JAEA-Review
2013-044

超深地層研究所計画　年度計画書（2013 年度）

Mizunami Underground Research Laboratory Project Plan for Fiscal Year 2013

濱 克宏　見掛 信一郎　西尾 和久　笹尾 英嗣
岩月 輝希　竹内 竜史　松岡 稔幸　丹野 剛男
尾上 博則　尾方 伸久　小出 馨　池田 幸喜
山脇 弘幸　島田 顕臣　佐藤 稔紀　大澤 英昭
中司 昇　杉原 弘造

Katsuhiro HAMA, Shinichiro MIKAKE, Kazuhisa NISHIO, Eiji SASAO
Teruki IWATSUKI, Ryuji TAKEUCHI, Toshiyuki MATSUOKA, Takeo TANNO
Hironori ONOE, Nobuhisa OGATA, Kaoru KOIDE, Koki IKEDA
Hiroyuki YAMAWAKI, Akiomi SHIMADA, Toshinori SATO, Hideaki OSAWA
Noboru NAKATSUKA 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

January 2014

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

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（http://www.jaea.go.jp）
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, 2014

超深地層研究所計画　年度計画書（2013 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

濱 克宏，見掛 信一郎[+1]，西尾 和久[※]，笹尾 英嗣，岩月 輝希，竹内 竜史，松岡 稔幸，
丹野 剛男[*]，尾上 博則[+2]，尾方 伸久，小出 馨，池田 幸喜[+1]，山脇 弘幸[+1]，
島田 顕臣，佐藤 稔紀，大澤 英昭，中司 昇，杉原 弘造

（2013 年 10 月 22 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 段階からなる。2013 年度は，第 2 段階および第 3 段階の調査研究を進めていく。

本計画書は，2010 年に改訂した「超深地層研究所地層科学研究基本計画」および 2012 年度に実施した第 3 段階における調査研究計画の策定に向けた検討結果に基づく 2013 年度の超深地層研究所計画の調査研究計画，施設建設計画，共同研究計画などを示したものである。

2013 年度の第 2 段階の調査研究としては，地上および研究坑道内から掘削した既存のボーリング孔に設置した地下水水圧や水質モニタリング装置を用いた岩盤の水理，地下水の地球化学に関するモニタリングを継続するとともに，岩盤の初期応力状態を把握するためのボーリング調査などを実施する。これらの調査研究により取得した地質環境の情報に基づき，第 1 段階の調査研究結果である地質環境モデルの妥当性の確認を行うとともに，地質環境モデルの更新を行う。深地層の工学技術の基礎の開発においては，建設工事を通じて得られた情報に基づき，設計技術，掘削技術，対策工，安全対策等に関する技術の有効性を確認・評価していく。

第 3 段階の調査研究としては，これまでの調査研究で取得した地質・地質構造，岩盤の水理特性，地下水の地球化学特性などに関する情報に基づき，坑道周辺の地質環境モデルを構築する。また，深度 500m 研究アクセス北坑道における再冠水試験など，坑道閉鎖時の坑道周辺の地質環境特性の回復過程の理解や，坑道閉鎖後の地質環境特性の変遷を推定する技術を構築することを目的とした調査研究を開始する。

瑞浪超深地層研究所の研究坑道の建設においては，深度 500m ステージの水平坑道の掘削を進める計画である。

また，共同研究として，一般財団法人電力中央研究所，独立行政法人産業技術総合研究所，スイス放射性廃棄物管理共同組合，韓国原子力研究所などとの調査研究を進める計画である。併せて，施設利用として，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および国立大学法人名古屋大学に研究坑道の一部を貸与し，それぞれの研究活動に協力する。

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　東濃地科学センター　施設建設課
＋2　福島技術本部　福島環境安全センター
※　技術開発協力員
＊　㈱3D 地科学研究所

Mizunami Underground Research Laboratory Project
Plan for Fiscal Year 2013

Katsuhiro HAMA, Shinichiro MIKAKE[+1], Kazuhisa NISHIO[※], Eiji SASAO,
Teruki IWATSUKI, Ryuji TAKEUCHI, Toshiyuki MATSUOKA, Takeo TANNO[*],
Hironori ONOE[+2], Nobuhisa OGATA, Kaoru KOIDE, Koki IKEDA[+1],
Hiroyuki YAMAWAKI[+1], Akiomi SHIMADA, Toshinori SATO, Hideaki OSAWA,
Noboru NAKATSUKA and Kozo SUGIHARA

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

(Received October 22, 2013)

The Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) project is being pursued by the Japan Atomic Energy Agency (JAEA) to enhance the reliability of relevant disposal technologies through investigations of the deep geological environment within the host crystalline rock at Mizunami City in Gifu, central Japan. The project proceeds in three overlapping phases, "Phase I: Surface-based investigation Phase", "Phase II: Construction Phase" and "Phase III: Operation Phase". The present report summarizes the research and development activities planned for fiscal year 2013 based on the MIU Master Plan updated in 2010.

The long-term monitoring of hydraulic pressure and groundwater chemistry at the existing boreholes are continued. The borehole investigation in order to characterize rock mechanical properties will be carried out at the GL-500m stage. As study on engineering technologies for deep underground, validation and evaluation of design methodology, existing and supplementary excavation methods, countermeasures during excavation and safe construction will be carried out based on data obtained during shafts and galleries construction. As the part of the Phase III investigations, the geological environment models around the gallery are constructed by using geological, hydrogeological and geochemical data obtained through the field investigations. Groundwater recovery experiment in tunnel is started at the GL-500m stage.

As collaboration studies, various experiments and researches are planned to carried out with CRIEPI(Central Research Institute of Electric Power Industry), AIST(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), Nagra(National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste), KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) and other research organizations. Furthermore, as utilization of the MIU, the galleries have been used with TRIES (Tono Research Institute of Earthquake Science) and Nagoya University.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory, MIU Project, Program for Fiscal Year 2013, MIU Master Plan, Geological Disposal of HLW

＋1 Geoscience Facility Construction, Tono Geoscience Center

＋2 Fukushima Environmental Safety Center, Headquarters of Fukushima Partnership Operations

※ Collaborating Engineer

＊ 3D Geoscience, Inc.

目　次

1. はじめに 1
参考文献 2
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 瑞浪超深地層研究所用地周辺の地質 10
2.4 瑞浪超深地層研究所の施設概要 11
参考文献 11
3. 2013 年度の調査研究および施設建設計画 12
3.1 瑞浪超深地層研究所における第 2 段階の調査研究 14
3.1.1 地質・地質環境構造に関する調査研究 14
3.1.2 岩盤力学に関する調査研究 15
3.1.3 岩盤の水理に関する調査研究 16
3.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究 19
3.1.5 深地層の工学技術の基礎の開発 20
3.2 瑞浪超深地層研究所における第 3 段階の調査研究 23
3.2.1 地質環境の長期変遷に関する研究開発 23
3.2.2 物質移動に関する調査研究 25
3.2.3 施工対策影響評価試験 27
3.2.4 深地層の工学技術の基礎の開発 27
3.3 正馬様用地における調査研究 28
3.4 瑞浪超深地層研究所における施設建設計画 29
参考文献 29
4. 調査研究成果の統合化 31
5. 共同研究・施設利用等 32
6. おわりに 36
参考文献 36
付録 1 広域地下水流動研究 2013 年度計画 37

Contents

1. Introduction 1
References 2
2. Overview of the Mizunami Underground Research Laboratory Project 3
2.1 Goals of the MIU Project 4
2.2 Approach of the MIU Project 6
2.3 Geology 10
2.4 MIU facilities 11
References 11
3. Investigations and construction plan in FY2013 12
3.1 Investigation plan at the MIU Construction Site – Phase II (Construction Phase) 14
3.1.1 Geological investigations 14
3.1.2 Rock mechanical investigations 15
3.1.3 Hydrogeological investigations 16
3.1.4 Hydrochemical investigations 19
3.1.5 Development of engineering technology for deep underground 20
3.2 Investigation plan at the MIU Construction Site – Phase III (Operation Phase) 23
3.2.1 Study on long-term artificial disturbance and natural evolution of geological environment 23
3.2.2 Solute transport studies 25
3.2.3 In-situ experiments to evaluate influence of construction materials on geological environment 27
3.2.4 Development of engineering technology for deep underground 27
3.3 Investigation plan at the Shobasama Site 28
3.4 Construction plan at the MIU Construction Site 29
References 29
4. Integration of research and development results 31
5. Collaboration studies with related research organizations 32
6. Conclusions 36
References 36
Appendix1: Plan of the Regional Hydrogeological Study Project in FY2013 37

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，開発およ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たことに伴い，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 *など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]。

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などから，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 [7]。さらに 2012 年度に実施した第 3 段階における調査研究計画の策定に向けた検討の結果，段階目標の一つである「研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握」の一環として，坑道閉鎖時の坑道周辺の地質環境特性の回復過程の理解および坑道閉鎖後の地質環境特性の変遷を推定する技術の構築を目的とした地質環境の長期変遷に関する研究開発を新たな研究項目として設定した。

本計画書は，改訂された基本計画および第 3 段階における調査研究計画の策定に向けた検討結果に基づく超深地層研究所計画の 2013 年度の第 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」における調査研究計画の内容を示すものである。

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 [8]。この研究は，広域における地表か

---

* 調査研究のために掘削される主立坑，換気立坑，水平坑道などからなる超深地層研究所の地下部分

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して，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（河川流量，降水量）観測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。本計画書の巻末に，広域地下水流動研究における 2013 年度の計画を示す。

なお，今後の原子力政策やエネルギー政策の見直しに伴う「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」[9]の改定により，2013 年度の本研究計画が一部変更となる可能性がある。

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，開発およ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，開発およ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）.
6) 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) 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）.
9) 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”（2010）.

2. 超深地層研究所計画の概要

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いる。このように段階的に進めることにより，天然の地質環境と，その地質環境が坑道の掘削など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結果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などは，地質環境を対象とした一連の調査，評価など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。

当初の本計画は，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などの施設を市有地（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。

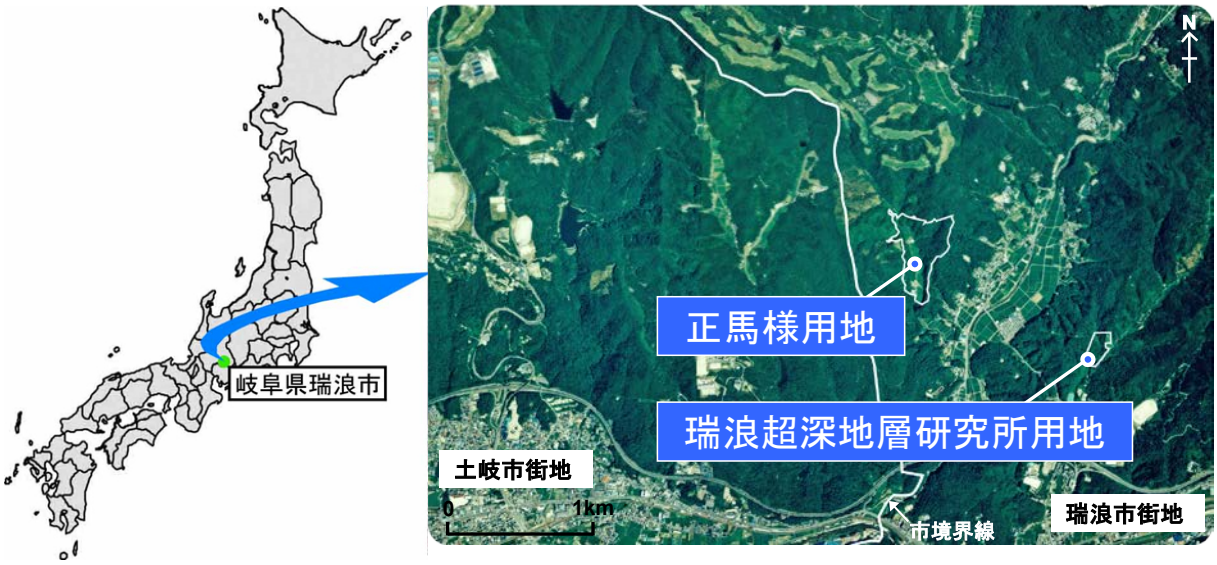


図 2-1　超深地層研究所の設置場所

2.1 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ている（詳細は，基本計画[1)]を参照）。

【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

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）の三つに区分して進めることとしている。以下に各段階における目標とその内容の概略を示す（詳細は，基本計画[1)]を参照）。

【段階目標】

第 1 段階：地表からの調査予測研究段階

① 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により研究坑道掘削前の深部地質環境に関する情報を取得し，取得した情報の集約と理解をとおして，坑道掘削前の地質環境モデル（サイトスケール；数 km 四方）（図 2.1-1，表 2.1-1）を構築する。また，研究坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化を予測する。

さらに，第 1 段階における調査手法と深部地質環境の理解度との対比から当段階で用いた一連の調査・解析・評価手法の有効性を評価する。

② 研究坑道の詳細設計および施工計画の策定

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の掘削に伴う深部地質環境の変化に関する予測を考慮しつつ，③において策定する第 2 段階における調査研究計画に基づいて，研究坑道の詳細レイアウトを決定する。また，実際に適用する施工技術および機械・設備を選択し，具体的な施工計画を決定する。

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

前述①の深部地質環境に関する情報および研究坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化に関する予測結果を踏まえ，第 2 段階における具体的な調査研究計画を策定する。

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

研究坑道の掘削に伴って得られる深部地質環境に関する情報および研究坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化に関する情報を取得し，第 1 段階で構築した地質環境モデル（サイトスケール）および第 1 段階で予測した研究坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化の予測の妥当性を評価する。さらに，新たに得られた情報に基づき，第 1 段階で構築した地質環境モデル（サイトスケール）を更新する。また，更新された地質環境モデル（サイトスケール）を基にブロックスケール（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し，第 3 段階で実施する研究坑道の拡張に伴う研究坑道周辺の地質環境の変化を予測する。

さらに，第 2 段階における調査手法と深部地質環境の理解度との対比から，当段階で用いた一連の調査・解析・評価手法の有効性を評価する。

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・管理に用いた工学技術の有効性を評価し，必要に応じてそれらの高度化を図る。また，実際の地質環境が予測結果と大きく異なる場合や大量湧水・山はねなどの突発的な事象が発生した場合などにおいては，必要に応じて対策工を講じ，その技術の適応性を確認する。さらに，掘削中の坑道内の安全を確保するための技術を確認する。

③ 研究坑道を利用した研究段階の調査研究計画の策定

前述の深部地質環境に関する情報や予測結果，これまでの地層科学研究の成果[2,3]および海外の地下研究施設などにおいて実施してきた調査研究の成果を踏まえ，研究坑道を利用した調査研究の課題を抽出し，調査研究計画の具体化を図る。

第３段階：研究坑道を利用した研究段階

① 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拡張による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ともに，深部地質環境に関する三次元的な情報を取得・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・ブロックスケール）の妥当性を評価する。さらに，新たに取得された情報に基づき，必要に応じて地質環境モデル（サイトスケール・ブロックスケール）を更新する。

また，研究坑道を利用した調査研究により取得した情報や地質環境モデル（サイトスケール・ブロックスケール）を用いた解析結果などに基づき，研究坑道の拡張に伴う研究坑道周辺の地質環境の変化に関する予測の妥当性を評価する。

以上のように深部地質環境の予測とその妥当性の評価を段階ごとに繰り返し行うことにより，前段階で用いた調査・解析・評価手法の妥当性や有効性を確認することが可能となる。

② 深地層における工学技術の有効性の確認

地下深部において，坑道の健全性を長期にわたり維持する技術の有効性を確認する。また，坑道の掘削工事に関する工程や品質などの管理体系を構築し，坑道内の研究環境を適切に維持・管理するための技術を整備する。さらに，坑道の掘削が地質環境に及ぼす影響を軽減・修復する工学技術の可能性について検討し，必要に応じて開発・整備する。実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合や大量湧水・山はねなどの突発的な事象が発生した場合などにおいては，必要に応じて対策工を講じ，その技術の適応性を確認する。

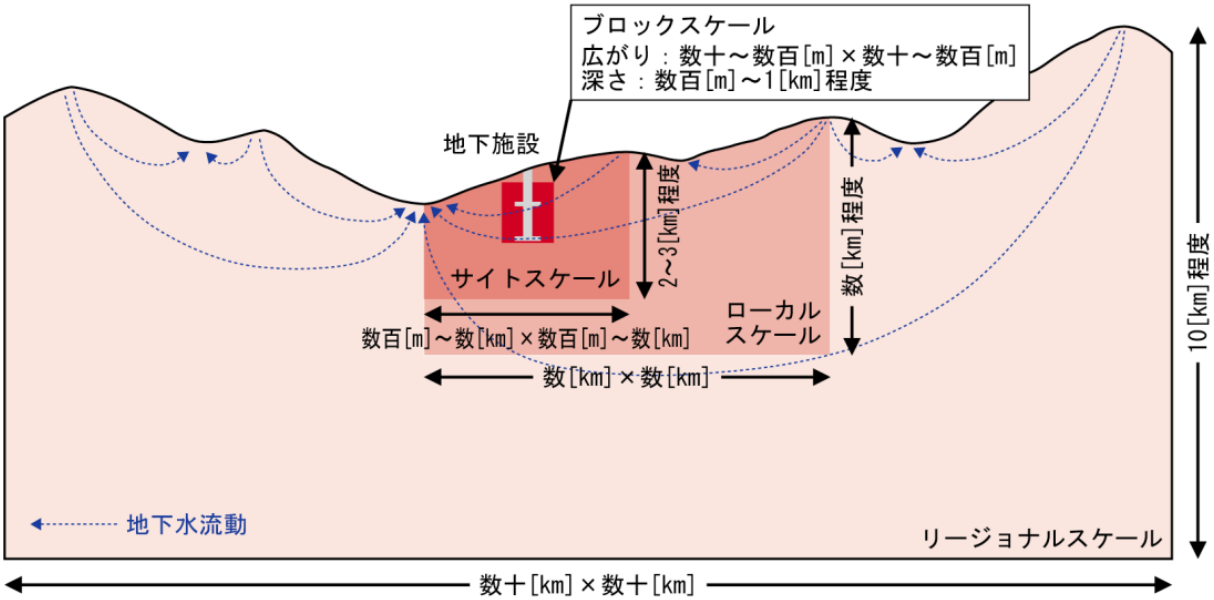


図 2.1-1　空間スケールの概念

表 2.1-1　空間スケールの対象範囲と位置付け

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[km²]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[km²]程度 （数百[m]～数[km]×数百[m]～数[km]） 深さ：2～3[km]程度	・人工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[m²]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

2.2 調査研究の進め方

本計画では，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，全体目標に対して個別目標と課題を設定した[4]（図 2.2-1）。これらの個別目標と課題は，調査研究内容をより具体的なものにすることを目的として設定したものである。また，地層処分にとって重要な地質環境特性を段階的に理解するために，広域地下水流動研究と組み合わせて，地質環境に四つの空間スケールを設けた。図 2.1-1 に空間スケールの概念，表 2.1-1 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[5]。

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」は，地質環境特性として重要な地下水の流動特性，地下水の地球化学特性，岩盤の力学特性，岩盤中での物質移動特性，研究坑道の掘削が周辺の岩盤に与える影響などを明らかにしていくものであり，これらを体系的に調査・解析・評価するための技術基盤を整備していく。本研究の実施にあたっては，個別目標に基づいて設定した課題に対して，特定の領域の地表または研究坑道から深

部地質環境に関する情報を取得し，信頼性の高い解析・評価手法を用いた深部地質環境の評価に至る一連のプロセス（概念の提示→計画の立案→調査の実施→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）を繰り返し行う（以下，繰り返しアプローチ[5]：図 2.2-2）。また，これを実践するうえで「調査→データの解釈→モデル化・解析」の具体的な道すじを系統的なデータの流れとして整理した統合化データフローに基づいて調査研究を進める。図 2.2-3 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を示す[4]。この統合化データフローは，調査研究の個別目標と課題に対して，調査の種類，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を示すものである。

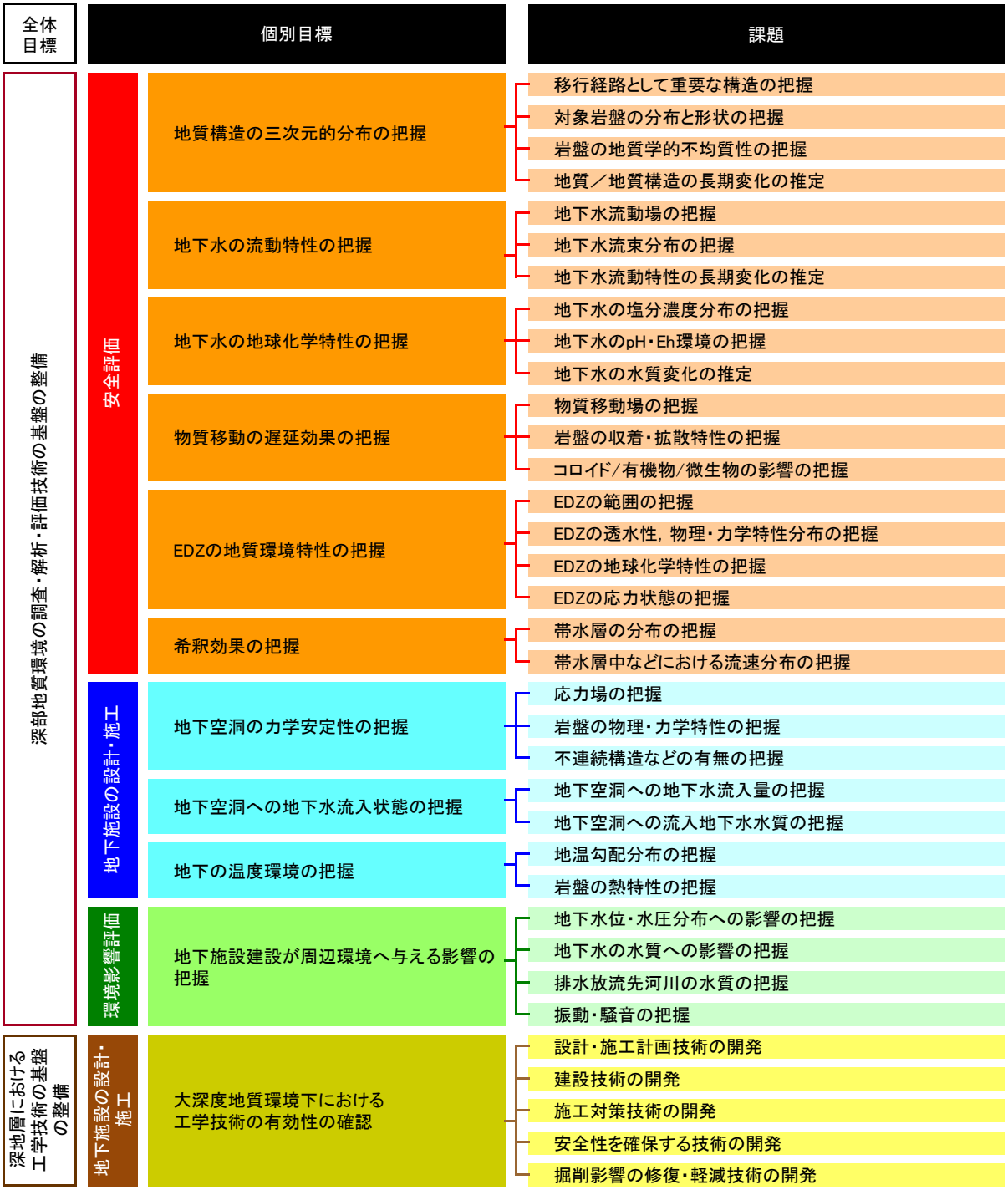


図 2.2-1　調査研究の個別目標と課題

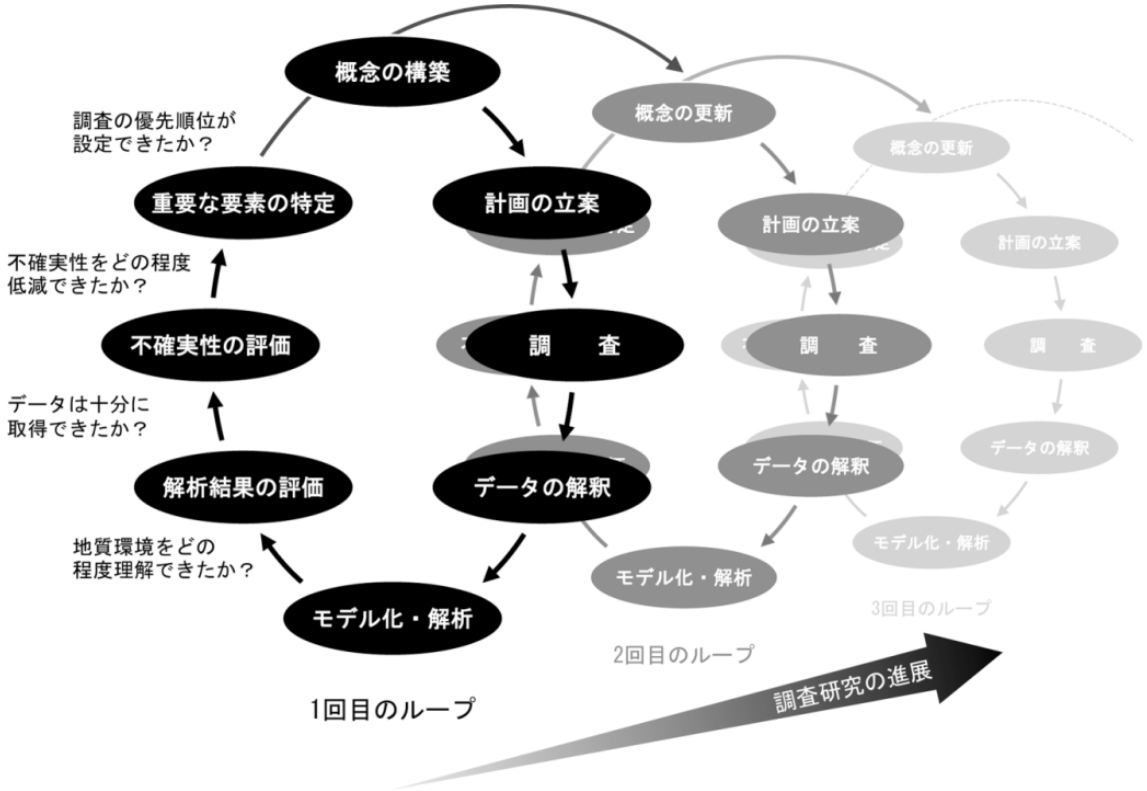
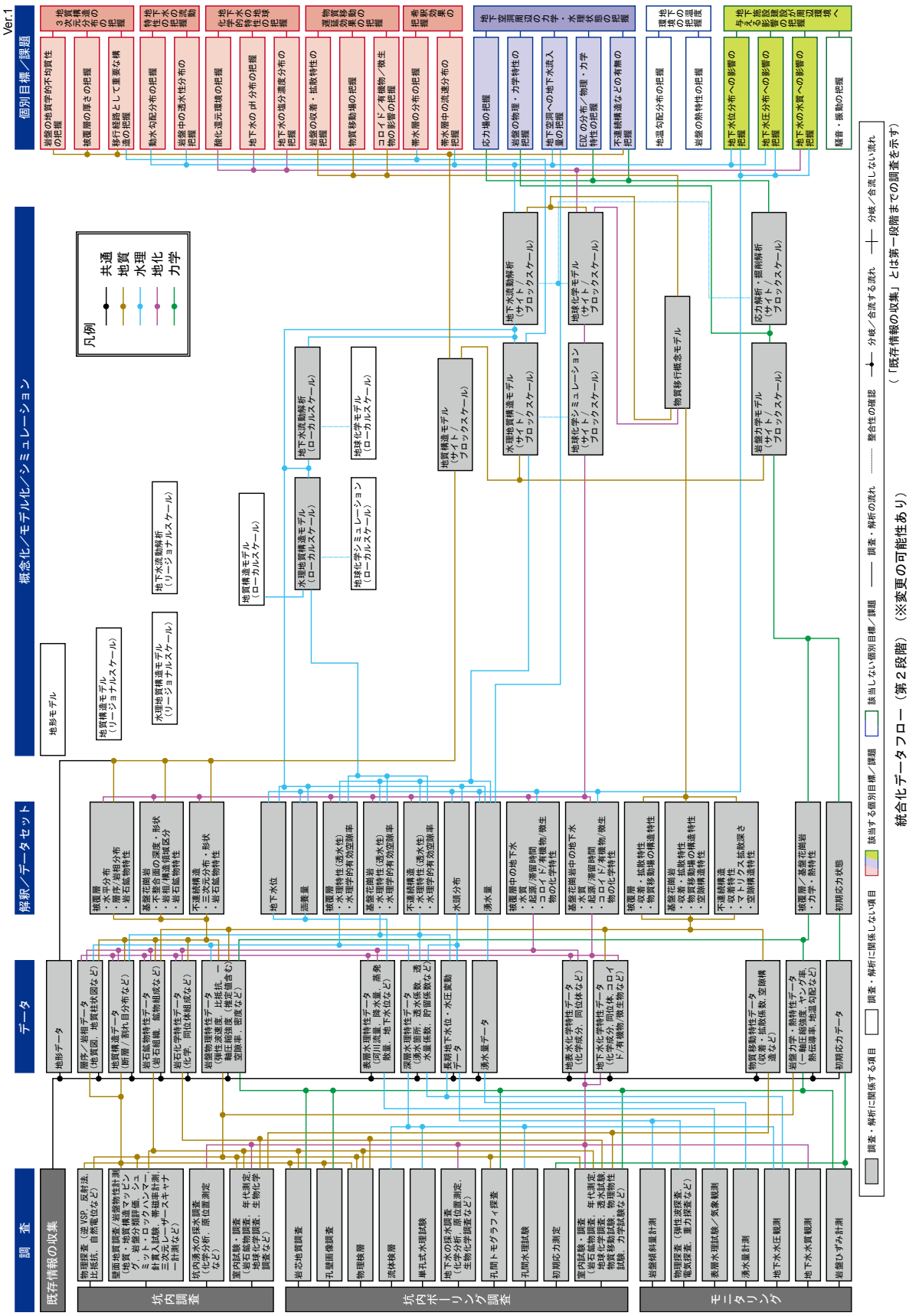


図 2.2-2　調査研究の繰り返しアプローチ

本計画の二つの全体目標のうちの「深地層における工学技術の基盤の整備」については，既存のあるいは新たに開発される工学技術を特定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。

本計画では，既存の工学技術を研究所用地において適用し，深部地質環境に関する情報および推定に基づき，地下深部における岩盤の長期健全性，坑道の力学的安定性や耐震性などを解析・評価する。これにより地質環境の変動幅や実施する調査研究に対応可能な研究坑道の詳細設計および施工計画の策定が可能であることを例示する。さらに，研究坑道を実際に施工・維持・管理し，あるいは坑道の掘削による地質環境への影響の修復・軽減のために適用した工学技術の有効性を確認する。実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合や大量湧水や山はねなどの突発的な事象が発生した場合などにおいては，設計変更や対策工の適用により柔軟に対応できることが重要である。そのため，必要に応じて湧水抑制対策などの施工対策技術，施工管理システムや工学材料などの開発・改良を行う。研究坑道においては研究環境の維持・管理および安全確保の技術の適用性を確認し，これに関わる管理体系を構築する。

本目標を達成することにより，地下深部に所要の施設を建設し，研究活動などが安全に実施可能であることを実証することができると期待される。



統合化データフロー（第２段階）（※変更の可能性あり）

図 2.2-3　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

2.3 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 2.3-1）[6,7]。

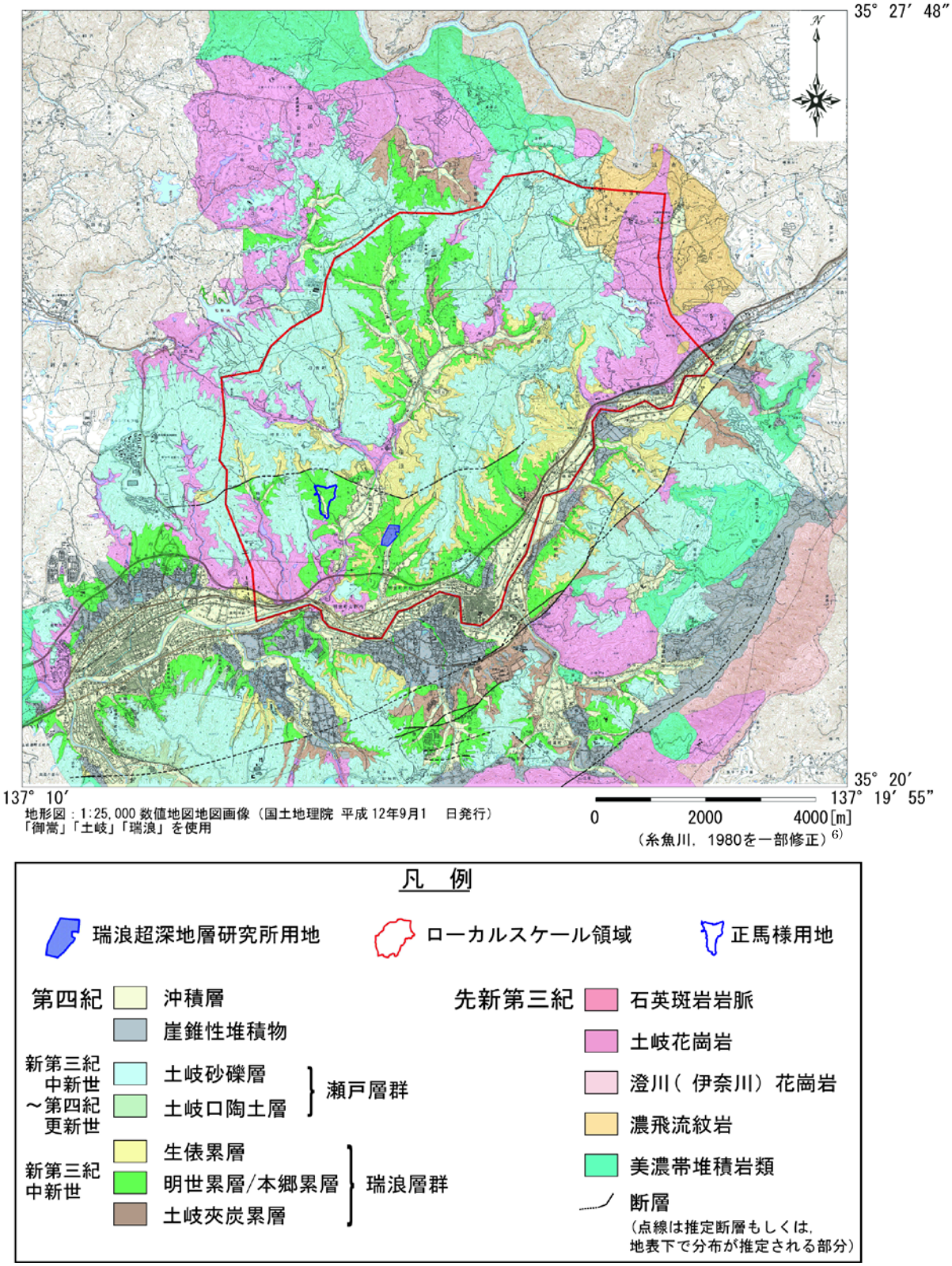


図 2.3-1 超深地層研究所周辺の地質概要

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，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，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，管理棟などからなる。一方，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 ステージおよび最深ステージなどからなる。

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や施工条件などに基づき必要に応じて見直す。

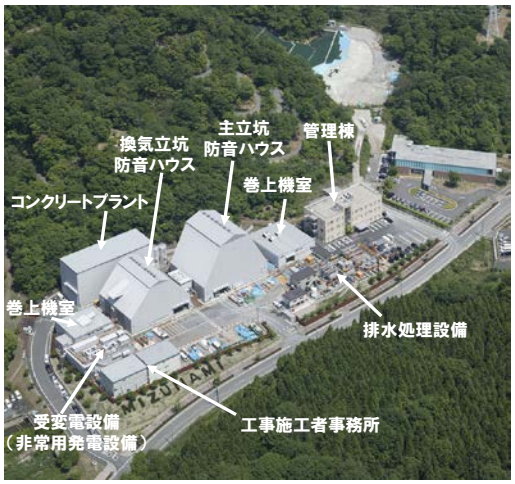
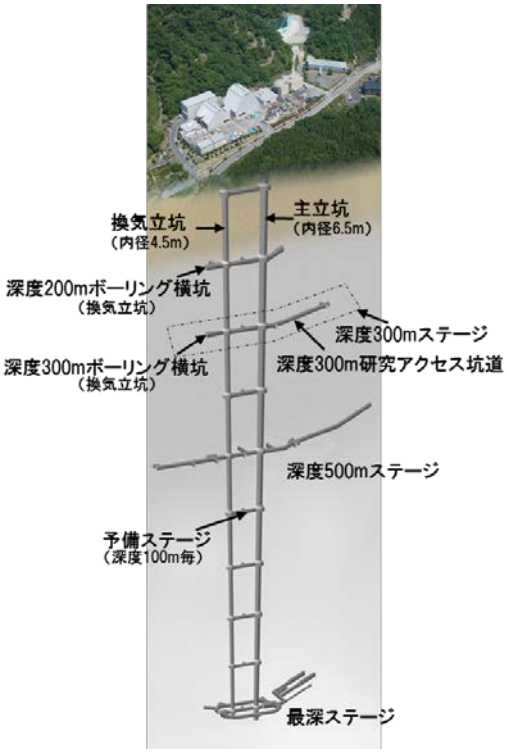


図 2.4-1　瑞浪超深地層研究所の地上施設



（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

参考文献

1) 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）.
2) 核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ”，JNC TN1400 99-020～024（1999）.
3) 核燃料サイクル開発機構：“釜石原位置試験総括報告書”，JNC TN7410 99-001（1999）.
4) 三枝博光，松井裕哉，濱 克宏，佐藤稔紀，鶴田忠彦，竹内竜史，國丸貴紀，松岡稔幸，水野 崇：“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）.
5) 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－分冊 1 深地層の科学的研究－”，JNC TN1400 2005-014（2005）.
6) 糸魚川淳二：“瑞浪地域の地質”，瑞浪市化石博物館専報，no.1, pp.1-50（1980）.
7) 陶土団体研究グループ（Todo Collaborative Research Group：“岐阜県瑞浪市南部の瀬戸層群―瀬戸層群の堆積盆地の発生から発展に関する研究（2）―．島孤変動”，地団研専報（Monogr. Assoc. Geol. Collab. Japan），no.24, pp.143-155（1982）.

3. 2013 年度の調査研究および施設建設計画

2012 年度の第 2 段階の調査研究については，地質・地質構造を把握するために，坑道掘削時の壁面地質調査や深度 300m 研究アクセス坑道において電気探査（自然電位測定）による地下水流動モニタリングおよび掘削工事の発破振動を利用した地震探査（逆 VSP 探査）を行った。また，これまでに掘削した地上からのボーリング孔を用いた地下水の水圧・水質モニタリングおよび坑道内において掘削したボーリング孔を用いた地下水の水圧・水質や岩盤変位などに関するモニタリングを継続し，これらの結果に基づき，第 1 段階で策定した地質環境モデルを更新した。また，第 3 段階の調査研究として，岩石試料や地下水を用いた室内試験を継続するとともに，一般財団法人電力中央研究所（以下，電中研）との共同研究として，ブロックスケールの物質移動モデルの構築や，電中研が開発中の原位置試験装置の適用性を確認する場所の選定に必要な情報を取得するためのボーリング調査を実施した。

2013 年度の第 2 段階の調査研究については，坑道掘削時の壁面地質調査や，深度 500m ステージにおいて岩盤の初期応力を把握するためのボーリング調査等を実施する。また，地上および坑道内から掘削したボーリング孔を用いた地下水の水圧・水質に関するモニタリングを継続し，これらの結果に基づき，第 1 段階の調査研究結果である地質環境モデルの妥当性を確認し，第 2 段階における地質環境モデルを更新する。モデルの妥当性確認および更新の際には，モデル構成要素ごとに妥当性を評価し，その結果，妥当でないと判断される場合は，その原因を第 1 段階における調査計画や適用した調査手法／モデル化解析手法の妥当性の観点で分析する。その結果は，地上からの調査・解析・評価技術の体系的な整理に反映させる。

第 3 段階の調査研究としては，これまでの調査研究で取得した地質・地質構造，岩盤の水理特性，地下水の地球化学特性などに関する情報に基づき，坑道周辺の岩盤における物質移動モデルの構築や更新，2012 年度から開始した室内試験および電中研との共同研究を継続する。また，深度 500m 研究アクセス北坑道で 2014 年度に計画されている再冠水試験の準備としてモニタリング孔の設置を実施する。図 3.1-1 に，研究坑道レイアウトと主な調査位置を示す。

2012 年度の坑道掘削工事では，深度 500m において，主立坑，換気立坑から各々深度 500m 研究アクセス北坑道および深度 500m 研究アクセス南坑道の掘削を進め，2012 年度末には深度 500m 研究アクセス北坑道は 61m，深度 500m 研究アクセス南坑道は 23m に到達した。2013 年度は，深度 500m 研究アクセス北坑道および深度 500m 研究アクセス南坑道の掘削を継続する計画である（3.4 参照）。

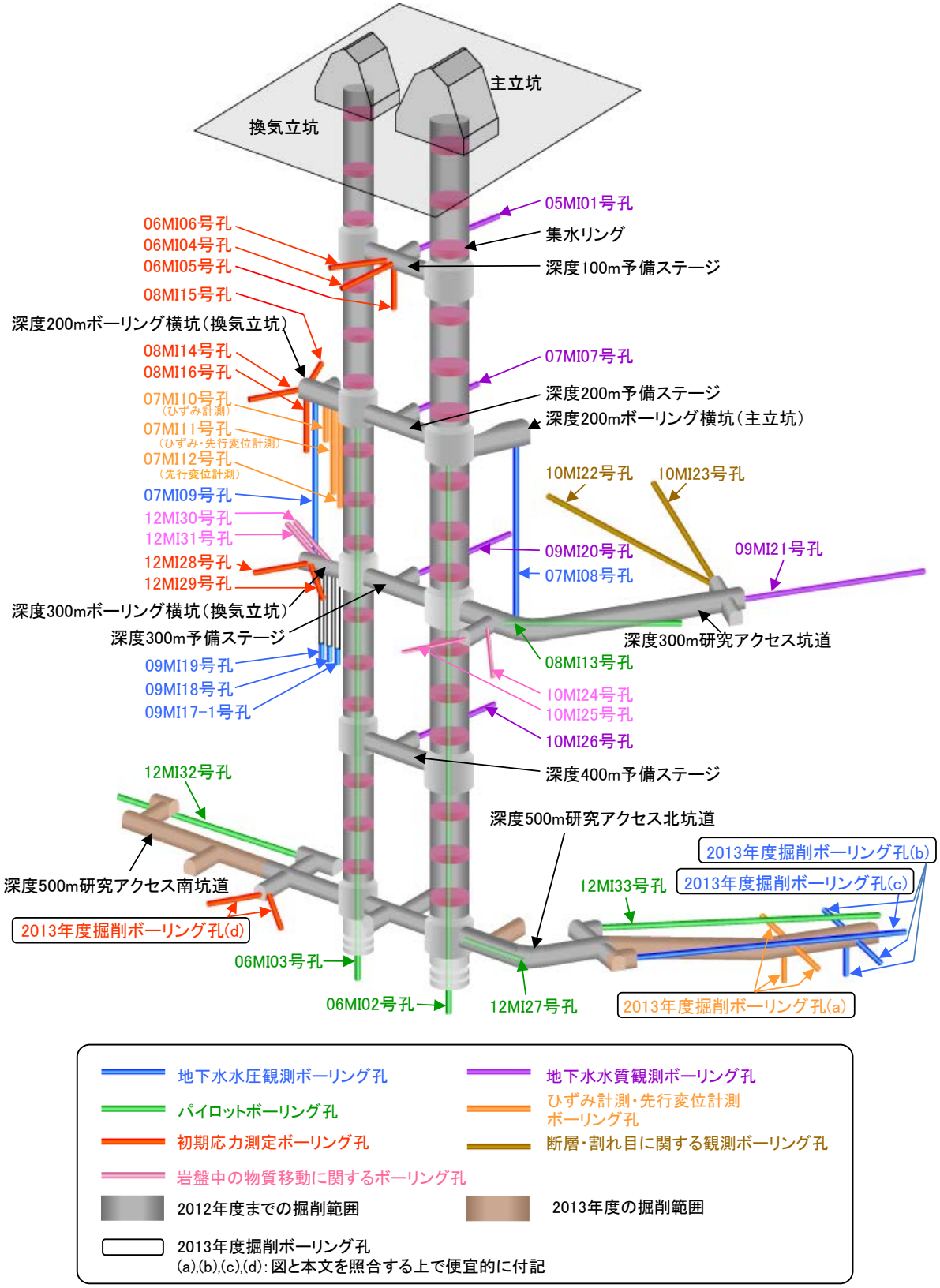


図 3.1-1　研究坑道レイアウトおよび主な調査位置計画図

3.1 瑞浪超深地層研究所における第 2 段階の調査研究

3.1.1 地質・地質環境構造に関する調査研究

2012 年度は，深度 500m ステージの水平坑道の掘削に伴う壁面地質調査，深度 500m ステージの水平坑道の掘削に先行するパイロットボーリング孔（図 3.1-1：12MI27 号孔，12MI32 号孔，12MI33 号孔）を利用した地質学的調査を実施するとともに，研究坑道周辺の地表と深度 300m ステージを利用した電気探査（自然電位測定）と，坑道掘削時の発破に伴い発生する振動を利用した弾性波探査（逆 VSP 探査）を実施した。また，これらの調査結果に基づき，サイトスケールの地質構造モデルの妥当性確認と必要な更新を行うとともに，深度 300m ステージおよびその周辺を対象としたブロックスケールの地質構造モデルを構築した。研究坑道周辺の地表における電気探査（自然電位）測定については，2012 年度で終了した。

2013 年度は，深度 500m ステージの水平坑道の掘削に伴う壁面地質調査，深度 300m ステージの水平坑道で電気探査（自然電位測定）を実施するとともに，深度 500m ステージの水平坑道において掘削されるボーリング孔を利用した地質学的調査を実施する。また，2012 度までに取得した逆 VSP 探査のデータ解析を実施する。これらの調査結果に基づき，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や更新およびブロックスケールの地質構造モデルの構築を進める。

(1)調査試験

①物理探査｛電気探査（自然電位測定），弾性波探査探査（逆 VSP 探査）｝

研究坑道周辺の地下水流動を規制する地質・地質構造を把握する技術の整備を目的として，深度 300m ステージの水平坑道を利用し，電気探査（自然電位測定）による地下水流動モニタリングを実施する。また，掘削する坑道の前方や坑道周辺の詳細な地質・地質構造の分布を推定する技術の整備を目的として，地表と坑道を利用して実施した逆 VSP 探査データを用いた地質構造解析を実施する。

②坑道の壁面地質調査

深度 500m ステージの水平坑道の掘削時に観察された土岐花崗岩中の割れ目（帯），断層，変質帯の分布やそれらの地質学，水理学的特徴に関する情報を取得する。

③ボーリング孔を利用した地質学的調査

深度 500m ステージの水平坑道において，再冠水試験の一環で掘削されるボーリング孔（3.4 参照）を利用して地質学的な調査を実施する。調査では，土岐花崗岩中の割れ目の性状に関する情報を取得する。

(2)モデル化・解析

3.1.1.1（1）の調査試験結果に基づき，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，必要に応じてモデルを更新する。また，坑道周辺に分布する地質構造(割れ目や小規模な断層)を反映したブロックスケールの地質構造モデルの構築を進める。併せて，これまでの調査結果に基づいて，花崗岩中の割れ目帯（上部割れ目帯および下部割れ目低密度帯）[1)]の分布や区分の考え方を再検討する。

(3)技術開発

地質・地質構造のモデル化に関する作業を通じて，地質構造モデルが有する不確実性の評価やその低減を図るための検討として，断層の位置や空間的広がりの確からしさを把握・評価する方法に関して，ESL（Evidential Support Logic）[2)]を用いた断層の解釈の確からしさの評価，ベイズ推定法による断層の存在確率分布の算出，断層の解釈の根拠となった情報量（例えば，リニアメントの分布，地表露頭における断層の把握，反射法弾性波探査の解釈による断層の推定，ボーリング調査による断層の捕捉）を定量的に表すセルエントロピー[3)]により，調査により取得された情報の評価の考え方などに関する検討を継続する。

3.1.2 岩盤力学に関する調査研究

2012 年度は，坑道周辺の初期応力状態を把握するため，深度 300m 坑道からボーリング孔（図 3.1-1：12MI28 号孔，12MI29 号孔）を掘削し，応力解放法の一つである円錐孔底ひずみ法による初期応力測定を実施した。また，深度 500m ステージの水平坑道の掘削に先行するパイロットボーリング孔（図 3.1-1：12MI27 号孔，12MI33 号孔）のコアを用いた DSCA 法（Differential Strain Curve Analysis）による初期応力測定を実施した。さらに，深度 500m ステージのパイロットボーリング孔（図 3.1-1：12MI27 号孔，12MI33 号孔）のコアを用いた室内力学試験を行い，深度 500m レベルの岩盤物性を把握した。

2013 年度は，深度 500m ステージにおいて円錐孔底ひずみ法により坑道周辺の初期応力状態を把握する。さらに，坑道の掘削に伴って蓄積される地質データや室内力学試験の結果などに基づいて，第 1 段階で構築した岩盤力学モデルの妥当性確認を行うとともに，等価連続体による数値解析からブロックスケールのモデル構築のための方法論を検討する。また，長期クリープ試験を継続し岩盤の長期挙動に関する観測を行うとともに，坑道周辺のクリープ挙動などの長期挙動把握のための原位置試験計画について引き続き検討する。

(1)調査試験

①初期応力測定

深度 500m における岩盤の初期応力状態を把握するため，深度 500m ステージにおいてボーリング孔（図 3.1-1：2013 年度掘削ボーリング孔（d））を掘削し，円錐孔底ひずみ法による初期応力測定を実施する。

(2)モデル化・解析

坑道の掘削に伴って蓄積される地質データおよび初期応力測定や室内力学試験などの各種試験結果に基づき，第 1 段階で構築したサイトスケールのモデルの妥当性を確認する。また，クラックテンソルモデルを用いて，割れ目を含む岩盤を等価連続体に置き換えた力学解析を継続し，割れ目に関する情報量が解析結果に与える影響などを分析し，ブロックスケールのモデル構築のための方法論の検討を継続する。

(3)技術開発

第 3 段階で行う岩盤の長期挙動予測手法の適用性評価のための原位置試験などの計画策定を目的とする解析・試験を継続する。具体的には，2012 年度までの現象論的方法および理論的方法による二通りのアプローチによる研究の成果を踏まえて，クリープ挙動や化学的反応による坑道周辺岩盤の長期挙動への影響を検討する。また，これらのアプローチによる原位置試験の計画策定

に必要な感度解析や物性取得を引き続き行う。さらに，10 年を超える試験データを蓄積している堆積岩（田下凝灰岩）の長期クリープ試験（1997 年開始）を継続する。

3.1.3 岩盤の水理に関する調査研究

第 2 段階において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を更新するためには，坑道掘削に伴う地下水の水圧や湧水量の変化に関わるデータを取得する必要がある。このうち，地下水の水圧については，不均質な水理地質構造に起因した水圧変化の空間的なばらつきを把握することが重要となる。また，坑道への湧水量については，主に覆工コンクリートや掘削影響領域の形成による湧水の増減などの水理学的影響（スキン効果）やグラウトの影響を強く受けることを考慮し，湧水量の観測のみならず，坑道近傍の水理特性を把握する必要がある。これらのことを考慮した地下水の長期モニタリングおよび湧水量の観測結果に基づき，水理地質構造モデルの更新（図 3.1.3-1）を行うとともに，更新したモデルとの比較を通じて，第 1 段階で構築した水理地質構造モデルの妥当性確認を行うこととしている。

2012 年度は, 地表および坑道から掘削したボーリング孔での地下水長期モニタリングならびに坑道への湧水量の観測を継続した。このうち，深度 300m 研究アクセス坑道から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：10MI23 号孔）では，主立坑断層近傍の地下水の水圧変化の把握を目的とした観測を行った。また，坑道近傍における水理特性を把握するために，深度 300m ボーリング横坑（換気立坑）から立坑に沿って掘削されたボーリング孔での地下水の水圧観測も継続している。さらに，表層水理（気象要素，河川流量，地下水位，土壌水分）定数観測についても継続した。これらの観測によって取得されるデータセットの更新に伴い，水理地質構造モデルの更新も継続的に実施した。

2013 年度は，2012 年度と同様に坑道掘削に伴う地下水の水圧や湧水量の変化を継続的に観測するための地下水長期モニタリングなどを実施する。また，これまでに蓄積されたデータに，新たに取得されるデータを加えることによってデータセットを更新し，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の確認および更新を行う。さらに，モデルの更新や妥当性確認を通じて，第 1 段階で提示した地下水流動特性を段階的に調査・評価するための方法論の適用性を評価するとともに適宜見直しを図る。また，坑道掘削に伴う地質環境の変化を合理的かつ精度よく把握するためのモニタリング技術やモニタリング結果を用いた水理地質構造モデルの更新手法を整備する。

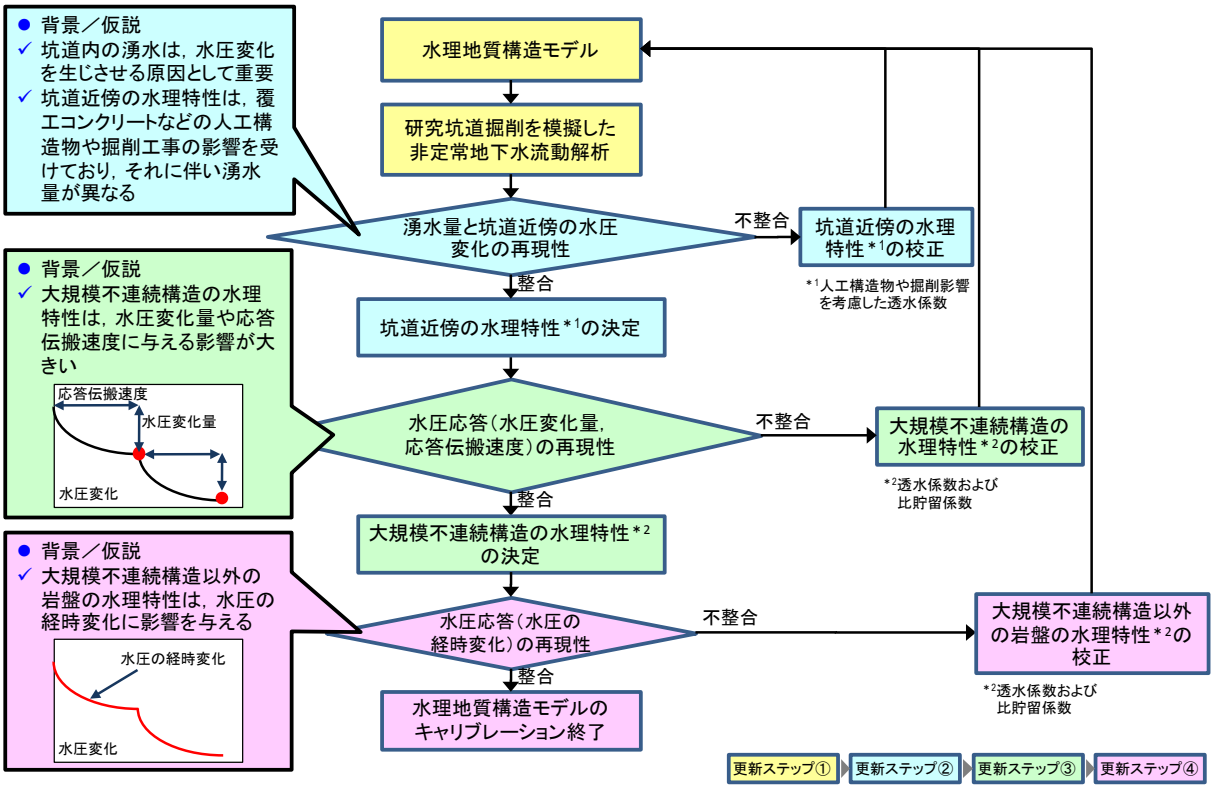


図 3.1.3-1　水理地質構造モデルの更新の流れ

(1)調査試験

①立坑の集水リングを用いた湧水量計測

坑道掘削により生じる湧水は，坑道周辺の地下水流動場に影響を与える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深度別の湧水量の違いを把握するために，深度 100m ごとの区間に 4 箇所程度設置している集水リング（図 3.1-1）の流量計で，立坑への湧水量の深度分布と，その経時変化を連続的に計測している。また，立坑掘削に伴って不連続構造や透水性の割れ目帯などに遭遇した場合には，必要に応じて，これらの構造を対象に集水リングを設置することにより，その水理特性に関する情報を取得している。

2013 年度は，2012 年度に引き続き，これまでに設置された集水リングを用いた湧水量計測を継続する。

②研究坑道から掘削したボーリング孔を用いた地下水の長期モニタリング

坑道の掘削に伴う湧水量，地下水の水圧などの観測結果を用いて，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確認や更新を行うためには，坑道近傍におけるスキン効果が湧水量に与える影響を評価する必要がある。このために，深度 200m ボーリング横坑（主立坑）から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：07MI08 号孔）および深度 200m ボーリング横坑（換気立坑）から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：07MI09 号孔）を用いて，立坑切羽（底面）が通過する前から実施している各深度の地下水の水圧観測を継続し，立坑掘削が地下水の水圧に及ぼす影響を把握する。また，深度 500m 研究アクセス南坑道から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：12MI32 号孔）および深度 500m 研究アクセス北坑道から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：12MI33 号孔）において，地下水の水圧観測を開始する。

坑道近傍での水平方向の地下水の水圧分布を把握するため，深度 300m ボーリング横坑（換気

立坑）において立坑壁面からの距離を変えて掘削した 3 本のボーリング孔（図 3.1-1：09MI17-1 号孔，09MI18 号孔，09MI19 号孔）での，深度 350m 付近を観測区間とした地下水の水圧観測を継続する。

また，深度 300m 研究アクセス坑道から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：10MI23 号孔）では，主立坑沿いに分布する断層の北東側の領域を対象に，立坑掘削に伴う地下水の水圧変化を把握するための観測を継続する。

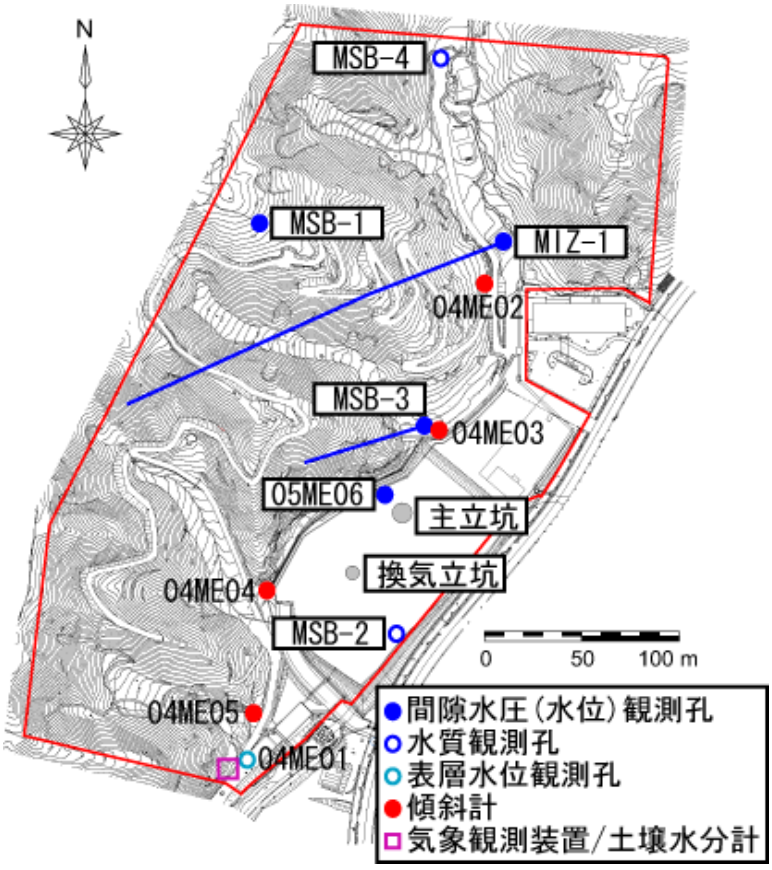


図 3.1.3-2　研究所用地内観測位置図

③地上から掘削した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表層水理観測

坑道の掘削が地質環境に与える影響を把握するために，第 1 段階より開始した地下水の長期モニタリング（図 3.1.3-2：MSB-1 号孔，MSB-3 号孔，MIZ-1 号孔および 05ME06 号孔），表層水理観測機器（図 3.1.3-2）を用いた連続観測を継続するとともに，傾斜計（図 3.1.3-2：04ME02 号孔，04ME03 号孔，04ME04 号孔および 04ME05 号孔）を用いて，微小な地表傾斜の観測を実施する。これらの観測で得られるデータに基づき，サイトスケールの水理地質構造モデルの妥当性を確認する。

(2)モデル化・解析

これまでに整理した水理地質構造モデルの更新の流れ（図 3.1.3-1）に基づき，地表および坑道から掘削したボーリング孔での地下水の長期モニタリングや，坑道からのボーリング調査結果に基づき，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確認および更新を行う。さらに，更新したモデルに基づく地下水流動解析を実施し，立坑への湧水量や地下水流動場の変化を予測し，今後の研究坑道の施工計画および第 3 段階の調査研究計画に反映させる。

(3)技術開発

①モニタリング装置の適用性の検討

これまでに，坑道および地表から掘削したボーリング孔における地下水長期モニタリングを通して，モニタリング装置の耐久性やモニタリング装置の特徴に合わせたメンテナンス方法を確認してきている。2013 年度についても，観測およびメンテナンス作業を通じて，モニタリング装置の耐久性の確認や合理的なメンテナンス方法の検討を継続する。さらに，観測を通じて得られた情報を基に，モニタリング装置の適用性や観測における留意点，モニタリング装置の選定に資する知見を蓄積する。

②地質環境データ解析・可視化システムの構築

これまでに，サイトスケールの地質構造／水理地質構造モデルの構築・更新およびそれを用いた地下水流動解析を，高い信頼性を保持しつつ迅速に実施することを目的に，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，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適宜実施してきた。具体的には，空間領域離散化の方法の改良や,パラメータ設定に係る機能拡張,解法の改良などを実施するとともに，その都度改良したシステムの信頼性を理論解や汎用的な解析コードによる解析結果との比較検討をしてきた。

2013 年度は，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，これまでに実施したシステムの改善および機能の拡張の有効性の確認を継続する。

③逆解析を用いたモデル化・解析手法の構築

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を支援することを目的として，水圧変化データや湧水量データから水理地質構造を推定するための地下水流動の逆解析手法を構築する。

3.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究

2012 年度は，既存ボーリング孔（図 3.1.3-2：MSB-2 号孔，MSB-4 号孔および MIZ-1 号孔，図 3.1-1：07MI07 号孔，09MI20 号孔，09MI21 号孔および 10MI26 号孔）を用いた地下水の水圧・水質観測，坑道内における壁面および集水リングを用いた坑内湧水の水量・水質観測を継続した。また，得られた観測結果に基づき，坑道掘削に伴う水質分布の変化に関する解析を行い，中長期的な水質変化に関わる予察を行った。

2013 年度は，第 2 段階の調査研究として，坑道掘削が研究所用地周辺の地球化学環境へ与える影響の把握を目的とした地下水の水圧・水質観測を研究所用地内で継続する。また，深度 500m において新たに開始する地下水の水圧・水質観測結果に基づき第 1 段階での調査結果の妥当性を確認するとともに，今後の坑道掘削に伴う水質分布の変化の予測結果を更新する。加えて，第 3 段階での調査研究のひとつである「物質移動に関する調査研究」（3.2 参照）に関する基盤情報を取得するため，コロイド，有機物に関する調査研究，酸化還元状態など物理化学特性の長期変遷に関わる試験研究を実施する。

(1) 調査試験

①坑道壁面および集水リングを用いた坑内湧水の水量・水質観測

坑道壁面での切羽湧水および集水リングより坑内湧水を採水し，測定・分析を行う。採水の頻度は，切羽湧水については観察時の 1 回とする。集水リングについては，これまでの観測結果を考慮し，設置後 6 箇月間は 1 回/週，6 箇月以降から 2 年目までは 1 回/月，2 年以上が経過した集水リングからは 4 回/年とし，掘削工事の状況などにより適宜変更することとする。測定・分析項目は，水温，pH，酸化還元電位，電気伝導度，溶存酸素濃度，主要成分濃度，安定・放射性同位体濃度などであり，得られる試料の品質に応じて分析項目を選定する。

②研究坑道から掘削したボーリング孔を用いた地下水の水圧・水質観測

各予備ステージから掘削したボーリング孔(深度 200m 予備ステージ:07MI07 号孔,深度 300m 予備ステージ：09MI20 号孔，深度 300m 研究アクセス坑道：09MI21 号孔，深度 400m 予備ステージ：10MI26 号孔，図 3.1-1）に設置したモニタリング装置を用いて，地下水の水圧・水質観測を継続する。また，新たに深度 500m 研究アクセス北坑道に掘削したボーリング孔（12MI33 号孔：図 3.1-1）において観測を開始する。各ボーリング孔では，設置したモニタリング装置を利用して水圧と物理化学パラメータの連続測定を行うとともに，設定した区間ごとに地下水を定期的に採水・分析する。測定・分析項目は，水温，pH，酸化還元電位，電気伝導度，溶存酸素濃度，主要・微量化学成分濃度，溶存ガス濃度，安定・放射性同位体濃度などである。具体的な分析項目は，採取する試料の品質や採取頻度を踏まえて決定する。また，坑道における他のボーリング調査により採取される地下水についても分析を行う。その他，地下水中の天然コロイドを定性･定量的に把握することを目的とした調査や酸化還元状態の長期変遷に関する調査を実施する。

③地表から掘削したボーリング孔を用いた地下水の水圧・水質観測

MSB-2 号孔および MSB-4 号孔（図 3.1.3-2）における地下水の水圧・水質観測（各区間 1 回/1～3 月程度の頻度）を継続する。

(2)モデル化・解析

坑道掘削による水質変化に関する既往の多変量解析結果を，新たに得られる観測データにより検証するとともに，大規模地下施設建設時の周辺地下水の水質の中長期的変化を予測する手法の適用範囲などを整理する。

(3)技術開発

第 3 段階の調査技術として，地下水中のコロイド／有機物の特性（サイズや種類，起源等）を把握することを目的とした技術開発を実施する。また，割れ目開口幅などを念頭において，坑道における解析の考え方を検討する。加えて，坑道閉鎖環境でも使用可能な地下水の水圧・水質モニタリング装置の開発を行い，深度 500m 研究アクセス北坑道に設置する。

3.1.5 深地層の工学技術の基礎の開発

2012 年度は，瑞浪超深地層研究所の深度 500m までの建設工事を通じて得られた情報に基づき，既存の設計技術，掘削技術，対策工（グラウト），安全対策に関連する技術等について，それらの有効性の評価などを行った。

2013 年度は，2012 年度に引き続き，建設工事を通じて得られた情報に基づき，設計技術，掘

削技術，対策工（グラウト），品質を確保する技術や安全対策に関連する技術の有効性を確認・評価していく。

(1)実施内容

坑道掘削の進捗にあわせて，坑道内における各種の計測工（A 計測，B 計測，C 計測など；以下の①参照）やセンサーの設置，施工に係る各種データの取得を行う。また，掘削中に取得されるデータを基に設計を見直すとともに，今後の設計，施工計画の立案に反映する。第 2 段階における工学技術に関する主な調査研究項目は，以下のとおりである。

・ 計測工
・ 施工情報のデータベース化
・ 解析・検討

以下に 2013 年度における具体的な実施内容を示す。

①計測工

坑道掘削中は，A 計測，B 計測，C 計測の三種類の計測工を実施する。現在，深度 500m の水平坑道掘削範囲で実施あるいは実施を計画している計測工を以下に示す。

a) A 計測
・内空変位計測（光波測距）

b) B 計測
・湧水量計測
・地中変位計測，ロックボルト軸力計測，吹付けコンクリート応力計測

c) C 計測
・壁面観察（観察場所；深度 500m 水平坑道（約 1.3m ごと））
　壁面マッピングおよび地質記載
　デジタルカメラによる可視画像データ採取

②施工情報のデータベース化

施工の品質管理の観点から，深度 500m までの施工に係る以下の情報についてデータを収集・蓄積する。

・計測工データ
　A，B，C 計測，環境計測
・坑内管理データ
　入坑管理，環境管理，火災管理，通信管理
・サイクルタイムに関するデータ
　発破孔数・時間，火薬・雷管の種類・数量，発破時間，発破パターン，ズリ出しの時間，ズリ量，型枠設置，覆工コンクリート打設など
・掘削の仕上がりに関するデータ
　覆工コンクリートの種類・打設量，掘削断面・余掘り形状など
・掘削機械・設備に関する品質データ
　巻上機，シャフトジャンボ，シャフトマッカなどの掘削機械の稼働状況，ワイヤーロープなどの設備の点検結果および覆工コンクリートの品質データ

③解析・検討

設計結果の妥当性の評価，その詳細化および高度化のために，設計時に実施した空洞安定性解析，耐震解析などの各種の解析結果と，①，②の計測結果とを比較・検討する。また，深度 168m 以深の土岐花崗岩に関する地質環境特性に関するデータ（地質情報，岩盤物性，初期応力など）を分析するとともに，必要に応じて数値解析を実施し，その結果を設計手法の妥当性の検討などに反映させる。

坑道の掘削，支保設置，ズリ出しの一連の施工に係る合理化技術，施工中に得られる地質環境情報の品質管理システム，施工後の品質確認のための調査・計測項目や計測方法の坑道掘削工事への具体的な適用・評価方法の検討を継続する。

施工対策技術（グラウト）の有効性を確認するため，深度 500m ステージで実施したグラウトの施工実績を取りまとめる。

研究坑道の地震時健全性評価のため，2006 年度に換気立坑深度 100m 地点に設置した地震計，2009 年度に換気立坑深度 300m 地点に設置した地震計，2010 年度に主立坑深度 300m 地点に設置した地震計および 2011 年度に換気立坑深度 500m 地点に設置した地震計により，地震動計測データの収集を継続する。地表部の地震動計測データについては，2004 年度に換気立坑工区施工請負者（清水・鹿島・前田共同企業体）が換気立坑の坑口付近に設置した地震計の計測データを利用する。

3.2 瑞浪超深地層研究所における第 3 段階の調査研究

3.2.1 地質環境の長期変遷に関する研究開発

(a)研究坑道掘削，維持管理時の地質環境特性の変化に関する情報の取得

坑道閉鎖時の坑道周辺の地質環境特性の回復過程を理解し，坑道閉鎖後の地質環境特性の変遷を推定する解析手法を構築することを目的とした調査研究を行う。この調査研究では，深度 500m 研究アクセス北坑道の先端に設ける冠水坑道において，止水壁を介して地下水の自然湧水による坑道再冠水と排水を繰り返す再冠水試験を行い，ブロックスケールおよびサイトスケールの水圧応答を観測する。観測データに基づき，サイトスケールの水理地質学的コンパートメント構造の分布，水圧回復プロセスに関わる知見を取得する。また，再冠水時の坑道周辺の応力状態，化学状態の変化について基礎データを取得する。これらの観測を通して，坑道閉鎖時の環境回復に関わる具体的な観測技術，解析技術を提案する。加えて，予察的にボーリング調査のためのピットを利用した簡易埋戻し試験も実施する。再冠水試験は大きく分けて，①坑道掘削前の水圧・水質分布の確認，②冠水坑道の掘削，③冠水坑道周辺でのボーリング調査，モニタリング装置設置，④止水壁の施工，⑤再冠水試験（繰り返し），⑥埋戻し材の回収・評価の手順で行う（図 3.2.1-1）。2013 年度はそのうち，①から③までの現場作業を実施する。

図 3.2.1-1　冠水坑道における再冠水試験の流れ

(1)調査試験

①坑道掘削前の水圧・水質分布の確認

2013 年度は，冠水坑道の掘削に先立ち 2012 年度に設置した水圧・水質モニタリング装置（図：3.1-1：12MI33 号孔）を利用して，冠水坑道の掘削に伴う水圧・水質変化の観測を行い，再冠水試験を開始する前の冠水坑道周辺の水圧・水質分布の初期状態を把握する。

②冠水坑道の掘削

2013 年度は，深度 500m 研究アクセス北坑道の延長部に斜坑部と水平部（冠水坑道）からなる掘削長約 100m の研究坑道を掘削する。

③冠水坑道周辺でのボーリング調査，モニタリング装置設置

2013 年度は，冠水坑道の掘削後，再冠水試験前から再冠水後の水圧・水質状態の回復過程，坑道周辺岩盤内の亀裂挙動を連続観測することを目的として，水圧・水質観測孔（図 3.1-1：2013 年度掘削ボーリング孔（b），（c）），力学観測孔（図 3.1-1：2013 年度掘削ボーリング孔（a））を掘削する（図 3.2.1-2）。各ボーリング孔には，岩盤変位と水圧・水質（物理化学パラメータ）の連続測定を行うためのモニタリング装置の設置を行う。なお，ボーリング孔の数量については，冠水坑道掘削後に詳細を検討する。

また，冠水坑道における水圧・水質観測孔および力学観測孔のうち，下向きに掘削されるボーリング調査のためのピットは，研究所の埋戻しに利用される埋戻し材の検討に利用される。これらの埋戻し材の化学的影響（元々存在しなかった二次鉱物やバイオマットの生成，セメント材料に由来する高アルカリ地下水の形成など）を把握するため，ピットの周囲に水質観測用のボーリング孔を掘削し，モニタリング装置を設置する。

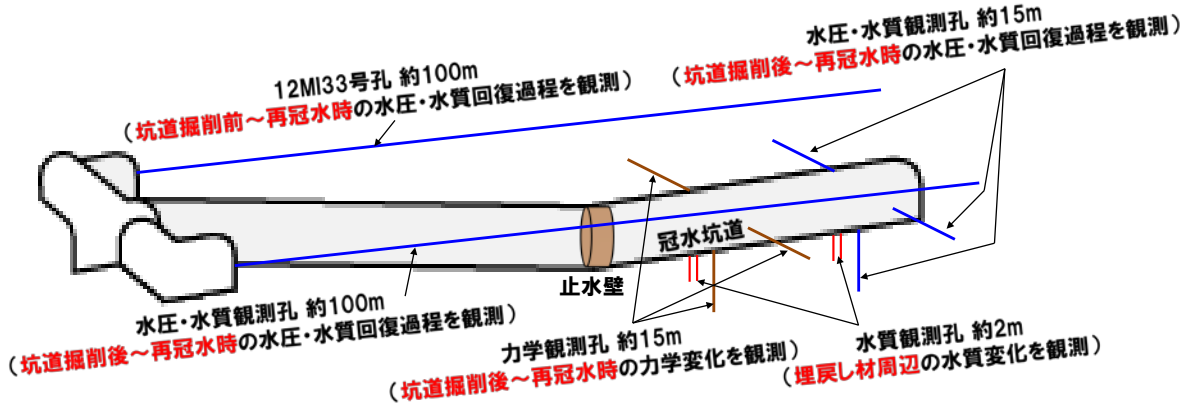


図 3.2.1-2　冠水坑道周辺のボーリング孔と観測内容

(2)モデル化・解析

再冠水試験に先立ち坑道周辺および研究所周辺の力学特性，地下水圧，水質の回復過程に関わるシミュレーション（非定常地下水流動解析など）を実施し，再冠水試験時のサイトスケールおよびブロックスケールにおける環境変化を予測する。

(3)技術開発

前述のボーリング孔に設置する坑道閉鎖環境でも使用可能な水圧・水質モニタリング装置の開発を行う。モニタリング装置の製作においては，長期的な再冠水試験に伴うセメント材料の溶解・再沈殿などの現象を踏まえて長期耐久性を担保するための設計検討を行う。また，冠水坑道における無線を用いた先端的モニタリング技術などの検討も行う。

(b)坑道閉鎖後の地質環境の中長期変化・長期変遷解析技術に関する研究開発

地上からの調査等によって取得される情報を活用して，地質環境特性の長期挙動を記述するための一連の調査・解析手法を整備する。

2013 年度は，主に坑道から掘削されたボーリング孔の情報を用いて，断層などの天然現象が地質環境に影響する範囲の推定方法を検討するとともに，花崗岩中の割れ目帯の分布と水理および地球化学特性の関係を検討する。

(1)調査試験

断層などの天然現象が地質環境に影響する範囲を推定する技術の整備を目的として，深度 300m ステージで掘削されたボーリングコアを利用して，割れ目，変質帯の分布や特徴に関する情報を取得する。また，地上から掘削されたボーリング孔の情報も活用し，サイトスケール（数 km×数 km）における割れ目の分布に関する情報を整理する。

(2)モデル化・解析

(1)の調査試験結果に，研究所の過去の地質学的変遷に関する情報を組み合わせて，割れ目の形成過程をモデル化する。

(3)技術開発

(1)および(2)の調査試験およびモデル化技術で得られた結果に基づいて，地質環境特性の長期挙動を記述するための一連の調査・解析手法を検討する。

3.2.2 物質移動に関する調査研究

2012 年度までは，「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」[4]，「超深地層研究所 地層科学研究基本計画」[5]および「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－」[6]に基づき，物質移動に関する調査研究計画の具体化を図ってきた。

これまでの研究により，研究坑道周辺に認められる不連続構造（割れ目や断層など）は，不連続構造の走向・傾斜，その周辺の変質の程度，充填鉱物の有無などの観点に基づき分類が行われている[7]。2012 年度は，このように分類された不連続構造と，それらの物質移動に関するパラメータ値の取得や，そこで生じる現象を理解するための調査技術を構築するために，割れ目や母岩を対象とした室内試験環境を整備するとともに，電中研との共同研究として，深度 300m ボーリング横坑（換気立坑）でのボーリング調査を行った。

また，物質移動に関するモデル化・解析技術を構築するために，既存の地質環境に関する情報（地質・地質構造，水理特性など）を整理し，割れ目の分布を考慮した坑道周辺のブロックスケール（100m×100m×100m）の水理地質構造モデルの構築と，それを用いた地下水流動解析により，坑道周辺の地下水流動場を推定した。さらに，地質環境に関する情報量やパラメータ値の設定などが解析結果に与える影響を検討するために，主として，確率論的な方法による物質移動に関する解析を行った。

2013 年度は，2010 年度から実施している電中研との共同研究として，深度 300m ステージにおいてボーリング調査や室内試験などを実施する（「5. 共同研究・施設利用等」参照）。また，2012 年度に整備した室内における透過拡散試験・収着試験，および物質移動に関するモデル化・解析などを継続する。これらの試験やモデル化・解析は，東海研究開発センターの協力を得て実施する計画である。

(1)物質移動の現象の理解に必要な室内試験技術の開発

研究坑道周辺に分布する割れ目は，既存の地質調査の結果に基づき地質学的，水理学的な観点（割れ目充填鉱物，割れ目形成過程，割れ目周辺の変質の程度，透水性など）によって分類されており [7]，このように分類された割れ目の特徴と，物質移動のパラメータ値の関係をまず理解する必要がある。そこで，2010 年度は，物質移動のパラメータ値のひとつである拡散係数を取得する既存の試験手法の適用性確認と，その結果を利用した割れ目と拡散係数との関係の推定を目的とした透過拡散試験を行った [8,9]。その結果，透過拡散試験 [10]の適用性は確認できたものの，割れ目と拡散係数の関係を十分把握することができなかった。

そこで，2012 年度より，透過拡散試験の試料に割れ目面を含む岩石試料を供試体とした透過拡散試験手法および試験により取得されるデータの評価・解析手法の構築を目的とした室内試験を開始した。

2013 年度は，透過拡散試験を継続するとともに，取得されるデータの評価・解析手法として，モデル化・予測解析などを開始する。

(2)物質移動モデルの構築と物質移動解析

既存の調査結果から深度 300m ステージの研究坑道周辺は，割れ目が発達していることが明らかになっている。割れ目は，物質が移動する主な経路となるが，坑道の周辺に分布する割れ目の全ての特徴（走向・傾斜，透水性など）を，調査により把握することは困難である。そのため，このような割れ目ネットワークモデルを構築するために必要な割れ目の特徴を統計学的な手法によって，パラメータを設定する手法が用いられている。そこで，物質移動モデルの構築と物質移動解析では，地上からのボーリング調査，研究坑道での壁面地質調査およびボーリング調査などの結果を統計処理し，ブロックスケールの割れ目ネットワークモデルの構築，水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析や物質移動解析に至る一連のモデル化・解析手法を構築することを目的とする。

2012 年度では，ブロックスケールの地下水流動場を推定するために，既存の調査結果に基づき，割れ目の走向・傾斜，地質学的，鉱物学的特徴等と，それらの水理特性に基づくパラメータを設定し，水理地質構造モデルの構築と，地下水流動解析を実施した。また，物質移動モデルの構築と物質移動解析では，水理地質構造モデルと同様のパラメータと，深度 300m ボーリング横坑（換気立坑）の壁面観察結果に基づき設定したパラメータを用いた感度解析を行い，割れ目の走向・傾斜，半径などのパラメータの設定方法が解析結果に与える影響について検討を開始した。

2013 年度は，2012 年度の調査により得られた新たな地質環境に関するデータに基づき，水理地質構造モデルを更新し，地下水流動解析を行うとともに，坑道周辺の地下水流動場を把握するためのモデル化・解析を岩盤の水理に関する調査研究と併せて行う。また，物質移動モデルの構築と物質移動解析については，感度解析的な考え方を適用したモデル化・解析手法の構築を，2012 年度から継続して，東海研究開発センターの協力を得て実施する計画である。

3.2.3 施工対策影響評価試験

第 3 段階では，坑道周辺に施される対策工（グラウト，吹付コンクリート，ロックボルト，鋼製支保工など）が坑道周辺の地質環境に与える影響を把握・評価するための施工対策影響評価試験を実施する計画である。

2013 年度は，2012 年度に引き続き海外の地下研究所や国内での先行事例および実施主体のニーズ等を整理し，原位置試験計画の策定を進める。なお，本試験については，外部資金により実施する計画である。

3.2.4 深地層の工学技術の基礎の開発

第 3 段階では，深地層の工学技術の基礎の開発の課題の一つである掘削影響の修復・軽減技術の開発の一環として，再冠水試験で設置する止水壁に関する検討を行う。2013 年度は，止水壁に関する文献調査を実施し，再冠水試験で設置する止水壁の設計および止水壁周辺の岩盤挙動評価などについて検討を行う。

3.3 正馬様用地における調査研究

2012 年度の正馬様用地での調査研究では，断層に着目した地下水流動場の把握を目的とし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を継続した。

2013 年度においても，上述の地下水の長期モニタリングおよび表層水理観測を継続する。

(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

正馬様用地内のボーリング孔（AN-1 号孔，AN-3 号孔， MIU-2 号孔，MIU-3 号孔，MIU-4 号孔：図 3.3-1）において地下水の長期モニタリングを行う。また，表層水理定数観測として，気象要素（雨雪量，蒸発散量，気温，湿度，風速など），河川流量，地下水位・土壌水分の観測を継続して実施する。

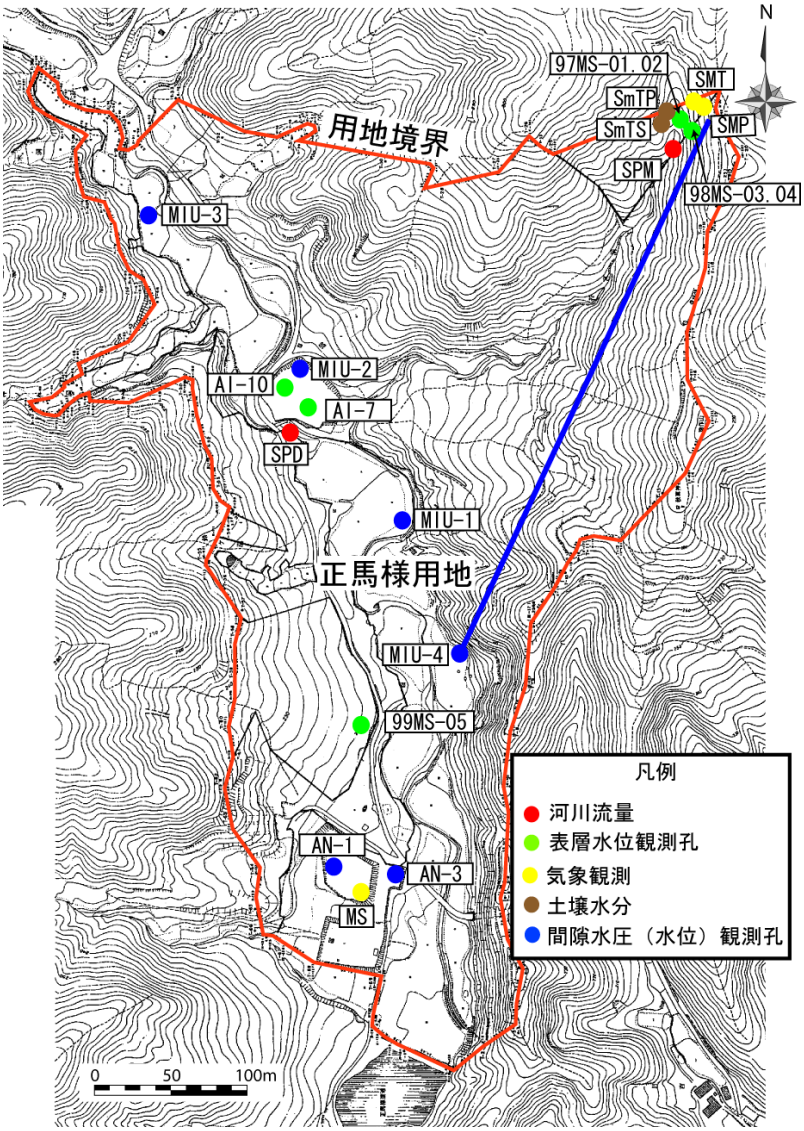


図 3.3-1　正馬様用地内における観測施設位置図[6]（原図は瑞浪市都市計画基本図）

3.4 瑞浪超深地層研究所における施設建設計画

(1)施設建設

2013 年度は，深度 500m において水平坑道を 250m 程度掘削する（図 3.1-1）。掘削に際しては，坑道掘削前に湧水の可能性を確認するための探り削孔を行い，その結果，湧水が多い場合は，湧水抑制対策としてグラウトを行う。深度 500m 研究アクセス南坑道については，前方の地質環境を把握するために 2012 年度から実施しているパイロットボーリング調査（図 3.1-1：12MI32 号孔）を継続し，同調査完了後に掘削する。

坑道掘削工事に伴い発生する坑道内の湧水は，地上に設置している排水処理設備により適切に処理し，岐阜県および瑞浪市と原子力機構の間で締結している「瑞浪超深地層研究所に係る環境保全協定」（以下，「環境保全協定」）に基づく管理基準値に適合させた水質での河川への放流を継続する。排水処理については，処理方法や設備規模などについて検討し，費用対効果を判断し環境保全を最優先としつつ対応を進めていく。

坑道掘削工事に伴い発生する掘削土については，「環境保全協定」に基づき測定を行い，管理を継続して行う。

(2)周辺環境モニタリング調査

2013 年度は，2012 年度に引き続いて坑道掘削に伴う周辺環境への影響の有無を確認するため，以下のモニタリングを継続する。

・排水処理水の水量・水質の測定

排水処理プラントの放流水の pH，濁度などの測定を実施する。

・河川の流量測定および水質分析

（流量測定）

研究所用地近傍の狭間川の上流，下流において計 4 地点で河川流量測定を実施する。

（水質分析）

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，排水口の上流および下流の計 2 箇所で生活環境項目および健康項目に関する水質分析を実施する。また，狭間川の上流，下流，立坑湧水および排出水の塩化物イオン濃度を測定する。

・井戸の水位測定

研究所用地近傍の 10 箇所において井戸の水位測定を実施する。

・騒音・振動測定

用地境界 1 箇所において騒音・振動測定を実施する。

参考文献

1) 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）”，核燃料サイクル開発機構，JNC TN7400 2005-007（2005）.
2) Hall, J.W., Blockley, D.I. and Davis, J.P.: “Uncertain inference using interval probability theory”, International Journal of Approximate Reasoning, 19（3-4）, pp.247–264 （1998）.
3) 正路徹也：“地球科学情報の評価”，情報地質，14，pp.285-299（2003）.
4) 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”（2010）.
5) 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”，日本原子力研究開発機構，JAEA-Review 2010-016（2010）.

6) 三枝博光，松井裕哉，濱 克宏，佐藤稔紀，鶴田忠彦，竹内竜史，國丸貴紀，松岡稔幸，水野 崇：“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-” ，日本原子力研究開発機構 , JAEA-Review 2011-022（2011）.
7) 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，丹野剛男，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(2009 年度)，日本原子力研究開発機構 , JAEA-Review 2011-007（2011）.
8) 國丸貴紀，森川佳太，舘 幸男，久野義夫，細谷真一，下田紗音子，加藤博康，中澤俊之，生瀬博之，久保田政子：“花崗岩試料を用いた収着・拡散試験および間隙率測定” ，日本原子力研究開発機構 , JAEA-Data/Code 2012-013（2012）.
9) 國丸貴紀，見掛信一郎，西尾和久，鶴田忠彦，松岡稔幸，石橋正祐紀，上野孝志，徳安真吾，大丸修二，竹内竜史，三枝博光，尾上博則，武田匡樹，狩野智之，水野 崇，萩原大樹，佐藤稔紀，真田祐幸，丹野剛男，引間亮一，森川佳太，湯口貴史，尾方伸久，濱 克宏，池田幸喜，山本 勝，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(2010 年度），日本原子力研究開発機構 , JAEA-Review 2012-020（2012）.
10) 佐藤浩夫，舘 幸男，澁谷朝紀：“亀裂状結晶質岩におけるイオンのマトリックス拡散”，サイクル機構技報 , no.4, pp.75-85（1999）.

4. 調査研究成果の統合化

①地質環境調査の体系化，知識化

地層処分における安全評価・設計に必要な情報を取得するための手法として，地質環境調査手法および評価手法を体系化するとともに，実施主体や規制機関などに提供するため知見を整理する。具体的には，主として第 1 段階に実施した地質環境の調査・解析の流れや，それらを実施するうえでの知見や判断根拠などを整理する。

②データベースの構築

東濃地科学センターにおける「深地層の科学的研究」の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）の運用を継続するとともに，それを通じて抽出されたシステムの問題点の改善や機能拡張を実施する。さらに，成果情報の基となる，調査研究の進展に伴い蓄積されるデータや解釈・解析結果，知見などを管理・共有するためのデータベース（地質環境特性評価データベースシステム）および坑道の掘削工事における工事工程や関連文書などを管理するためのデータベース（工程情報管理システム）について，運用を継続するとともに，運用を通じて適宜改良を実施する。

5. 共同研究・施設利用等

2013 年度は, 以下の外部研究機関等との共同研究等および研究所研究坑道の施設利用を行う予定である。

(1) 共同研究等

①一般財団法人 電力中央研究所 : 瑞浪超深地層研究所周辺の水理・物質移動特性評価および地下水年代測定技術に関する研究

地下水の年代測定技術および物質移動の現象の理解やそれに関わるパラメータを取得するための調査技術について，現実の地質環境への適用性の確認を目的として，電中研との共同研究を実施している。

2012 年度は，深度 300m ボーリング横坑（換気立坑）において，トレーサー試験装置の原位置での適用性を確認するための試験場所を選定するために，2 本のボーリング調査（図 3.1-1：12MI30 号孔，12MI31 号孔）を実施した。その結果，2 本のボーリング孔の孔間に連続する透水性割れ目が複数確認できたものの，それらの連続性が単一の割れ目ではなく，複数の割れ目が連結したネットワーク構造を有している可能性が確認された。

また，地下水年代測定技術に関する研究では，地下水年代測定技術の高度化を図るために，坑道内や地上からのボーリング孔において地下水の採水や，地化学反応による ^{14}C 年代値の補正を実施するために，コアの採取・分析と化学解析を実施した。

2013 年度は，主に，深度 300m ステージを対象として，2012 年度に掘削したボーリング孔に設置したモニタリング装置を利用した孔間透水試験や，トレーサー試験装置の原位置での適用性を確認するための試験場所を選定するために，新たに数本のボーリング調査を実施する。また，地下水の流速を評価するために，単一のボーリング孔で実施可能なポイント希釈法による試験を実施する。

地下水年代測定技術に関する研究では, 2012 年度に引き続き地下水年代測定技術の高度化を図るために，坑道内や地上からのボーリング孔において地下水の採水や，地化学反応による ^{14}C 年代値の補正を実施するために，コアの採取・分析と化学解析を継続して実施する。

②独立行政法人 産業技術総合研究所 : 地球化学環境変動要因としての有機物・微生物の影響評価手法の技術開発と高度化

地下深部の地球化学環境形成に係る生物化学的プロセスの影響や，その変化の予測手法に関する調査手法を確立することを目的として，原位置における微生物の代謝活性様式やその栄養源となる有機物の調査を行い，地下深部における生物化学的プロセスを推定する。

2012 年度は, 坑道内から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：07MI07 号孔, 09MI20 号孔, 09MI21 号孔および 10MI26 号孔）および地表から掘削したボーリング孔（図 3.1.3-2：MSB-2 号孔および MSB-4 号孔）を用いた調査を行い，各深度における微生物の群集組成の経時変化を把握するとともに，その変化を支配する要因について検討した。

2013 年度は，主に，地下水中の有機物の採取手法や分析方法に関わる検討を行う。

③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する。

2012 年度は，主に地質環境調査（地質学的調査，水理学的調査，地下水の地球化学的調査，力学調査）および地質環境のモデル化技術について，第 9 回技術検討会議（於：日本・瑞浪）を実施した。

2013 年度は，主に地質環境調査および地質環境のモデル化技術についての，第 9 回技術検討会議での議論の結果を踏まえ，その後の両機関の検討結果について第 10 回技術検討会議（於：韓国）を開催する。

④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における調査計画の立案・実施に関する技術的支援およびグリムゼル試験場における長期拡散試験

Nagra がこれまでに蓄積してきたサイト特性調査，地下研究施設（グリムゼル原位置試験場やモンテリ試験場など）での調査計画および管理運営に関する経験などに基づいて，超深地層研究所計画で実施する地質環境調査に対する技術的な助言や，研究成果のレビュー等を実施してきた。また，グリムゼル原位置試験場では，結晶質岩を対象に原位置トレーサー試験のひとつとして，放射性の元素を用いた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た長期拡散試験（Long-Term Diffusion: LTD）プロジェクトを進めている。本プロジェクトには，原子力機構を含む 4 機関が参加し，実際に放射性の元素を用いた試験やモデル化手法の構築に関する研究を実施している。また，原子力機構では，このような試験に関する知識やノウハウを収集整理し，知識ベースとして蓄積している。

2012 年度は，物質移動に関する調査研究について，主に，原位置試験や室内試験計画を議論し，調査研究計画に反映した。また，地上からの調査段階で実施したボーリング調査での水理試験に関する品質マネジメントシステムの構築に関する共同研究を実施した。

2013 年度は，研究の進捗を考慮して，引き続き技術検討会議を通じて第 3 段階の調査研究計画での水理地質環境に関する試験計画の検討や第 2 段階までの地質・地質構造調査結果に関する検討を行う。また，グリムゼル試験場における長期拡散試験に関するプロジェクトでは，既存情報に基づいて実施した予測解析と同じモデルを用い，実際に原位置試験や室内試験により取得した物質移動特性に関する情報を用いた事後解析などを継続して実施し，物質移動解析技術の適用性確認に資する。

⑤学校法人 東海大学：種々の計測結果に基づく深部岩盤中の応力評価に関する基礎的研究

坑道の発破掘削後に認められる装薬孔残部の観察結果に基づく初期応力評価法の適用性検討やブロックスケールおよびサイトスケールの応力状態の理解のために間接的な応力場評価手法（断層条線方向からの応力推定法，GPS 観測結果に基づく主応力方向推定法，地震発生機構の解析による主応力方向推定法など）の適用を，研究所で取得される様々な情報を用いて実施する。

原子力機構では，水圧破砕法や応力解放法といった原位置測定法および DSCA 法などのコア法による初期応力の評価に取り組んでいる。これらの方法は多数の実績があり，評価方法が確立している。一方，東海大学では，発破後の残存装薬孔，断層の条線，GPS 観測結果など既存のデータを解析することにより初期応力を評価する方法を検討している。東海大学が新たに提案する方法による評価結果と原子力機構が実施している方法による評価結果を比較し，東海大学が提案する評価方法の有効性を検討する。

2012 年度は，深度 500m ステージ掘削の壁面観察時に装薬孔残部周辺の損傷状況のデータを取得し，初期応力の評価を実施した。

2013 年度は，共同研究の最終年度となるため，これまでの研究成果を取りまとめる。

⑥株式会社 東京測器研究所:光ファイバひび割れ検知センサの安全確保技術としての適用性に関する研究

深地層の工学技術の開発のうち，安全対策に関する技術の有効性確認の一環として，同社が開発した光ファイバひび割れセンサの適用性確認を目的とした共同研究を2011年度より開始した。本研究では，瑞浪超深地層研究所の深度300mステージで，温度・湿度環境が異なる3箇所（深度300mボーリング横坑(換気立坑),避難所および深度300m研究アクセス坑道11m計測坑道）に同センサを設置し，センサおよび坑道壁面とセンサを接着させるために用いた接着剤の長期耐久性を確認する試験を実施する。

2012年度は，2011年度に引き続き，センサおよび接着剤の長期耐久性を確認する試験を継続し，約3箇月の間隔で4月，7月，11月，1月にセンサおよび接着剤の点検を実施するとともに，これらの耐久性を確認した。

2013年度は，2012年度に引き続き，センサおよび接着剤の長期耐久性確認試験を継続し，約3箇月の間隔で点検を実施する。

⑦国立大学法人 東京大学：地下深部における酸化還元環境の長期的な変化に関する研究

地下深部の酸化還元環境の長期的な変化およびそれらを支配する要因を把握するための調査技術の開発を目的として，東濃地域に分布する瑞浪層群および基盤岩である土岐花崗岩に関する既存のデータを利用し，瑞浪層群が堆積した約27Ma以降について，酸化還元状態の変遷を地球化学モデリング等により明らかにする。また，酸化還元環境の指標となる物質を抽出し，整合性を確認する。

2012年度は，現在の酸化還元状態の把握と，酸化還元とウランの長期変遷の解析を実施した。

2013年度は，地下水や鉱物の化学組成を指標として，酸化還元状態の変遷の推測手法の検討を行う。

⑧国立大学法人 京都大学:岩石透水性の時間－空間変化の解明と超長期地下水流動予測への応用

本研究は，研究坑道壁面やボーリングコア試料を用いて，透気試験，分光スペクトル測定，蛍光X線分析などの調査試験を実施し，岩盤の透水係数や変形および変質の性状や分布などを把握するとともに，それらの時間－空間変化を支配する因子や物理的・化学的メカニズムを解明し，さらにそれに基づいて，超長期にわたる地下水流動パターンを予測するためのコンピュータ・シミュレーション法の開発を目的とする。

2013年度は，2012年度に引き続き，ボーリングコア試料を用いた調査試験とモデル化・解析を継続するとともに，本研究の最終年度となるため，これまでの研究成果を取りまとめる。

⑨学校法人五島育英会 東京都市大学：岩石・地下水中の微量元素の放射化分析手法に関する研究

岩石中の微量元素の分布状態や化学的挙動を把握するための調査技術の開発を目的として，岩石や地下水を対象とした放射化分析手法の検討を行う。

2012年度は，土岐花崗岩中の割れ目充填鉱物の放射化分析を行い，岩石変質時の微量元素の分布状態に関わる調査を行った。

2013年度は,微生物が割れ目表面に形成するバイオマットや地下水中のコロイド粒子の放射化分析手法について，その適用性を確認する。

⑩清水建設株式会社・シャルマール工科大学：溶液型グラウトに関する研究

溶液型グラウトの設計・評価手法と現場への適用性を評価することを目標として，シャルマー

ル工科大学が実施したスウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（SKB）のエスポ硬岩研究所 TASS トンネルにおける溶液型グラウトおよび瑞浪超深地層研究所における深度 300m での溶液型グラウトの比較研究を行う。

2013 年度に共同研究契約を締結し，共同研究の具体的な実施内容について検討する。

(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。

2012 年度は，2011 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，研究坑道を利用した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 年度に深度 100m 予備ステージ中央部付近に設置した傾斜計，2007 年度に同予備ステージに設置した地震計，2008 年度に深度 200m ボーリング横坑（換気立坑）内に設置した応力計，傾斜計および地震計，2011 年度に深度 300m 研究アクセス坑道終端部に設置した重力計による連続観測を実施した。また，深度 100m から深度 400m の各ステージに地震計を設置し，地震波速度観測を開始した。さらに，深度 300m 研究アクセス坑道 11m 計測横坑においてボーリング孔を掘削し，岩盤の応力変動の観測のための応力計を設置し観測を開始した。原子力機構は，これらの観測および作業に協力した。

2013 年度は，東濃地震科学研究所が実施するこれらの観測，メンテナンスおよび新たな装置設置等のための協力を継続する。

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）の一部を貸与することとした。

2012 年度は，原子核乾板の深度 200m ボーリング横坑（主立坑）への設置・保管作業に協力した。

2013 年度は，深度 200m ボーリング横坑（主立坑）への資材の搬出入やメンテナンス作業のための協力を継続する。

6. おわりに

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，超深地層研究所計画における 2013 年度に実施する調査研究などの内容を年度計画書としてまとめた。

本年度計画は，超深地層研究所地層科学研究基本計画 [1]およびこれまでの調査研究で得られた成果・課題などを踏まえたものであり，この計画に沿った研究の実施は，地層処分技術に関する研究開発の着実な進展に資するものであると考える。

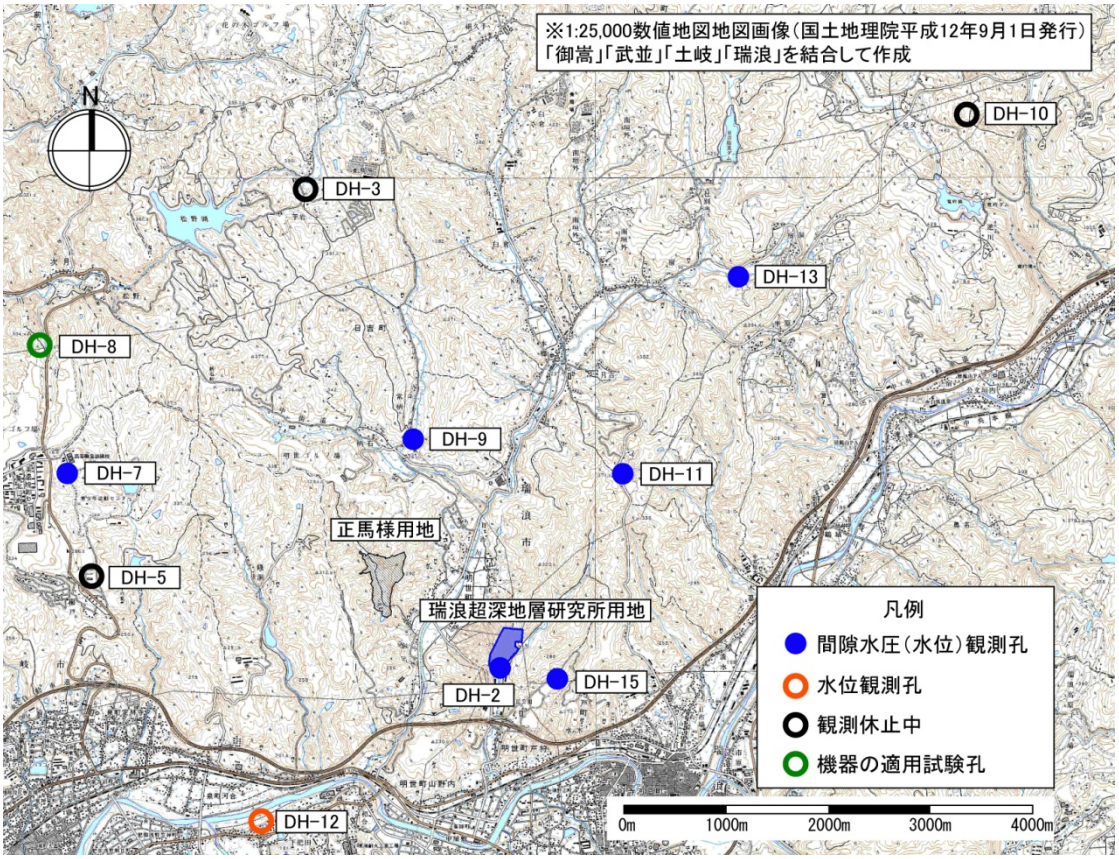
参考文献

1) 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）.

付録 1 広域地下水流動研究 2013 年度計画

本研究は，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・解析技術などの開発を目標として 1992 年度から進めてきており，2004 年度をもって主な現場調査（ボーリング調査など）を終了した[1)]。2005 年度以降は，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定数観測（河川流量，降水量）および既存のボーリング孔を用いた地下水の長期モニタリングを継続している。また，外部研究機関との研究協力などに係わる調査／観測技術の開発の場として，既存ボーリング孔を活用することとしている。

2013 年度については，上述した表層水理定数観測および地下水の長期モニタリングを継続する。具体的には，既存のボーリング孔（DH-2 号孔，DH-7 号孔，DH-9 号孔，DH-11 号孔，DH-13 号孔，DH-15 号孔）において地下水の長期モニタリングを行う（付図 1）。また，表層水理定数観測として，日吉川流域での河川流量観測，柄石川流域での河川流量および降水量の観測を継続して実施する。また，DH-8 号孔において光ファイバを用いた長期水圧観測機器の適用試験を実施する。



付図 1　ボーリング孔配置図

参考文献

1) 岩月輝希，太田久仁雄，竹内真司，天野健治，竹内竜史，三枝博光，松岡稔幸，大澤英昭：“広域地下水流動研究 年度報告書（平成 16 年度）”，JNC-TN7400 2005-013（2005）.

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	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	A
熱力学温度	ケルビン	K
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

組立量	SI 基本単位	
	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ートル	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	アンペア毎平方メートル	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	モル毎立方メートル	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) これらは無次元量あるいは次元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

組立量	SI 組立単位			
	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
平面角	ラジアン[b]	rad	1 [b]	m/m
立体角	ステラジアン[b]	sr[c]	1 [b]	m^2/m^2
周波数	ヘルツ[d]	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力，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	C		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	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	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, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト[g]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
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、ベクレルは放射性核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。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（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

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	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}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

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	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
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単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

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
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	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	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(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
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	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）
ミクロン	μ	$1\ \mu\ =1\mu m=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています