU-4号孔					孔口標高	: 216.994m	
口田本口		区間深	度 (m)		区間長	観測区間	
区间留方	G.L.(-n	n)	E.L. (m)	(m)	2009年度	11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 1
1	132.3 \sim	187.3	84.7 ~	29.7	-55.0	_	土岐花崗岩
2	251.0 \sim	277.4	-34.0 ~	-60.4	-26.4	_	土岐花崗岩
3	278.2 \sim	362.4	-61.2 ~	-145.4	-84.2	_	土岐花崗岩
4	363.2 \sim	431.5	-146.2 ~	-214.5	-68.4	_	土岐花崗岩
5	432.3 ~	505.4	-215.3 ~	-288.4	-73.1	_	土岐花崗岩
6	506.2 ~	578.5	-289.2 ~	-361.5	-72.3	0	土岐花崗岩
7	579.3 ~	585.1	-362.3 ~	-368.1	-5.8	_	土岐花崗岩
8	585.8 ~	603.7	-368.8 ~	-386.7	-17.8	0	月吉断層
9	604.4 ~	658.8	-387.4 ~	-441.8	-54.4	0	土岐花崗岩
10	659.6 \sim	689.3	-442.6 \sim	-472.3	-29.7	0	土岐花崗岩

〇は水圧観測プローブを設置している区間

MIII-4号习

a) AN-1 号孔

AN-1 号孔においては、6 月下旬から7 月上旬にメンテナンス作業を実施したため、この期間でデータ 欠損が生じている。また、メンテナンス作業の結果、区間 No.10 および 12 の水圧観測プローブに異常が 確認されたため、No.10、12 の再設置を行った9 月上旬までの間、これらの区間でデータ欠損が生じた。

全水頭の変化をみると、6月下旬から7月上旬に実施したメンテナンス作業の前は全水頭の大きな変化はなく、ほぼ一定の傾向を示していたが、メンテナンス作業後から1箇月程度の間(駿河湾を震源とする地震の発生までの間)で約1mの全水頭の上昇が生じた。この全水頭の変化の直接の原因は不明であるが、同じく駿河湾を震源とする地震の発生前にメンテナンスの作業を実施したAN-3号孔でも確認されているものの、その他の周辺のボーリング孔では確認されていない。よって、ここでの全水頭の上昇は、メンテナス作業による可能性が高いと考えられる。

また, 駿河湾を震源とする地震の発生後には全水頭の低下が生じ, 3 月末現在でも緩やかな低下傾向が継続している。地震に伴う全水頭の低下量は 3 月末現在で約 2m である。

b) AN-3 号孔

AN-3 号孔においては、7月上旬のメンテナンス期間を除いて観測データが得られている。全水頭の変化をみると、AN-1 号孔同様、7月上旬のメンテナンス作業までは全水頭の大きな変化はなく、メンテナンス作業後、約1箇月の間で全水頭が約1m上昇した。この変化についても、AN-1号孔同様、メンテナンス作業による可能性が考えられる。

また, 駿河湾を震源とする地震の発生時刻から全水頭の低下が生じ, 3 月末現在でも緩やかな低下傾向が継続している。地震に伴う全水頭の低下量は 3 月末現在で約 2m である。

c) MIU-1 号孔

MIU-1 号孔においては、プローブ設置時の不具合による観測データの異常値が確認されたことから、 9月上旬より観測を休止している。そのため、MIU-1号孔については観測データが正常と考えられる区間 のみを参考値として示す。全水頭の変化をみると、AN-1号孔、AN-3号孔と同様に月吉断層の上盤側の 観測結果に沿う全水頭の変化と概ね整合している。

d) MIU-2 号孔

MIU-2 号孔においては、区間 No.2 および 12 では 7 月上旬のメンテナンス期間を除いて観測データ が得られている。一方、区間 No.5 では 7 月上旬以降、区間 No.9 では 2008 年 10 月以降、水圧観測プロ ーブの不具合を確認したため観測を中断している。区間 No.2 と No.12 の全水頭を比較すると区間 No.12 の全水頭は区間 No.2 よりも高いことが確認できる。MIU-2 号孔では深度 900m 付近(標高-676m 付近) において月吉断層を貫通していることから、この全水頭の違いは、同断層の上盤側と下盤側で全水頭が 異なる(断層下盤の全水頭が高い)ことを示している。

また,月吉断層の上盤側である区間 No.2 では,駿河湾を震源とする地震の発生時刻から全水頭の低下がみられ,低下量は約1.5m である。一方,月吉断層の下盤側である区間 No.12 では,駿河湾を震源とする地震の発生時刻から全水頭の上昇が生じた。地震に伴う全水頭の上昇量は数十 cm 程度であり,地 震発生に伴う全水頭の変化も断層の上盤側,下盤側で異なっている。

e) MIU-3 号孔

MIU-3 号孔においては、7 月下旬のデータ欠測(原因不明)、8 月下旬にメンテナンスに伴う数日間の データ欠損を除いて観測データが得られている。全水頭をみると、区間 No1,4 の全水頭はほぼ等しく、区 間 No,6,8 の全水頭がほぼ等しい。また、両者を比較すると、区間 No.6,8 の全水頭は区間 No.1,4 よりも 高いことが確認できる。MIU-3 号孔では深度 710m 付近(標高-480m 付近)において月吉断層を貫通し ていることから、この全水頭の違いは、同断層の上盤側と下盤側で全水頭が異なる(断層下盤の全水頭 が高い)ことを示している。

また,月吉断層の上盤側に位置する区間 No.1,4 では,駿河湾を震源とする地震に伴う全水頭の低下 がみられ,低下量は0.7m程度である。一方,月吉断層の下盤側に位置する区間 No.6,8 では,駿河湾を 震源とする地震の発生時刻から全水頭の上昇が生じた。全水頭の上昇量は数十 cm 程度であり,地震発 生に伴う全水頭の変化も断層の上盤側,下盤側で異なっている。これは,MIU-2 号孔と同じ傾向である。

f) MIU-4 号孔

MIU-4 号孔においては、8 月下旬に水圧観測プローブの点検および観測区間の変更による数日間の 欠測期間除き、継続的に観測データが得られた。全水頭を比較すると、区間 No.8,9,10 の全水頭は区間 No.6よりも高いことが確認できる。MIU-4 号孔では深度 595m 付近(標高-378m 付近)において月吉断層 を貫通していることから、同断層の上盤側と下盤側で全水頭が異なる(断層下盤の全水頭が高い)ことを 示している。



また,月吉断層の上盤側に位置する区間 No.6 では,駿河湾を震源とする地震に伴う全水頭の低下が みられ,低下量は 0.8m 程度である。一方,月吉断層の下盤側に位置する区間 No.9,10 では,駿河湾を 震源とする地震の発生から全水頭の上昇が生じ、全水頭の上昇量は数十cm程度である。区間No.8で、 8月下旬に急激な全水頭の低下が生じたが、この原因は特定できていない。それ以外の期間については、地震による影響も含め、大きな全水頭の変化は見られなかった。

g)まとめ

正馬様用地内のボーリング孔を利用した地下水長期モニタリング結果においては,研究坑道の影響 によると考えられる全水頭の変化は確認されなかった。

月吉断層上盤側と月吉断層下盤側では、全水頭に差が生じており、月吉断層上盤側より下盤側の方 が高い全水頭を示した。また、駿河湾を震源とする地震後、月吉断層上盤側では全水頭の低下、月吉 断層下盤側では全水頭の上昇が確認された。これらの結果は、月吉断層上盤側と月吉断層下盤側では 水理場が異なっており、月吉断層が断層面に直交する方向に対し低透水性を有するというこれまでの調 査、観測結果^{2)など}と整合的であり、月吉断層の水理特性に関する解釈の妥当性を裏付ける結果が得ら れたものと考える。

(b)表層水理観測

正馬様用地における表層水理観測では、地下水位計、河川流量計、気象観測装置(観測項目:雨雪 量、気温、湿度、風速など)、土壌水分計による観測を継続している(図 4.2-3、表 4.2-2)。蒸発散量の推 定に関しては、2007年度までは東濃鉱山気象観測システム(2008年2月に移設)、2008年度からは正馬 川流域・正馬川モデル流域・瑞浪超深地層研究所用地の観測データから蒸発散量の推定に必要なパラ メータを補完式により推定し算出した²⁾。パラメータの推定に当たり、湿度に関しては 100%をこえた場合 は、100%として算出した。その結果を表 4.2-3 および表 4.2-4 に示す。また、岩盤浸透量の経年変化を 図 4.2-4 に示す。図中の 2001年度および 2007年度におけるモデル流域の岩盤浸透量については、算 定に用いるモデル流域の林外(図 4.2-3 中の SMR(林外))の降水量が他の地点の降水量より著しく小さ な値となっており、正常な計測が実施できていなかった可能性が高いため、谷部の降水量の値を用いて 岩盤浸透量を算定した。

なお,2008 年度までの岩盤浸透量は,各観測地点での実測値の誤差の修正(補正)や補完式を用いた欠測データの推定(補完)を行った後のデータを用いて算定しているのに対し,2009 年度については 補正・補完前のデータを用いている。よって,以下に述べる 2009 年度の結果については,速報値として 示す。

正馬川流域における2009 年度(2009 年4月から2010 年3月まで)の岩盤浸透量は,全域では203mm, 上流域では746mm,下流域(正馬川流域から正馬川上流域を除いた範囲)では-19mm となった。これら の結果は,地下水流動解析での涵養量を設定する際の参考データとして活用する。

また,上流域の岩盤浸透量が下流域のそれよりも多い傾向は,これまでの観測結果³⁾と整合しており (図 4.2-4),地下水涵養量は地形や流域面積の違いにより不均質な分布となることが示唆された。



図 4.2-3 表層水理観測位置図

表 4.2-2 観測項目一覧表

設置流域名	観測装置の名称 (記号は図に	および記号 ∵対応)	蒸発散量	雨雪量	河川流量	地下水位	土壤水分	備考 (対象地質他)
	研究所用地内気象観測 装置	MMP	٠					
	研究所用地内雨雪量計	MR		٠				
研究所用地内	04ME01	04ME01				٠		瑞浪層群明世累層
	<u>土壤水分計1(3深度)</u>	MD1					٠	0.2m,0.4m,0.7m
	土壤水分計2(5深度)	MD2					٠	0.2m,0.4m,0.7m,1.3m,2.0m
	正馬様気象観測装置	SM	•					
	正馬様コミュニティー 雨雪量計	SR		•				
正馬川流域	正馬川下流河川流量計	SPD			•			
	正馬川上流河川流量計	SPU			•			
	99MS-05	99MS-05				•		瑞浪層群明世累層基底礫岩層
	正馬川モデル流域タ ワー	SMT	•					
	正馬川モデル流域 ボール	SMP	•					
	正馬川モデル流域林内 雨雪量計	SMR林内		٠				
	正馬川モデル流域林外	SMR林外		٠				
	正馬川モデル流域谷部 雨雪量計	SMR谷部		٠				
正馬川モデル	正馬川モデル流域	SPM			٠			
流域	97MS-01	97MS-01				٠		瑞浪層群明世累層
	97MS-02	97MS-02				•		潮戸層群土岐砂礫層
	98MS-03	98MS-03				٠		瑞浪層群明世累層
	98MS-04	98MS-04				٠		瀬戸層群土岐砂礫層
	SmTP(10深度)	SmTP					٠	0.2m,0.4m,0.6m,1.0m,3.0m, 5.0m,7.5m,10.0m,12.5m,15.0m
	SmTS (8深度)	SmTS					٠	0.2m,0.4m,0.6m,1.0m,1.5m,2.0m, 3.0m.5.0m

JAEA-Review 2011-007

				2009年度
			(正馬様)	1796
P:[降水	:量(mm)	(研究所)	1728
			(平均)	1762
E:	蒸発	;散量(mm):研究所		421
			(正馬様)	23
降7	k量	に対する蒸発散量の割合(%)	(研究所)	24
			(平均)	24
		R:河川流出高(mm)		1138
			<u>(正馬様)</u>	63
		降水量に対する河川流出高の割合(%)	(研究所)	66
			(平均)	65
			(正馬様)	237
		G:岩盤浸透量(mm)	(研究所)	169
			(平均)	203
			(正馬様)	13
		降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(研究所)	10
			(平均)	12
		R:河川流出高(mm)		594
			(正馬様)	33
TE	ΤĒ	降水量に対する河川流出高の割合(%)	(研究所)	34
馬	馬		(平均)	34
JII	Ш	G:岩盤浸透量(mm)	(正馬様)	780
流	上		(研究所)	712
域	流		(平均)	746
	域		<u>(正馬様)</u>	43
		降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(研究所)	41
			(平均)	42
		R:河川流出高(mm)		1359
	_		<u>(正馬禄)</u>	
	正	降水量に対する河川流出高の割合(%)	(研究所)	79
	馬		(平均)	77
	Ш		<u>(正馬様)</u>	15
	下	G: 宕盛浸透重(mm)	(研究所)	-53
	流		(平均)	-19
	域	ᅄᇦᇦᇦᆂᅸᆂᆂᅸᅸᅋᇔᇃᅸᇊᇦᆃᆋᇉᄼᇧᆞ	<u>(正馬様)</u>	
		降水重に对する岩盤浸透重の割合(%)	(研究所)	-3
			(平均)	-1

表 4.2-3 正馬様流域における岩盤浸透量

表 4.2-4 正馬川モデル流域における岩盤浸透量

			2009年度
		(モデル林外)	1936.5
P:ß	备水量(mm)	(正馬様)	1796
		(平均)	1866
E:Ž	素発散量(mm):研究所		421
		(モデル林外)	22
降水	、量に対する蒸発散量の割合(%)	(正馬様)	23
		(平均)	23
	R:河川流出高(mm)		979
正		(モデル林外)	51
馬	降水量に対する河川流出高の割合(%)	(正馬様)	55
側		(平均)	52
Ŧ		(モデル林外)	537
デ	G:岩盤浸透量(mm)	(正馬様)	396
ル		(平均)	466
流		(モデル林外)	28
域	降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(正馬様)	22
		(平均)	25



図 4.2-4 岩盤浸透量の経年変化

- 竹内真司,見掛信一郎,西尾和久,鶴田忠彦,天野健治,松岡稔幸,早野明,竹内竜史,三枝博光, 大山卓也,水野崇,平野享,尾方伸久,濱克宏,池田幸喜,山本勝,弥富洋介,島田顕臣,松井裕 哉,伊藤洋昭,内田雅大,杉原弘造:"超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)", JAEA-Review 2009-017(2009).
- 2) 核燃料サイクル開発機構: "超深地層研究所計画 年度報告書(平成 13 年度)", JNC TN7400 2002-004(2002).
- 3) 佐藤敦也, 竹内竜史: "超深地層研究所計画における岩盤水理調査 超深地層研究計画におけ る表層水理調査の現状と課題-", 日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, (2009).

4.3 研究所用地における施設建設

(1)施設建設の概要

2009 年度は,主立坑は深度 300.2m から深度 459.6m まで,換気立坑は深度 331.2m から深度 459.8m までの掘削と深度 400m 予備ステージの掘削,また,深度 300m ステージの整備(電気設備,給排水設備,安全設備の設置)を行った。2009 年度に実施した主立坑および換気立坑における掘削の概要を以下に示す。

1) 主立坑(深度 300.2m~459.6m を掘削)

主立坑沿いには強変質を伴う花崗岩と貫入岩が分布し透水性は低く,主立坑掘削時の壁面からの湧水は,壁面から滲水程度の湧水はあるものの顕著な湧水は認められず,掘削の進捗に伴う湧水量の増加はほとんど認められなかった。掘削時において,掘削壁面の自立性が低い領域については,地山補強(シリカレジン注入)¹⁾を行うことにより,安定性の改善を図り掘削を行った。

2) 換気立坑(深度 331.2m~459.8m を掘削)

深度約 400m~460m 付近は, 2006 年度に実施したパイロットボーリングにおいて, 比較的透水性の高 い区間(10⁻⁷~10⁻⁶m/sec オーダー)が認められたことから²⁾, 深度 400m 以深の換気立坑掘削において は, より一層湧水に留意しつつ掘削を進めた。掘削において, 従来通り実施している探り削孔により湧水 抑制対策の要否について判断し, 深度約 421m~428m, 深度 446m~453m の区間においてプレグラウト を実施した。プレグラウトは, シャフトジャンボを用いて注入孔を削孔することにより実施し, 注入材料は超 微粒子セメントを用いた。対象区間における掘削時の壁面からの湧水は, 滴水から滲水程度にまで抑制 されており, 多数の割れ目においてグラウト材の充填が確認された。

(2) 周辺環境モニタリング調査

1) 河川流量調査

2009 年度は 2008 年度に引き続き河川流量調査を行い,水位流量曲線式を設定するためのデータを 蓄積した。調査方法は,観測される水位(H)と流量(Q)の関係を示す水位流量曲線(H-Q 曲線)を予め 求めておき,この関係を用いて計測した水位から流量を算定する方法である。

調査は狭間川の4箇所に設置した河川流量計(水位計)により実施した。設置場所は狭間川の上流, 中流,下流及び明世小学校前地点の4箇所であり,上流地点は研究所用地の北東約1,300m,中流地 点は東約50m,下流地点は南南東約800m,明世小学校前地点は南南東約850mである(図4.3-1参 照)。調査の結果,2009年度の月総雨量と月総流量の関係は,過去3年間のデータと比較すると,上流 地点を除けば,2006年度,2007年度,2008年度とほぼ同様の相関関係を示している。

2) 地下水位調査

研究所周辺の井戸10箇所に設置した地下水位計により調査を実施した。各地点において年間を通じての地下水位の変動幅が把握されるとともに、井戸水の揚水との関係、降雨時の地下水位の反応の状況を把握した。調査の結果、各井戸の水位の傾向として、概ね降雨量によく呼応した変動を示していた。

3) 騒音·振動調査

騒音・振動調査は、研究坑道掘削工事において稼動している機械や発破作業による影響を把握する ために実施している。2009 年度は、4 回実施した。調査結果は、騒音・振動とも特定建設業の規制に関 する基準³⁾を下回るレベルであった。 4) 水質調査

研究坑道掘削工事に伴う立坑からの排水の放流先である狭間川の水質調査として, 試料を採取し, 生活環境項目および健康項目に関する水質分析を行った。調査場所は狭間川の上流および下流地点 の2箇所であり,上流地点は瑞浪国際地科学交流館敷地北側,下流地点は排水口から約20m下流であ る(図 4.3-2 参照)。水質分析結果は分析項目すべてが環境基準値未満であった。





JAEA-Review 2011-007



図 4.3-2 水質調査位置図

- 1) 秋好賢治,見掛信一郎,金田勉,野田正利: "超大深度立坑における不良地山掘削時の坑壁崩落 対策",トンネル工学報告集第17巻, pp.105-111, (2007).
- 2) 鶴田忠彦, 竹内真司, 竹内竜史, 水野崇, 大山卓也: "瑞浪超深地層研究所における立坑内からの パイロットボーリング調査報告書", JAEA-Research 2008-098 (2009).
- 3) 環境省令第一一号:振動規制法施行規則,第11条「特定建設作業の規制に関する基準」,(2007).

5. 共同研究·施設供用

2009 年度は,以下の外部研究機関等と超深地層研究所計画における共同研究および瑞浪超深地層研究所研究坑道の施設供用を行った。

(1)共同研究

①国立大学法人 京都大学:地質構造発達プロセスに基づく地質モデリング技術の開発

4.1.1 3)③に示した地質構造発達プロセスに基づく地質モデリング技術の開発のうち,特に月吉断層と 研究所周辺に発達するチャンネル構造および北北西走向の高角度を有する断層群の空間分布¹⁾(図 5.1.1-1)を検証するため,アナログ実験および数値シミュレーションを実施した。そのうちアナログ実験の 例を図 5.1.1-2に示す²⁾。それによると月吉断層に模したブロックの移動方向に平行な剪断帯が形成され (B),その左下に正断層のセンスを伴う沈降地形が確認された(A)。この沈降地形についてはチャンネ ル構造と北北西走向の断層群に類似しているとともに,ブロックの移動方向に平行な剪断帯については, 研究所周辺において花崗岩中に確認されている EW 走向の断層³⁾に相当する可能性がある。このように, アナログ実験は,研究所周辺に分布する地質構造の空間分布を理解する上で有効な検証ツールとして 活用可能であることが示された。



a) 月吉断層, チャンネル, 研究所を横断するNNW走向の断層群

b) 月吉断層と研究所を横断するNNW走向の 断層の地質パネルダイアグラム



図 5.1.1-1 チャンネル構造,北北西走向の断層群¹⁾

約 1/10,000 縮尺の月吉断層に模したブロックを右に移動(右横ずれ変位)させることで, 砂層に現れる変形過程を可視 化・計測

図 5.1.1-2 アナログ実験の例(右横ずれの例)²⁾

②独立行政法人 産業技術総合研究所:岩芯を用いた応力測定と掘削振動計測による掘削影響領域の評価に関する基礎的研究

2009 年度は、岩芯を用いた応力測定と掘削振動計測の結果について、原子力機構が実施した初期 応力測定結果との比較・分析を実施した。岩芯を用いた応力測定は、原子力機構が行った岩盤力学に 関する調査研究での掘削した3孔(08MI14号孔,08MI15号孔,08MI16号孔:図4-1)よりコアを採取し AE/DRA法により実施した。

その結果,08MI14 号孔で実施した AE/DRA 法による応力測定結果は地表からの調査研究で実施し た初期応力測定(水圧破砕法)の結果(最大水平圧縮は NW-SE 方向)と一致したが,08MI15 号孔, 08MI16 号孔での結果は異なった。この要因について分析したところ,08MI15 号孔,08MI16 号孔の岩石 試料採取位置付近に湧水を伴う大きな開口割れ目が存在していることが明らかになり,これらの割れ目 が近傍の岩盤の応力状態に影響を与え,地表からの調査結果と一致しなかったと考えられる。このことは, 不連続構造が局所的な岩盤の応力状態に影響を与えることを示唆しており,今後は不連続面が局所的 に応力場に与える影響を定量的に評価する手法の開発が課題である。

掘削振動計測では、ボーリング掘削機械の本体の振動の波形と、研究坑道内またはボーリング孔内に 設置した振動センサーで捉えた岩盤伝播の波形を記録する。波形の記録は岩盤掘削開始以前から開 始し、掘削開始以前のエネルギーを基準として岩盤掘削開始以後の岩盤伝播のエネルギーの変化と、 掘削機械本体の波形と岩盤伝播の波形の相関関係から弾性波速度を推定して、掘削影響領域の把握 を試みた。本測定の結果、ボーリング掘削後のエネルギーが掘削前のエネルギーよりも増加することが確 認され、岩盤のエネルギーの増加を連続的に観測することで掘削影響領域の範囲を把握できる可能性 が示された。さらに、掘削機上で観測された波形と岩盤における測定点で観測された波形との相関をとる ことで、弾性波速度を算定することができることを示し、連続的に観測することで弾性波速度の変化からも 掘削影響領域の範囲を把握できる可能性を示すことができた。これらのことから、掘削機械の振動を震源 とした岩盤中を伝播する波形を観測することで掘削影響領域の範囲を把握する手法を提案することがで きた。一方で、重機や迷走電流などのノイズが大きく解析可能なデータの取得が十分ではなく、今後は、 観測波形の周波数に特化した増幅アンプや、フィルターなどを組み合わせて S/N 比を向上させることが 課題であることが確認された。

なお、本共同研究は2009年度で終了した。

③国立大学法人 東北大学:傾斜計を用いたモニタリング技術の開発

本研究は、地下水流動に影響を及ぼす可能性のある水理地質構造の推定を目的として、地表面傾斜 量の観測および、観測データを用いた地下深部の体積変化量の推定手法の開発・改良を行うものであ る。その一環として、地表面の形状や岩盤の力学的物性の不均質性を考慮した地表面傾斜量に基づく 地下水流動場の逆解析法の開発を進めているが、その際には、解析に入力する地下水流動により体積 変化が生じる領域(体積変化領域)や岩盤の物性値の不均質性などが地表面傾斜量に及ぼす影響を検 討しておく必要がある。

そこで,2009 年度は,瑞浪超深地層研究所で得られた地質データを基に研究所用地周辺を対象とし た地表面形状を考慮した三次元の有限要素モデルを構築し,力学的物性が均質な場合(以下,モデル 1)と地層区分と地層の境界面の形状を考慮した力学的物性が不均質な場合(以下,モデル 2)を設定した。 構築したモデルを用いて堆積岩と花崗岩の排水および非排水ポアソン比を変化させた場合の地表面傾 斜量を解析し,岩盤の物性値が取りうる範囲についての検討を行った。

具体的には,主立坑を中心とした2km四方をモデル化の対象とし,深度方向はモデル1では一様,モ デル2では堆積岩,花崗岩上部割れ目帯(Upper Highly Fractured Domain:以下,UHFD),花崗岩下部 割れ目低密度帯(Lower Sparsely Fractured Domain:以下,LSFD)の3層に単純化した。ヤング率,排水 ポアソン比(v_{u})は既往の研究⁴に基づき,表 5.1.3-1のように基本ケースを設定した。ただし,非排水ポア ソン比(v_{u})と Skempton 係数は,未知であるため,非排水ポアソン比は排水ポアソン比より大きな値を仮 定し, Skempton 係数は 0.9 と仮定した。なお, Skempton 係数は, 岩体の体積ひずみと単位岩石体積あた りの流体の体積変化量の比であり, 飽和土でほぼ 1 に等しく, 乾燥土でほぼ 0 となる^{6,7}。

立坑が冠水した期間(2005年10月~2005年12月)を対象として、これまでの研究(2005年度~2007年度)で既に開発した半無限均質多孔質弾性体を仮定した逆解析手法により算出した体積変化領域(図 5.1.3-1)⁵⁾を基に、楕円体の体積変化領域(長径:600m,短径:300m,総体積変化量:2500m³,以下、V 領域)を設定した。V 領域を今回構築したモデルに入力し、地表面傾斜を順解析にて解析して、同期間に観測された地表面傾斜量の実測値と解析値との誤差(傾斜量: σ,傾斜方位: σ_φ)を評価の指標とした。

V 領域の位置や岩盤の力学的物性の不均質性が地表面傾斜量の解析値に与える影響を評価するた め、モデル1を用いた解析を行った。なお、非排水ポアソン比は 0.35 とした。V 領域は長軸が北方向の 楕円形で、その中心が、主立坑、換気立坑および主立坑の南150mにある場合についての比較を行った。 楕円体の中心が主立坑と換気立坑にある場合は、研究所用地の南側に設置している傾斜計の傾斜方 向が実測値より大幅に南方向にずれ、V 領域の中心が主立坑の南150mにある場合が最も実測値に近 いことがわかった。しかし、V 領域の中心が主立坑の南150mにある場合でも、研究所用地の北側に設置 している傾斜計の傾斜方向は実測値より西方向にずれ、実際の傾斜量を正確には再現できていない。 そこで、V 領域の中心が主立坑の南150mにある場合で、長軸の方向を西から北を経て東北東まで 22.5°ごとに変化させると、それぞれの傾斜計で誤差が最小になる方向が異なり、長軸の方向が北北西 (NNW)の場合に全体の評価誤差σが最小になった(表5.1.3-2)。

このように、力学的物性が均質なモデルでは、V 領域で全ての傾斜計の実測値を再現できていないことから、岩盤の力学的不均質性や地層境界の形状が傾斜量に影響を及ぼすものと考えられた。

次に、ポアソン比が地表面傾斜量の解析値に与える影響を評価するため、モデル2を用いた解析を行った。UHFD および LSFD の排水および非排水ポアソン比を 0.30 および 0.35 と仮定して堆積岩の排水 ポアソン比を 0.10~0.40、非排水ポアソン比を 0.15~0.45 と変化させた場合の地表面傾斜量の誤差 σ を 求めた。この結果、排水ポアソン比や非排水ポアソン比が小さいほど誤差は減少し、堆積岩の排水ポア ソン比が 0.10 で非排水ポアソン比が 0.15 の場合に、最小の σ (13.5×10⁻⁶radian) が得られた(表 5.1.3-3)。 そこで、次に、堆積岩の排水ポアソン比を 0.10、非排水ポアソン比を 0.15 と仮定し、UHFD および LSFD の排水ポアソン比を 0.10~0.40、非排水ポアソン比を 0.15~0.45 と変化させた場合の地表面傾斜量の 誤差 σ を求めた。排水ポアソン比や非排水ポアソン比が小さいほど σ は減少し、土岐花崗岩の排水ポア ソン比が 0.10 で非排水ポアソン比が 0.15 の場合に、最小の σ (10.5×10⁻⁶radian) が得られた(表 5.1.3-4)。 図 5.1.3-2 に実測値と解析値を示す。この場合、4 箇所全ての傾斜計において、順解析の結果と実測値 に大きな誤差が生じてはいない。

以上から, 立坑が冠水している期間における地表面傾斜量を最も精度よく再現する地下水流動場とモ デルは以下の通りであることが示された。

- •V 領域の長軸方向:北北西方向
- ・V 領域の中心位置:主立坑の南 150m
- ・堆積岩のヤング率:2.0 GPa
- ・排水ポアソン比:0.10
- ・非排水ポアソン比:0.15
- ・LSFD のヤング率:20.0 GPa
- ・排水ポアソン比:0.10
- ・非排水ポアソン比:0.15

JAEA-Review 2011-007

今後の課題としては、一つ目は、今回の検討である程度の取りうる範囲を示せたものの、力学的物性 値、特に非排水ポアソン比とSkempton係数の値を実験的に求めることである。これらの情報がない限り、 精度の高い逆解析による地下水流動場の評価は難しいと考えられる。二つ目は、岩盤の不均質性や地 表面の形状の影響を考慮できる地表面傾斜量の逆解析法を開発し、前者の結果を踏まえて実際に研究 所用地で観測している地表面傾斜量を用いて地下水流動場を評価し、半無限均質多孔質弾性体を仮 定した場合の結果と比較することである。後者は、モデルをどれだけ正確に構築できるかにかかっている が、傾斜データが十分あれば、力学モデルのパラメータを逆解析で同定できる可能性もあり、その方法を 追求することも今後の重要な課題である。

なお,本共同研究は2009年度で終了したが,地表傾斜データの観測については,今後も超深地層研 究所計画における観測の一環として継続する予定である。

モデル1 **ヤン**グ率(GPa) 排水ポアソン比 堆積岩 UHFD 20.0 0.3 LSFD

表 5.1.3-1	基本ケースの物性値 4)
	モデル2

	ヤング率(GPa)	排水ポアソン比						
堆積岩	2.0	0.4						
UHFD	*	0.2						
LSFD	20.0	0.5						

*UHFDのヤング率は2.0から20.0まで線形に変化





-		
∨領域の方向	σ (10 ⁻⁶ radian)	σ_{ϕ} (degree)
W	13.4	0.468
WNW	11.0	0.380
NW	8.34	<u>0.222</u>
NNW	<u>7.96</u>	0.272
N	11.95	0.388
ENE	14.3	0.499
NE	14.8	0.540
NNE	14.0	0.486

表 5.1.3-2 V 領域の方向と誤差(傾斜量: σ, 傾斜方位: σ_φ)の関係

表 5.1.3-3 堆積岩の排水ポアソン比(*v*_s)および非排水ポアソン比(*v*_{us})と誤差の関係

E_g (GPa)	Vg	V _{ug}	E_s (GPa)	Vs	V _{us}	σ (10 ⁻⁶ radian)	σ_{ϕ} (degree)
20.0	0.30 0.35	0.35	2.00	0.10	0.15	<u>13.5</u>	<u>0.265</u>
				0.10	0.25	14.4	0.277
				0.10	0.35	15.7	0.292
				0.20	0.25	14.8	0.277
				0.20	0.35	16.2	0.292
			0.20	0.45	20.0	0.306	
				0.30	0.35	16.6	0.292
				0.30	0.45	20.6	0.307
				0.40	0.45	21.1	0.308

表 5.1.3-4 花崗岩の排水ポアソン比(*v*_s)および非排水ポアソン比(*v*_{us})と誤差の関係

E_g (GPa)	V_g	V _{ug}	E_s (GPa)	V_{s}	V _{us}	σ (10 ⁻⁶ radian)	σ_{ϕ} (degree)
20.0	0.10	0.15	2.00	0.10	0.15	<u>10.5</u>	0.271
	0.10	0.25				12.0	0.267
	0.10	0.35				14.2	0.264
	0.20	0.25				11.7	0.268
	0.20	0.35				13.9	0.264
	0.20	0.45				17.0	<u>0.262</u>
	0.30	0.35				13.5	0.265
	0.30	0.45				16.7	0.263
	0.40	0.45				16.4	0.263



図 5.1.3-2 最も小さな評価誤差を与えるポアソン比の組み合わせにおける地表面傾斜量

④財団法人 電力中央研究所:瑞浪超深地層研究所周辺の水理・物質移動特性評価に関する研究

地下水の滞留時間を推定する手法の構築を目的として、研究所用地周辺のボーリング孔を利用して、 地下水の採取および地下水中の放射性元素(³H, ¹⁴C, ³⁶Cl)や希ガス濃度の測定を行った。2009年度は 地下水の涵養域に位置するボーリング孔(DH-9号孔, DH-13号孔:付録図 A-2-1)を対象として調査を 行った。その結果,以下のことが明らかとなった。

・地下水流動の上流側から下流側に向かうにつれ、地下水の¹⁴C年代が古くなる。

・地下水中の³He/⁴He 比から算出した年代と¹⁴C 年代を比較した結果,両者が概ね一致する。

これらの結果は、2008 年度までに得られた結果と整合するものであり、2009 年度に得られた結果からも地下水の滞留時間の推定手法の有効性を確認することができた。

また, 岩盤中での物質移行特性を把握するための手法の構築を目的として, 瑞浪超深地層研究所で の適用試験の実施に向けた技術情報の交換を実施し, 試験位置などの検討を行った。

⑤独立行政法人 産業技術総合研究所:深部地質環境における水-岩石-微生物相互作用に関する調 査技術開発

この共同研究では、天然環境中に存在する微生物や有機物等の微小粒子が地球化学環境の形成に 与える影響および物質移動への関与の様式や程度を把握するための調査手法を構築することを目的と して、調査研究を実施している。2009 年度には原位置における微生物の生物化学的特性を把握するた めに、深度 300m 研究アクセス坑道北端から掘削長約 100m の水平ボーリング孔(09MI21 号孔:図 4-1) を掘削し、主に地下水中の微生物を対象とした群集組成解析を行った。その結果、09MI21 号孔の区間 2~4 では Hydrogenophaga 属の微生物種、区間 1 では Dethiobacter 属の微生物種が卓越していた。両 種は利用する酸化剤は異なるが、ともに水素を利用する微生物種であることから、同深度である深度 300m 予備ステージから掘削した 09MI20 号孔(図4-1)から得られた微生物の群集組成とは異なる結果が 得られた。深度 300m 予備ステージと深度 300m 研究アクセス坑道では、研究坑道掘削の影響による擾乱 の程度が異なり、主立坑を境に予備ステージ側では水質分布の変化が大きいことから、水質の変化を反 映して微生物の群集組成も変化していると考えられる。また、既存のボーリング孔(MSB-2 号孔、MSB-4 号孔および MIZ-1 号孔:図 4.1.3-14)から採取した地下水試料を用いた酸素消費活性の試験を行った。 試験の結果では、MIZ-1 号孔の試料(深度 1,150m から採取した地下水)を用いた場合において、最も酸 素消費速度が低い結果が得られた。また、各試料を滅菌し、微生物による酸素消費活性をなくした場合 には、各試料において酸素消費速度が遅くなる結果が得られた。このことは、微生物が酸素消費に貢献 していることを示しており、地下環境における微生物による緩衝能を評価することが重要であるという知見 が得られた。微生物による酸素消費活性は原位置における定常的な酸素の供給の有無に依存しており、 MIZ-1 号孔の酸素消費活性が低かったことは原位置において酸素の供給がないことを示していると考え られる。

⑥国立大学法人 名古屋大学:地下深部岩盤の歪変化のメカニズムに関する研究

地下深部岩盤の歪変化のメカニズムの解明と高精度ひずみ計による変形計測の前方探査技術として の適用性を検討することを主目的とし、主立坑、換気立坑のパイロットボーリング孔孔底部にひずみ計を 設置し、立坑掘削や地震などのイベントによる歪変化の観測を 2007 年度から 2008 年度まで継続した。 発破などによる影響で歪計測に不具合が生じたため現在はデータ取得が不可能となっているが、2009 年度は不具合が生じる前までの計測データの解析・評価を行い、共同研究報告書⁸⁾を取りまとめた。な お、本共同研究は 2009 年度をもって終了した。

⑦韓国原子力研究所(KAERI):地質環境調査・地質環境モデルの構築に関する技術的支援

花崗岩中の地下水流動および水質形成メカニズムを把握するための原位置調査手法・モデル化技術 の高度化を目的として,両機関の地下研究施設計画や成果に関する技術検討を行うとともに,技術研修 を実施している。

2009 年度は,第6回技術検討会議を韓国原子力研究所で開催し,主に深層ボーリング孔を利用した 調査(地質学的調査,水理学的調査,地下水の地球化学的調査)および調査結果に基づく地質環境特 性評価に関する技術情報交換を行った。また,技術研修を2回(於:韓国1回,瑞浪1回)実施し,KAERI の地下研究施設計画における水理地質構造のモデル化・地下水流動解析や,瑞浪超深地層研究所で 適用している採水技術などをテーマに,特に品質管理の観点での技術議論や情報交換を行った。

⑧スイス放射性廃棄物管理協同組合(Nagra):超深地層研究所計画の技術的支援

本共同研究においては、Nagra がグリムゼル試験場などで蓄積してきたサイト特性調査および地下研施設の計画,建設および管理運営に関する経験などに基づいて、研究計画への助言および研究成果のレビュー等の技術的支援を実施する。

2009 年度は,第2段階における地質環境モデルの妥当性確認や更新,第3段階における調査研究計画策定に係る技術レビューを行った。

- 1) 栗原新, 天野健治, 劉春学, 小池克明: "花崗岩体上部に発達する低角度亀裂の空間分布特性と地 質学的解釈 – 瑞浪超深地層研究所周辺の土岐花崗岩からの知見", 資源・素材学会誌, Vol.124, p.710-718(2008).
- 2) 鶴田忠彦・松岡稔幸, 栗原新, 田上雅彦, 天野健治, 小池克明, 山田泰広: "地質構造の空間モデリ ング手法の開発-瑞浪超深地層研究所における取り組み-", 資源・素材学会 2010 春季大会講演 要旨集, p.企画-109-110(2010).
- 3) 鶴田忠彦,藤田有ニ,鐙顕正,彌榮英樹,冨士代秀之:"広域地下水流動研究におけるボーリング 調査(DH-15 号孔)", JNC TN7400 2005-025(2005).
- 4) 水田義明, 金子勝比古, 松木浩二, 菅原勝彦, 須藤茂韶: "3 次元応力場の同定手法に関する研究 (その2)", JNC TJ7400 2003-004, 3 章 1 節, pp 2 - 15, (2006).
- 5) 成川達也,松木浩二,新井孝志,大山卓也,竹内竜史,竹内真司:"立坑掘削に伴う排水・冠水・

再排水時の地表面傾斜量の逆解析に基づく岐阜県東濃地区超深地層研究所用地の地下水流動評価",土木学会論文集 C, Vol. 65, No. 2, pp 442-455 (2009).

- A. W. Skempton: "The Pore Pressure Coefficients A and B", Geotechnique, Volume 4, Issue 4, pp.143-147(1954).
- 7) 中谷勝哉,松木浩二,新井孝志,大村一夫,竹内真司,荒井靖,堀本誠記:"傾斜計を用いた地下 水流動評価法の開発とモデル解析",資源・素材学会誌, Vol.123, p.17-25(2007).
- 堀内泰治,平野享,池田幸喜,松井裕哉:"地下深部岩盤の歪変化のメカニズムに関する研究(共同研究)", JAEA-Technology 2010-017(2010).

(2)施設供用

①射団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所(以下,東濃地震科学研究所)とは,研究協力会議を 設置し,情報交換などを行っている。地震発生機構の解明や地域防災に関する研究を進めている東濃 地震科学研究所と超深地層研究所計画などの地層科学研究を行っている東濃地科学センターが緊密 な相互協力を進めることにより,両機関の研究開発や地域の地震防災対策への寄与が期待されている。

2009 年度は、2008 年度に引き続き、東濃地震科学研究所が計画している立坑掘削に伴う地球物理 学的変動観測研究および地震動観測のため、瑞浪超深地層研究所研究坑道を施設供与し、東濃地震 科学研究所の調査研究に協力した。具体的には、東濃地震科学研究所は、2006 年度に設置した深部 地盤の変動を連続的に観測記録するための傾斜計による連続観測の継続、立坑掘削に伴う地震動観 測のために 2007 年度に設置した地震計による連続観測の継続および観測データを地震科学研究所の コンピュータに転送するシステムを設置し、原子力機構はこれらの観測のための協力を継続した。

②国立大学法人 東京大学:地下大規模空間における岩盤挙動モニタリングのための超高精度多点型 光ファイバグレーティング歪センサーの開発

東京大学は、上記の研究テーマで独立行政法人科学技術振興機構による戦略的国際科学技術協力 推進事業に応募し、2008年12月に正式に採用が決定した。本研究で開発される非常に高精度の光ファ イバー変位計測システムは、結晶質岩の微小な長期変形挙動を定量的に測定する技術として深地層の 科学的研究への寄与が期待されている。

2009年度は、研究所を利用して数年後に計画している本システムによる原位置計測に必要となる地質 環境情報の提供および情報交換を実施するとともに、東京大学での高精度光ファイバセンサーの開発と 並行して、高精度光ファイバセンサーの岩盤などへの設置方法に関する基礎的な室内試験を実施した。

(3)量子ビーム応用研究部門との部門間協力研究

①実施概要

瑞浪超深地層研究所では,研究坑道掘削工事により発生する湧水(地下水)に溶存する天然由来の フッ素(7.2~9.5mg/L),ホウ素(0.8~1.5mg/L)の除去について,放流先河川において環境基準値(フ ッ素 0.8mg/L,ホウ素 1mg/L)以下にするため,薬剤による凝集沈殿およびイオン交換処理を行ってい る。

一方,量子ビーム応用研究部門環境・産業応用研究開発ユニット金属捕集・生分解性高分子研究 グループ(現環境機能高分子材料研究グループ:以下,量子ビーム応用研究部門)では,ポリエチレン 布材料に放射線を照射したのち,薬剤処理により特定の物質を除去できる吸着機能を付与する方法(放 射線グラフト重合法)による捕集材の開発を進めている。

これらの状況から,量子ビーム応用研究部門と地層処分研究開発部門では,両者による部門間協力研究として,フッ素,ホウ素を除去する捕集材の研究開発や研究所の排水処理に関する研究を 2006 年

度から開始した。

これまでの試験結果より、ホウ素については捕集材によって排水中濃度の 95%を除去することが可能 であった¹⁾。また、捕集材を繰り返し利用する再生利用試験を行ったが排水のpHが9.6~10.6と変動し、 捕集材の吸着性能が良好に発揮できる範囲の上限である pH が 10 よりも高くなる場合があり、捕集材の 吸着性能が大きく低下することがあったため、中性域の排水を用いた試験も行った²⁾。フッ素についても 湧水中濃度の 95%を除去可能であったが、排水中のフッ素濃度が高いため、現行のフッ素除去用捕集 材では吸着量が足らず、破過時間が短くなってしまうことから、現在研究所の排水処理設備で用いられ ている凝集沈殿法よりも処理効率の向上を図るためには、さらに吸着容量の高い捕集材の開発が必要 であることが明らかになった^{3,4}。

②実施内容

2009 年度は、量子ビーム応用研究部門において研究所の排水を用いた捕集材の通水試験を行い、 吸収性能や材料の耐久性を把握して捕集材の再生利用性能評価を行った。また、この結果を受けて、 研究所の湧水を用いた現場通液試験を実施する予定であったが、捕集材の吸着性能の向上のために は、さらなる検討が必要であることから研究所での現場通液試験は実施しなかった。

③研究目標とこれまでに得られた成果との比較

本研究を実施するにあたって設定した目標と,これまで得られた成果との比較および研究所の排水処 理を取り巻く状況について,考察する。

捕集材による処理後の濃度として、フッ素は 0.4~0.5mg/ 0 程度、ホウ素は 0.5mg/ 0 程度を目標とし て設定した。捕集材の吸着性能として、上記濃度目標は達成可能であった。また、研究所の湧水を用い た試験によって、湧水のpH によって吸着性能が左右されることや、掘削工事に伴う湧水中に含まれる粒 子の細かい土砂による目詰まりの対策が必要であることなど、実用化に向けた課題の抽出と対応方法を 把握することができた⁴。

排水処理設備の処理能力に関して、ホウ素については一般的なイオン交換処理の吸着性能よりも優位 であることが確認できたことから、排水処理設備の処理能力の向上は可能である。一方、フッ素について は、湧水中のフッ素濃度が高いため、放流先河川において環境基準値以下にするためには排水中のフ ッ素濃度を 1/10 程度まで低下させる必要がある。現行の捕集材では吸着容量が速く限界に達してしまう ことから、現行の研究所における凝集沈殿処理と比較してコストの優位性は見えにくい⁵⁾。また、捕集材 の大量合成方法の確立の課題もあることから、当面は捕集材が研究所の排水処理に適用できる可能性 は低い。従って、研究所における現場試験などの部門間協力研究は 2009 年度で終了することとした。

なお,量子ビーム応用研究部門では,グラフト吸着材によるホウ素処理技術のニーズを広く探索し,大 量合成方法の開発を継続して行って,産業利用の可能性について引き続き検討して行く。

- 3)弥富洋介,保科宏行,瀬古典明,島田顕臣,尾方伸久,杉原弘造,笠井 昇,植木悠二,玉田正 男:"放射線グラフト捕集材を用いた湧水中フッ素・ホウ素除去効率化の検討",日本原子力学会和 文論文誌, Vol.9, No.3, p330-338(2010).
- 2) Yosuke Iyatomi, Hiroyuki Hoshina, Noriaki Seko, Noboru Kasai, Yuji Ueki, Masao Tamada, "Removal of Fluorine and boron from groundwater using radiation-induced graft polymerization adsorbent at Mizunami underground research laboratory", Proceedings of The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management(ICEM2010), (2010).
- 3) 弥富洋介, 尾方伸久, 杉原弘造, 瀬古典明, 保科宏行, 岡田健治, 玉田正男: "放射線グラフト重合

法により作製した捕集材を用いた瑞浪超深地層研究所における湧水処理の検討(2006 年度成果報告書)(共同研究)", JAEA-Technology 2008-056(2008).

- 4) 弥富洋介,島田顕臣,尾方伸久,杉原弘造,瀬古典明,笠井 昇,保科宏行,植木悠二,玉田正男: "放射線グラフト重合法により作製した捕集材を用いた瑞浪超深地層研究所における湧水処理の検 討(2007 年度成果報告書)(共同研究)", JAEA-Technology 2009-054(2009).
- 5) 弥富洋介, 瀬古典明, 笠井 昇, 保科宏行, 植木悠二, 玉田正男, 尾方伸久, 杉原弘造: "放射線グ ラフト捕集材を用いた瑞浪超深地層研究所の湧水中ふっ素・ほう素除去特性", 日本原子力学会 「2008 年春の年会」(2008).

6. 地層処分技術に関する分野間の連携研究

2009年度は地層処分技術に関する各分野間での連携研究として以下を実施した。

①掘削影響領域に関する岩盤の水理・力学、地下水の地球化学に関する調査研究

従来の掘削影響領域(坑道の掘削により初期の地質環境が変化する領域)とともに,地下構造物の施 工時に実施される湧水抑制対策や空洞安定性維持に必要な支保工などの存在が地質環境に与える影 響も考慮するため,"ニアフィールドコンセプト"という概念を検討するとともに,試験計画の検討を継続し た¹⁾。

②地質環境の長期挙動に関する研究

地質環境の長期挙動に関する研究では、地層処分で想定されている時間スケールにおける地質環境 特性の変化を推定するための手法を体系的に取りまとめることを目的として、過去から現在までの地形や 気候の変化を明らかにし、将来の地形や気候の変化を推測するための技術の開発・整備を進めており、 (1)古地形・古気候の復元調査技術の整備、(2)地形変化モデルの開発に取り組んでいる。さらに地形 や気候の変化に伴って地下水流動が変化する可能性があることから、それを適切に評価する解析手法 を開発するために、(3)天然現象を考慮した地下水流動解析手法の開発に取り組んでいる。

2009 年度は,主に(3)に関して,地形変化や気候変動,地質・地質構造の変化といった自然現象に伴う,地質環境特性(地下水流動特性や地球化学特性)の長期変化に関する研究について,これまでの研究成果の整理および今後の研究内容や実施体制などの検討を開始した^{2),3)}。

③地質環境調査の体系化、知識化に関する調査研究

本調査研究では、地層処分における安全評価や設計に必要な情報を効率的に取得するために、地 質環境の調査・評価手法を体系化するとともに、原子力機構内外に提供可能な情報として知識の整理を 行っている。

2009 年度は、地質環境調査の進め方とエキスパートシステム化を行う作業項目の整理、地質環境モデルの構築手順の整理を実施した。さらに、地質環境モデル構築に関する作業の流れをフロー図を用いて整理した。また、ボーリング調査に係る情報の分析・整理の一環として、トラブル事例を対象とした/ ウハウ・判断根拠の抽出を行った^{4)~9}。

④地質環境調査・物質移行評価に関する研究

地質環境調査から物質移行の解析・評価に関する一連の評価手法の体系化を進めるため, 地層処分 基盤研究開発ユニットおよび幌延深地層研究ユニットの関係者による情報共有, 検討, 協議を継続的に 実施した。

2009 年度は,特に,様々な地質環境特性に着目したモデル化・解析に関する総合的な評価に係る議論を行った。また,研究坑道を利用した調査研究計画策定や第3段階で実施する物質移動試験に関する調査研究計画策定に係る作業を継続的に実施した。

⑤データベースの構築

これまでに東濃地科学センターにおいては,調査データを管理するためのデータベースシステム¹⁰を 導入・運用してきた。また,地層処分技術に関する研究開発においては,処分事業と安全規制の両面を 支える地層処分技術の知識基盤を整備していくため,調査研究開発を通じて得られる様々な技術的成 果を,地層処分技術の知識管理の枠組みで捉えるといったアプローチに従って知識ベースとしてまとめ ることとしている。さらには,それらを適切に管理・利用できるように,品質管理や新たな知識の蓄積に基 づく更新の考え方を含めた知識マネジメントシステムを構築することとしている。これまでに、この知識マ ネジメントシステム構築に向け、東濃地科学センターにおける成果情報を管理運用するためのシステム (成果情報管理システム)の概念設計を実施し、それに基づくプロトタイプシステムを開発するとともにプロ トタイプシステムへの機能追加および操作性の改善を実施した。

2009 年度は、それまでの運用結果に基づき、より実務に即した登録・閲覧機能の改善、登録情報の追跡性、透明性確保のための機能拡充、工程管理などの機能追加を実施し、本格運用を開始した。

- 小島圭二,大西有三,渡辺邦夫,西垣誠,登坂博行,嶋田純,青木謙治,杤山修,吉田英一,尾方 伸久,西尾和久:"深部地質環境の調査解析技術の体系化に関する研究-平成21年度-(委託研 究)", JAEA-Research 2010-049(2011).
- 2) 梅田浩司,石丸恒存,安江健一,浅森浩一,山田国見,國分陽子,花室孝広,谷川晋一,草野友 宏:"「地質環境の長期安定性に関する研究」基本計画;第2期中期計画(平成22年度~平成26年 度)", JAEA-Review 2010-030 (2010)
- 3) 安江健一, 浅森浩一, 山田国見, 國分陽子, 山崎誠子, 黒澤英樹, 谷川晋一, 根木健之, 草野友宏, 花室孝広, 石丸恒存, 梅田浩司: "地質環境の長期安定性に関する研究,年度計画書; 平成 22 年 度", JAEA-Review 2010-034 (2010)
- 4) 仙波毅,大澤英昭,濱克宏,竹内真司,岩月輝希,澤田淳,梅木博之:"次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発(1)システム開発の概要",日本地球惑星科学連合2010年大会予稿集, SCG084-23,(2009)
- 5) 竹内真司, 三枝博光, 大澤英昭, 仙波毅:"次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発(2)地 質環境モデルの構築から調査計画策定の考え方", 日本地球惑星科学連合2010年大会予稿集, SCG084-24, (2009)
- 6) 三枝博光,前川恵輔,大山卓也,仙波毅:"次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発(3)地 質環境モデル構築領域設定及び地下水流動モデル構築の考え方",日本地球惑星科学連合2010 年大会予稿集, SCG084-P01, (2009)
- 7) 松岡稔幸, 天野健治, 大澤英昭, 仙波毅: "次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発(4)地 質モデル構築の考え方", 日本地球惑星科学連合2010年大会予稿集, SCG084-P02, (2009)
- 8) Saegusa, H., Takeuchi, S., Maekawa K., Osawa H., and Semba, T.: "TECHNICAL KNOW-HOW FOR MODELING OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT (1) OVERVIEW AND GROUNDWATER FLOW MODELING", Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2010, ICEM2010-40062, (2010)
- 9) Matsuoka, T., Amano, K., Osawa, H., and Semba, T.: "TECHNICAL KNOW-HOW FOR MODELING OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT (2) GEOLOGICAL MODELING", Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2010, ICEM2010-40066, (2010)
- 10) 吉田裕一, 中野勝志, 長谷川健, 志賀貴宏, 三枝博光: "地層科学研究データベースシステム構築 の現状", JNC TN7410 2002-003 (2001).
JAEA-Review 2011-007

7. おわりに

超深地層研究所計画は、「地層処分技術に関する研究開発」のうち結晶質岩を対象とした深地層の 科学的研究の一環として 1996 年度から実施している。2009 年度は、超深地層研究所計画における第2 段階(研究坑道の掘削を伴う研究段階)の調査研究を進めた。第2 段階の調査研究は、研究坑道の掘 削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把 握、研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認を目的とした調査研究を進めると ともに、第3 段階(研究坑道を利用した研究段階)の調査研究計画の策定を進めていく段階にある。

2009 年度は、研究坑道の建設については、主立坑を深度 300.2m~459.6m、換気立坑を深度 331.2m ~459.8m まで掘削し、深度 400m レベルでは、主立坑と換気立坑をつなぐ水平坑道を掘削した。また、 第2段階の調査研究として第4章で述べた調査研究を実施し、それらによって得られた地質環境データ を第1段階(地表からの調査研究段階)で構築した地質環境モデル(地質構造、岩盤力学、水理、地球 化学)による予測結果と対比することにより、地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性の評価を進 めるとともに、研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性に関する検討を継続した。さら に、2008年度に整備した深度 300m における調査研究用の水平坑道(深度 300m 研究アクセス坑道)に おいて実施する第3段階の調査研究計画の策定を行った。

これらの成果は,原子力発電環境整備機構が行う精密調査で必要となる調査技術の開発や安全規制 の指針・ガイドラインの策定に活用できるものであると考える。

付録 広域地下水流動研究 2009 年度報告

A-1. はじめに

東濃地科学センターでは,広域地下水流動研究の一環として,

① 土岐花崗岩における水理学的・地球化学的な基礎情報の取得

② 地下水流動解析結果の妥当性確認のためのデータ取得

の2点を目的として,研究領域内に掘削された最大深度約1,000mの複数のボーリング孔において, 地下水長期観測システムを設置して間隙水圧計測を実施している。

2009 年度は,年度計画¹⁾に基づく間隙水圧の長期観測を計画通り実施するとともに,地震や気圧変動などの自然現象の影響による間隙水圧の変化を確認するための観測データを充実させるため,2孔(DH-7 号孔,DH-9 号孔)での間隙水圧の連続観測を実施した*。

本報告書では 2009 年 4 月から 2010 年 3 月までの間隙水圧計測結果および孔内水位計測結果を以下に示す。

*: DH-7 号孔, DH-9 号孔での間隙水圧観測は 2009 年1月末より再開した。

A-2. 観測地点

2009 年現在, DH-2, DH-3, DH-7, DH-9, DH-11, DH-13 号孔において直接水圧計測方式である MP システム(Westbay 社(現 Schlumberger 社)製), DH-15 号孔においてピエゾ水頭計測方式である SPMP システム(Solexperts 社製)を用いてモニタリングを実施している(図 4.1.3-8 参照)。図 A-2-1 に各 ボーリング孔の位置, 表 A-2-1 に各ボーリング孔での観測区間を示す。



図 A-2-1 ボーリング孔位置図

DH-2号孔							孔口標高; 193.629m_
区胆委旦		区間深。	度 (m)			区間長	観測区間
区间留方	G.L.	(-m)	E.	L. (1	n)	(m)	2009年度
1	172.9 ~	~ 203.3	20.7	\sim	-9.7	30.4	0
2	204.3 ~	~ 218.0	-10.7	\sim	-24.4	13.7	—
3	219.0 ~	~ 243.4	-25.4	\sim	-49.8	24.4	—
4	244.4 ~	~ 292.0	-50.8	\sim	-98.4	47.6	—
5	293.0 ~	~ 301.1	-99.4	\sim	-107.5	8.1	0
6	302.1 ~	~ 308.8	-108.5	\sim	-115.2	6.7	—
7	309.8 ~	~ 338.2	-116.2	\sim	-144.6	28.4	—
8	339.2 ~	~ 356.0	-145.6	\sim	-162.4	16.8	—
9	357.0 ~	~ 414.0	-163.4	\sim	-220.4	57.0	0
10	415.0 ~	~ 444.1	-221.4	\sim	-250.5	29.1	—
11	445.1 ~	~ 458.5	-251.5	\sim	-264.9	13.4	
12	459.5	~ 501.1	-265.9	\sim	-307.5	41.6	0

表 A-2-1 観測区間一覧表(広域)

○は水圧観測プローブを設置している区間

DH-7号孔

孔口標高; 340.186m

区間来旦	区間深度(m)					区間長	観測区間	
区间留方	G.]	G.L. (-m) E.L. (m)		(m)	2009年度			
1	438.0	\sim	444.5	-97.8	\sim	-104.3	6.5	0
2	479.0	\sim	485.5	-138.8	\sim	-145.3	6.5	0
3	598.0	\sim	604.5	-257.8	\sim	-264.3	6.5	0
5	660.0	\sim	666.5	-319.8	\sim	-326.3	6.5	0

DH-9号孔

○は水圧観測プローブを設置している区間

DH-9号孔								孔口標高; 275.42m
口田舟口			区間深度	度 (m)			区間長	観測区間
区间留方	G.	L. (-	m)	E.	L. (r	n)	(m)	2009年度
1	0.0	\sim	62.0	275.4	\sim	213.4	62.0	_
2	62.9	\sim	150.7	212.5	\sim	124.7	87.8	0
3	151.6	\sim	246.8	123.8	\sim	28.6	95.2	_
4	247.7	\sim	330.7	27.7	\sim	-55.3	83.0	_
5	331.6	\sim	392.0	-56.2	\sim	-116.6	60.4	0
6	392.9	\sim	501.9	-117.5	\sim	-226.5	109.0	_
7	502.8	\sim	572.4	-227.4	\sim	-297.0	69.6	_
8	573.3	\sim	681.6	-297.9	\sim	-406.2	108.3	_
9	682.5	\sim	791.0	-407.1	\sim	-515.6	108.5	0
10	791.9	\sim	894.5	-516.5	\sim	-619.1	102.6	_
11	895.4	\sim	1030.0	-620.0	\sim	-754.6	134.6	0

○は水圧観測プローブを設置している区間

表 A-2-1 観測区間一覧表(広域)(続き)

DH-11号孔

孔口標高; 339.883m

区胆釆旦		区間深度(m)					観測区間
区间留方	G.L.(-	E.L. (m)			(m)	2009年度	
1	320.9 ~	390.6	19.0	\sim	-50.7	69.7	0
2	391.5 \sim	500.3	-51.6	\sim	-160.4	108.8	
3	579.7 ~	665.9	-239.8	\sim	-326.0	86.2	0
4	715.4 ~	782.2	-375.5	\sim	-442.3	66.8	0
5	880.4 ~	980.1	-540.5	\sim	-640.2	99.7	0

○は水圧観測プローブを設置している区間

DH-13号孔

孔口標高; 277.514m

区胆承旦	区間深度 (m)					区間長	観測区間	
区间留方	G.	L. (-	m)	E	.L.(m)		(m)	2009年度
1	183.3	\sim	252.3	94.2	\sim 2	5.2	69.0	0
2	324.1	\sim	407.1	-46.6	\sim -1	29.6	83.0	
3	408.0	\sim	475.1	-130.5	\sim -1	97.6	67.1	
4	476.0	\sim	546.5	-198.5	\sim -2	69.0	70.5	0
5	713.4	\sim	783.9	-435.9	\sim -5	06.4	70.5	0
6	855.3	\sim	925.9	-577.8	\sim -6	648.4	70.6	
7	992.3	\sim	1015.0	-714.8	\sim -7	37.5	22.7	0
						6		ピー ジェショアレッシュ 日田

○は水圧観測プローブを設置している区間

DH-15号孔

孔口標高; 213.23m

観測区間		区間深度(m)				観測区間
番号	G.	L. (-m)	E.	L. (m)	(m)	2009年度
1	164.0	\sim 221.5	49.2	~ -8.3	57.5	0
2	224.0	∼ 290.0	-10.8	\sim -76.8	66.0	0
3	291.5	\sim 349.0	-78.3	\sim -135.8	57.5	0
4	350.5	\sim 423.0	-137.3	∼ -209.8	72.5	0
5	424.5	\sim 545.0	-211.3	~ -331.8	120.5	0
6	546.5	\sim 602.0	-333.3	~ -388.8	55.5	0
7	603.5	\sim 700.0	-390.3	~ -486.8	96.5	0
8	701.5	\sim 861.0	-488.3	\sim -647.8	159.5	0
9	862.5	~ 969.0	-649.3	~ -755.8	106.5	0
10	970.5	\sim 1010.0	-757.3	\sim -796.8	39.5	0

○は水圧計を設置している区間

A-3. 観測結果

以下に地下水水圧観測結果を図 A-3-1~図 A-3-6 にまとめる。なお, 図中では間隙水圧を換算し全 水頭の変化として示し, 全水頭は標高で表記した。

(1)研究所用地近傍(DH-2,15号孔)の地下水水圧変化

1) DH-2 号孔における地下水水圧変化(図 A-3-1 参照)

DH-2 号孔では No.1, No.5, No.9, No.12 の 4 区間において観測を実施した。メンテナンスに伴う8 月 下旬の数日間の欠測期間を除き,1 年間を通してほぼ継続的な観測データが得られた。

DH-2 号孔では全ての観測区間で概ね同じ全水頭の値を示した。また、立坑掘削などに伴う変化量も ほぼ等しく、全ての観測区間で深度 300m 予備ステージで実施した 09MI20 号孔の掘削に伴う全水頭の 変化が確認できた。プレグラウトの影響については、換気立坑深度 445.6~453.4m で実施したプレグラウ トにおいて、それまで低下傾向を示していた全水頭が一時的に上昇し、その後、緩やかな低下が生じ た。

地震による影響については, 駿河湾を震源とする地震により全水頭の上昇傾向が 4m 程度見られる。 それ以外の地震については水圧の変動は生じていないと考えられる。

DH-2 号孔で確認された全水頭の変化は主立坑沿いに分布する低透水性断層の南西側のボーリング 孔である MSB-3 号孔の深部(土岐夾炭累層基底部~花崗岩上部),05ME06 号孔浅部および 07MI09 号孔とほぼ同じ傾向である。

2) DH-15 号孔における地下水水圧変化(図 A-3-2 参照)

DH-15 号孔では,10 区間で観測を実施しており,1 年間を通してほぼ継続的に観測データが得られた。

DH-15 号孔では全ての観測区間で概ね同じ全水頭の値を示した。また、立坑掘削などに伴う変化量 もほぼ等しく、深度 300m 研究アクセス坑道で実施した 09MI21 号孔の掘削での湧水の影響と思われる約 2m の全水頭の低下が生じた。また、09MI21 号孔の掘削作業以降も全水頭の低下は継続している。

地震による影響については, 駿河湾を震源とする地震に伴い, 数十 cm 程度の上昇が生じている。

DH-15 号孔で確認できる全水頭の変化は主立孔沿いに分布する低透水性断層の北東側のボーリング孔である MSB-1 号孔の深部(土岐夾炭累層基底部~花崗岩上部)と同じ傾向である。

(2) DH-7,9,11,13 号孔の地下水水圧変化

1) DH-7 号孔における地下水圧変化(図 A-3-3 参照)

DH-7号孔では、4区間で観測を実施している。メンテナンスに伴う8月中旬の数日間の欠測期間があるものの、それ以外の期間にはほぼ継続的に観測データが得られた。

全水頭の変化を見ると、区間 No.3,5 では駿河湾を震源とする地震の前には大きな全水頭の変化はな く、ほぼ一定あるいは緩やかな上昇が確認できた。駿河湾を震源とする地震の発生以降は全水頭の低 下が生じ、3 月末現在でも緩やかな低下傾向が継続している。地震に伴う全水頭の低下量は3 月末現在 で最大約 1m 程度である。一方、区間 No.1、2 では夏季に全水頭が数十 cm 上昇し、冬季に全水頭が数 + cm 低下する傾向を示しているが、駿河湾を震源とする地震に伴う全水頭の変化は確認されなかった。

2) DH-9 号孔における地下水水圧変化(図 A-3-4 参照)

DH-9号孔では、4区間で観測を実施している。メンテナンスに伴う7月上旬、採水作業に伴う11月下 旬から12月中旬に欠測期間があるものの、それ以外の期間では継続的に観測データが得られた。

全水頭の変化を見ると、全ての観測区間で駿河湾を震源とする地震の前には大きな全水頭の変化は

なく,ほぼ一定あるいは上昇が確認できた。駿河湾を震源とする地震の発生以降は全水頭の低下が生じた。駿河湾の地震後の全水頭の低下傾向は区間 No.2 が9月まで、区間 No.5,9,11 が10月まで認められ,低下量については区間 No.2 が1.7m 程度,区間 No.5 が1.3m 程度,区間 No.9 が0.8m 程度,区間 No.11 が0.7m 程度である。

3) DH-11 号孔における地下水水圧変化(図 A-3-5 参照)

DH-11 号孔では、4 区間で観測を実施している。メンテナンスに伴う7 月下旬の欠測期間があるものの、 それ以外の期間にはほぼ継続的に観測データが得られた。

全水頭の変化を見ると、区間No.1、No.3、No.4では年間を通して全水頭はほぼ一定の値を示している。 区間No.5では、駿河湾の地震後の8月下旬から翌年1月にかけて全水頭の緩やかな上昇傾向が認め られる。区間No.5の全水頭の上昇量は0.5m程度である。

4) DH-13 号孔における地下水水圧変化(図 A-3-6 参照)

DH-13 号孔では,4 区間で観測を実施している。メンテナンスに伴う7 月上旬,採水作業に伴う11 月 下旬から12 月中旬に欠測期間があるものの,それ以外の期間にはほぼ継続的に観測データが得られた。

全水頭の変化を見ると、全ての観測区間で駿河湾を震源とする地震の前には大きな全水頭の変化は なく、ほぼ一定の傾向を示していたが、駿河湾を震源とする地震の発生以降、全水頭の低下が生じた。 地震に伴う全水頭の低下量は3月末現在で最大1m程度である。また、DH-13号孔では全水頭の低下 後に、全水頭の上昇傾向がみられる。

なお、DH-13 号孔では、メンテナンスに伴う水圧観測プローブの交換において、交換前後で約 0.8m の全水頭の差が生じている。ただし、水圧観測プローブの精度誤差が約 1m 程度であることを考慮すると、 交換前後の差は誤差範囲内の変化である。



図 A-3-1 DH-2 号孔の間隙水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示)



図 A-3-2 DH-15 号孔の間隙水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示)







図 A-3-4 DH-9 号孔の間隙水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示)





図 A-3-6 DH-13 号孔の間隙水圧観測結果(縦軸は全水頭で表示)

参考文献

1) 日本原子力研究開発機構: "超深地層研究所計画年度計画書(2009 年度)", JAEA-Review 2009-017 (2009).

This is a blank page.

表 1. SI 基本単位					
甘大昌	SI 基本単位				
巫平里	名称	記号			
長さ	メートル	m			
質 量	キログラム	kg			
時 間	秒	s			
電 流	アンペア	А			
熱力学温度	ケルビン	Κ			
物質量	モル	mol			
光 度	カンデラ	cd			

表2.基本単位を用いて表されるSI	組立単位の例
_{知力是} SI 基本	5単位
和立重 名称	記号
面 積平方メートル	m ²
体 積 立法メートル	m ³
速 さ , 速 度 メートル毎秒	m/s
加速 度メートル毎秒毎秒	m/s^2
波 数 毎メートル	m ^{·1}
密度, 質量密度キログラム毎立方メ	ートル kg/m ³
面 積 密 度キログラム毎平方メ	$- \vdash \nu = kg/m^2$
比体積 立方メートル毎キロ	グラム m ³ /kg
電 流 密 度 アンペア毎平方メ・	$- h \mu A/m^2$
磁界の強さアンペア毎メート	ル A/m
量濃度(a),濃度モル毎立方メート	$\nu mol/m^3$
質量濃度 キログラム毎立法メ	ートル kg/m ³
輝 度 カンデラ毎平方メ・	ートル cd/m ²
屈 折 率 ^(b) (数字の) 1	1
比 透 磁 率 (b) (数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
(b) これらは電気元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのこと を表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 組立里位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
平 面 隹	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
· 体 催	ステラジア、(b)	er ^(c)	1 (b)	m^{2/m^2}
周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz	1	s ¹
力 力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
压力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー、仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕事率,工率,放射束	ワット	w	J/s	$m^2 kg s^{-3}$
電荷,電気量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^{-2} A^{-1}$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^2 A^2$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量,比エネルギー分与,	グレイ	Gv	J/kg	m ² s ⁻²
カーマ		, and	ong	
線量当量,周辺線量当量,方向	SUNCE (g)	Sv	J/kg	m ² a ⁻²
性線量当量, 個人線量当量		50	orkg	III 8
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや コヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性抜種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度で表すために使用される。
(f)数単位を通の大きさは同一である。したがって、温度差や温度問隔を表す数値はとちらの単位で表しても同じである。
(f)数単性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S	I 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2 kg s^2$
表 面 張 九	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s⁻³
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{2} K^{1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{2}$
熱 伝 導 率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表 面 電 荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電 束 密 度 , 電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
誘 電 率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー,モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^2 K^1 mol^1$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 s^{-3}$
放 射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放 射 輝 度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語							
乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号		
10^{24}	э 9	Y	10^{-1}	デシ	d		
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	с		
10^{18}	エクサ	Е	10^{-3}	ミリ	m		
10^{15}	ペタ	Р	10^{-6}	マイクロ	μ		
10^{12}	テラ	Т	10^{-9}	ナーノ	n		
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピョ	р		
10^{6}	メガ	М	10^{-15}	フェムト	f		
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	а		
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z		
10^1	デ カ	da	10^{-24}	ヨクト	У		

表6.SIに属さないが、SIと併用される単位						
名称	記号	SI 単位による値				
分	min	1 min=60s				
時	h	1h =60 min=3600 s				
日	d	1 d=24 h=86 400 s				
度	۰	1°=(п/180) rad				
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad				
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad				
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²				
リットル	L, 1	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³				
トン	t	$1t=10^{3}$ kg				

_

表7.	SIに属さないが、	SIと併用される単位で、	SI単位で
	まとわて粉は	ぶ 中 瞬時 ほう や て そ の	

衣され	い夫駅町に守られるもの	
名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天 文 単 位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8.SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位					
	名称		記号	SI 単位で表される数値	
バ	1	ル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa	
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa	
オン	グストロー	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m	
海		里	М	1 M=1852m	
バ	-	\sim	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²	
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s	
ネ	-	パ	Np		
ベ		N	В	▶ 51 単位との 叙 値的 な 阕徐 は 、 対 数 量の 定 義 に 依 存.	
デ	ジベ	N	dB -		

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位					
名称	記号	SI 単位で表される数値			
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J			
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N			
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s			
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{ m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$			
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd} \text{ cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd} \text{ m}^{-2}$			
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx			
ガル	Gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{-2} = 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$			
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$			
ガウス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{-2} = 10^{-4} \text{T}$			
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4π)A m ⁻¹			

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 🏠 」 は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例						
名称					記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ		IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\boldsymbol{\nu}$	\sim	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ				ド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\boldsymbol{\nu}$				ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	I		N	"		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	- トル	/系	カラゞ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
\mathbb{P}				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力			IJ	1	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー)4.184J(「熱化学」カロリー)
Ξ	ク		П	\sim	μ	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$

この印刷物は再生紙を使用しています