JAEA-Review 2021-003 DOI:10.11484/jaea-review-2021-003



超深地層研究所計画 年度報告書(2019 年度)

Mizunami Underground Research Laboratory Project Annual Report for Fiscal Year 2019

竹内 竜史 尾上 博則 村上 裕晃 渡辺 勇輔 見掛 信一郎 池田 幸喜 弥富 洋介 西尾 和久 笹尾 英嗣

Ryuji TAKEUCHI, Hironori ONOE, Hiroaki MURAKAMI, Yusuke WATANABE Shinichiro MIKAKE, Koki IKEDA, Yosuke IYATOMI, Kazuhisa NISHIO and Eiji SASAO

> 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部

Geoscientific Research Department Tono Geoscience Center Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発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。 本レポートの転載等の著作権利用は許可が必要です。本レポートの入手並びに成果の利用(データを含む)は、 下記まで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ウェブサイト(<u>https://www.jaea.go.jp</u>)

なわ、本レホートの主义は日本原ナガ研究開発機構リェブサイト(<u>https://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課 〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 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. Reuse and reproduction of this report (including data) is required permission. Availability and use of the results of this report, please contact

Institutional Repository Section,

Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, 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, 2021

超深地層研究所計画 年度報告書(2019年度)

日本原子力研究開発機構

核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部

竹内 竜史,尾上 博則,村上 裕晃,渡辺 勇輔,見掛 信一郎,池田 幸喜, 弥富 洋介+,西尾 和久*,笹尾 英嗣

(2021年2月16日受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構東濃地科学センターでは、高レベル放射性廃棄物の 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きた。超深地層研究所計画では、2014 年度の原子力機構改革において、三つの必須の課題(地下坑道における工学的対策技術の開発、 物質移動モデル化技術の開発,坑道埋め戻し技術の開発)が抽出された。2015年度以降、超深地 層研究所計画ではこれら三つの必須の課題に関する調査研究に重点的に取り組み、十分な成果を 上げることができたことから、2019年度をもって超深地層研究所計画における調査研究を終了す ることとした。

本報告書は、2019年度に実施した超深地層研究所計画のそれぞれの研究分野における調査研究、 共同研究,施設建設等の主な結果を示したものである。

東濃地科学センター:〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-63

Mizunami Underground Research Laboratory Project Annual Report for Fiscal Year 2019

Ryuji TAKEUCHI, Hironori ONOE, Hiroaki MURAKAMI, Yusuke WATANABE, Shinichiro MIKAKE, Koki IKEDA, Yosuke IYATOMI⁺, Kazuhisa NISHIO^{*} and Eiji SASAO

Geoscientific Research Department, Tono Geoscience Center Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development Japan Atomic Energy Agency Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received February 16, 2021)

The Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project is being pursued by the Japan Atomic Energy Agency (JAEA) to enhance the reliability of geological disposal technologies through investigations of the deep geological environment in the crystalline rock (granite) at Mizunami City, Gifu Prefecture, central Japan.

On the occasion of JAEA reformation in FY2014, JAEA identified three remaining important issues on the geoscientific research program based on the synthesized latest results of research and development (R&D): "Development of countermeasure technologies for reducing groundwater inflow", "Development of modeling technologies for mass transport" and "Development of drift backfilling technologies". At the MIU, the R&D are being pursued with a focus on the remaining important issues from FY2015, and satisfactory results have been achieved. Based on this situation, the R&D on the MIU Project were completed at the end of FY2019.

In this report, the results of R&D and construction activities of the MIU Project in FY2019 are summarized.

Keywords:Mizunami Underground Research Laboratory, MIU Project, Geological Disposal of HLW, Crystalline Rock, Annual Report

⁺ R&D Program Management Department

^{*} PESCO Co., Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 超深地層研究所計画の概要	3
2.1 目標	4
2.2 調査研究の進め方	6
2.3 成果の反映	8
2.4 瑞浪超深地層研究所用地周辺の地質	10
2.5 瑞浪超深地層研究所の施設概要	11
3. 調査研究および施設建設	12
3.1 地下坑道における工学的対策技術の開発	13
3.1.1 大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術の開発	13
3.1.2 地下水管理技術の開発	21
3.2 物質移動モデル化技術の開発	22
3.2.1 低透水性領域での亀裂ネットワークモデル化手法の開発	22
3.2.2 地質環境の長期変遷解析技術の開発	29
3.2.3 深部塩水系地下水の起源・滞留時間の理解	
3.3 坑道埋め戻し技術の開発	31
3.3.1 坑道閉鎖に伴う環境回復評価技術の開発	31
3.3.2 長期モニタリング技術の開発等	35
3.4 正馬様用地における調査研究	42
3.5 施設建設	44
4. 共同研究·施設利用	51
5. おわりに	54
参考文献	55
付録 広域地下水流動研究 2019 年度報告	58

Contents

1. Introduction
2. Overview of the Mizunami Underground Research Laboratory Project
2.1 Goals of the MIU Project
2.2 Approach of the MIU Project
2.3 Application of research and development results
2.4 Geology10
2.5 MIU facilities11
3. Results of investigations and construction
3.1 Development of countermeasure technologies for reducing groundwater inflow13
3.1.1 Water-tight grouting technology13
3.1.2 Effluent treatment technology
3.2 Development of modeling technologies for mass transport
3.2.1 In-situ test and modeling fracture network
3.2.2 Evaluating long-term change of geological environment
3.2.3 Inference of origin and residence time of deep saline water
3.3 Development of drift backfilling technologies
3.3.1 Evaluation of recovery process and geological environment post closure
3.3.2 Long-term monitoring of geological environment
3.4 Investigation at the Shobasama Site
3.5 Construction at the MIU Construction Site
4. Collaboration studies with research organizations
5. Conclusions
References
Appendix Results of the Regional Hydrogeological Study Project in FY201958

1. はじめに

国立研究開発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⁾に定められた「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,高レベル放射性廃棄物の地層処分技術 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きた研究計 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1996 年11月に「超深地層研究所地層科学研究基本計画(以下,基本計画)」³⁾を策定し、超深地層研究 所計画における調査研究を進めた。その後、2000年11月に策定された原子力長計⁴⁾に示された「地 層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けて研究開発を着実に推進すること」との 核燃料サイクル開発機構(現:原子力機構)の役割を踏まえて、2001年4月に基本計画を改訂し た⁵⁾。さらに、2002年1月に瑞浪市との間で同市明世町の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^{**}等を同市有地に設置することとしたのを機に基本計画を改訂した⁶⁾。改訂した 基本計画を踏まえ、また、2005年7月に設置された国の地層処分基盤研究開発調整会議における 議論の結果(資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構、2006)⁷⁾(以下,全体計画)や原子力 政策大綱における原子力機構の役割に基づいて研究開発を進めてきた。

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,地層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,2008年度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情報から,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,湧水が多いことが予想された。以上のような「基本方針」と「最終処分計画」の改定および そ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て調査研究 することにより,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,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資することが期待できる こと等から,2008年度に調査研究用の水平坑道を整備することとした。以上のような「基本方針」 と「最終処分計画」の改定および深度300mへの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⁸。

原子力機構は、2013年に文部科学省日本原子力研究開発機構改革本部が決定した「日本原子力 研究開発機構の改革の基本的方向」⁹⁾を受けて、改革計画¹⁰⁾を策定した。同改革計画の中に示され た事業の見直しの一環として、瑞浪と幌延の二つの深地層の研究施設計画については、2015年3 月までに予定していた研究開発成果の取りまとめを前倒しして行い、東京電力ホールディングス 株式会社福島第一原子力発電所事故後の地層処分事業の動向も視野に入れ、2014年9月末に深地 層の研究施設で行うべき必須の課題を提示した¹¹⁾。この必須の課題に基づき基本計画を改訂¹²⁾す

[※] 調査研究のために掘削される主立坑,換気立坑,水平坑道等からなる超深地層研究所の地下部分

るとともに、必須の課題に関する研究計画13)を策定し、2016年6月に公表した。

原子力機構改革の結果を受けて,原子力機構の第3期中長期計画(2015年度~2021年度)にお ける深地層の研究施設計画(超深地層研究所計画)では,必須の課題に関する研究に重点的に取 り組むこととした。また,これらの研究については,2019年度末までの5年間で成果を出すこと を前提に取り組むとともに,同年度末までに,跡利用を検討するための委員会での議論を踏まえ, 土地賃貸借期間の終了(2022年1月)までに坑道の埋め戻しができるようにという前提で考え, 坑道埋め戻し等のその後の進め方について決定することとした。

東濃地科学センターでは、2015年度から必須の課題に関する研究を着実に進め、得られた研究 成果について2019年度に報告書として取りまとめた¹⁴⁾。必須の課題に関する研究については、十 分な研究成果を上げることができたことから、2019年度をもって超深地層研究所計画における研 究開発を終了することとした。なお、坑道の埋め戻し等のその後の進め方については、その検討 結果を計画案(「令和2年度以降の超深地層研究所計画」)¹⁵⁾として取りまとめ、2020年1月に公表 した。

本報告書は、2019年度の年度計画¹⁶⁾に基づき実施した調査研究,施設建設,共同研究等の成果 を示したものである。なお,調査研究の一部については,国からの受託研究を活用して実施した。

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一つとして、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17)。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・ 解析技術の開発を目標とするものであり、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1992年度に調査研究を開始し、2004年度末をもって主要な現場調査を 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、既存の観測設備による表層 水理観測(河川流量,降水量)および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 きた。このうち表層水理観測は、所期の目的を達成したことにより、2014年度で終了した。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 に伴う研究所用地周辺の岩盤や地下水の変化を把握するために利用してきた。本報告書の巻末に, 広域地下水流動研究についての2019年度の調査研究の成果を示す。なお、広域地下水流動研究に ついては、超深地層研究所計画における研究開発の終了と合わせて、2019年度をもって終了した。 ボーリング孔については、「令和2年度以降の超深地層研究所計画」15)で示した地下水の環境モニ タリング調査に活用し、観測を終了したボーリング孔については順次閉塞作業を進めていく計画 である。

2. 超深地層研究所計画の概要

超深地層研究所計画(以下,本計画)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,空間スケール等を考慮し,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 分して進めてきた。このように段階的に進めることにより,自然の地質環境と,その地質環境が 坑道の掘削等により変化する状況を把握することができる。また,この間,深部地質環境の予測 とその予測の妥当性の確認を段階ごとに繰り返して行うことにより,前段階で適用した調査・解 析・評価手法の妥当性や有効性を評価することが可能となる。これらにより得られた情報や知見 等は,地質環境を対象とした一連の調査・評価等に関する総合的な方法論としての体系化を通じ て,処分事業と安全規制の技術基盤の整備に資するとともに,地層処分に関する国民との相互理 解促進にも貢献することが期待される。

本計画では、当初は岐阜県瑞浪市の原子力機構用地(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、調査研究を進めてきた。

本計画の第1段階の調査研究は、1996年度から2004年度まで実施した。第2段階の調査研究は、 2004年度に開始し、2013年度末で終了した。第3段階の調査研究は、2010年度から開始し、2019 年度で終了した。



図2-1 超深地層研究所の設置場所

2.1 目標

超深地層研究所計画においては、全体目標として以下の二つを設定した(詳細は、基本計画¹²⁾を参照)。

【全体目標】

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

【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

地表からの調査研究等により深部地質環境に関する情報を取得し、以後の調査研究の初期条件 として研究坑道掘削前の未擾乱の地質環境特性を詳細に把握する。また、取得した情報の集約と 解釈をとおして、サイトスケール(数百 m~数 km 四方)(図 2.1-1、表 2.1-1)の地質環境モデ ル(地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデルおよび岩盤力学モデル)を構築する。 さらに、新たに取得する情報に基づき、適宜、地質環境モデルを更新し、調査の種類・量、解析・ 評価の手法および結果の精度との関係を把握する。これにより、一連の調査・解析・評価手法の 有効性を評価する。

また,これらの地質環境(たとえば,地下水流動場,地下水の地球化学特性,岩盤の力学特性 等)の研究坑道掘削に伴う変化を推定する。

② 研究坑道の詳細設計および施工計画の策定

後述の③において策定する研究坑道の掘削を伴う研究段階における具体的な調査研究計画およ び研究坑道を利用した研究段階における概略的な調査研究計画に基づいて,研究坑道の詳細レイ アウトを決定する。この際,本段階において取得する深部地質環境に関する情報,および研究坑 道掘削に伴う深部地質環境の変化に関する推定結果等を考慮する。また,実際の地質環境が推定 結果と大きく異なる場合や,突発的な事象(大量出水や山はね等)が発生した場合等においては, 設計変更や対策工の適用により柔軟に対応することが重要である。さらに適用する施工技術なら びに機械・設備を選択し,具体的な施工計画を決定する。

研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査研究計画の策定

研究坑道の掘削を伴う研究段階における具体的な調査研究計画,および研究坑道を利用した研 究段階における概略的な調査研究計画を策定する。この際,前述の深部地質環境に関する情報, ならびに研究坑道掘削に伴う深部地質環境の変化に関する推定結果等を踏まえ,原子力長計等に 示された今後の研究開発の課題を考慮することが重要である。

第2段階:研究坑道の掘削を伴う研究段階

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

研究坑道の掘削および坑道内からのボーリング掘削により取得される情報等に基づき,前段階 において構築した地質環境モデル(サイトスケール)の妥当性を確認するとともに,その結果を 踏まえ,地質環境モデル(サイトスケール)を更新する。また,更新した地質環境モデル(サイ トスケール)を基に,取得した情報を用いて,ブロックスケール(数十〜数百 m 四方)(図 2.1-1,表 2.1-1)の地質環境モデルを構築する。さらに,新たに取得する情報に基づき,適宜,地質 環境モデル(ブロックスケール)を更新し、調査の種類・量、解析・評価の手法および結果の精 度との関係を把握する。

また,研究坑道の掘削に伴う地質環境の変化のモニタリングにより取得する情報および前述し た地質環境モデル(サイトスケール)を用いた解析結果等に基づき,研究坑道掘削が周辺の地質 環境に与える影響等を評価する。

以上の調査研究を実施することにより,研究坑道掘削時の段階的な地質環境の調査・解析およ びその評価結果を基に,地表からの調査予測研究段階において実施した一連の調査・解析・評価 手法の妥当性を確認するとともに,研究坑道の掘削を伴う研究段階において地質環境を段階的に 調査・評価するための体系的な方法論を整備する。

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

研究坑道の施工・維持管理において適用した工学技術の有効性を確認するとともに、それらの 高度化を図る。また、実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合や、突発的な事象が発生し た場合等においては、設計および施工計画の変更に対処できることを示す。また、掘削中の研究 坑道内の安全を確保するための技術を整備する。

以上を通して,大深度での地下施設の設計・施工計画構築技術の妥当性や,建設技術,施工対 策技術および安全確保技術の適用性を段階的に評価し,結晶質岩/淡水系地下水環境における体 系化した深地層の工学技術の基礎を提示する。

研究坑道を利用した研究段階の調査研究計画の策定

研究坑道を利用した研究の課題を見直すとともに,研究坑道を利用した研究段階における調査 研究計画の具体化を図る。この際,前述の深部地質環境に関する情報,それまでに東濃鉱山や釜 石鉱山ならびに海外の地下研究施設等において実施してきた調査研究の成果や課題等に加え,全 体計画等に示された今後の研究開発の課題を考慮することが重要である。

第3段階:研究坑道を利用した研究段階

研究坑道を利用した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から維持 管理・閉鎖に伴う深部地質環境の変化の把握

研究坑道を利用した調査研究により深部地質環境の特性を把握するための手法の開発を行うと 同時に、深部地質環境に関する情報を三次元的に取得・蓄積し、本段階までに構築した地質環境 モデル(サイトスケールならびにブロックスケール)の妥当性を確認する。その結果に基づき、 適宜、地質環境モデル(サイトスケールならびにブロックスケール)を更新する。また、本段階 までの地質環境モデルの構築および更新を通して、不確実性を明らかとするとともに重要な要素 の特定を行う。これらに基づいて、調査の種類・量、解析・評価の手法と結果の精度との関係を 明らかにする。

また,研究坑道の部分的な掘削・維持管理・閉鎖時の地質環境モニタリング等により取得する 情報および前述の地質環境モデルを用いた解析結果等に基づき,研究坑道の掘削から維持管理・ 閉鎖に伴う研究坑道周辺の地質環境特性の一連の変化を把握する。さらに,地震や隆起・侵食と いった長期的な自然現象が地質環境に与える影響も念頭に置いて,研究坑道周辺の地質環境特性 の長期的な変遷を統合的に解析する手法の検討を行う。

深地層における工学技術の有効性の確認

地下深部における,研究坑道を長期にわたり維持・補修する技術の適用性を確認する。また,

工程や品質等の管理体系を構築し,研究坑道内の研究環境を適切に維持管理し安全を確保するた めの技術を整備する。また,坑道掘削が地質環境に及ぼした影響を修復・軽減する工学技術等を 開発・整備する。さらに,実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合や,突発的な事象が発 生した場合等においては,必要に応じ,設計および施工計画の変更に対処できることを示す。



図 2.1-1 空間スケールの概念

	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 ・地下施設建設時のカ学・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	 ・人工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

表 2.1-1 空間スケールの対象範囲と位置付け

2.2 調査研究の進め方

本計画の第1段階および第2段階の調査研究においては、地層処分における「安全評価」、「地下施設の設計・施工」および「環境影響評価」の観点から設定した個別目標と課題に対して調査研究項目を設定することを基本的な進め方としてきた¹⁸⁻²⁰。

第3段階も同様の考え方¹²⁾で進めていくことを基本とした。第3段階の調査研究で対象とする個別目標を図2.2⁻¹¹²⁾に示す。なお、図2.2⁻¹は研究の進捗状況等を踏まえて、適宜最適化していくこととしてきた。

全口体量		個別目標	課題	덨域地下水 消動研究	第	1段階	WIIC 第2	問 取階	第33	段階	物質移動モデル化技術の開発	坑道埋め戻し枝術の開発	地下坑道における工学的対策
日 1条				Г	S	В	S	В	S	В			技術の囲笼
			移行経路として重要な構造の把握	0	0	T	0	O	Ø	Ø	0	0	I
		地質構造の三次元的分布	対象岩盤の分布と形状の把握	Ø	0	T	0	T	I.	T	1	I	I
		の把握	岩盤の地質学的不均質性の把握	Ø	0	0	0	Ø	0	0	0	0	I
			地質/地質構造の長期変化の推定	Ø	0	I.	0	T	0	I	0	I	1
			地下水流動場の把握	0	0	T	0	I	I.	I	1	I	1
		地下水の流動特性の把握	- 地下水流東分布の把握	Ø	0	0	0	0	0	0	0	0	1
			地下水流動特性の長期変化の推定	Ø	0	T	0	I.	0	I	0	I	I
			地下水の塩分濃度分布の把握	Ø	0	T	0	T	0	I	I	0	1
	里	地下水の地球化学特性の	地下水のpH・Eh環境の把握	Ø	0	T	0	T	0	T	I	0	I
勒 첖	辐全	1-1/#	地下水の水質変化の推定	Ø	0	I.	0	I.	0	I	0	0	1
Ø3	¥		物質移動場の把握	I	I.	0	I.	0	I.	0	0	0	1
(査(物質移動の遅延効果の	- 岩盤の収着・拡散特性の把握	I	1	0	I.	0	I.	0	0	0	I
0谢3			コロイド/有機物/微生物の影響の把握	I	I	T	T	0	I.	0	0	0	1
¥里;			ー EDZの範囲の把握	I	I	0	T	0	I.	0	0	0	0
₩÷Ť		EDZの地質環境特性の	- EDZの透水性、物理・力学特性分布の把握	I	T	0	T	0	I.	0	0	0	0
件稱		把握	EDZの地球化学特性の把握	I	T	T	T	T	I.	0	0	0	0
·查調			EDZの応力状態の把握	I	1	0	T	0	I.	0	I	0	0
¢Ω			帯水層の分布の把握	Ø	0	1	T	I.	I.	I	I	I	I
		布秋刻朱の光確	帯水層中などにおける流速分布の把握	0	0	I	I	I	I	I	1	ı	I
貢也			 応力場の拍描 	Ø	Ø	I	0	Ø	I	0	1	0	I
化倍号	工政	地下空洞の力学安定性の	- 岩盤の物理・力学特性の把握	0	Ø	I	O	Ø	I	0	1	0	1
24	(•+≣	尤權	- 不連続構造などの有無の把握	I	I	I	I	Ø	T	0	I	0	I
	₩ 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	地下空道への地下水流入」	- 地下空洞への地下水流入量の把握	I	T	T	0	T	0	0	1	0	0
	領动	状態の把握	地下空洞への流入地下水水質の把握	I	I	T	0	I	0	0	1	0	0
	「」		- 地温勾配分布の把握	Ø	0	I	I	I	I.	I	I	I	I
	Ŧ	地トの温度壊現の把確	岩盤の熱特性の把握	Ø	0	I	I	0	I.	I	I	I	I
	₽		- 地下水位・水圧分布への影響の把握	0	0	T	0	I	©	I	1	0	I
	帽聲	地下施設建設が周辺環境	- 地下水の水質への影響の把握	0	0	T	Ø	T	Ø	I	1	0	1
	湯貢	ヘ与える影響の把握	- 排水放流先河川の水質の把握	0	0	T	Ø	T	Ø	I	1	I	0
	戰		振動・騒音の把握	0	0	T	0	T	©	I	I	I	1
ω g	•+		- 設計・施工計画技術の開発	I	I	Ø	I	0	0	I	I	0	I
(†15	冒受冒		 	I	I	I	I.	0	I.	I	1	1	I
\$二層 (○)消 (○)消	0.3 王朝	大深度地質環境下における 「学は紙の有効性の確認」	施工対策技術の開発	I	T	0	I	Ø	0	0	1	0	0
机 机 机	戦 L		- 安全性を確保する技術の開発	I	I	ł	I	0	I	0	I	I	I
⇒T K	AT		■ 掘削影響の修復・軽減技術の開発	I	I	I	I	I	I	0	1	0	0
			(EDZ: 掘削影響領域)										
			L:ローカルスケール, S:サイトスケール, B:ブロ	ックスケール							〇:個別目標/課題と関係あり		
			◎∶主な研究対象の段階/スケール, ○∶補助的	的な研究対象	の段階、	/スケー	1						

図 2.2-1 個別目標および課題

JAEA-Review 2021-003

2.3 成果の反映

本計画における地層科学研究の成果は,原子力発電環境整備機構が進める処分事業や国が行う 安全規制に対し技術基盤として反映されるほか,地下深部についての学術的な研究,ならびに地 層処分に対する国民との相互理解の促進に寄与するものである。これまでの調査研究により,深 度 500m 程度以深の地質環境は割れ目の少ない還元環境にあることが明らかとなってきた。また, 深度 300m 付近については,透水性の比較的高い岩盤であることが明らかとなっている。このよ うに異なった地質環境を対象とした研究開発の成果は,繰り返しアプローチ¹⁸⁾(図 2.3-1)によ る地質環境特性調査技術の構築のみならず,全体計画等に示された,処分事業の実施や安全規制 の技術基盤として重要であるとともに,国民の地層処分に関する技術的信頼感の醸成に貢献でき るものである。

以下に, 2.1に示した二つの全体目標に対して得られる成果について, その具体的な反映先を示 す。

① 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

各段階において、「概念の提示→計画の立案→調査→データの解釈→モデル化・解析→解析結果 の評価→不確実性の評価→重要な要素の特定」というプロセスを繰り返して調査研究を進め、段 階的に地質環境に関する知見の不確実性を低減することにより、結晶質岩の地質環境を合理的に 調査・評価するための体系的な方法論を提示する。この成果は、全体計画に示された段階目標で ある、地表からの調査に関わる技術基盤の確立(地表からの調査技術の検証〜地下施設での調査 の考え方)および地下施設を活用した調査に係る技術基盤の確立に役立てられるとともに、原子 力政策大綱に示されたとおり地層処分技術の信頼性向上や安全規制のための研究開発にも活用さ れる。また、一連の調査で取得される深部地質環境に関する情報や知見等は、国内外の地球科学 分野の学術的研究の成果等と合わせて、地下深部における様々な現象(たとえば、地下水による 物質の移動や地震の影響等)の理解、わが国の深部地質環境を示すモデルの信頼性の向上および 地下空間利用の際に用いられる工学材料の検討等にも反映できる。

② 深地層における工学技術の基盤の整備

本計画における工学技術の成果としては,研究坑道の設計,施工計画の策定,掘削,施工対策, 維持管理,閉鎖および安全確保に係る,既存のあるいは新たに開発される工学技術の有効性の確 認が期待される。また,実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合や,突発的な事象が発生 した場合等においては,設計および施工計画の変更に対処できることを示す。

これらの工学技術は、地層処分場の設計、建設ならびに操業や閉鎖にかかわる合理的かつ最適 な技術の開発の基盤として活用される一方、将来における地下空間利用の基礎として、地下深部 に地下空間を設け安全に研究活動等が実施可能であること等を実証するために役立てられる。

JAEA-Review 2021-003



図 2.3-1 調査研究の繰り返しアプローチ

2.4 瑞浪超深地層研究所用地周辺の地質

研究所用地および正馬様用地においては,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,さらにそれらを固結度の低い新第三紀中新 世〜第四紀更新世の砂礫層(瀬戸層群)が不整合に覆っている(図2.4·1)^{21,22)}。また,土岐花崗 岩中には,石英斑岩の岩脈が分布する。研究所用地の北方,西方および東方には美濃帯堆積岩類 が,北東方には濃飛流紋岩が分布する²¹⁾。



図 2.4-1 瑞浪超深地層研究所用地周辺の地質

瑞浪層群は,美濃帯堆積岩類,土岐花崗岩および濃飛流紋岩を基盤として,新第三紀中新世~ 第四紀更新世の瀬戸層群に不整合で覆われる。岩相によって下位から土岐夾炭累層,本郷累層, 明世累層,生俵累層に区分される²³⁾。また,明世累層と生俵累層の間に宿洞累層が分布する場所 もある²⁴⁾。

瀬戸層群は、美濃帯堆積岩類、濃飛流紋岩、土岐花崗岩および瑞浪層群を不整合に覆い、層相 によって下位から土岐口陶土層と土岐砂礫層に区分される²⁵⁾。

2.5 瑞浪超深地層研究所の施設概要

瑞浪超深地層研究所(以下,研究所)の施設は,地上施設と研究坑道からなる(図2.5-1)。地上施設は,櫓設備,巻上設備,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,受変電設備,非常用発電設備,資材置場,火工所,管理棟等からなる。研究坑道は,主立坑,換気立坑,深度100mごとに主立坑と換気立坑をつなぐ予備ステージ,深度300mステージ,深度500mステージからなる。



図 2.5-1 瑞浪超深地層研究所の施設の現状

3. 調査研究および施設建設

本章では、2019年度に実施した研究所用地における第3段階の調査研究の成果および施設建設 について取りまとめる。研究坑道のレイアウトおよび研究坑道における主な調査位置を図3-1に 示す。



図 3-1 研究坑道のレイアウトおよび主な調査位置

3.1 地下坑道における工学的対策技術の開発

研究坑道への湧水量をプレグラウチングとポストグラウチングの組合せによって制御可能とす るウォータータイトグラウト技術を実証する。また,地下水排水処理技術等の地下水管理技術の 高度化に取り組む。

3.1.1 大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術の開発

(1) 目的

日本の地質環境の特徴の一つとして、断層や割れ目が多いことが挙げられる。このような地質 環境において地下に坑道を掘削した場合、坑道への湧水が多いと想定されるため、地下施設の作 業環境の維持、排水処理の効率化、施設埋め戻しの際の埋め戻し材への影響(例えば、埋め戻し 材中の粘土分の流出)を考慮し、坑道への地下水の湧水を効果的に抑制する技術を確立すること が重要な課題の一つである。そのため、プレグラウチングとポストグラウチングを併用すること により、グラウチングによる改良範囲の拡大あるいは岩盤の透水係数のさらなる低減により湧水 量を抑制するウォータータイトグラウト技術を整備する。本研究課題については、主に深度500m ステージの研究坑道を利用してポストグラウチングを実施し、坑道湧水量の変化を測定すること で湧水抑制効果を評価するとともに、岩盤の透水係数に応じたグラウト材料(超微粒子セメント や溶液型材料)の選定や注入方法、効果的な注入孔の配置等の手法を整備する。また、これまで 研究坑道の掘削工事や対策工事に使用されたセメントや鋼材等の人工材料の経年変化を調査する とともに、グラウト材料や覆工および吹付けコンクリートの岩盤への影響を調査し、これらの人 工材料による岩盤の長期的な変化や地下水への化学的な影響を評価する方法を整備する。

(2) 実施内容と結果

1) プレグラウチングとポストグラウチングを併用したグラウト技術

2019年度は、2018年度に引き続き、プレグラウチングとポストグラウチングを併用した深度 500m研究アクセス南坑道での湧水抑制効果について、必須の課題に係る研究成果として取りま とめた¹⁴⁾。これまでに得られた成果の概要を以下に示す。

研究坑道の掘削における湧水抑制対策として超微粒子セメントを基本としたプレグラウチング を実施した深度500m研究アクセス南坑道における湧水抑制効果としては、プレグラウチング未 実施の場合の湧水量予測値(1,380m³/day)の4%(50m³/day)まで低減できた。このプレグラウ チング領域のうち比較的湧水量が多い区間において、より微細な割れ目への浸透が期待できる活 性シリカコロイドを用いたポストグラウチングを実施し、プレグラウチング領域の湧水量は約 15m³/dayまで低減できた。これにより、プレグラウチングとポストグラウチングの併用によりグ ラウチング未実施の場合の湧水量予測値に対して99%の湧水抑制効果を確認できた。この実証試 験を通じて、深度500mまでの湧水抑制対策時にも適用してきたグラウチング効果の予測のため の理論式の有効性を示すことができた。また、より高い浸透効果が発揮されるグラウト材と注入 方法(複合動的注入工法)の技術的有効性を実証できた^{26),27)}。

2) セメント系材料によるニアフィールド岩盤への影響評価技術の開発

清水建設株式会社,デンカ株式会社,岡山大学および日本大学との共同研究として,低アルカ リ性瞬結吹付けコンクリートと岩盤の相互作業に関する研究を継続した。2019年度は,コンクリ ートが周辺の地下水や岩盤に及ぼす影響を把握・評価するための室内試験(長期浸出試験)を継 続するとともに,深度500m研究アクセス南坑道の掘削工事において試験的に使用した低アルカ リ性瞬結吹付けコンクリートの吹付け箇所から試料を採取し、分析を行った。なお、これらの結果の取りまとめは2020年度に実施する予定である。

3) グラウト材の影響による岩盤状態の経年変化の把握に関する検討

国からの受託研究を活用して,原位置におけるセメント系グラウト材料の変遷とその周辺岩盤 への影響について理解するとともにこれらの概念モデルの構築について取り組んだ。

これまでの研究では、特にグラウチング施工をした深度300m研究アクセス坑道を対象として、 試料を採取して分析した結果,施工後3年程度のグラウト材が炭酸化(方解石化)しつつあること が確認された28)。また、グラウチング施工時の岩盤中のグラウト材の状態を推定するため、複数 の水セメント比(打設時で50%~700%)でセメント供試体を作成し、それらの薄片観察を行っ た。セメント供試体は、原位置の環境を模擬するため、空気部分をアルゴンガスで置換した上で、 材齢で28日程度まで深度300m研究アクセス坑道から採取した地下水で養生し十分に固化させた。 観察の結果、水セメント比が大きいセメント供試体ほど大きな空隙と粗粒な方解石が形成される 傾向にあることが確認された29)。加えて、グラウチング施工後約3年および約7年経過した岩盤か らグラウト材を含むコア試料を採取し薄片観察を行った結果、グラウト材中に方解石と推察でき る微細な結晶が分布する領域(結晶化領域)と非晶質な物質が分布する領域(以下、含非晶質領 域)が確認された29)。含非晶質領域にも微細な方解石がまばらに分布した。また、グラウチング 施工後約3年経過した試料の岩石薄片を対象に化学分析を行い、グラウト材中の元素分布,空隙分 布等を確認した29)。これらは、岩盤中のグラウト材はセメント供試体に比べて早い時期(硬化時 期)から炭酸化が進行している可能性や、坑道を掘削して空気がある段階(坑道埋め戻し前)で はグラウト材による周辺岩盤への化学的影響が生じ難い可能性を示唆すると考えられる。さらに, グラウト材と岩盤が接触している既存試料を用いた通水箇所およびその周辺の鉱物種の分布やグ ラウト材・岩盤の化学的変遷を把握するために地下水の水質分析や顕微鏡観察を実施するととも に、通水試験によるグラウト材と岩盤との相互作用メカニズムに関する情報の拡充と概念モデル の構築を実施した³⁰⁾。加えて,実際の地質環境に近い形でCO2の影響がない還元環境下において, セメントと岩石の相互作用を把握するための通水試験等を実施した。両供試体の観察や通水後の 水質分析結果を踏まえて、これまで検討してきたモデルのように、カルサイト(CaCO₃)の析出 を確認した。そして、グラウト材と岩盤との相互作用と、関係する反応物質のやり取りを想定し た概念モデルを比較し、モデルの妥当性を確認した³¹⁾。

2019年度は、深度300m研究アクセス坑道のグラウチング施工箇所における原位置地下水の水 質の変遷を把握するための採水・分析や、グラウチング施工後11年経過したグラウト材と岩盤の 接触部からの試料の採取および分析を実施した。

i) 地下水水質の変遷

グラウチング施工(2008年11月に施工)を実施した深度300m研究アクセス坑道における水質の変遷を把握するため、図3.1.1-1に示すA-SP-198号孔および199号孔から地下水を採水して分析した。両孔とも坑道掘削前にプレグラウチング施工を実施した区間内に存在している。図3.1.1-2 にグラウチング施工以降のpHおよびCa²⁺濃度増加量の経時変化を示す。



図 3.1.1-1 地下水採水場所(深度 300m 研究アクセス坑道)



図 3.1.1-2 地下水中の pH および Ca²⁺の変遷

水質分析結果によると、2019年~2020年のCa²⁺の濃度増加量は、2018年~2019年に減少した 後から増加に転じている。pHについても、2018年5月頃を境に2019年5月ころまで減少後、上昇 している。

ii) セメント系材料が岩盤へ及ぼす影響の把握

a) 試料採取

研究坑道でのグラウチング施工後11年経過した原位置から試料を採取し、表面観察により岩盤 やグラウト材の状況などを把握した。具体的には、深度300m研究アクセス坑道のグラウチング施 工区間(図3.1.1-3)において、グラウト材を含む岩盤割れ目の存在の可能性が高いと予想される 場所9箇所で坑道壁面から約0.5~1m掘削した(吹付けコンクリートは除く)。

採取した試料を観察した結果,グラウト材と思われる材料が明瞭に確認できたNo.1とNo.3の試料について,表面観察を行うこととした。図3.1.1-3にNo.1とNo.3の試料を採取した場所を示す。

No.1試料はコア掘削方向と47~66°の中~高角度で交差する割れ目に黄色に着色されたグラウト材の挟在を確認した(図3.1.1-4)。No.3試料は77°の高角度で交差する割れ目に灰色のグラウト材の挟在を確認した(図3.1.1-5)。



図 3.1.1-3 試料採取場所



コア写真



採取した試料の状況(割れ目面にグラウト材の色粉と見られる着色を確認)

図 3.1.1-4 No.1 試料の写真および試料の状況



コア写真



No.3 から採取した試料の状況 (割れ目面にグラウト材の色粉と見られる着色を確認。右図は左図の白破線部の拡大図)

図 3.1.1-5 No.3 試料の写真および試料の状況

b) 試料の表面観察

採取した試料No.1およびNo.3のグラウト材の狭在が確認された箇所でコアを割れ目に沿って 切断し,鏡面研磨薄片2片(以降, No.1およびNo.3と表記)を製作した(図3.1.1-6)。この薄片を 使って,数mm程度の視野の偏光顕微鏡観察を行い,岩盤(花崗岩)とグラウト材の接触状況を 確認した。



図 3.1.1-6 分析対象とした岩石薄片

続いて、走査型電子顕微鏡(SEM:日本電子製IT300HR)を用い、グラウト材中のカルシウムシリケート水和鉱物(C-S-H)に着目して、金を蒸着して反射電子像観察を行った。偏光顕微鏡 観察と概ね同一の視野を撮影した。また鉱物の推定のため、SEMに付属するエネルギー分散型X 線スペクトル検出装置(EDS:日本電子製JED2300)を用い、含有元素を特定した。表3.1.1-1に 観察仕様を示す。

表 3.1.1-1	SEM-EDS 観察仕様
-----------	--------------

壮罢夕	日本電子製 JSM-IT300HR
	日本電子製 JED2300
加速電圧	15 kV
試料傾斜角	0°
試料前処理	研磨加工

表面観察結果として、No.1の結果を図3.1.1-7に、No.3の結果を図3.1.1-8に示す。

No.1では、偏光顕微鏡観察ではグラウト材と花崗岩の間に花崗岩由来の砕屑粒子(石英・長石 など)を多量に含む領域が確認された(図3.1.1-7のA)。SEMによる詳細観察を行った結果,グラ ウト材と考えられる材料の微細構造は、セメント硬化体と同様の特徴を示す結果が得られた。セ メントの主構成材であるセメントクリンカは数十µmの径を持つ粒子で、水と反応して硬化組織 を作るが、周辺に可溶性の水酸化カルシウムを析出し、内部には難溶性のカルシウムシリケート 水和鉱物(C-S-H)を生成する。セメントクリンカは製造過程で高温での焼成過程を経るため、 ガラス質の外殻を伴うことが多い³²⁾。図中の(図3.1.1-7のD)では反応後のセメントクリンカの 残留物でC-S-Hの外殻と思われる構造が散見され、図中の(図3.1.1-7のE)では、未水和のセメン トクリンカも残留している状態が確認された。一方、これまでの試料で観察されていたグラウト 材中のカルサイトは認められず、No.1の試料は炭酸化が進行していないことが確認された。また、 グラウト材近傍の花崗岩にはグラウト材の影響とみられる変質は観察されなかった。

No.3では, 偏光顕微鏡観察では花崗岩とグラウト材との間に, カルサイトの結晶からなる領域 が見られた(図3.1.1-8のA)。SEMによる詳細観察を行った結果, No.1と比較して, グラウト材 部分の密度が低いものの, セメント粒子の存在も認められた。また, グラウト材近傍の花崗岩に はグラウト材の影響とみられる変質は観察されなかった。

以上の通り、実環境で11年経過した岩盤中のグラウト材において、未水和のセメントクリンカ が残存し、かつ炭酸化によって生成したカルサイトが認められないケース(No.1)と、炭酸化に よって生成したカルサイトが認められるケース(No.3)があること、またいずれのケースでもグ ラウト材の影響とみられる変質が岩盤側に認められないことを確認した。前者については、未水 和のセメントクリンカの残存は水和に必要となる水分の供給、すなわち地下水との接触が不十分 であったことを意味する。後者については、カルサイトが観察されていることから、HCO3を含 む地下水がグラウト材に接触し、反応したことを意味する。このように、地下水との接触の有無 が今回観察されたグラウト材の変質状態の違いに関係していると言える。

JAEA-Review 2021-003



A: No.1 号孔試料から作製した薄片の偏光顕微鏡観察結果(平行ニコル)





100µm

C: B の黄色枠 C の領域の拡大像



B:Aと同じ視野の SEM 像

20µm

200µm

D:Cの黄色枠Dの領域の拡大像 (矢印部にC-S-Hが確認できる。)



10µm

E:Cの黄色枠 Eの領域の拡大像 (矢印部に未水和のセメントクリンカが確認できる。)

図 3.1.1-7 No.1 試料の偏光顕微鏡および SEM 観察結果





100µm



10µm

C: B の黄色枠 C の領域の拡大像 (視野下方の領域にはカルサイトが確認できる。) D:Cの黄色枠Dの領域の拡大像 (矢印部にカルサイトが確認できる。)

図3.1.1-8 No.3試料の偏光顕微鏡およびSEM観察結果

3.1.2 地下水管理技術の開発

(1) 目的

研究坑道内に湧出する地下水(湧水)については,排水処理設備により処理した上で水質汚濁 防止法に基づく排水基準に適合させて河川へ放流(排水)していたが,放流先河川の水質のうち 自然由来のふっ素およびほう素が環境基本法に基づく環境基準を超えていたことが2005年10月 に判明した。そのため,自治体と締結した環境保全協定に基づき,排水処理設備において放流先 河川の環境基準が達成できる濃度までふっ素およびほう素を除去した後に,河川に放流している。

このような排水処理も含めた地下水管理技術は,大規模地下施設の建設にとって重要な課題の 一つである。また,近年,公共工事等で自然由来の重金属等を含む湧水が発生し,その対策が求 められている。

本研究では,主に排水処理技術に着目し,最新技術の動向等を文献調査等によって把握すると ともに,必要に応じて本計画での適用可能性や予想される効果を検討する。

(2) 実施内容と結果

2019年度は、これまでに実施した最新の地下水排水処理技術等に関する文献調査結果に基づき 必須の課題に係る研究成果の取りまとめを行った¹⁴⁾。

また,研究所では,排水処理量1,500m³/day対応の設備を用いて約800m³/dayの地下水排水を約 10年間にわたって連続処理しており,排水処理技術の実証を行ってきた。これらの知見により, 大量の排水からふっ素,ほう素濃度を環境基準値以下まで除去する方法として,現行の処理方法 (ふっ素:凝集・沈殿処理,ほう素:イオン交換樹脂による吸着処理)が実用的な技術であるこ とを確認した¹⁴。

3.2 物質移動モデル化技術の開発

花崗岩中の割れ目での物質の移動現象を理解し,モデル化するための調査・解析を実施する。 また,割れ目の透水性,地下水流動,地下水水質の長期的変化および地下水流動の緩慢さを明ら かにするための調査を実施する。

3.2.1 低透水性領域での亀裂ネットワークモデル化手法の開発

(1) 目的

スウェーデン等の安定大陸の地質環境と比較して、高透水性の割れ目が多く、かつ割れ目充填 物や変質を伴うなど、様々な特性を有する割れ目が混在する日本の地質環境においても、地下水 流動や物質移動を適切に評価し、安全評価の信頼性を向上するため、低透水性領域での亀裂ネッ トワークモデル化手法の開発は重要な課題である。そのため、深度約500m以深に分布する下部割 れ目低密度帯を主な対象としてボーリング調査を実施し、割れ目の分布や特性といった、地質構 造モデル、水理地質構造モデルの構築に必要な情報を取得する。また、研究坑道周辺に分布する 透水性の割れ目や健岩部の岩盤について、遅延現象等の物質移動に係わる現象を把握するための 室内および原位置における物質移動試験等を実施する。さらに、花崗岩中における物質移動に係 わる現象を把握するために必要な地下水中のコロイド、有機物、微生物に関するデータを取得す る。これらの調査・解析・評価のために、必要に応じて調査・解析手法や調査機器の改良・開発 を行う。これらの調査研究により、調査から評価までの一連の低透水性領域での亀裂ネットワー クモデル化手法を整備する。

(2) 実施内容と結果

1) 原位置試験

2019年度は、これまでの研究で構築した亀裂ネットワークモデルの妥当性確認に必要となる割 れ目の情報を取得するために、国からの受託研究を活用して深度500m研究アクセス北坑道57m ボーリング西横坑(図3-1)から掘削したボーリング孔(18MI65号孔:水平から約8°下向き,長 さ約103m)を利用して水理試験を実施した(図3.2.1-1)。水理試験では、研究坑道周辺に分布す る断層の影響帯を除く健岩部と考えられる掘削深度41mabh~101mabhの60m区間を対象とした。 60mの全区間を対象に、高透水部以外の岩盤部の透水係数データの取得を目的として水みちの有 無に関わらず5m区間長の試験を12区間で実施した(試験No.1~12)。また,水みち割れ目以外の 割れ目の透水量係数データの取得を目的として、透水性が低いと推定され、5m区間長の試験では 単一の透水性が推定できない割れ目を対象に2mまたは1m区間長の試験を実施した(試験No.13 ~20)。割れ目の選定は、ボーリング孔の掘削作業で取得した岩石コアの情報、BTVデータおよ び孔内検層結果を参考にした。最後に、試験対象区間全体の水理特性を確認するための60m区間 長の水理試験を実施した(試験No.21)。図3.2.1-1に、試験区間長5mおよび60mの水理試験結果 を示す。図中にはBTV観察で確認した明瞭割れ目(画像上で破断面の形状,連続性ともに明瞭な 割れ目)と開口割れ目(明瞭な割れ目のうち,画像上で0.1mm以上の開口性が認められる割れ目) の分布位置,主要な水みち位置として18MI65号孔掘削時に周辺観測孔で水圧応答が確認された 深度,電磁フローメーターのアノマリー深度を記載した。主要な水みちを含む試験結果は6.0× 10⁻⁹~4.8×10⁻⁸m/sであり,主要な水みちを含まない試験結果は1.5×10⁻¹¹~2.9×10⁻⁹m/sである。 つまり、試験対象領域においては、主要な水みちの有無で岩盤の透水係数が1~2オーダー異なる 可能性が示された。また、18MI65号孔で取得された透水係数と既往データ³³⁾を比較すると、既往 データのほうが全体的に高いことがわかる (図3.2.1-2)。 既往データは, 主に水みちを対象とした 試験で取得されたため, 高透水側に偏っていたことが推察される。18MI65号孔の水理試験で得ら

れたデータは、本来の岩盤が有する水理特性を評価する上で有効な情報である。

岩盤中の水みちを検出する技術の高度化を目的として、国からの受託研究を活用し深度300m ボーリング横坑(図3・1)においてボーリング孔(19MI66号孔:水平から約40°下向き、長さ約 29m)を掘削し、既存の水みち調査技術の適用性について検討した。その結果、割れ目密度が高 い岩盤においても岩盤内の水みちを検出できることが確認できた³⁴⁾。ボーリングコアから作成し た地下水の水みちとなる割れ目を含む岩石試料等を用いた室内試験を実施し、水みち割れ目およ び周辺のマトリクス部の物質移動モデル構築のための基礎的なデータを取得した³⁴⁾。



図3.2.1-1 18MI65号孔の水理試験結果



図 3.2.1-2 18MI65 号孔と既往の水理試験結果 ³³⁾の比較 (既往ボーリング(BH)調査(地上): MIZ-1 号孔と DH-15 号孔の試験結果,既往 BH 調査 (坑道内): 12MI33 号孔と 13MI38 号孔の試験結果)

2) モデル化

18MI65号孔で新たに取得された透水係数データを用いて,既往研究で構築した亀裂ネットワ ークモデルの更新およびモデル化手法の妥当性確認を実施した。表3.2.1-1および表3.2.1-2に,そ れぞれ割れ目のパラメータの推定手法と推定結果を示す。本検討では,図3.2.1-3に示す手順で 18MI65号孔の透水係数データに基づき割れ目の透水量係数分布を更新した。具体的には,割れ目 の透水量係数と半径に準相関モデル(割れ目が大きくなるほどその透水量係数が高くなる相関) を仮定し,岩盤の透水係数分布について実測値から求めた回帰曲線(対数正規分布)と解析値と の残差(二乗平均平方根誤差)が最小となる変数(μ, σ, C)の組み合わせを推定した(図3.2.1-4)。

推定した割れ目のパラメータの妥当性確認を目的として、18MI65号孔を想定したボーリング 孔をモデル化し、ボーリング孔沿いの割れ目の統計量を算定した。ボーリング孔は、方位N10° W、長さ60mの線オブジェクトとしてモデル中央部に設定した。なお、統計量は20リアライゼー ションの亀裂ネットワークモデルに基づき算定した。図3.2.1-5に、ボーリング孔沿いの割れ目の 透水量係数分布を示す。透水量係数の実測値については、18MI65号孔の水理試験で得られた透水 量係数をその試験区間の開口・明瞭割れ目の本数で除して算出した値をプロットした。透水量係 数の推定値は、数値シミュレーションで線オブジェクトと交差する割れ目の比湧水量を算出し、 図3.2.1-3に示したThiemの平衡式で求めた。なお、図3.2.1-2に示したように18MI65号孔および 既往の試験結果ともに、1×10⁻¹¹m/s以下のデータが取得できていない。つまり、原位置試験の測 定限界が1×10⁻¹¹m/s程度であるといえる。そのため、透水量係数の推定値は実測値との整合性を 確保するため、図3.2.1-5には水理試験の測定限界(1×10⁻¹¹m/s)</sup>以上の透水性の割れ目の情報の みをプロットした。透水量係数分布の推定値は実測値と整合的であり、割れ目のパラメータの推 定値やその推定手法が妥当であることが確認できた。

さらに、ボーリング調査や物理探査等で得られたデータや情報の解釈、地質構造/水理地質構造のモデル化・地下水流動解析およびモデル化・解析結果の可視化に関する作業を通じて、 GEOMASS (Geological Modeling Analysis and Simulation Software) システム³⁵⁾における坑道 埋め戻し解析の条件設定に関する機能を拡張した。

表 3.2.1-1 割れ目のパラメータの推定手法

割れ目特性	推定手法
走向傾斜分布	〇フィッシャー分布【式①】を仮定し、卓越方位セットごとの 平均方位(傾斜・傾斜方位)と広がり(フィッシャー係数)を 算定 $f(\theta) = \frac{1}{2\pi} \frac{\kappa \sin \theta}{e^{\kappa} - e^{-\kappa}} e^{\kappa \cos \theta}$ 式① θ :割れ目の集中方向(極)との交角($0 < \theta < \pi$) $K: $ フィッシャー係数 〇数m離れた地点からの目視による観察で抽出された割れ目
長さ分布	〇ベき乗分布【式②】を仮定 $f(r) = \frac{b-1}{r_{\min}} \left(\frac{r_{\min}}{r} \right)^{b} = (b-1) \cdot r_{\min}{}^{b-1} \cdot r^{-b}$ 式② $r : 割れ目半径 (m) , r_{min} : 最小半径 (m) , b : べき乗数$ 〇坑道壁面における割れ目のトレース長の頻度分布 (の傾き) を再現した既存の解釈結果 (べき乗数) *1を適用
密度分布	〇坑道壁面における割れ目のトレース長の頻度分布(の頻度) を再現した既存の解釈結果 ^{*1} を適用
透水量係数分布	 〇割れ目の長さと透水量係数の準相関モデル【式④】を仮定 <i>T</i> = lognorm(µ, σ) × r^C 式④ <i>T</i>:透水量係数, μ:対数平均, σ:対数標準偏差 <i>r</i>:割れ目半径, <i>C</i>:定数 〇水理試験で得られた透水係数分布を再現する透水量係数分布のパラメータを算定

*1 石橋ほか³⁶⁾

表 3.2.1-2 割れ目のパラメータの推定結果

卓越方位 セット	極方位/傾斜 [deg.]	Fisher 定数 [-]	長さ ^{*1} (最小割れ目長さ[m], べき指数 [-])	三次元密度 ^{*1} [m ² /m ³]	透水量係数 (対数平均,定数, 対数標準偏差)
Set 1	22.9/2.2	18.5	2.0, 3.1	0.43	
Set 2	330.6/0.4	17.8	2.0, 3.4	0.13	
Set 3	260.7/3.8	15.3	2.0, 4.7	0.05	-10.0, 2.0, 2.0
Set 4	30.7/59.7	12.1	2.0, 3.3	0.08	

*1 石橋ほか³⁶⁾



<u>Thiemの平衡式</u>

$$T = \frac{Q \ln(R/r_w)}{2\pi \Delta h} \qquad K = T/L$$

T: 透水量係数 (m²/s)

Q:流量(m³/s) *R*:影響半径(m) *r_m*:ボーリング孔半径(m) *Δh*:水位低下量(m) *K*:透水係数(m/s) *L*:試験区間長(m)

- 【実施手順】
- ① 変数を設定し亀裂ネットワークモデルを 構築(100リアライゼーション)
 - ・解析領域:100mブロック
- 注水区間:10m
- ・外側境界条件:固定水頭(Om)
- 注水区間境界条件:固定水頭(1m)
- ② 定常解析(100リアライゼーション)を実施して、注水区間の流量を算出
- ③ 解析で算出された流量からThiemの平衡式 を用いて岩盤の透水係数を算出
- ④ 透水係数分布の実測値と解析値を比較
- ⑤ 変数の組み合わせを変更して①~④を繰り返し実施
- ⑥ 実測値の透水係数分布から求めた回帰曲線(対数正規分布)に対する二乗平均平方根誤差(RMSE)が最小となる変数の組み合わせを抽出

図 3.2.1-3 亀裂ネットワークモデルを用いた割れ目の透水量係数分布の推定方法



図 3.2.1-4 割れ目の透水量係数分布のパラメータ推定結果





3)物質移動におけるコロイド、有機物、微生物の影響因子の評価

花崗岩中の微生物による地下水の地球化学特性への影響を調べるために、深度200,300,400、 500mにおける地下水中の微生物群集について、遺伝子解析手法を用いて群集組成を網羅的に解 析するとともに、それらの代謝機能について検討した。その結果、深度によって優占する微生物 種は著しく異なることが明らかになった。また、炭素固定、硝酸還元、メタン生成、硫黄還元、 水素酸化/還元等,深度に依存せず様々な代謝反応が起こっていることが明らかになった。そこ で、微生物代謝において主要な元素の一つである硫黄を対象として、原位置での微生物の硫黄代 謝活性を明らかにするために、東京大学との共同研究として2017年度より原位置微生物培養試験 を実施している。深度300m研究アクセス坑道先端の09MI21号孔(全長103m:図3-1)の地下水 採水ラインに循環ポンプを設置し、ボーリング孔内に微生物や硫酸イオン(微生物の栄養となる 物質)を注入できるシステムを構築した(図3.2.1-6)。09MI21号孔区間4(区間体積0.058m³)を 対象として、岩盤中に生息する硫酸還元菌の活性を評価することを目的として、循環ポンプを用 いて硫酸イオンを注入した後、60日間定期的に地下水試料を採取し、地球化学特性や微生物数、 微生物種の変化を観察した。また、試験期間中の地下水流動による地下水の入れ替わりを評価す るため、溶存態トレーサーとしてウラニン、懸濁態トレーサーとして蛍光ビーズ(粒径:0.1µm, 1.0μm)を同時に注入した。ウラニンと硫酸イオンの注入量は試験区間内の地下水中でそれぞれ 1.0mg/L, 50mg/Lとなるように調整した。試験期間中のウラニン濃度と硫酸イオン濃度の経時変 化を図3.2.1-7に示す。試験期間中のウラニンと硫酸イオンの濃度は、試験開始時に調整した各物 質の注入量とボーリング孔の区間体積から予想される濃度と比較すると約5分の1の値であった。 粒径0.1µmの蛍光ビーズも注入量に対して同様の傾向を示した。

以上のことから,注入されたウラニンや硫酸イオンは割れ目等を介してボーリング孔よりも外 側の岩盤に広がったと推察される。また,ウラニン濃度と硫酸イオン濃度は,試験開始とともに 減少傾向を示した。この減少傾向は,図3.2.1-7に示す,採水によってウラニンおよび硫酸イオン が排出されることを考慮した各物質の地下水中濃度の計算値と同様の傾向を示した。つまり,採 水による試験区間内の地下水の排出とその後の周辺岩盤からの地下水の供給によって希釈された 効果であると考えられた。以上の結果は,試験区間内とその周辺岩盤中の地下水が,排水以外の 影響によっては入れ替わらず,試験期間中はほとんど一定に存在していたことを示す。原位置試 験開始後の地下水の酸化還元電位は低下傾向を示し,硫酸還元菌と考えられる微生物種の増加が 確認され,微生物活動に伴う酸化還元反応が地下水の地球化学特性に寄与することが示唆された (図3.2.1-8)。



図 3.2.1-6 ボーリング孔への注入システムの概念図



図 3.2.1-7 原位置微生物培養試験時のウラニン濃度および硫酸イオン濃度の変化 (■:実測値,●:初期値(1日目)から採水による希釈の効果による濃度減少の計算値)



図 3.2.1-8 原位置微生物培養試験時の ORP と全菌数の変化

3.2.2 地質環境の長期変遷解析技術の開発

(1) 目的

変動帯に位置する日本において,自然現象が地質環境に与える影響範囲や影響の大きさを評価 することは,地層処分の長期安全性を評価していく上でも重要な課題である。そのため,これま でに取得してきた情報や研究坑道で取得される情報等に基づいて,断層活動や隆起・侵食等の自 然現象が地質環境に与える影響の範囲や大きさを評価する技術を構築する。

また,過去の地質環境特性を把握する技術を構築し,その技術に基づき過去から現在までの地 質環境の長期変遷を解析する。その結果に基づいて,地質環境特性の長期的な変遷を解析する技 術を整備するとともに,将来予測の考え方および方法論を提示する。

(2) 実施内容と結果

2019年度は、地下水の流動や水質等の地質環境の長期変化に関わる地下水の流動経路(主に割れ目)の形成履歴を推定するための技術について取りまとめた。

花崗岩中の割れ目や鉱物中の物質移動特性の形成履歴について割れ目の形成原因と透水性の調 査を行った結果,微細割れ目を含む割れ目の充填鉱物の特徴から,それらの形成温度,形成年代, 透水性等を推定する手法を構築することができた。土岐花崗岩においては,700℃程度までの高 温流体による鉱物変質,割れ目形成プロセス,その結果形成される透水特性等が明らかとなり, この結果,高温流体に伴う高透水性構造の分布について,岩体形成時以降の応力場に従った貫入 岩の分布と偏在に基づいて推定できる可能性が示された。これらの結果については,必須の課題 に係る研究成果として取りまとめた¹⁴。

3.2.3 深部塩水系地下水の起源・滞留時間の理解

(1) 目的

研究所用地の地下深部で認められる塩水系地下水が存在する地質環境は、降水量の多さに起因 して涵養量が多い日本でも、随所で観察されている。深部地下水の洗い出しの現象を考慮に入れ ても、長期滞留する地下水環境が地下深部に存在することを示すことは、地層処分における安定 した地質環境の存在を示す重要な事例となる。そのため、地下水流動の緩慢さを明らかにするた め、1,000mより深部の塩水系地下水を対象とした調査・分析等を行う。

(2) 実施内容と結果

2019年度は、これまでに得られた深部地下水の起源・滞留時間に関わる知見に基づき、深部花 崗岩の地下水の水質や起源等から地下水流動の緩慢さを明らかにするための技術について取りま とめた。

一般的に地下水の滞留時間を推定する方法として,天然の放射性炭素(14C)濃度を利用する方法がある。しかし,東濃地域に分布する炭素濃度の低い地下水は分析が困難であったため,地下水の前処理方法を改良し,低炭素濃度の地下水の分析を可能にした³⁷⁾。これにより,研究所の深度500m研究坑道には,約3万年前に地下に浸透した雨水が湧水していることが明らかになった³⁸⁾。

研究所周辺に分布する塩化物イオンに富む地下水について、その濃度は深度方向に上昇する傾向があり、その由来は化石海水や水-鉱物反応によるものと考えられた³⁹⁾。また、100万年前から現在にかけての研究所周辺の地形変化を考慮した移流分散解析⁴⁰⁾を行った結果、研究所周辺の地下深部には長期的に塩化物イオンが残留する可能性が示された(図3.2.3-1)。このことから、研究所周辺のように、規模の大きい断層で囲まれた場所では地下水流動が相対的に緩慢な領域になり得ることが示唆された。また、100万年前には、地表から数kmの地下深部に海水相当(Cl⁻濃度が20,000ppm)の地下水が存在していた可能性があると考えられた。

以上の研究により,地下水の滞留時間や地下水流動の緩慢さを確認するための技術を新たに構築した。これらの結果については,必須の課題に係る研究成果として取りまとめた¹⁴⁾。



図 3.2.3-1 100 万年前~現在の地下水中の塩化物イオン比濃度の長期変遷解析例
3.3 坑道埋め戻し技術の開発

研究坑道の一部を埋め戻し,地下水で自然に冠水させることによって,地下水の水圧および水 質,ならびに坑道周辺岩盤の化学的・力学的変化を観測し,地質環境の回復能力等を評価すると ともに,地質環境に応じた埋め戻し技術の構築を行う。また,長期観測に必要なモニタリング技 術を開発する。

3.3.1 坑道閉鎖に伴う環境回復評価技術の開発

(1) 再冠水試験

1) 目的

深度500m研究アクセス北坑道の先端約40mの冠水坑道において、止水壁を設置して地下水で 坑道を冠水させ、冠水坑道周辺岩盤における力学・水理・化学変化を観測する。観測データに基 づき、坑道閉鎖後の水圧回復プロセス、坑道周辺の応力状態、化学状態について、坑道閉鎖時の 環境回復に関わる具体的な観測技術や解析技術(亀裂や断層の多い日本の結晶質岩を念頭におい た調査・解析技術)を提案する。

2) 実施内容と結果

i) 冠水坑道内の地下水排水後の観測

2019年度は、冠水坑道周辺のボーリング孔(12MI33、13MI38~48号孔:図3.3.1-1)に設置した観測装置を用いて、冠水坑道内の地下水排水後における周辺岩盤の地下水の水圧・水質の変化、岩盤変位の観測を継続した。観測結果の一例として、図3.3.1-2に12MI33号孔における地下水の水圧観測結果を示す。12MI33号孔では近傍にある18MI65号孔で実施した水理試験等のボーリング調査(3.2.1(2)①)に伴う短期的な水圧変化が観測されているが、ボーリング調査を実施していない2019年4月頃と2019年12月頃の水圧は同程度の値を示しており、冠水坑道からの排水後に形成された冠水坑道周辺の水圧分布に大きな変化がないことを確認した。

冠水坑道内での観測は、冠水坑道の埋め戻しに係る準備に伴い 2019年12月末をもって終了した。なお、冠水坑道内のボーリング孔の一部については、後述する地下水の水圧・水質モニタリング地上化システム(3.3.2(2)参照)を活用し、研究坑道の埋め戻し中および埋め戻し後の環境モニタリングに使用する予定である。

ii)解析

再冠水試験に関わる解析技術の開発は、2016年度より熱-水理-力学-化学連成解析技術に関 する国際協同研究(DECOVALEX-2019)のタスクの一つとして、原子力機構、米国のサンディ ア国立研究所およびチェコのリベレツ工科大学の3機関で進めてきた。本タスクでは、再冠水試験 の全工程を、冠水坑道掘削に伴う地質環境の擾乱予測段階、再冠水時の地質環境の回復予測段階 の二つの段階に分け、さらに冠水坑道埋め戻し後の地質環境の長期変化予測段階を加えた三つの 段階について、数値解析結果と実測データの比較によるモデル化・解析技術の高度化や解析結果 の信頼性確認手法についての検討を実施している。原子力機構では、割れ目による岩盤の透水不 均質性を考慮するために、亀裂ネットワークモデルに基づき不連続媒体を不均質な連続体として 近似する等価不均質連続体モデル(Equivalent Continuum Porous Media Model)を用いたモデ リング手法を用いた検討を実施した。

2019年度は、海外の研究機関と連携して観測結果を利用した解析技術の開発を行うとともに、 これまでに得られた知見に基づき、環境回復過程に関わる解析技術の取りまとめを行った。長期 的な観測結果の例を図3.3.1-3に示す。このような観測データに基づいて、花崗岩に坑道を掘削し 閉鎖する過程における周辺環境条件の変化について,温度特性(T),地下水流動特性(H),力学 特性(M),化学特性(C),微生物特性(B)に関わる現象を図3.3.1-4のように整理した。また, 整理された諸プロセスに基づいて,坑道閉鎖後の環境回復過程に関わる連成解析の開発を行った。 その結果,坑道周辺の100m程度の空間スケールを対象として,岩盤の不均質性を高解像度で数値 モデルに考慮できるように解析プログラムを改良するとともに高速化処理を行い,汎用性の高い 解析ツールとして整備した。解析ツールを利用して,坑道閉鎖後の環境回復に関わる解析結果の 一例を図3.3.1-5に示す。



図 3.3.1-1 冠水坑道周辺における観測孔の概要



図 3.3.1-2 冠水坑道周辺岩盤における水圧観測結果の一例(12MI33 号孔)



図 3.3.1-3 冠水坑道掘削~閉鎖時の環境変化の観測例

		坑道掘削後	坑道閉鎖直後	坑道閉鎖後の定常化
•	HH.	排永 坑道 不飽和帯形成	再跑和	化学变化
	初期状態	数週間~数か月後	数週間~数か月後	数年~千年後
т	地温勾配に依存	換気による温度変化	地温勾配に依存	地温勾配に依存
н	動水勾配に応じた 遅い地下水の流れ	不飽和帯の形成 (~ 1m) 地下水位の低下 深部地下水の湧昇	地下水位の回復	動水勾配に応じた遅い 地下水の流れ
м	安定	変形	応力再配分	準安定
с	水一鉱物反応	酸化 異なる水質の地下水 の混合	還元状態の回復 異なる水質の地下水 の混合	セメント材料によるアル カリ性地下水の形成
в	多様な微生物生態系	好気性微生物が優勢	嫌気性微生物が優勢	嫌気性微生物、高アルカ リ耐性菌が優勢?

図 3.3.1-4 坑道掘削~閉鎖時の環境変化に関わる諸プロセスの概要



図 3.3.1-5 坑道閉鎖後の環境回復に関わる解析結果の一例

(2) 岩盤の破壊現象評価

1) 目的

地下深部に坑道を掘削すると,坑道規模の大小によらず周辺岩盤に掘削影響領域が発生する。 掘削影響領域では,既存割れ目の開閉あるいは坑道周辺に再配分された応力の集中により新たな 割れ目が発生することがある。このような岩盤のダメージの範囲や物性変化のメカニズム・程度 を把握することは地層処分の安全評価の観点から重要である。そのため,主に坑道周辺に生じる 応力的な破壊現象を対象に,その範囲や物性変化のメカニズム・程度の把握と評価手法の構築を 目的として,大口径ボーリング孔の掘削による孔壁破壊現象の観察,熱負荷に伴う岩盤挙動,粘 性流体注入による割れ目進展挙動の観察および岩盤の破壊現象を含む長期岩盤挙動の評価手法の 開発を行う。

2) 実施内容と結果

2019年度は、坑道掘削から埋め戻しまでを想定した周辺岩盤における破壊現象と、その後の変化を評価する方法の整備を目的として、大口径ボーリング孔の掘削による孔壁破壊現象の調査や岩盤の破壊現象を含む長期岩盤挙動の評価手法について、これまでに得られた知見の取りまとめを行った¹⁴⁾。その結果、掘削影響領域の範囲については、土木工学や資源工学分野で保守的に予測する方法が存在しているが、初期状態からの変化の程度の予測には大きな不確実性を伴うため、

空洞掘削後に直接的な調査により変化の程度を把握することが重要であると考えられた。また, アコースティック・エミッションを利用し,破壊領域の範囲や破壊の前兆を把握することが,掘 削損傷領域の物性の把握や施工の安全確保の観点から非常に有効と考えられた。

(3) 埋め戻し試験

1) 目的

研究坑道の埋め戻しの準備に反映することを目的として,ピットや坑道の埋め戻し試験を実施 する。これらの試験を通じて得られた埋め戻しの施工管理に関わる留意点や地質環境への影響等 に関する知見に基づき,環境回復に適した施設閉鎖技術やその手順を提示する。これにより,地 層処分において用いられる埋め戻し材やプラグといった人工材料が地質環境に与える影響を評価 するための技術基盤を整備する。

2) 実施内容と結果

埋め戻しの施工管理に関わる留意点や地質環境への影響等の評価技術の構築を目的として,ボ ーリングピットや坑道の一部を利用した埋め戻し試験を実施した。

2019年度は、国からの受託事業を活用して実施した、埋め戻し材の施工試験結果の取りまとめ を行った¹⁴⁾。この施工試験により、全断面吹付け工法の適用性を確認することができた。また、 吹付け施工は、転圧締固めやベントナイトブロックによる施工方法と比較して、坑道側壁や天端 付近等の狭い場所での施工も比較的容易であるが、吹付け条件や環境によっては施工性や品質が 低下することもあり、それらの留意点を整理した。

3.3.2 長期モニタリング技術の開発等

地下施設の操業から閉鎖過程および閉鎖後に至る地下水の水圧・水質の変化をモニタリングす る技術と、大規模地下施設の閉鎖が地質環境に与える影響の評価手法の構築を目指した研究開発 を行う。

(1) 長期モニタリング

1) 地上におけるモニタリング

研究坑道掘削に伴う周辺の地質環境の変化を把握するため、研究坑道への湧水量の計測、ボー リング孔(04ME01号孔;図3.3.2-1)を利用した地表付近の地下水位の観測、地上からのボーリ ング孔(MSB-1~4号孔,MIZ-1号孔,05ME06号孔;図3.3.2-1)を利用した地下深部の地下水の 水圧および水質の観測を継続した。その結果、これまでの観測結果と同様に地表付近の地下水位 に研究坑道の掘削による影響とみられる変化がないことや、地下深部での研究坑道への地下水の 流入に伴う地下水圧の変化傾向を確認した(図3.3.2-2)。

また、地上からのボーリング孔を用いた地下水の水質観測に関して、主に堆積岩中の地下水の 観測を継続した結果、数年前からMSB-2号孔やMSB-4号孔の一部の区間(MSB-2号孔の区間8, 9,10およびMSB-4号孔の区間5)で塩化物イオン濃度が上昇する傾向が認められた(図3.3.2-3)。 研究所周辺の地下水水質は、相対的に深部の塩化物イオン濃度が高い地下水と浅部の塩化物イオ ン濃度の低い地下水の混合の影響を強く受けていることから、塩化物イオン濃度の上昇は、当該 深度に対して相対的に深部の地下水が供給されていることを示唆している。また、この結果は、 立坑の掘削から約17年経過した現在においても、その周辺の地下水水質が変化していることを示 す。

これらのモニタリング結果については、必須の課題に係る研究成果として取りまとめた 14)。



図 3.3.2-1 地上から掘削されたボーリング孔



図 3.3.2-2 地上からの水圧モニタリングの一例(MSB-1号孔)



2) 研究坑道におけるモニタリング

研究坑道の掘削や維持管理,再冠水試験に起因する坑道周辺の地下水の水圧分布やその長期変 化を把握するため,表3.3.2-1に示すボーリング孔において地下水の水圧・水質の観測を継続した。 また,坑道壁面や集水リングで採取した地下水の水質分析を継続した。

地下水の水圧観測の結果,立坑周辺の水圧には低下傾向が認められるものの,深度300mでは換 気立坑から十数m離れた09MI19号孔では,立坑近傍の09MI17-1号孔よりも高い水圧を保持し続 けていることが確認された(図3.3.2-4)。地下水の水質については,深度200m予備ステージ (07MI07号孔)の塩化物イオン濃度やナトリウムイオン濃度が,数年前から徐々に上昇している ことが確認された(図3.3.2-5)。この傾向はMSB-2号孔やMSB-4号孔でも認められており,深度 200mへ相対的に見て深部に分布する地下水が流入している可能性がある。一方,深度300m

(09MI20号孔)や深度400m(10MI26号孔)では数年前から濃度変化が認められないことから, 深度300m以深では,地下水水質の変化は定常状態になっていると考えられる。これらのモニタリ ングの結果については,必須の課題に係る研究成果として取りまとめた¹⁴⁾。

		-					
設置場所	孔の名称	孔の方向	掘削長				
水圧観測孔							
深度200mボーリング横坑(主立坑)	07MI08号孔	鉛直下向き	125.0m				
深度200mボーリング横坑(換気立坑)	07MI09号孔	鉛直下向き	125.0m				
	09MI17-1号孔						
深度300mボーリング横坑(換気立坑)	09MI18号孔	鉛直下向き	51.0m				
	09MI19号孔						
深度300m研究アクセス坑道	10MI23号孔	水平方向	109.7m				
深度500m研究アクセス南坑道	12MI32号孔	水平から約3°下向き	106.4m				
水圧・水質観測孔							
深度200m予備ステージ	07MI07号孔	水平から約5°下向き	55.3m				
深度300m予備ステージ	09MI20号孔	水平から約3°下向き	102.0m				
深度300m研究アクセス坑道	0014121 문 7	*▼から約20下白き	103.0m				
(産総研との共同研究において掘削)	USIVIIZ I 万北	小十から約3 下向さ					
深度400m予備ステージ	10MI26号孔	水平から約2°上向き	70.6m				
深度500m研究アクセス南坑道	12MI32号孔	水平から約3°下向き	106.4m				
	12MI33号孔	******	107.0m				
休良3000 1	13MI38号孔	小十から刺」 ト 叩さ	102.1m				
	13MI39号孔	鉛直下向き	16.5m				
	13MI40号孔	水平から約4°下向き	16.6m				
	13MI41号孔		10.011				
深度500m研究アクセス北坑道冠水坑道	13MI45号孔						
	13MI46号孔	公古下向き	2 2m				
	13MI47号孔	四回こうの	2.3M				
	13MI48号孔						

表 3.3.2-1 水圧観測孔および水圧・水質観測孔



図3.3.2-4 研究坑道の観測孔における水圧変化(09MI17-1,18,19号孔の例)



(2) 長期モニタリング技術の開発

研究所の地上施設建設前から研究坑道の掘削,維持管理期間における立坑近傍および研究坑道 周辺でのモニタリングにより,地下水の水圧・水質ともに,地上および坑道からのモニタリング で用いたボーリング孔での既存モニタリング技術の実用性が確認できた。一方で,研究坑道埋め 戻し後は坑道へのアクセスが不可能なことから,2019年度は,地上から研究坑道のモニタリング システムを利用して観測する技術の検討を行い,地上化システムを設置した。

坑道埋め戻し後の坑道内の環境を想定した場合,地上から地中への長期的な電力供給には未だ 課題があり,センサーのメンテナンス・交換は不可能であると考えられる。このことから,地上 から地中への電力供給が不要であり,かつセンサーの長期耐久性が期待される光ファイバ水圧セ ンサーと坑道内の既存モニタリングシステムを組み合わせた水圧モニタリング地上化システムを 設計し,研究坑道内に設置した(図 3.3.2-6)。また,水質モニタリングについては,立坑内にモ ニタリング用配管を設置し,坑道内の既存の水質モニタリングシステムと連結して観測する地上 化システムを考案し,同システムを研究坑道内に設置した(図 3.3.2-7)。これらのシステムにつ いては,研究坑道の埋め戻し中のモニタリングを通じて,その有効性を確認する予定である。



図 3.3.2-6 地下水水圧モニタリングシステムの地上化概念図



図 3.3.2-7 地下水水質モニタリングシステムの地上化概念図

(3) モニタリングデータの取りまとめ・評価

2019年度は、これまでに実施した地下水の水圧・水質長期モニタリングから得られた知見に基づいて、長期モニタリング技術に関わる評価を行った。

地下施設の建設・操業中における地下水流動変化の評価については、水理地質構造の不均質性 を考慮した地下水流動解析と、地下施設の掘削に伴う水圧変化や湧水量の観測データを組み合わ せることで、掘削の影響の程度や範囲を推定することが可能であることが示された。その際、断 層等の水理地質構造で囲まれた領域ごとに掘削の影響が異なる可能性に留意するとともに、水圧 変化だけではなく水質変化の観点から解析結果の妥当性を確認することが重要であると考えられ た。水質変化の解析技術については、経年変化データを用いた解析を行い、①水質変化に対する 寄与が大きい地下水の明確化、②当該地下水の寄与割合の経年変化に基づく変化速度の見積もり、 ③将来の地下水水質の外挿、という手順で地下施設の建設・操業中の将来的な地下水水質を推定 することが可能であることが示された。

地下施設の埋め戻し中および埋め戻し後の長期的な地下水の水圧変化については、上述の地下 施設の建設・操業中の地下水流動変化の評価において構築された水理地質構造モデルを用いて、 地下水流動解析により評価することが可能であると考えられた。一方で、地下水の水質変化につ いては、地下水流動が滞留し混合プロセスの前提が成り立たなくなるとともに、閉鎖系での水-鉱 物-微生物反応が主要なプロセスとなる可能性があり、地下施設周辺の地下水滞留環境における水 質変化プロセスを明らかにしていくことが課題と考えられる。

これら長期モニタリング技術に関わる知見については、必須の課題に係る研究成果として取り まとめた¹⁴⁾。

3.4 正馬様用地における調査研究

(1) 目的

既存のボーリング孔における地下水のモニタリングを継続し,月吉断層やその周辺の不連続構 造を含む結晶質岩中の地下水流動を把握するための調査技術を開発する。

(2) 実施内容

2019年度は,正馬様用地内のボーリング孔(AN-1号孔, MIU-2号孔, MIU-3号孔, MIU-4号 孔: 図3.4-1)において地下水の長期モニタリングを継続した。

AN-1号孔のモニタリング区間は、月吉断層の上盤側に設定している。また、MIU-2、MIU-3、 MIU-4号孔は月吉断層を貫通しており、断層の上盤側、下盤側それぞれにモニタリング区間を設 定している。観測孔の位置を図3.4-1に示す。各孔のモニタリング区間の地質は全て土岐花崗岩で ある。

正馬様用地内では,月吉断層上盤側と下盤側で全水頭に差が生じており,上盤側より下盤側の 方が高い全水頭を示している(図3.4-2)。この結果は,月吉断層が断層面に直交する方向に対し 低透水性であるというこれまでの調査結果¹⁹⁾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ている。MIU-4号孔をはじめ正馬様用地内の観測孔では研究坑 道内の作業や地震の影響と考えられる全水頭の変化は見られなかった(図3.4-2)。



図3.4-1 ボーリング孔位置図(正馬様用地内)



図 3.4-2 地下水長期モニタリングの観測結果の例(MIU-4 号孔)

3.5 施設建設

(1) 施設建設の概要

研究坑道の工事としては、坑内外仮設備の維持管理作業のほか、老朽化した配管等の交換や撤去、立坑巻上設備のワイヤーロープ(主立坑のズリキブル、換気立坑のズリキブルとスカフォード)の交換(図3.5-1,図3.5-2,図3.5-3)、深度500m冠水坑道の埋め戻しを実施した(図3.5-4)。



図3.5-1 主立坑巻上設備のワイヤーロープ(ズリキブル)の交換作業(地上巻上機室前)



図3.5-2 換気立坑巻上設備のワイヤーロープ(ズリキブル)の交換作業(地上巻上機室内)



図3.5-3 換気立坑巻上設備のワイヤーロープ(スカフォード)の交換作業(地上巻上機室前)

深度500m冠水坑道は止水壁で閉塞された作業環境であることから、マンホールの開口部と止水壁天端の注水用配管を利用した埋め戻し方法を実施した。埋め戻し材は、砂と水(混合比率5:5) をポンプ圧送し埋め戻しを行い、マンホールの開口部の下端部までの埋め戻しは圧送用配管を開 口部に通して冠水坑道内に配置し、それ以降の埋め戻しは、マンホールを閉栓し止水壁天端の注 水用配管に圧送用配管を接続して注入し、並列で設置されているエア抜き管からの埋め戻し材の 吐出を確認することにより、冠水坑道埋め戻し完了とした。図3.5-4に圧送配管配置の概略図を、 図3.5-5に埋め戻し状況時の写真を示す。



JAEA-Review 2021-003



1) 冠水坑道埋め戻し着手前



2) マンホール開口部の圧送用配管設置状況



3) 冠水坑道埋め戻し中の状況



4) 止水壁天端の注水用配管設置状況

図 3.5-5 冠水坑道埋め戻し状況

(2) 周辺環境モニタリング調査

1) 河川流量調査

2019年度は、2018年度に引き続き河川流量調査を行い、水位流量曲線を更新した。調査には、 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を用いた。

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,下流およ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3.5-6)。

研究所用地内の2019年度の年間降水量は1,740mm(国土交通省日吉観測所のデータ)であり, 過年度(2003年度~2018年度)の平均値(1,669mm)を上回る値であった。各河川流量調査地点 の年間平均流量は、上流地点は過年度の平均値と同程度、中流地点、下流地点、明世小学校前地 点は過年度の平均値を上回る値であった(表3.5-1,年間総流量:上流地点298,944m³,中流地点 1,118,275m³,下流地点2,029,882m³,明世小学校前地点3,196,195m³)。

2) 地下水位調査

研究所周辺の井戸9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,井戸水の汲み上げの有無との関係,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,これまでと同様に 降水量によく呼応した変動を示した(図3.5-7)。

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。2019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41)を下回るレベルであった。

4) 水質調査

研究坑道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,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3.5-8)。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⁴²⁾。



図 3.5-6 河川流量調査位置図

在庄	上流地点 (流量m ³ /s)			中流地点(流量m ³ /s)		
十皮	平均	最大	最小	平均	最大	最小
2003年度	0.018	0.313	0.007	0.039	0.759	0.009
2004年度	0.011	1.021	0.003	0.030	1.192	0.005
2005年度	0.007	0.109	0.002	0.013	0.410	0.001
2006年度	0.014	0.390	0.001	0.026	0.684	0.002
2007年度	0.007	0.306	0.001	0.024	1.159	0.006
2008年度	0.014	1.298	0.001	0.020	0.104	0.004
2009年度	0.007	0.346	0.001	0.019	0.494	0.001
2010年度	0.015	0.623	0.001	0.034	2.350	0.001
2011年度	0.013	0.246	0.001	0.045	1.027	0.002
2012年度	0.009	0.064	0.003	0.019	0.131	0.005
2013年度	0.010	0.118	0.003	0.029	0.398	0.006
2014年度	0.012	0.479	0.003	0.056	1.866	0.013
2015年度	0.010	0.148	0.003	0.032	0.275	0.003
2016年度	0.011	0.964	0.003	0.028	2.390	0.001
2017年度	0.015	1.045	0.001	0.029	1.522	0.003
2018年度	0.009	0.390	0.001	0.028	0.909	0.002
2003~2018年度の 平均	0.011	0.491	0.002	0.029	0.979	0.004
2003~2018年度の 中央値	0.011	0.368	0.002	0.029	0.834	0.003
2019年度	0.009	0.594	0.001	0.035	2.671	0.004
在由	Т	流地点(流量m ³ /s	;)	明世	t小前地点(流量m ³	/s)
年度	下 平均	流地点(流量m ³ /s 最大	。) 最小	明世 平均	t小前地点(流量m ³ 最大	ⁱ /s) 最小
年度 2003年度	下 平均 0.047	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528	。) 最小 0.003	明世 平均 一	t小前地点(流量m ³ 最大 一	e/s) 最小 一
年度 2003年度 2004年度	下 平均 0.047 0.062	·流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427	:) 最小 0.003 0.003	明世 平均 一 一	t小前地点(流量m ³ 最大 — —	/s) 最小 _ _
年度 2003年度 2004年度 2005年度	下 平均 0.047 0.062 0.022	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930	s) 最小 0.003 0.003 0.003	明世 平均 一 一 一	t小前地点(流量m ³ 最大 — — — —	i/s) 最小 一 一 一
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度	下 平均 0.047 0.062 0.022 0.067	流地点(流量m ³ /s <u>最大</u> <u>5.528</u> 9.427 0.930 1.489	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.007	明世 平均 一 一 一	t小前地点(流量m ⁸ 最大 — — — — — —	·/s) 最小 一 一 一
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度	下 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048	流地点(流量m ³ /s 最大 9.427 0.930 1.489 2.383	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006	明世 平均 一 一 一 一 一	t小前地点(流量m ³ 最大 — — — — — — — — —	·/s) 最小 一 一 一 一 一
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2008年度	下 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004	明世 平均 一 一 一 一 一 一 一	t小前地点(流量m ³ 最大 — — — — — — — — — — — — —	·/s) 最小 一 一 一 一 一 一
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2008年度 2008年度 2009年度	下 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014	明世 平均 一 一 一 一 一 一 一 0.096	t小前地点(流量m ³ 最大 一 一 一 一 一 一 1.030	·/s) 最小 - - - - - - 0.018
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2008年度 2009年度 2009年度 2010年度	下 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014 0.011	明世 平均 一 一 一 一 一 0.096 0.083	t小前地点(流量m ³ 最大 一 一 一 一 一 1.030 8.809	·/s) 最小 - - - - - - 0.018 0.008
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2008年度 2009年度 2010年度 2011年度	下 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014 0.011 0.008	明世 平均 一 一 一 一 一 0.096 0.083 0.088	t小前地点(流量m ³ 最大 一 一 一 一 1.030 8.809 2.009	*/s) 最小 - - - - - 0.018 0.008 0.013
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2007年度 2009年度 2009年度 2010年度 2011年度 2012年度	下 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054 0.045	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757 0.907	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014 0.011 0.008 0.005	明世 平均 	t小前地点(流量m ³ 最大 一 一 一 一 1.030 8.809 2.009 0.819	最小 - - - - - - 0.018 0.008 0.013 0.013
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2008年度 2009年度 2010年度 2011年度 2012年度 2012年度 2013年度	下 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054 0.045 0.062	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757 0.907 2.169	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014 0.011 0.008 0.005 0.007	明世 平均 0.096 0.083 0.083 0.088 0.065 0.079	t小前地点(流量m ³ 最大 - - - - 1.030 8.809 2.009 0.819 1.802	最小 - - - - - - 0.018 0.008 0.013 0.013 0.024
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2008年度 2009年度 2010年度 2011年度 2012年度 2013年度 2013年度 2014年度	平均 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054 0.045 0.062	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757 0.907 2.169 19.023	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.011 0.011 0.008 0.005 0.007 0.003	明世 平均 	t小前地点(流量m ³ 最大 — — — — — — — — — 1.030 8.809 2.009 0.819 1.802 7.422	場小 - - - - - - 0.018 0.008 0.013 0.013 0.024 0.024
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2007年度 2009年度 2010年度 2011年度 2011年度 2012年度 2013年度 2014年度 2015年度	平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054 0.045 0.062 0.059	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757 0.907 2.169 19.023 2.581	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014 0.011 0.008 0.005 0.005 0.007 0.003 0.007	明世 平均 	t小前地点(流量m ³ 最大 一 一 一 一 1.030 8.809 2.009 0.819 1.802 7.422 3.793	最小 - - - - - - 0.018 0.008 0.013 0.013 0.024 0.024
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2008年度 2009年度 2010年度 2011年度 2012年度 2012年度 2013年度 2015年度 2015年度 2016年度	平均 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054 0.045 0.062 0.054 0.055 0.054 0.059 0.059	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757 0.907 2.169 19.023 2.581 18.309	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014 0.014 0.011 0.008 0.005 0.005 0.007 0.003 0.007	明世 平均 	t小前地点(流量m ³ 最大 - - - - 1.030 8.809 2.009 0.819 1.802 7.422 3.793 10.306	最小 - - - - - - 0.018 0.008 0.013 0.013 0.024 0.020 0.020
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2009年度 2010年度 2010年度 2012年度 2013年度 2013年度 2015年度 2016年度 2016年度 2017年度	平均 平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054 0.054 0.062 0.053 0.054 0.055 0.062 0.089 0.059 0.060 0.070	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757 0.907 2.169 19.023 2.581 18.309 20.177	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014 0.011 0.008 0.005 0.007 0.003 0.007 0.003 0.007	明世 平均 	t小前地点(流量m ³ 最大 	一 一 一 一 一 一 一 0.018 0.008 0.013 0.013 0.024 0.024 0.020 0.020 0.024
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2007年度 2009年度 2010年度 2011年度 2011年度 2012年度 2013年度 2013年度 2015年度 2016年度 2016年度 2017年度	平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054 0.045 0.054 0.059 0.060 0.070	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757 0.907 2.169 19.023 2.581 18.309 20.177 4.415	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014 0.011 0.008 0.005 0.007 0.003 0.007 0.003 0.007 0.003 0.002 0.008	明世 平均 	小前地点(流量m ³ 最大 一 一 一 一 一 1.030 8.809 2.009 0.819 1.802 7.422 3.793 10.306 11.893 5.287	一 一 一 一 一 一 一 0.018 0.008 0.013 0.013 0.024 0.024 0.020 0.024 0.024 0.024
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2008年度 2009年度 2010年度 2011年度 2012年度 2012年度 2015年度 2015年度 2015年度 2016年度 2018年度	平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054 0.045 0.054 0.059 0.060 0.070 0.048 0.057	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757 0.907 2.169 19.023 2.581 18.309 20.177 4.415 7.067	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.003 0.007 0.004 0.014 0.014 0.014 0.011 0.008 0.005 0.007 0.003 0.007 0.003 0.007 0.003 0.002 0.008 0.006	明世 平均 	小前地点(流量m ³ 最大 一 一 一 一 1.030 8.809 2.009 0.819 1.802 7.422 3.793 10.306 11.893 5.287 5.317	最小 - - - - - - - 0.018 0.008 0.013 0.013 0.024 0.020 0.020 0.024 0.020 0.024 0.020 0.021 0.020 0.021 0.020 0.021 0.020 0.021 0.020 0.021
年度 2003年度 2004年度 2005年度 2006年度 2007年度 2007年度 2009年度 2010年度 2011年度 2012年度 2013年度 2015年度 2015年度 2015年度 2016年度 2017年度 2018年度の 平均	平均 0.047 0.062 0.022 0.067 0.048 0.071 0.049 0.053 0.054 0.045 0.054 0.059 0.060 0.070 0.048 0.057	流地点(流量m ³ /s 最大 5.528 9.427 0.930 1.489 2.383 11.431 3.792 8.749 1.757 0.907 2.169 19.023 2.581 18.309 20.177 4.415 7.067 4.104	s) 最小 0.003 0.003 0.003 0.007 0.006 0.004 0.014 0.011 0.008 0.005 0.007 0.003 0.007 0.003 0.007 0.003 0.007 0.003 0.002 0.008 0.006 0.006	明世 平均 	t小前地点(流量m ³ 最大 	最小 - - - - - - - 0.018 0.008 0.013 0.013 0.024 0.024 0.020 0.024 0.020 0.024 0.020 0.021 0.020 0.020 0.020 0.020 0.020 0.020

表 3.5-1 河川流量調査地点における河川流量



図 3.5-7 地下水位観測結果の例(観測井:深度 13.0m)



図 3.5-8 水質調査位置図

4. 共同研究·施設利用

瑞浪超深地層研究所における主な共同研究・施設利用として,2019年度は,以下の外部機関と の共同研究および研究坑道の施設利用を行った。

(1) 共同研究

国立研究開発法人産業技術総合研究所:岩盤の水理・化学・生物連成現象に関わる研究

地下深部における長期的な物質移動挙動に関わる岩盤の水理特性,化学特性および化学特性に 関与する微生物・有機物特性の調査・解析技術の高度化を目的として,結晶質岩を対象とした調 査研究を実施する。

2019年度は、各深度のボーリング孔を利用して採水調査を継続し、微量元素の価数、存在比、 同位体比等の地球化学情報に基づく水質形成プロセス評価のための分析を実施した。

② 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,原子力機構とKAERIの地下の研究施設計画や成果に関する技術検討 を行うとともに,両機関の研究者の交流を継続して実施してきている。

2019年度は、主に割れ目ネットワークモデルの構築手法と地質環境の長期変遷モデル化技術について両機関で検討を進め、その結果について技術検討会議で確認を行った。

③ 国立大学法人岡山大学:結晶質岩を対象とした微視的構造変化が長期挙動におよぼす影響に 関する研究

本研究は2016年度から共同研究として実施しているものであり,超長期を対象とした岩盤の長 期挙動メカニズムの把握に資するため,微視的亀裂の進展に着目した室内実験および化学反応も 考慮できるような数値解析による研究を通じ,一般性の高い岩盤の長期挙動メカニズムに関する 知見を得ることを目的としている。

2019年度は、2018年度に高度化した室内試験システムを用いた室内実験を継続するとともに、 波動伝播シミュレーションによる検討を行った。その結果、鉱物粒子の分布による不均質な花崗 岩内を伝わる弾性波の伝搬特性を把握し、弾性波を利用して花崗岩の微視的構造変化を把握する ための技術的見通しが得られた。なお、本共同研究は2019年度をもって終了した。

④ 国立大学法人東京大学:結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価手法に関する研究

本研究は2016年度から共同研究として実施しているものであり、岩盤の長期挙動を把握・評価 できる技術の確立に資するため、年単位を超えるような岩石の長期クリープ試験や、高レベル放 射性廃棄物の地層処分において想定される常温から100℃程度の高温条件下での岩石の長期挙動 を把握するための技術の開発等を実施し、想定される様々な条件下での岩石の長期挙動現象の特 徴やその程度に関する実験的評価を行うことを目的としている。

2019年度は、2018年度に引き続き岩石の長期クリープ試験を継続するとともに、これまでの研 究で改良した構成方程式の一般化等を進め、岩石の飽和度等に着目してクリープを含む岩石強度 を系統的に評価する手法を開発した。なお、本共同研究は2019年度をもって終了した。

⑤ 国立大学法人東京大学:深部地球化学環境の形成プロセスに関わる地下微生物と岩石・地下水 相互作用の評価技術の構築

地下深部における地球化学特性や物質移動特性と微生物特性の関連性を把握する上で重要な原 位置での微生物,地下水,鉱物の分析・解析技術の開発を行う。

2019年度は、ボーリング孔を利用したフィルターろ過による微生物試料の採取、および耐圧容器を用いた高圧状態での地下水と微生物試料の採取を行い、東京大学の実験室にて高圧状態での 微生物培養試験を実施した。

⑥ 清水建設株式会社,デンカ株式会社,国立大学法人岡山大学,学校法人日本大学:低アルカリ 性瞬結吹付けコンクリートと岩盤の相互作用に関する研究

本研究は、2013年度に深度500m研究アクセス南坑道において現場施工試験が行われた低アル カリ性瞬結吹付けコンクリートを対象として、周辺環境への影響予測技術の確立を目標としてい る。

2019年度は、コンクリートが周辺の地下水や岩盤に及ぼす影響を把握・評価するための室内試験(長期浸出試験)を継続するとともに、深度500m研究アクセス南坑道の掘削工事において試験的に使用した低アルカリ性瞬結吹付けコンクリートの吹付け箇所から試料を採取し、分析を行った。

⑦ 西松建設株式会社:地質環境変化の把握を目的とした高精度弾性波計測システムの適用性に 関する研究

本研究は、坑道周辺の地質環境の変化を把握するために開発された高精度弾性波計測システム に改良を施し、地表から地下深部に至る地質環境の変化の把握を目標とした同システムの適用性 の評価を目的とする。

2019年度は、調査手法の高精度化に加え可探範囲の広域化を目的として、深度500m研究アク セス南坑道において測線長を100m程度まで延伸し弾性波の送受信試験を実施した。送信周波数 を調整し該当範囲の調査に最適な送信周波数を設定するとともに、同じ測線で異なる時期に2度 の送受信試験を実施することにより、100m程度の範囲における地質環境変化の把握の高精度化 を進めた。

(2) 施設利用

① 公益財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 議に関する確認書に基づき,研究協力会議を設置し,情報交換等を行っている。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等の地層 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できる。

2019年度は、2018年度に引き続き、研究坑道の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、これまでに深度100mから深度500mの研究坑道内に設置した傾斜計、地震計、 応力計、重力計等による連続観測を2019年9月まで実施した。その後、研究坑道の埋め戻しに伴 う地殻応力変動の観測に必要な観測機器を除き、これまでに研究坑道内に設置した観測機器類を 撤去した。研究坑道の埋め戻しに伴う地殻応力変動の観測に必要な観測機器とは、2018年度に深 度500m研究アクセス南坑道125m計測横坑において掘削したボーリング孔(図4-1)に設置した応 力計および水圧計、2015年度に深度200mボーリング横坑(換気立坑)において掘削したボーリ ング孔(図4-1)に設置した応力計である。これらの観測機器を用いて取得した観測データを地上 で収録・モニタリングするために,地上モニタリングシステムを整備し,2019年12月から連続モ ニタリングを開始した。具体的には,光・電気複合ケーブルを深度500m研究アクセス南坑道125m 計測横坑から深度200mボーリング横坑(換気立坑)を経由した換気立坑巻上機室まで敷設し,同 室内に電源・データ収録装置を設置した。光・電気複合ケーブルの敷設にあたり,深度500m研究 アクセス南坑道125m計測横坑および深度200mボーリング横坑(換気立坑)にそれぞれ耐圧中継 容器を設置した。深度500mの耐圧中継容器には地震計・水圧計A/D変換器を内蔵した。耐圧中継 容器および深度200mボーリング横坑のボーリング孔フランジ部は,研究坑道の埋め戻し工事に 備えてセメンチングで保護した。地上モニタリングシステムの整備状況を図4-1に示す。



図 4-1 地上モニタリングシステムの整備状況

② 国立大学法人名古屋大学

名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構(以下,名古屋大学)は、スイスの欧州原子核研究所で人 工的に作ったニュートリノビームを730km離れたイタリアの研究所へ照射し、ニュートリノが質 量を持つことを証明するための国際共同実験(OPERA実験)に参加している。この実験において は、放射線の飛跡を検出するために原子核乾板が使用されている。原子核乾板の保管は、宇宙線 の蓄積を抑えることが重要であることから、名古屋大学より、低宇宙線環境である研究所の研究 坑道内を原子核乾板の保管場所として使用したいとの依頼があり、2011年度より深度200mボー リング横坑(主立坑)の一部を貸与してきた。

2019年度は、研究坑道の埋め戻しに備えて深度200mボーリング横坑(主立坑)における原子 核乾板の保管を終了することとし、2019年11月28日にこれまで保管してきた原子核乾板を全て撤 去した。

5. おわりに

超深地層研究所計画は,高レベル放射性廃棄物の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年度から実施してきた。2019年度は,原 子力機構の第3期中長期計画に基づき,2014年度に原子力機構改革の一環として抽出された三つ の必須の課題(地下坑道における工学的対策技術の開発,物質移動モデル化技術の開発,坑道埋 め戻し技術の開発)の調査研究を進め,これらの成果を取りまとめた。東濃地科学センターでは, 三つの必須の課題について十分な研究成果を上げることができたことから,2019年度をもって超 深地層研究所計画における研究開発を終了することとした。

これらの成果は、今後計画している研究成果の取りまとめに反映するとともに、原子力発電環 境整備機構が行う概要調査段階から精密調査段階において必要となる調査技術の整備や、国が実 施する安全規制における安全審査の指針・ガイドラインの策定に活用されると期待される。

2020年度以降は、瑞浪超深地層研究所の研究坑道の埋め戻し等、その後の進め方について定めた「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づき、土地賃貸借期間の終了までに坑道の埋め戻しおよび地上施設の撤去を行う。また、埋め戻し期間中は、埋め戻しに伴う地下水の回復状況を確認するために整備した、地上で地下水の水圧や水質に関するデータを取得可能なモニタリングシステムにより、坑道埋め戻し作業中の地下水の水圧・水質の変化を実際に観測し、実証研究を兼ねてモニタリングシステムの有効性を確認する。また、地上観測孔を利用した坑道周辺の地下水の水圧・水質観測については、環境モニタリング調査として引き続き実施する計画である。

参考文献

- 原子力委員会,原子力政策大綱,http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/taikou/kettei/siryo1.pdf (参照: 2021年1月7日).
- 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, http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/tyoki1994/chokei.htm(参照:2021年1月7日).
- 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, 20p.
- 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, http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/siryo/houkoku2/tyoki1122.pdf(参照:2020年10月12日).
- 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, 100p.
- 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, 103p.
- 7) 資源エネルギー庁,日本原子力研究開発機構,高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に 関する全体計画,https://www.jaea.go.jp/04/tisou/kenkyu_kaihatsu/pdf/zentai_map.pdf(参照: 2021年1月7日).
- 8) 東濃地科学研究ユニット, 超深地層研究所地層科学研究基本計画, JAEA-Review 2010-016, 2010, 37p.
- 9) 日本原子力研究開発機構改革本部,日本原子力研究開発機構の改革の基本的方向-安全を最優先とした組織への変革を目指して-,http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2013/08/14/1338627_3_1.pdf(参照:2021年1月7日).
- 10) 日本原子力研究開発機構,日本原子力研究開発機構の改革計画 自己改革 「新生」へのみ ち-,https://www.jaea.go.jp/02/press2013/p13092601/01.pdf(参照:2021年1月7日).
- 11) 日本原子力研究開発機構,日本原子力研究開発機構の改革計画に基づく「地層処分技術に関する研究開発」報告書-今後の研究課題について-, https://www.jaea.go.jp/04/tisou/kenkyu_kaihatsu/pdf/kenkyu_kadai.pdf(参照:2021年1月7日).
- 12) 地層科学研究部, 超深地層研究所 地層科学研究基本計画, JAEA-Review 2015-015, 2015, 39p.
- 13) 濱克宏ほか, 超深地層研究所計画における調査研究計画-第3期中長期計画における調査研 究-, JAEA-Review 2016-004, 2016, 38p.
- 14) 松岡稔幸, 濱克宏(編), 超深地層研究所計画における調査研究-必須の課題に関する研究成 果報告書-, JAEA-Research 2019-012, 2020, 157p.
- 15) 日本原子力研究開発機構,令和2年度以降の超深地層研究所計画, https://www.jaea.go.jp/04/tono/miu/r020127koutei.pdf(参照:2021年1月7日).
- 16) 竹内竜史ほか, 超深地層研究所計画 年度計画書 (2019年度), JAEA-Review 2019-014, 2019, 30p.
- 17) 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, 12p.
- 18) 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, 388p.
- 19) 三枝博光ほか, 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, 337p.

- 20) 三枝博光ほか, 超深地層研究所計画における調査研究の考え方と進め方-深度500mまでの 調査研究計画-, JAEA-Review 2011-022, 2011, 78p.
- 21) 糸魚川淳二,瑞浪地域の地質,瑞浪市化石博物館専報, no.1, 1980, pp.1-50.
- 22) 陶土団体研究グループ, 断層境界を伴う多数の基盤ブロックからなる内陸盆地-岐阜県多治 見市周辺の東海層群堆積盆地の例-, 地球科学, vol.53, no.4, 1999, pp.291-306.
- 23) 糸魚川淳二,瑞浪層群の地質,瑞浪市化石博物館研究報告, no.1, 1974, pp.9-42.
- 24) 氏原 温ほか, 岐阜県東濃地域の新第三系, 日本地質学会第106年学術大会見学旅行案内書, 1999, pp.97-116.
- 25) 日本の地質「中部地方Ⅱ」編集委員会, 日本の地質5, 中部地方Ⅱ, 共立出版, 1988, 310p.
- 26) 見掛信一郎ほか, 高圧湧水下におけるプレグラウチングとポストグラウチングを併用した湧 水抑制効果の評価, 土木学会論文集C(地圏工学), vol.74, no.1, 2018, pp.76-91.
- 27) 小島圭二ほか,中間領域を考慮した地質環境調査・評価技術の高度化・体系化に関する研究 - 平成22年度- (委託研究), JAEA-Research 2011-033, 2012, 126p.
- 28) 日本原子力研究開発機構, 平成27年度 地層処分技術調査等事業 処分システム評価確証技術 開発報告書, https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/ library/2015/27fy_hyoukakakusyou.pdf(参照: 2021年1月7日).
- 29) 日本原子力研究開発機構, 平成28年度 地層処分技術調査等事業 処分システム評価確証技術 開発報告書, https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/ library/2016/28fy_hyoukakakusyou.pdf(参照: 2021年1月7日).
- 30) 日本原子力研究開発機構, 平成29年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 処分システム評価確証技術開発報告書, https://www.enecho.meti.go.jp/category/ electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2017/29fy_hyoukakakushou.pdf(参照:2021年1月 7日).
- 31)日本原子力研究開発機構,原子力環境整備促進・資金管理センター,平成30年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 ニアフィールドシステム評価確証技術開発報告書, https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2018/30fy_nf.pdf(参照:2021年1月7日).
- 32) Karen, L. S., Backscattered electron imaging of cementitious microstructures: understanding and quantification, Cement and Concrete Composites, vol.26, Issue 8, 2004, pp.935-945.
- 33) 尾上博則, 竹内竜史, 超深地層研究所計画における単孔式水理試験結果(2012年度~2015年 度), JAEA-Data/Code 2016-012, 2016, 46p.
- 34) 日本原子力研究開発機構,電力中央研究所,平成31年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分 に関する技術開発事業-岩盤中地下水流動評価技術高度化開発-報告書,https://www. enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2019/31fy_ganban.pdf (参照:2021年1月7日).
- 35) Ohyama, T., et al., GEOMASS System, JAEA-Testing 2008-007, 2009, 248p.
- 36) 石橋正祐紀ほか,地下坑道調査結果に基づく亀裂ネットワークモデルの構築,日本応用地質 学会平成29年度研究発表会講演論文集,2017, pp.65-66.
- 37) 加藤利弘ほか,地下水中の溶存無機炭素を対象とした放射性炭素同位体測定のためのガス化 回収法の適用性検討, JAEA-Technology 2017-009, 2017, 30p.
- 38) Nakata, K. et al., Comparison of ¹⁴C collected by precipitation and gas-strip methods for dating groundwater, Radiocarbon, vol.58, no.3, 2016, pp.491-503.
- 39) Iwatsuki, T. et al., Hydrochemical Baseline Condition of Groundwater at the Mizunami

Underground Research Laboratory, Applied Geochemistry, vol.20, no.12, 2005, pp.2283-2302.

- 40) 尾上博則ほか,長期的な地形変化と気候変動による地下水流動状態の変動性評価手法の構築, バックエンド研究, vol.26, no.1, 2019, pp.3-14.
- 41) 環境省令第11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.
- 42) 日本原子力研究開発機構,「瑞浪超深地層研究所に係る環境保全協定書」に基づく排出水等の測定結果, https://www.jaea.go.jp/04/tono/an_miuwater/an_miuwater_1.html(参照:2021 年1月7日).

付録 広域地下水流動研究2019年度報告

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の取得

の二つを目的として,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, 多区間で観測できるモニタリング装置を設置し,地下水長期モニタリングを実施してきた。

2019年度は、年度計画¹に基づく地下水モニタリングを実施した。なお、2019年度末をもって 広域地下水流動研究を終了することに伴い、本モニタリングを終了した。ボーリング孔について は、地下水の環境モニタリング調査に活用し、観測を終了したボーリング孔については順次閉塞 作業を進めていく計画である。

2. 地下水圧の観測地点

2019年には、DH-2、DH-7、DH-11号孔、DH-13号孔においてMPシステムを、DH-15号孔に おいてSPMPシステム (Solexperts社製)を用いて地下水モニタリングを実施した。また、DH-10 号孔とDH-12号孔では自記水位計を用いて地下水モニタリングを実施した。図1にボーリング孔 の位置を示す。ボーリング孔における観測区間の地質は、DH-15号孔のNo.1のみ瑞浪層群で、そ の他についてはいずれも土岐花崗岩である。なお、DH-7号孔については2019年7月に連続観測を 終了した。また、DH-12号孔については2020年1月で観測を終了し、同年3月に運用を終えた。機 器の適用試験孔であるDH-8号孔についても2020年3月に運用を終了した。



※DH-7:2019年7月で連続観測終了,DH-8,DH-12:2020年3月で運用終了 図1 ボーリング孔位置図(2019年度)

3. 地下水モニタリング結果

地下水モニタリング結果を,図2~図9にまとめる。なお,図中では地下水圧を換算して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)の地下水圧変化(図2~図4)

DH-2号孔では、地下水の水圧および水質の観測を実施した。地下水圧については、7月上旬から12月末にかけて深度300mボーリング横坑等で実施されたボーリング調査(3.2.1(2)1)参照)に伴う一時的な地下水圧の変動が認められた(図2)。地震の影響と考えられる水圧の変化は確認されていない。また、地下水の水質分析を行い、深度プロファイルを把握した(図3)。

DH-15号孔では、地下水圧の観測を実施した。観測区間No.1~No.3、No.6においては水圧がほ ぼ0であることからセンサー部が地下水面上にあると考えられるため、欠測扱いとした。それらの 区間以外の地下水圧は概ね一定の値を示す(図4)。研究坑道内での調査や地震の影響と考えられ る水圧の変化は確認されなかった。



図2 地下水長期モニタリングの観測結果(DH-2号孔)



図3 DH-2号孔の水質深度プロファイルの例(Cl⁻, Na⁺)





(2) DH-7,10,11,12,13号孔の地下水圧変化(図5~図9)

DH-7, DH-12およびDH-13号孔では,全水頭がほぼ一定であり,研究坑道内での調査や地震に よる水圧変化は認められない(図5,8,9)。DH-10号孔では,研究坑道内での調査や地震とは関 連性が認められない水圧変化が観測されている(図6)。また,DH-11号孔では,研究坑道内での 調査や地震に伴う水圧変化は認められないものの,緩やかな低下傾向を示す(図7)。



図5 地下水長期モニタリングの観測結果(DH-7号孔)



DH-10号孔

図6 地下水長期モニタリングの観測結果(DH-10号孔)



図7 地下水長期モニタリングの観測結果(DH-11号孔)



DH-12号孔

図8 地下水長期モニタリングの観測結果(DH-12号孔)

JAEA-Review 2021-003



図9 地下水長期モニタリングの観測結果(DH-13号孔)

参考文献

1) 竹内竜史ほか, 超深地層研究所計画 年度計画書 (2019 年度), JAEA-Review 2019-014, 2019, 30p.

This is a blank page.