JAEA-Review
2009-002

JAEA-Review

超深地層研究所計画 年度報告書（2007年度）

Mizunami Underground Research Laboratory Project Annual Report
for Fiscal Year 2007

西尾 和久　松岡 稔幸　見掛 信一郎　鶴田 忠彦
天野 健治　大山 卓也　竹内 竜史　三枝 博光
濱 克宏　水野 崇　齋 正貴　平野 享
弥富 洋介　島田 顕臣　松井 裕哉　尾方 伸久
池田 幸喜　山本 勝　内田 雅大　杉原 弘造

Kazuhisa NISHIO, Toshiyuki MATSUOKA, Shinichiro MIKAKE, Tadahiko TSURUTA
Kenji AMANO, Takuya OHYAMA, Ryuji TAKEUCHI, Hiromitsu SAEGUSA
Katsuhiro HAMA, Takashi MIZUNO, Masataka SAI, Toru HIRANO
Yosuke IYATOMI, Akiomi SHIMADA, Hiroya MATSUI, Nobuhisa OGATA
Koki IKEDA, Masaru YAMAMOTO, Masahiro UCHIDA and Kozo SUGIHARA

地層処分研究開発部門
結晶質岩工学技術開発グループ

Crystalline Environment Engineering Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2009

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

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（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, 2009

JAEA-Review 2009-002

超深地層研究所計画　年度報告書(2007 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

西尾　和久※, 松岡　稔幸, 見掛　信一郎[+1], 鶴田　忠彦, 天野　健治, 大山　卓也,
竹内　竜史, 三枝　博光, 濱　克宏, 水野　崇, 齋　正貴※, 平野　享※, 弥富　洋介,
島田　顕臣, 松井　裕哉, 尾方　伸久, 池田　幸喜[+1], 山本　勝[+1], 内田　雅大, 杉原　弘造

(2009 年 1 月 6 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 段階からなる約 20 年の計画であり, 現在は, 第 2 段階である「研究坑道の掘削を伴う研究段階」を進めている。

本報告書は, 2002 年 2 月に改訂した「超深地層研究所基本計画」に基づき, 超深地層研究所計画の第 2 段階「研究坑道の掘削を伴う研究段階」における 2007 年度に実施した 1)調査研究, 2)施設建設, 3)共同研究等の成果を取りまとめたものである。

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
※;技術開発協力員

JAEA-Review 2009-002

Mizunami Underground Research Laboratory Project

Annual Report for Fiscal Year 2007

Kazuhisa NISHIO※, Toshiyuki MATSUOKA, Shinichiro MIKAKE+1, Tadahiko TSURUTA,
Kenji AMANO, Takuya OHYAMA, Ryuji TAKEUCHI, Hiromitsu SAEGUSA, Katsuhiro HAMA,
Takashi MIZUNO, Masataka SAI※, Toru HIRANO※, Yosuke IYATOMI, Akiomi SHIMADA,
Hiroya MATSUI, Nobuhisa OGATA, Koki IKEDA+1, Masaru YAMAMOTO+1,
Masahiro UCHIDA and Kozo SUGIHARA

Tono Geoscientific Research Unit

Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency

Akeyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

（Received January 6, 2009）

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) at Tono Geoscience Center (TGC) is developing a geoscientific research project named Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project in crystalline rock environment in order to establish scientific and technological basis for geological disposal of HLW. Geoscientific research at MIU is planned to be carried out in three phases over a period of 20 years; Surface-based Investigation Phase (Phase Ⅰ), Construction Phase (Phase Ⅱ) and Operation Phase (Phase Ⅲ). Currently, the project is under the Construction Phase.

This document presents the following results of the research and development performed in fiscal year 2007, as a part of the Construction Phase based on the MIU Master Plan updated in 2002,

1) Investigation at the MIU Construction Site and the Shobasama Site,
2) Construction at the MIU Construction Site,
3) Research Collaboration.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory, MIU Project, Geological disposal of HLW, Crystalline Rock

---

+1 ; Geoscience Facility Construction Section, Tono Geoscience Center

※ ; Collaborating Engineer

目 次

1. はじめに 1
2. 超深地層研究所計画の概要 2
2.1 瑞浪超深地層研究所周辺の地質 3
2.2 瑞浪超深地層研究所の施設概要 4
2.3 超深地層研究所計画の目標 5
2.4 空間スケールの設定 5
3. 2007 年度の調査研究の概要 9
3.1 研究所用地における調査研究の概要 9
3.2 研究所用地における施設建設の概要 9
3.3 正馬様用地における調査研究の概要 9
4. 研究所用地における調査研究および施設建設 10
4.1 地質・地質構造に関する調査研究 10
4.2 岩盤力学に関する調査研究 27
4.3 岩盤の水理に関する調査研究 33
4.4 地下水の地球化学に関する調査研究 47
4.5 深地層における工学技術に関する研究 57
4.6 調査技術開発 66
4.7 研究所用地における施設建設 66
5. 正馬様用地における調査研究 72
6. 共同研究・施設供用 79
7. 量子ビーム応用研究部門との連携融合研究 82
8. おわりに 84
付録 広域地下水流動研究 2007 年度報告 85

Contens

1. Introduction 1
2. Overview of the Mizunami Underground Research Laboratory Project 2
2.1 Geology 3
2.2 Overview of the MIU facilities 4
2.3 Goals of the MIU Project 5
2.4 Spatial scales 5
3. Outline of the R&D activities in FY2007 9
3.1 R&D activities at the MIU Construction Site 9
3.2 Construction at the MIU Construction Site 9
3.3 R&D activities at the Shobasama Site 9
4. Results of investigations and construction at the MIU Construction Site in FY2007 10
4.1 Geological investigations 10
4.2 Rock mechanical investigations 27
4.3 Hydrogeological investigations 33
4.4 Hydrochemical investigations 47
4.5 Development of engineering technology for deep underground 57
4.6 Development of investigation techniques and equipment 66
4.7 Construction at the MIU Construction Site 66
5. Investigation results at the Shobasama Site in FY2007 72
6. Research collaboration with related research organizations 79
7. Research collaboration with Quantum Beam Science Directorate 82
8. Conclusions 84
Appendix Results on the Regional Hydrogeological Study Project in FY2007 85

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]に示されている「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を進めている。このうち, 超深地層研究所計画は, 結晶質岩(花崗岩)を主な対象として岐阜県瑞浪市において進めている研究計画である。

東濃地科学センターでは, 1994 年 6 月に公表された「原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画(以下, 原子力長計)」[2]において示されている「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」との方針および明らかにされた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)に新たな役割が示されことに伴い, 2001 年 4 月に基本計画の改定を行った [5]。また, 2002 年 1 月に, 瑞浪市と瑞浪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の施設建設を同市有地へ変更したことを機に, 再度, 基本計画を改訂した [6]。なお, 基本計画の改訂は, 超深地層研究所における調査研究や我が国の地層処分研究開発等の進展に伴って適宜行う予定である。

本報告書は, この基本計画 [6]に基づき作成した 2007 年度の年度計画 [7]に基づき実施した, 超深地層研究所計画の第 2 段階(研究坑道の掘削を伴う研究段階)における 2007 年度の調査研究の成果を示したものである。

また, 東濃地科学センターでは, 地質環境特性の研究を担うプロジェクトの一つとして, 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, 1992 年度より土岐花崗岩体を包含する 10km 四方の領域を対象に, 広域における地表から地下深部までの地質・地質構造, 岩盤の水理や地下水の水質を明らかにするために必要な調査・解析技術などを開発することを目標として進めてきたが, 2004 年度末をもって主な現場調査を終了した。

2005 年度からは, 超深地層研究所計画における研究坑道の建設に伴う周辺の岩盤や地下水への影響をモニタリングするために, 広域地下水流動研究で掘削されたボーリング孔において長期観測を実施している。本報告書の巻末に, 広域地下水流動研究における 2007 年度の調査研究の成果を示す。

参考文献

1) 原子力委員会:“原子力政策大綱”(2005).
2) 原子力委員会:“原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画”(1994).
3) 動力炉・核燃料開発事業団:“超深地層研究所地層科学研究基本計画”, PNC TN7070 96-002 (1996).
4) 原子力委員会:“原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画”(2000).
5) 核燃料サイクル開発機構:“超深地層研究所地層科学研究基本計画 2001 年 4 月”, 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 2002 年 2 月”, JNC TN7410 2001-018(2002).
7) 日本原子力研究開発機構:“超深地層研究所計画年度計画書(2007 年度)” JAEA-Review 2007-038(2007).
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).

2. 超深地層研究所計画の概要

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

本計画は，基本計画 [1]に基づき，岐阜県瑞浪市明世町にある原子力機構用地（図 2-1：正馬様用地）において「地表からの調査予測研究段階（第 1 段階）」を進めてきた。その後，2002 年 1 月に瑞浪市と市有地の賃貸借契約を締結し，超深地層研究所の研究坑道等の建設施設を市有地（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。

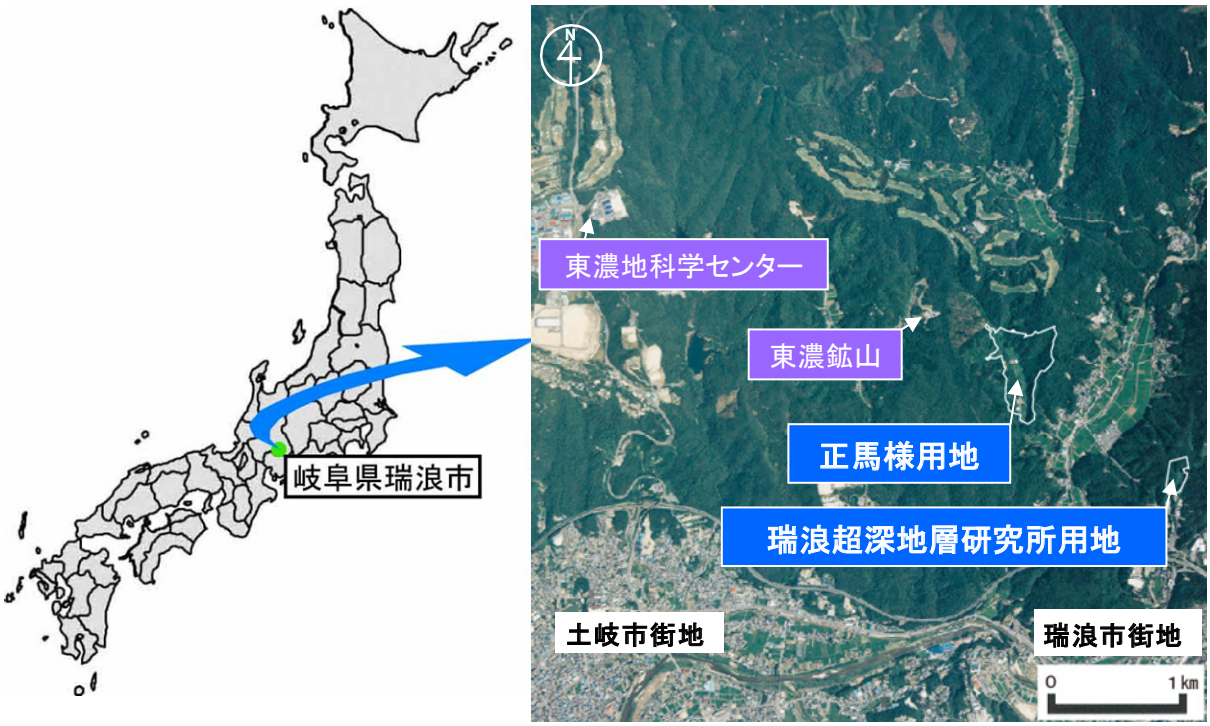


図 2-1 超深地層研究所の設置場所

2.1 瑞浪超深地層研究所周辺の地質

研究所用地および正馬様用地，ならびにその周辺においては，基盤をなす後期白亜紀の花崗岩（土岐花崗岩）を新第三紀中新世の堆積岩（瑞浪層群）が不整合に覆い，さらにそれを固結度の低い新第三紀鮮新世の砂礫層（瀬戸層群）が不整合に覆っている（図 2.1-1）[2]。

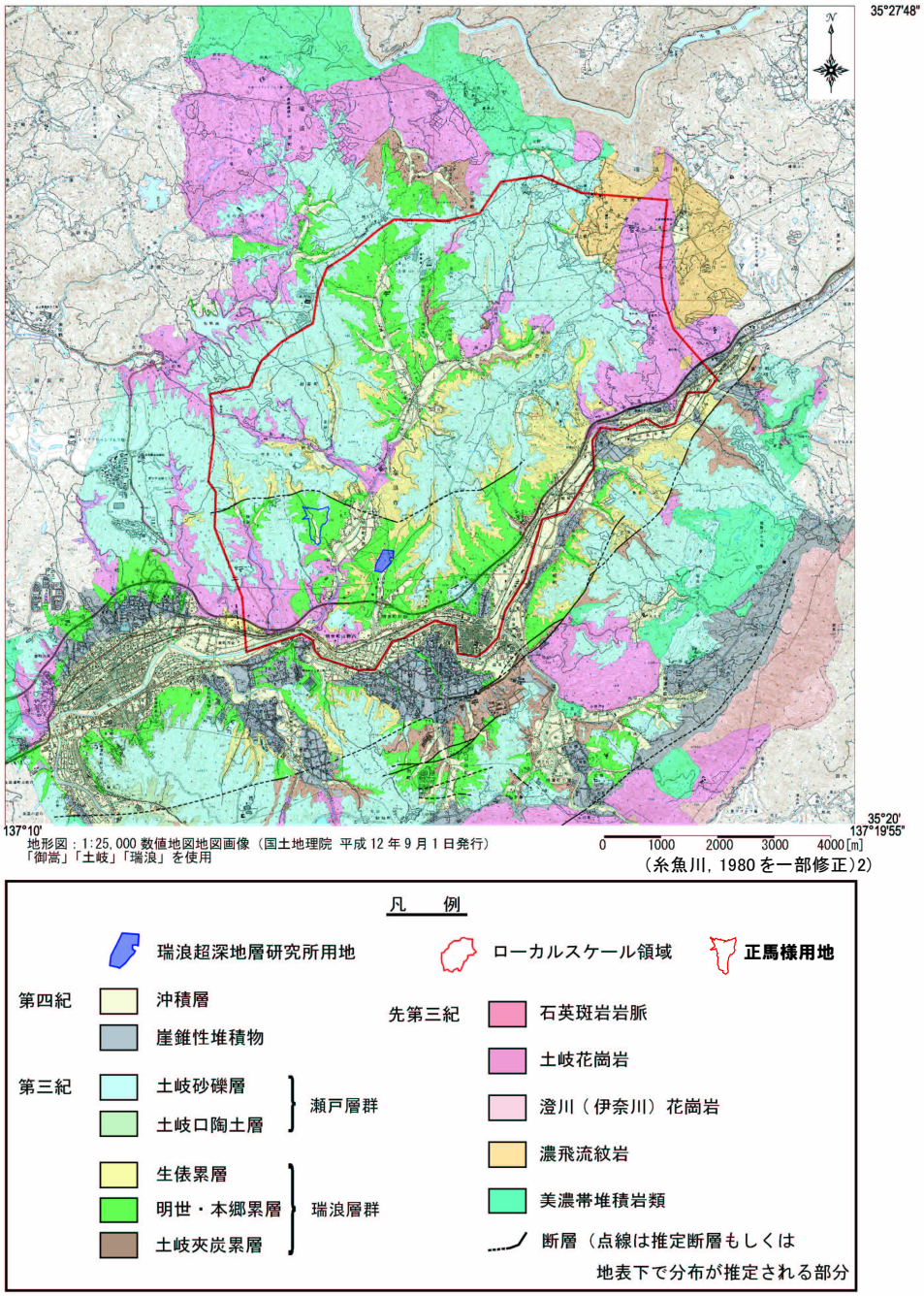


図 2.1-1 瑞浪超深地層研究所周辺の地質概要

2.2 瑞浪超深地層研究所の施設概要

瑞浪超深地層研究所の研究坑道は，主として研究対象である土岐花崗岩体中に建設され，主立坑，換気立坑，二つの水平坑道群（中間ステージと最深ステージ）および深度100mごとに両立坑を繋ぐ水平坑道（予備ステージ）で構成される（図 2.2-1）。また，地上設備は，立坑掘削用の櫓設備を収納した防音ハウス，巻上設備，コンクリートプラント，受変電設備（非常発電設備を含む），排水処理設備，および管理棟などで構成されている（図 2.2-2）。なお，研究坑道のレイアウトは，調査研究の進展に伴い必要に応じて見直される。

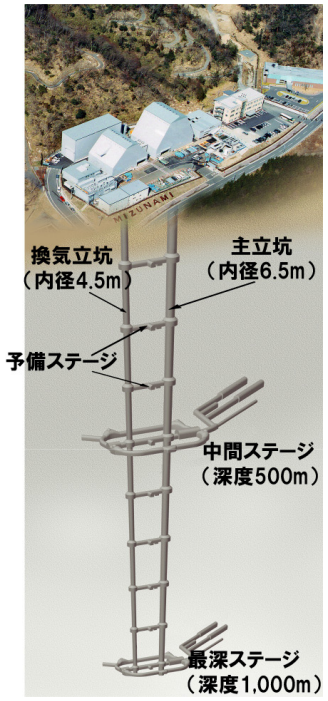


図 2.2-1 瑞浪超深地層研究所の研究坑道イメージ図

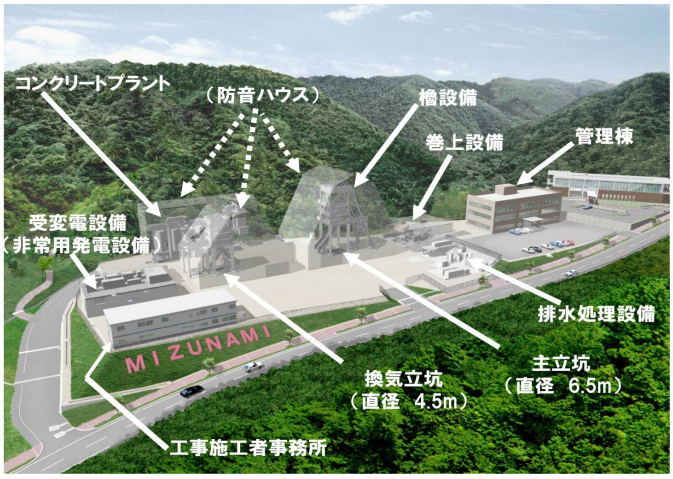


図 2.2-2 瑞浪超深地層研究所の地上施設

2.3 超深地層研究所計画の目標

超深地層研究所計画においては，全体目標と段階目標を以下のように設定している[3)]。

【全体目標】

① 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
② 深地層における工学技術の基盤の整備

【段階目標】

第 1 段階:地表からの調査予測研究段階

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
② 研究坑道の詳細設計および施工計画の策定
③ 研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査研究計画の策定

第 2 段階:研究坑道の掘削を伴う研究段階

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

第 3 段階:研究坑道を利用した研究段階

① 研究坑道からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握
② 深地層における工学技術の有効性の確認

2.4 空間スケールの設定

本計画の全体目標の一つである「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」に関しては，高レベル放射性廃棄物の地層処分の成立性や安全性を評価する上で重要と考えられる地質環境特性を，限られた調査量で効率的に理解していくという考え方に基づき，広域地下水流動研究と組み合わせ，四つの空間スケールを設けて調査研究を進めている。図 2.4-1 に空間スケールの概念，表 2.4-1 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[4)]。

研究の実施にあたっては，空間スケールを区分して段階的に調査研究を進め，その進展に伴う情報量の増加に応じて，地質環境特性に係る理解度（不確実性）や調査の達成度を順次評価しつつ次の調査または段階へ移行する判断が重要であるとの考え方に基づき，図 2.4-2 に示す繰り返しアプローチを採用している[4)]。図 2.4-3 に繰り返しアプローチに基づく第 1 段階から第 2 段階にいたる調査研究の進め方を示す。

それぞれの空間スケールにおいて，繰り返しアプローチを適用して調査研究を合理的に進めていくためには，繰り返しアプローチにおける「調査」→「データの解釈」→「モデル化・解析」の具体的な道すじを示すことが重要と考えられる。本計画では，海外のサイト特性調査の事例[5)]を参考に構築したサイトスケールにおける系統的なデータの流れを記述・整理した統合化データフロー[6)]に基づいて調査研究を進めている。

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

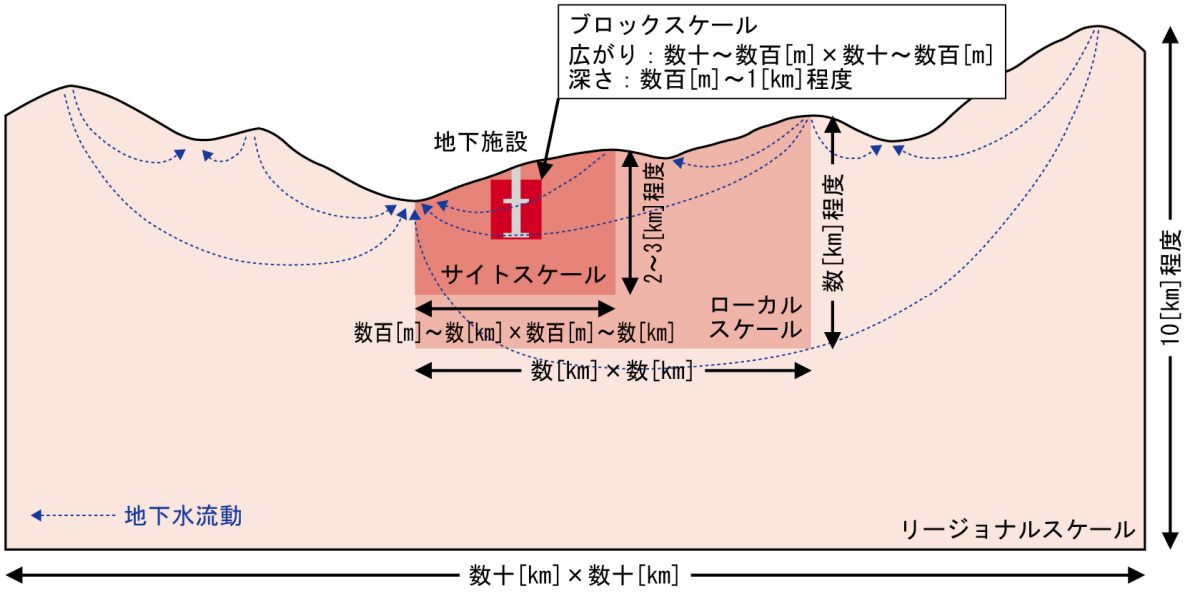


図 2.4-1 空間スケールの概念

表 2.4-1 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[km^2]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[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

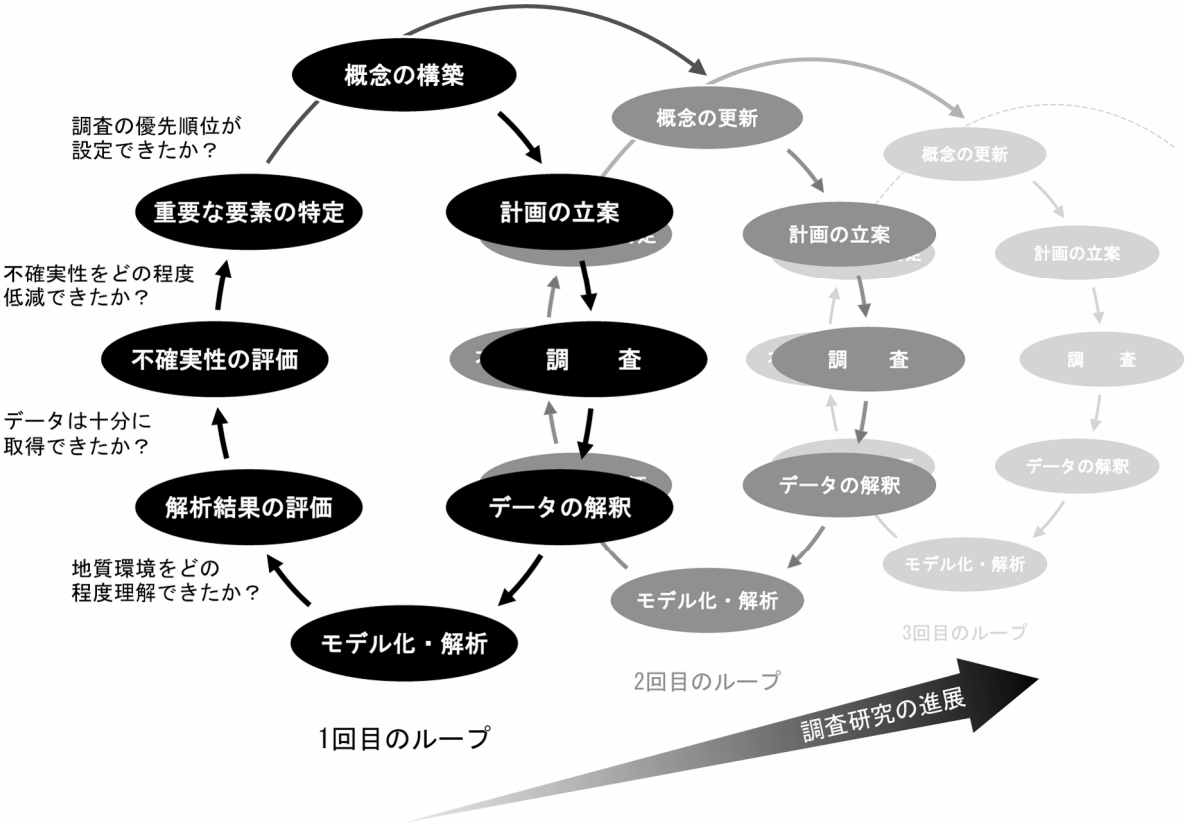


図 2.4-2 調査研究の繰り返しアプローチ

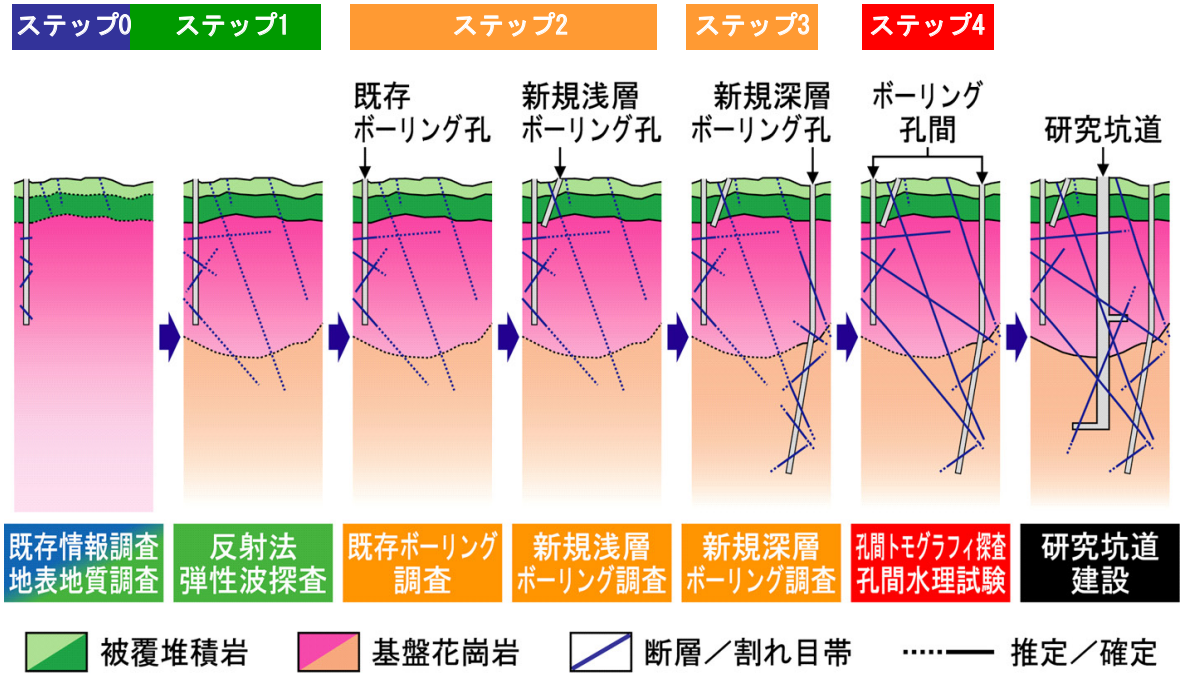


図 2.4-3 研究所用地における第 1 段階から第 2 段階にいたる調査研究の進め方

参考文献

1) 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).

2) 糸魚川淳二:“瑞浪地域の地質”, 瑞浪市化石博物館専報, No1, pp.1-50(1980).

3) 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 2002 年 2 月”, JNC TN7410 2001-018(2002).

4) 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－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).

5) Nagra:Geosynthese Wellenberg : “ Ergebnisse der Untersuchungsphasen Ⅰ and Ⅱ ”, Nagra Technical Report NTB96-01(1996).

6) 太田久仁雄, 佐藤稔紀, 竹内真司, 岩月輝希, 天野健治, 三枝博光, 松岡稔幸, 尾上博則:“東濃地域における地上からの地質環境の調査・評価技術”, JNC TN7400 2005-023(2005)

3. 2007 年度の調査研究の概要

2007 年度の調査研究は,「超深地層研究所計画年度計画書(2007 年度)」[1)]に基づいて実施した。以下, 各調査研究の概要を示す。

3.1 研究所用地における調査研究の概要

研究所用地では, 第 1 段階における調査研究を 2004 年度までに終了し, 第 2 段階における調査研究として, 研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削による深部地質環境の変化の把握, 研究坑道の施工・維持・管理に係る工学技術の有効性の確認および研究坑道を利用した研究段階の調査研究計画の策定を実施する。

2007 年度は, 第 2 段階の調査研究として, 研究坑道における壁面観察や逆 VSP(Vertical Seismic Profiling)探査, 200m 予備ステージからの水理調査ボーリング孔における岩芯観察およびボーリング孔間を利用したトモグラフィ探査を実施するとともに, 研究坑道周辺の応力状態や坑道周辺岩盤への影響予測解析などを実施した。また, 研究坑道の掘削が周辺の地下水流動特性ならびに地球化学環境に与える影響を評価するための調査・解析を実施した。さらに, これまでに構築してきた研究所用地および, その周辺の地質・地質構造, 岩盤の水理, 地下水の地球化学, 岩盤力学の各分野における地質環境モデルの妥当性の確認を行い, 適宜更新を行った。

3.2 研究所用地における施設建設の概要

2007 年度は, 必要に応じてグラウトを行いつつ深度 200m 以深まで掘削を進め, 深度 200m レベルでは, 主立坑と換気立坑をつなぐ予備ステージの掘削を行った。また, 深度 200m 以深の地質環境に関する情報を取得するためのボーリング調査を実施する基地となるボーリング横坑を掘削した。

湧水量を抑制する対策として, 2006 年度に実施したパイロットボーリング調査で明らかとなった湧水箇所を対象にグラウトを行った。また, 2006 年度に引き続き, 立坑掘削にともなう周辺環境への影響の有無を確認するため, 周辺環境のモニタリング調査を継続した。

3.3 正馬様用地における調査研究の概要

正馬様用地では, 超深地層研究所計画の全体目標の一つである, 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備に関連し, これまでに蓄積してきた月吉断層とその周辺の地質環境に関する情報や, ボーリング孔などの研究資源を利用した要素技術開発の場として活用し, 研究所用地での調査研究の効率化を図るための要素技術の高度化に向けた調査研究を実施してきている。

2007 年度は, 断層に着目した地下水流動場の把握を目的として, 正馬様用地内の深層ボーリング孔を用いた地下水の長期モニタリングおよび地下への涵養量の把握を目的とした表層水理観測システムによる表層水理観測を継続した。また, 電力中央研究所との共同研究の一環として, 地下水の採水調査を実施した。

参考文献

1) 日本原子力研究開発機構:“超深地層研究所計画年度計画書(2007 年度)”, JAEA-Review 2007-038 (2007).

4. 研究所用地における調査研究および施設建設

4.1 地質・地質構造に関する調査研究

4.1.1 実施概要

2007 年度は，第 2 段階の調査研究として，第 1 段階で構築したサイトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認ならびにブロックスケールの地質構造モデルを構築するために必要な情報を取得することを目的として，研究坑道の壁面調査および逆 VSP 探査を継続し，研究坑道とその周辺の地質・地質構造の分布，幾何形状，構造形態，岩石鉱物特性などの情報を取得した。また，研究所用地の周辺における地下水流動を規制する断層や割れ目帯の分布を把握することを目的として，研究坑道の掘削などに伴う地下水流動の変化を利用した電気探査法による地下水流動モニタリングを新たに開始するとともに，立坑の 200m 予備ステージのボーリング横坑から掘削した 2 孔の水理調査ボーリング（図 4.1-1，07MI08 号孔：主立坑ボーリング横坑，07MI09 号孔：換気立坑ボーリング横坑）を利用した岩芯観察，07MI08 号孔と 06MI03 号孔（図 4.1-1，換気立坑パイロットボーリングボーリング）を利用したトモグラフィ探査（弾性波，比抵抗）を実施した。さらに調査研究で得られた情報を用いて地質構造モデルを更新した。

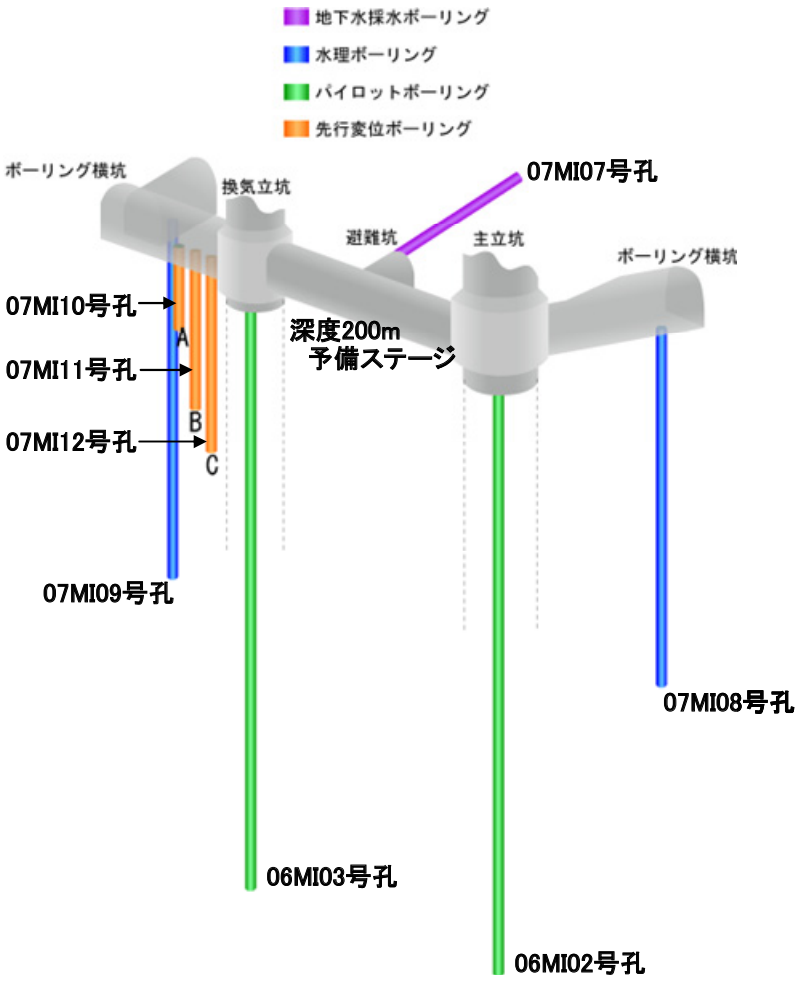


図 4.1-1 ボーリング孔位置
（深度 200 レベル）

4.1.2 実施内容

(1) 調査・試験

1)研究坑道の壁面調査

研究坑道の壁面調査の 2007 年度の調査範囲を表 4.1-1 に示す。また，壁面調査の主な実施項目を表 4.1-2 に示す。2007 年度は，主立坑については深度 230m，換気立坑は深度 200m までの調査を終了するとともに，200m の水平坑道（予備ステージおよびボーリング横坑）の調査を実施した。

表 4.1-1 2007 年度の調査範囲

研究坑道	調査範囲
主立坑	・深度 200.2～231.2m
換気立坑	・深度 193.7～202.2m
200m レベル水平坑道	・予備ステージおよび両立坑のボーリング横坑の全線

表 4.1-2 壁面調査の主な実施項目

実施項目	計測仕様
壁面地質観察	・地質・地質構造マッピング ・岩盤分類評価（電研式，RMR 法，新 JH 式） ・湧水採水，原位置物理化学パラメータ計測等 ・岩盤物性計測（シュミットロックハンマー計測，針貫入計測等） ・室内試験（薄片観察，全岩化学分析，X 線回折等）
可視画像撮影	・約 600 万画素/撮影
3 次元レーザー計測	・分解能約 3.8mm（主立坑，主立坑側のボーリング横坑全線，および主立坑予備ステージ拡幅部坑壁から約 26m）
調査時間	・2.6m 壁面高（立坑）に対して約 3 時間 ・1.0m 側壁幅（100m 予備ステージ）に対して約 1 時間

2007 年度の研究坑道の壁面調査結果の概要は以下のとおりである。

・2006 年度までの調査 [1)]により主立坑側で確認されていた断層変質帯は，深度 200mのボーリング横坑では，幅約 10m の規模を有し，主立坑に沿って分布する（図 4.1-2）。

・これらの変質帯に卓越する粘土鉱物は雲母粘土鉱物を主体とし，緑泥石およびスメクタイトを伴う [2)]。X 線回折の結果からカオリナイトの分布も示唆される場合があるが，鉄に富む緑泥石の可能性等について，今後の詳細な分析が必要である。

・貫入岩は断層ガウジや割れ目を境して花崗岩と接する場合が多いが，断層ガウジや割れ目などを欠き，貫入岩と花崗岩の両者ともに比較的細粒で均質な幅数 cm のゾーンを境して接する場合がある（図 4.1-2）。この境界は，貫入岩が貫入した際の急冷相を示すのか，両岩相の接触後の反応縁等を示すのか検討が必要である。

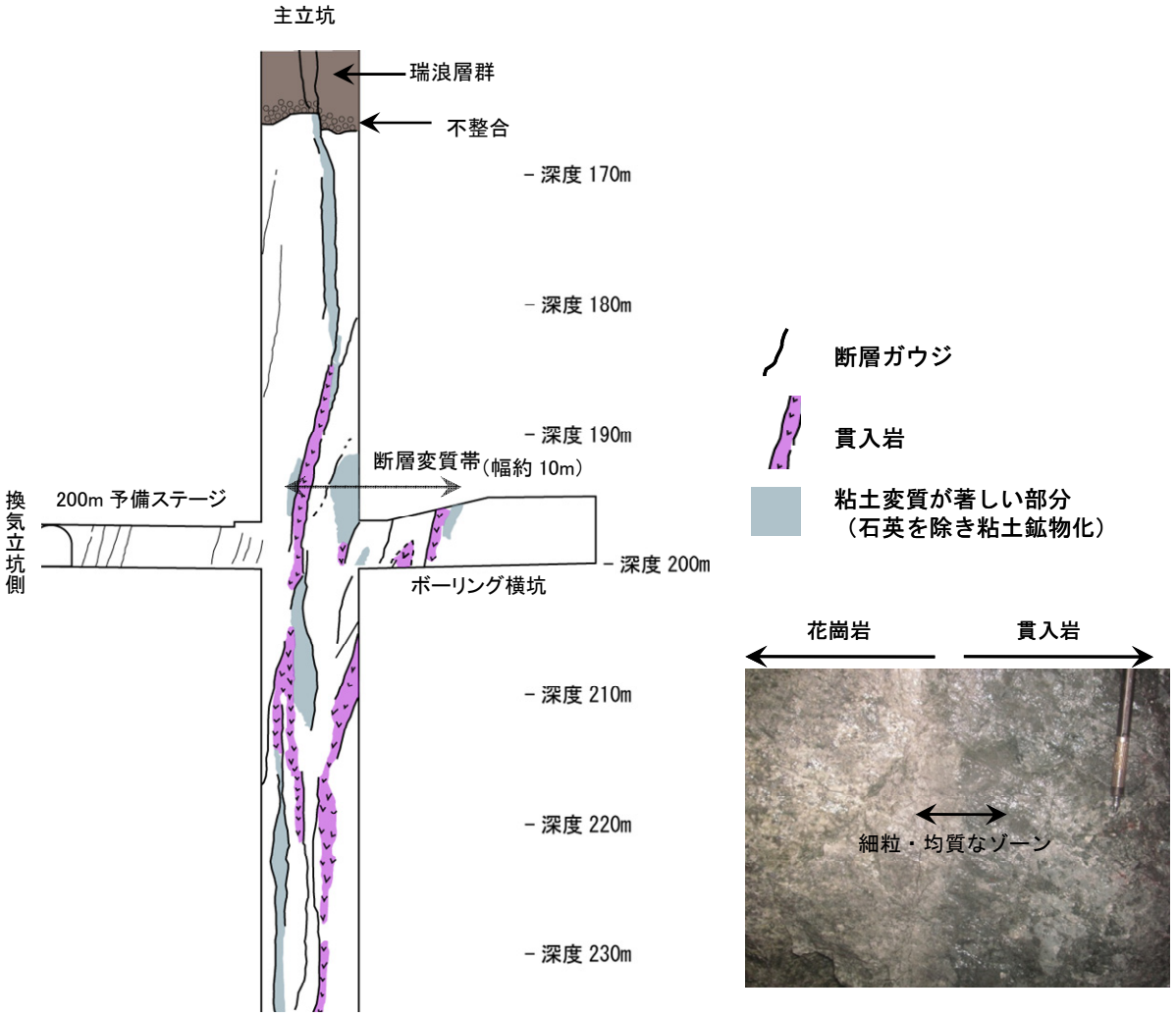


図 4.1-2 主立坑に分布する貫入岩および断層変質帯（左），
並びに貫入岩と花崗岩の境界（右：深度約 218m 付近）

・換気立坑側のボーリング横坑では，2006 年度までに実施したパイロットボーリング，さぐり削孔，グラウト工などにより確認・予測されていた湧水個所付近に，グラウト剤が介在している割れ目の分布を確認した。グラウト剤は低角度および高角度の割れ目の双方に認められる。また，割れ目中のグラウト剤は概ね 1～2mのトレース長を有するが，同一の割れ目内での連続性に乏しく，厚さも同一の割れ目内で，概ね十数 mm から数 mm の範囲で変化する（図 4.1-3）[3),4)]。

図 4.1-3 グラウト剤が確認された割れ目（換気立坑ボーリング横坑）[3)]

2) 深度 200m ボーリング横坑などにおけるボーリング孔を利用した地質・地質構造調査

深度 200m のボーリング横坑などにおいて，立坑近傍の地下水の水圧観測（07MI08 号孔：主立坑ボーリング横坑，07MI09 号孔：換気立坑ボーリング横坑，4.3.2(1) 3）参照），および水質観測（07MI07 号孔：避難所，4.3.2(1) 1）参照），および先行変位・ひずみ計測（07MI10～12 号孔：換気立坑拡幅部ほか，4.2.2(1) 1））を目的としたボーリング調査が実施され，岩芯観察，BTV 計測等の地質学的調査を実施した（ボーリングの位置は図 4.1-1 参照）。

これらボーリング孔を利用した調査結果と，壁面調査などの結果を踏まえた深度 200mから 300m付近の立坑周辺の地質・地質構造の概要は以下の通りである（図 4.1-4）[3),4)]。

・深度 200m から 250m にかけて低角度を有する割れ目の集中帯（Low Angle Fractured Zone；LAFZ）が分布する。
・換気立坑とその周辺においては，LAFZ は，さらに低角度割れ目が有意に卓越する 5 つ程度のゾーンに区分することができる。
・換気立坑側で実施したボーリング掘削時に確認された湧水個所や，流体検層によって抽出された地下水の流入位置は，概ね LAFZ の中で低角度の割れ目が有意に卓越するゾーンと一致している。
・しかし，換気立坑ボーリング横坑において実施したさぐり削孔（斜孔）や 07MI07 号孔（水平孔）で確認された 500ℓ/分を超える湧水は，いずれも北北西走向の高角度の割れ目に起因している。
・したがって，透水性割れ目の分布や特性の評価にあたっては，研究坑道の壁面調査や，水平方向のボーリング調査などにより，高角度の割れ目の空間的な分布や，低角度割れ目との交錯状況などの把握が重要である。
・主立坑のボーリング横坑で実施した 07MI08 号孔では，立坑で確認されるような原岩組織が判別できないような強い粘土変質は確認されず，長石の部分的な粘土化や，割れ目表面の緑泥石化に限定される。
・07MI08 号孔では顕著な湧水は確認されなかったものの，深度約 295m の北北西走向の高角度割れ目に起因する約 20ℓ/分の湧水が検出された。

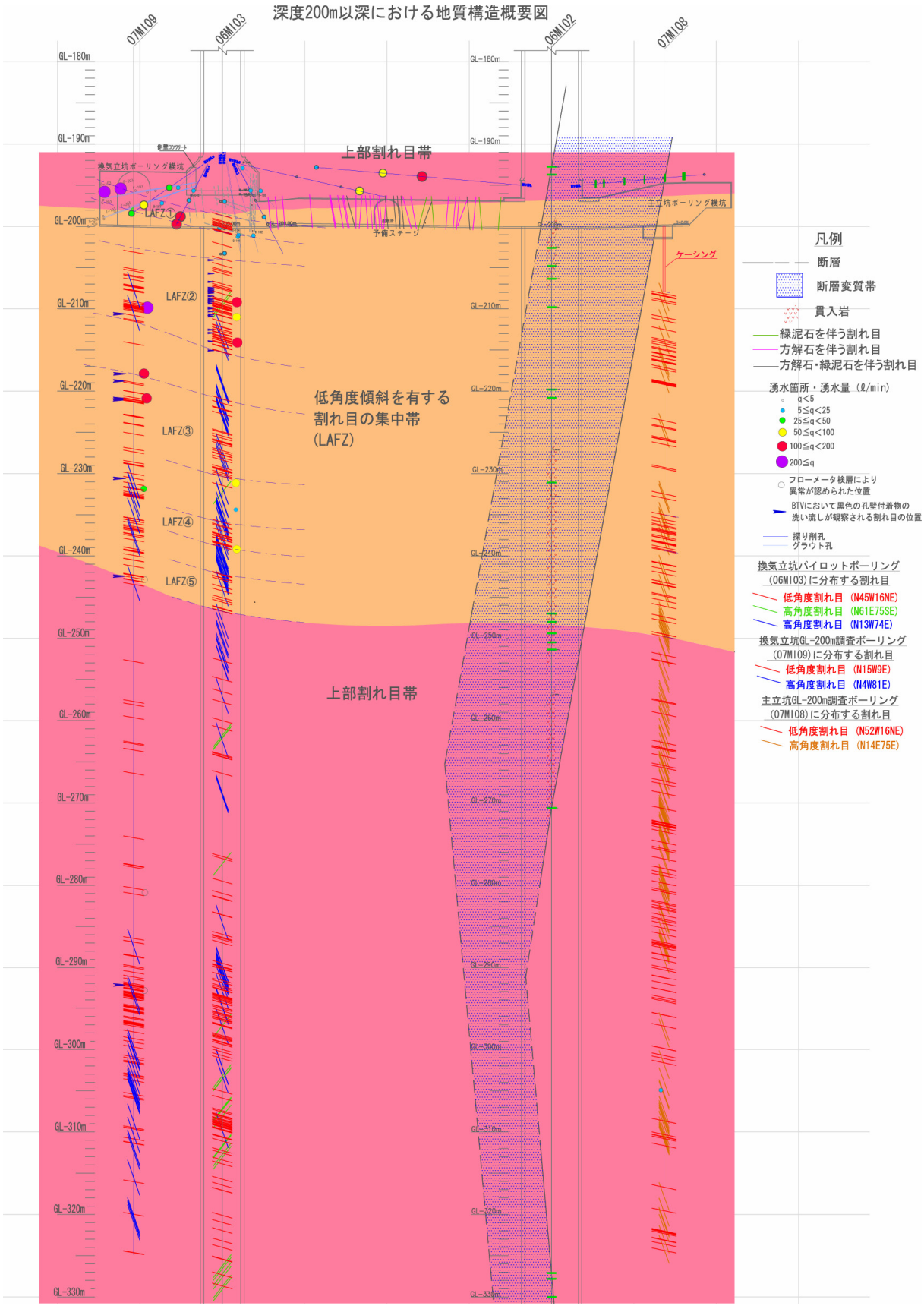
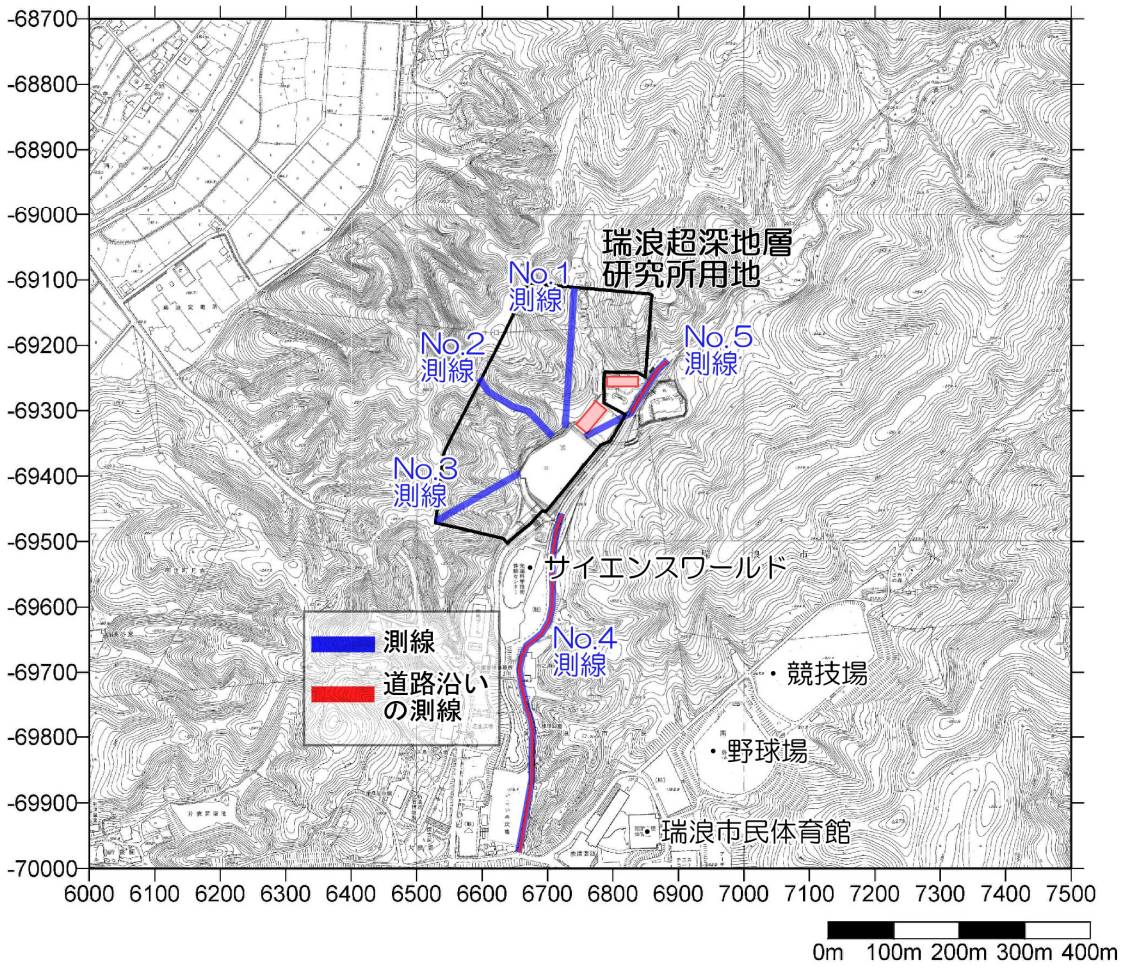


図 4.1-4 深度 200m 以深における立坑周辺の地質構造概略図

3) 逆 VSP 探査

研究坑道の前方や研究坑道周辺の詳細な地質構造を推定する技術の整備を目的として，主立坑の掘削に伴う発破振動（堆積岩部：深度約 25m 間隔，花崗岩部：深度約 50m 間隔）を利用した逆 VSP 探査を実施している。2007 年度は，引き続き，主立坑の発破振動を地上の放射状に展開した測線で測定すること（図 4.1-5，表 4.1-3）に加えて，逆 VSP 探査手法の高度化の一環として，2006 年度と同様に，地表および 200m 予備ステージ上において，発破データ以外の立坑工事に伴う雑音信号を測定した（図 4.1-6，表 4.1-4）。なお，立坑工事に伴う雑音信号の取得内容は表 4.1-5 のとおりである。



地形図：瑞浪市都市計画基本図（1/2,500） 座標：Tokyo datum

図 4.1-5 逆 VSP 探査位置

表 4.1-3 測定仕様(逆 VSP 探査)

項目	仕様
発震点	主立坑坑底(深度 200.8m)
震源	発破(単発および段発)
受振点	測線 No.1～5(144 点)
受振点間隔	10m 間隔
記録長/サンプリング間隔	単発:2sec / 1msec 段発:30sec / 1msec

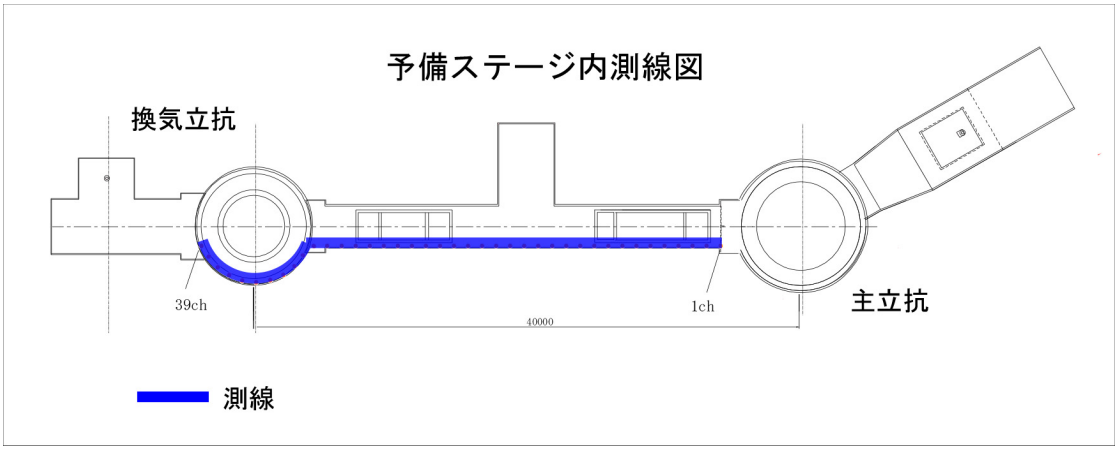
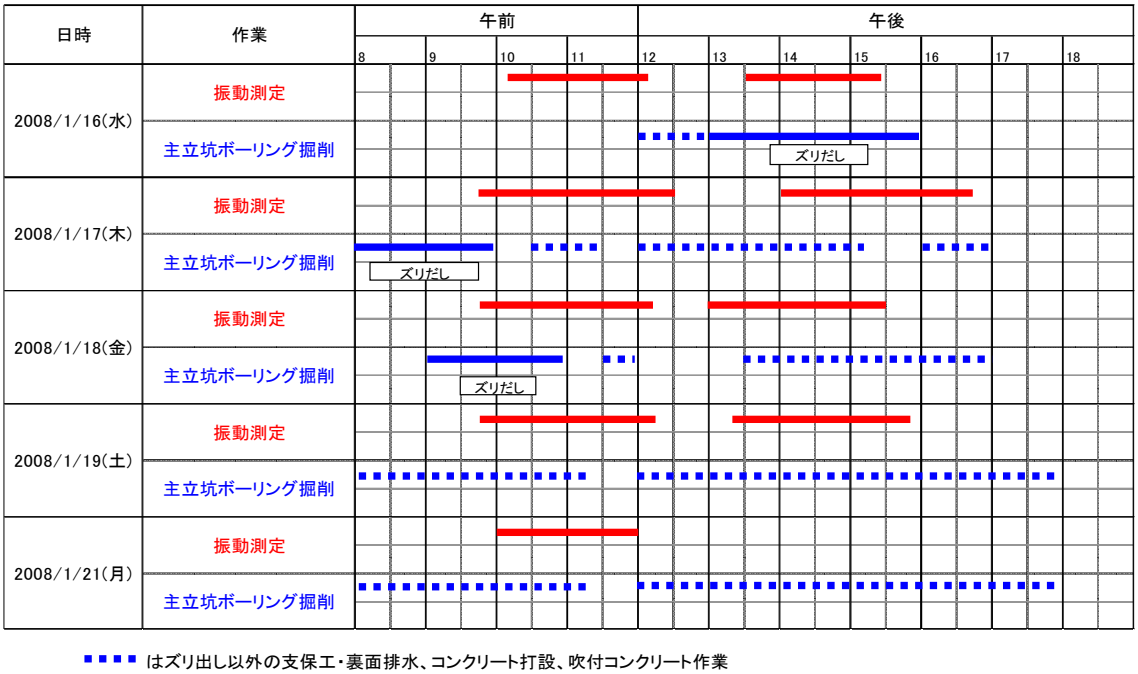


図 4.1-6 雑音信号測定位置(200m 予備ステージ内)

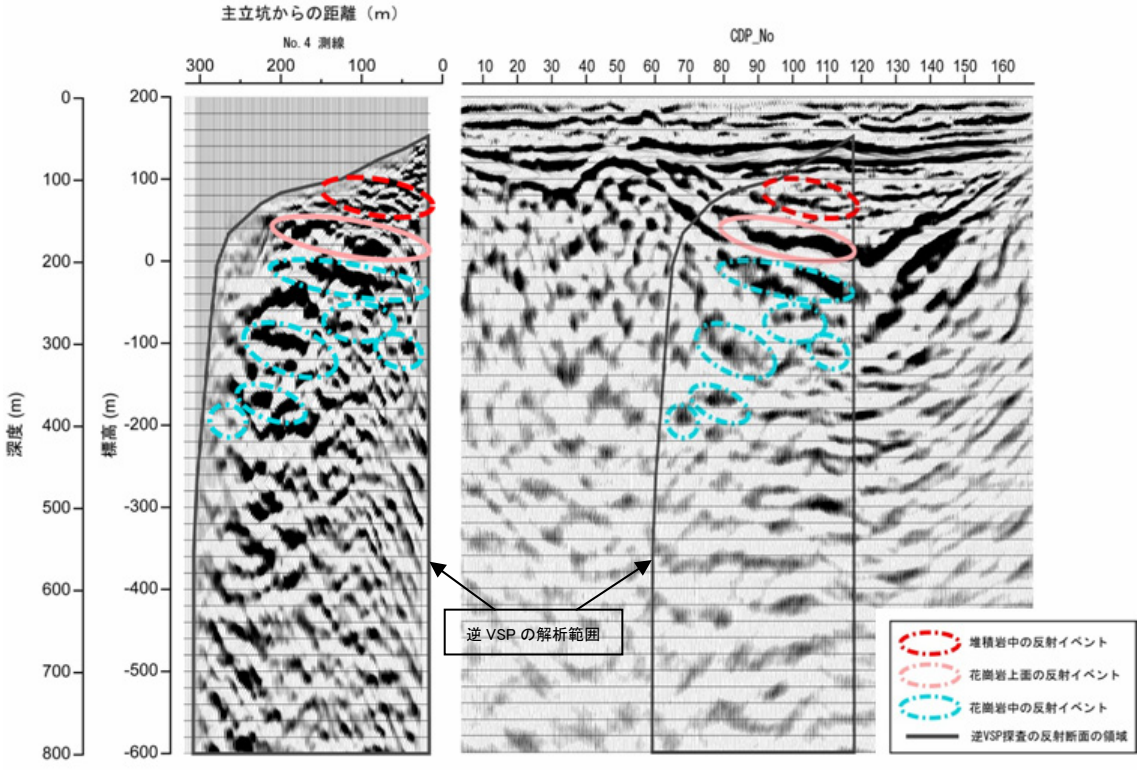
表 4.1-4 測定仕様(雑音信号測定)

項目	仕様
受振点	地表:No.4, 5 の測定点(80 点) 200m 予備ステージ内:39 点
受振点間隔	地表:10m 間隔 200m 予備ステージ内: 1m 間隔
記録長/サンプリング間隔	計 20 時間/ 1msec

表 4.1-5 雑音信号測定の測定時間帯と孔内作業状況



取得した主立坑の発破振動記録のデータ処理を行った。データ処理の結果の一例として，No.4 測線の逆 VSP 反射断面を，既存の反射法地震探査で得られた反射断面と比較した結果を図 4.1-7 に示す。逆 VSP 反射断面において，既存の反射断面と同様に堆積岩中および花崗岩上面に対応した明瞭な反射イベントを確認することができる(図 4.1-7 中の赤色破線および桃色線)。また，花崗岩内部に対応する深度においても同様に花崗岩の割れ目の卓越部に対応すると考えられる反射イベントを確認することができる(図 4.1-7 中の青色破線)。これらの反射イベントを残りのすべての測線で追跡することによって研究所周辺において地質構造を三次元的に推定することが可能である。さらに，図 4.1-7 中には，既存の反射断面では不明瞭な深度約 500m 以深においても逆 VSP 反射断面ではいくつかの振幅の強い箇所が認められることから，地上からの調査では把握が困難なより深部の地質構造についても抽出できるものと考えられる。これらの反射断面のより深部のイベントについては，今後，深部(深度 250m 以深)の発振記録の取得によるデータの蓄積・更新を行うとともに，他の調査結果(研究坑道の壁面調査やボーリング調査など)で得られる地質構造と対比し評価を行っていく予定である。



（a）逆 VSP 反射断面　　（b）既存の反射断面

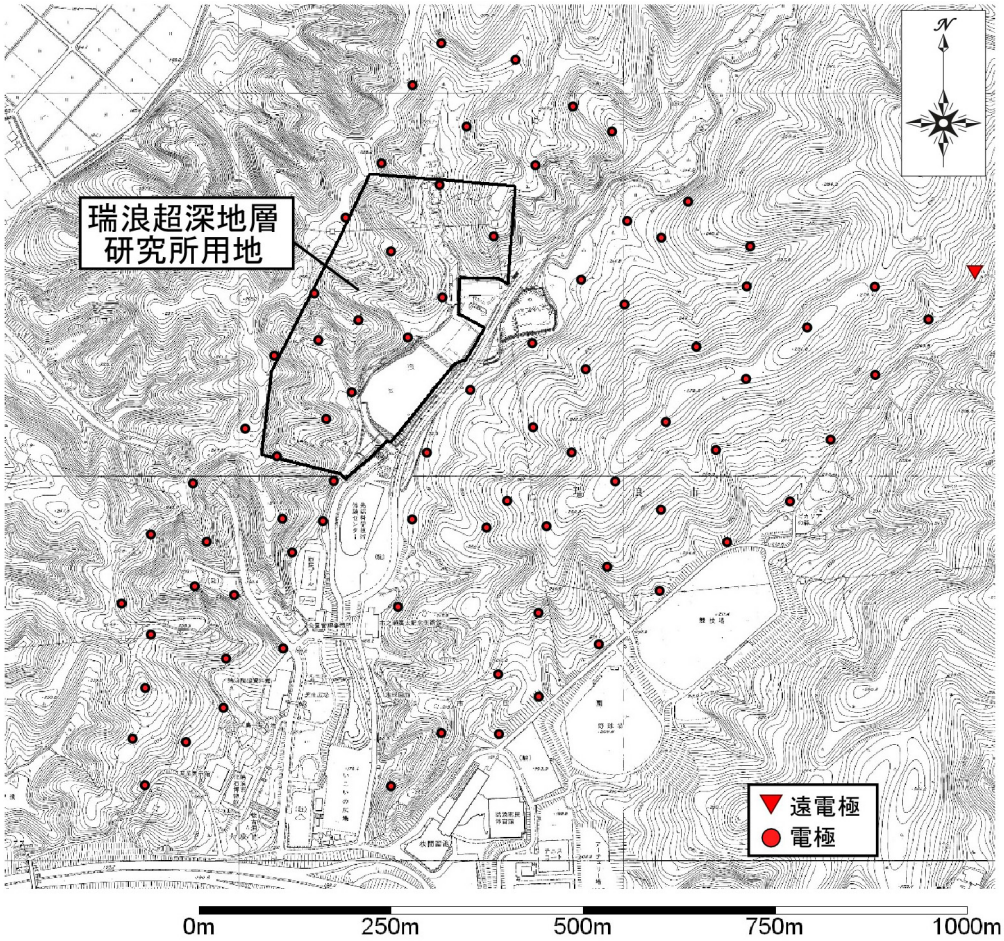
図 4.1-7　逆 VSP 反射断面と既存の反射断面の比較

4）電気探査法（自然電位測定）による地下水流動モニタリング

地下水流動を規制する地質・地質構造の分布および地下水流動の方向や範囲を推定する技術を整備することを目的として，研究坑道の掘削や坑道内からのボーリング調査などによる地下水の流動を利用した電気探査法（自然電位測定）による地下水流動モニタリングを研究所用地周辺の地上において開始した（表 4.1-6，図 4.1-8）。これらの観測で得られる情報は，第 2 段階でのサイトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認，更新およびブロックスケールの地質構造モデルの構築に反映していくとともに，モニタリング精度向上のための手法の改良も適宜行っていく予定である。

表 4.1-6　モニタリング仕様

使用機器	レコーダー部	データ ロガー［キーエンス社製 NR-600］	計測ユニット（8チャンネル/ユニット）
			スタンドアロンユニット
		フィルター	64チャンネルエイリアスフィルター
	電極/ケーブル類	LANケーブル	
		遠電極ケーブル	
		電極	ステンレス製［φ10mm ×長さ400mm］
測定仕様	測定点数	80 点	
	サンプリング間隔	0.5 sec	



地形図：瑞浪市都市計画基本図（1/2,500）

図 4.1-8 モニタリング位置

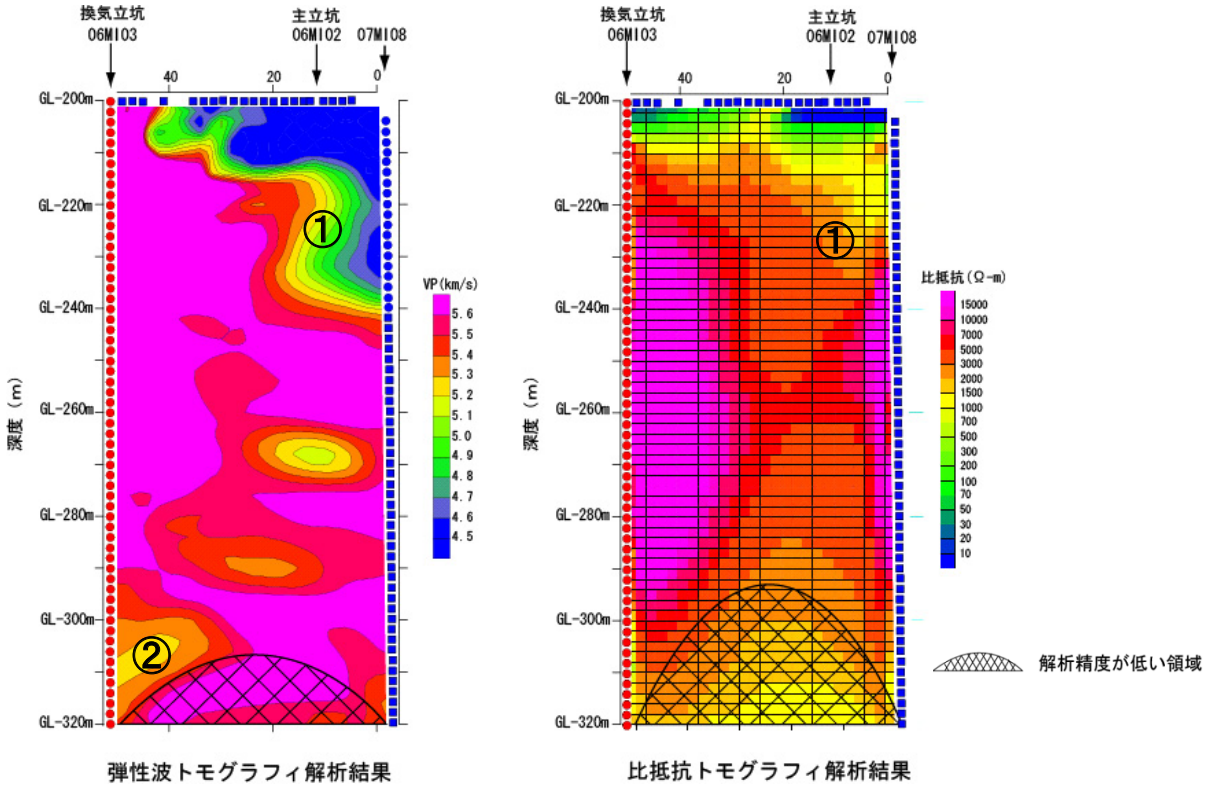
5）研究坑道内のボーリング孔間を利用したトモグラフィ探査

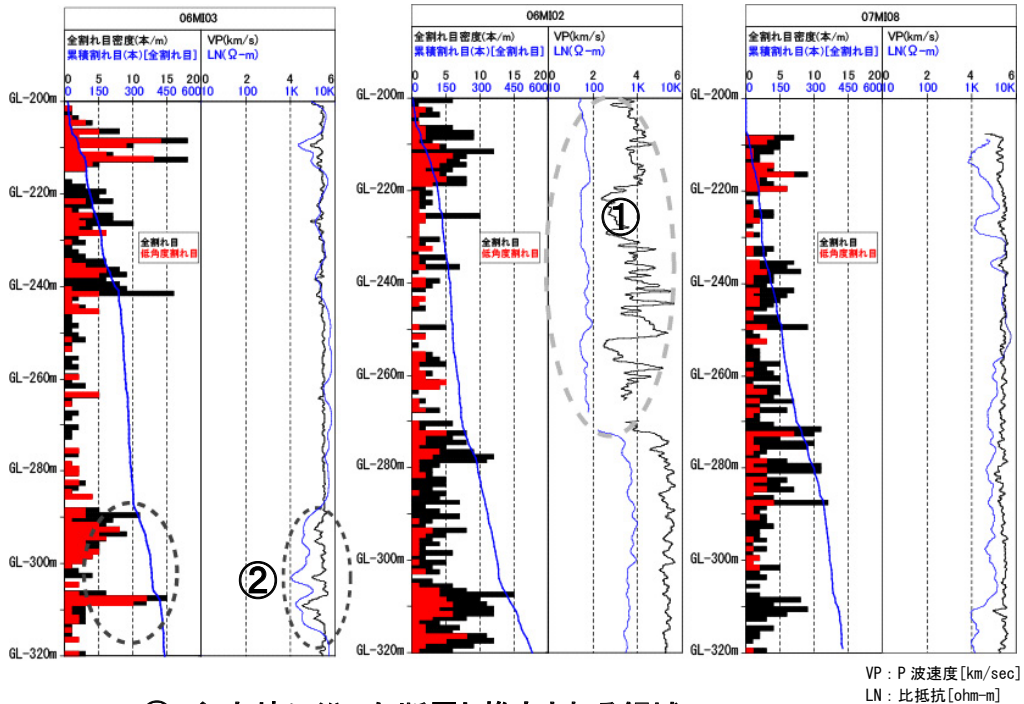
花崗岩を対象に研究坑道の前方や立坑間の詳細な地質分布を把握することを目的として，主立坑の200m 予備ステージのボーリング横坑からの水理調査ボーリング孔（07MI08 号孔：図 4.1-1）と換気立坑のパイロットボーリング孔（06MI03：図 4.1-1）間を利用して弾性波および比抵抗のトモグラフィ探査を実施した（表 4.1-7）。

それぞれの解析結果と探査に使用した 07MI08 号孔および 06MI03 号孔とその孔間に位置する主立坑のパイロットボーリング孔（06MI02 号孔：図 4.1-1）における孔壁画像調査により得られた花崗岩の割れ目密度，物理検層（音波検層，電気検層）結果を比較した。その結果，主立坑に分布する断層や換気立坑の深度 300m 付近に確認される割れ目帯などの広がりを推定した（図 4.1-9）。

表 4.1-7 測定仕様

弾性波トモグラフィ	受発振間隔：2m（クロスホール＋予備ステージ）
	震源：OWS
	受振：ジオフォンおよびハイドロフォン
比抵抗トモグラフィ	発信・受信間隔：2m（クロスホール，インライン）





① 主立坑に沿った断層と推定される領域
② 割れ目帯を推定される領域

図 4.1-9 弾性波および比抵抗トモグラフィ探査の結果とボーリング孔データの比較

(2)地質構造モデルの構築

地質構造モデルの構築においては，上記(1)で実施された地質調査・物理探査の結果に基づき，研究所用地周辺の地質構造の解析・解釈を行い，第１段階の調査研究を基に構築されたサイトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認およびモデルの更新を実施した。

モデル化においては，主に壁面調査で取得されたデータを用いて，深度 200m までの地質分布のうち，特に坑道壁面で確認された地質構造（主立坑沿いに分布する北北西走向の断層，低角度傾斜を有する割れ目の集中帯）に関する詳細な観察結果に基づき，第 1 段階の地質構造モデルの精度を確認するとともに，モデルを更新した（図 4.1-10）。

モデル化の更新により，主立坑沿いに高角な断層および低角度傾斜を有する割れ目の集中帯は，いずれも予測した深度の範囲内に概ね分布することが確認できたほか，実際の地質分布情報を入力することによりモデルの精度を更に高めることができた。一方，壁面観察結果とこれまでに第 1 段階で実施した地質調査や物理探査結果とを合わせて詳細に解釈した結果，低角度傾斜を有する割れ目の集中帯と高角な断層に関して，構造の連続性，変質作用の概要（4.1. 2(1)1)）が明らかとなった。

今後は，これまでと同様に繰り返しアプローチの観点から，壁面観察や研究坑道から掘削するボーリング孔での岩芯地質観察，物理探査等の結果を用いて，予測結果の精度の確認およびモデルの更新を実施し，その結果を水理地質構造モデルの構築に反映させる。さらに，ブロックスケールでの地質構造概念モデルの構築のために，サイトスケールで対象となった地質・地質構造のより詳細な構造区分・変質区分結果の可視化を引き続き行う。

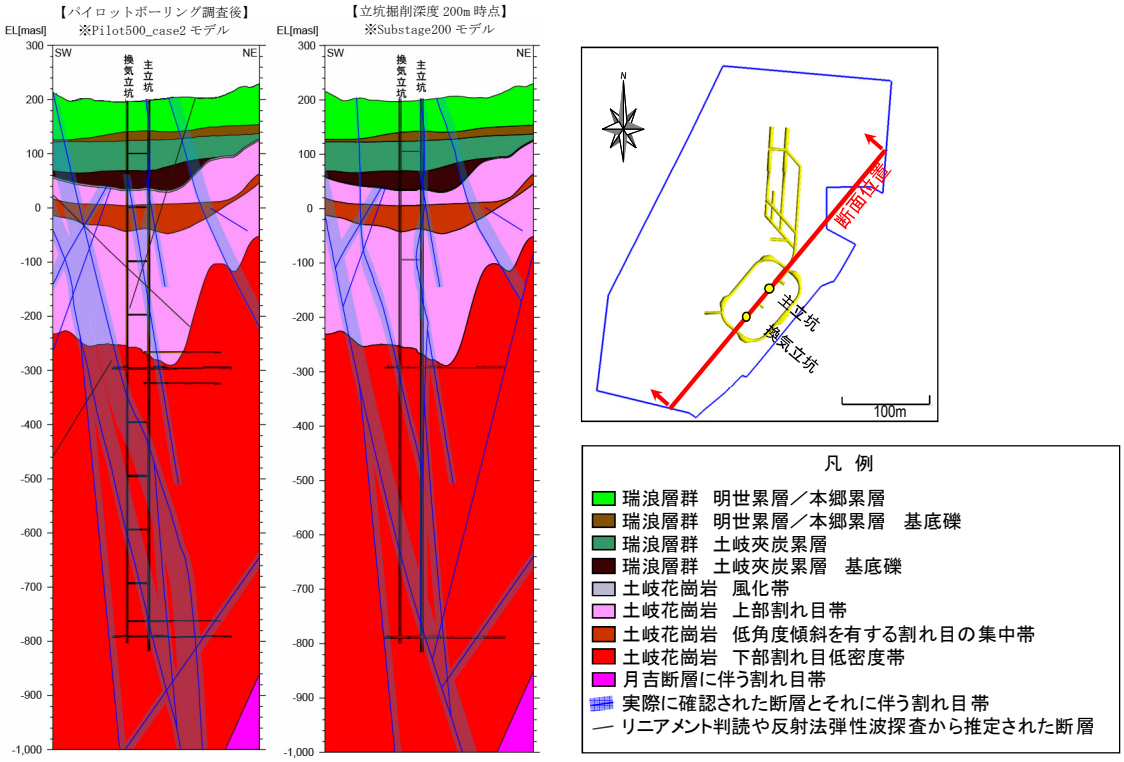


図 4.1-10 立坑沿いの地質構造断面図
（左：パイロットボーリング調査後，右：立坑掘削深度 200m 時点）

(3) 調査技術開発

1) 壁面地質調査手法の高度化

①岩盤分類区分の高度化

2007 年度は 2006 年度に引き続き，主にパイロットボーリング孔を対象とした既往の岩盤分類手法と，割れ目密度や物理検層，室内試験（一軸圧縮強度，密度試験等）などの計測値を用いた解析を継続した。また，それらの計測値を用いた多変量解析により岩盤物性の評価を行った。その結果，岩盤の区分毎の重複が少なく，曖昧さを軽減するとともに，区分を簡素化した岩盤分類基準を設定する事ができた [5]（図 4.1-11）。今後は，特に岩盤の変質に関する指標などを加え，より精度の高い岩盤の区分設定を検討するとともに，実際の施工への適用を通した本手法の有効性の確認や改良を行う。

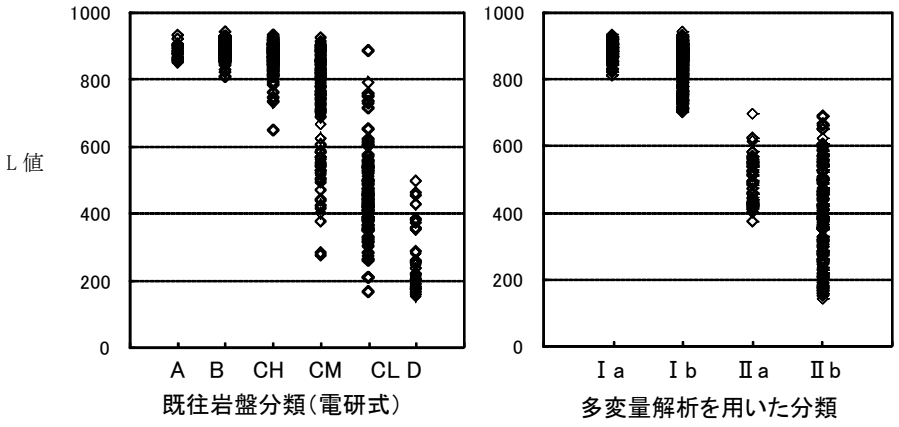


図 4.1-11 分類手法別の L 値（簡易反発硬度）分布図 [5]

②三次元レーザー計測の高度化

2007 年度は主に 2006 年度までに構築したデータ処理・表示システムの改良を行い，目的に応じたデータ容量の低減手法の最適化や，解析ツールの追加（画面上で指定した範囲の反射強度値の表示・出力等），データ描画方法の向上を図った。2007 年度までのシステムの改良により，現場におけるデータの取得からデータ処理・変換・表示までの一連の作業フローを構築することができた。また，主立坑に分布する断層変質帯を対象とした受光強度の画像処理を用いて，変質の程度に応じた岩盤の区分が可能であることを確認した（図 4.1-12）[6]。

三次元レーザー計測の高度化については，効率的な作業フローを構築する事ができたこと，受光強度画像を利用した岩盤区分についても，研究所に分布する堆積岩 [7]と花崗岩 [6]を対象とした区分が可能であるなど，目的とした高度化を達成した。

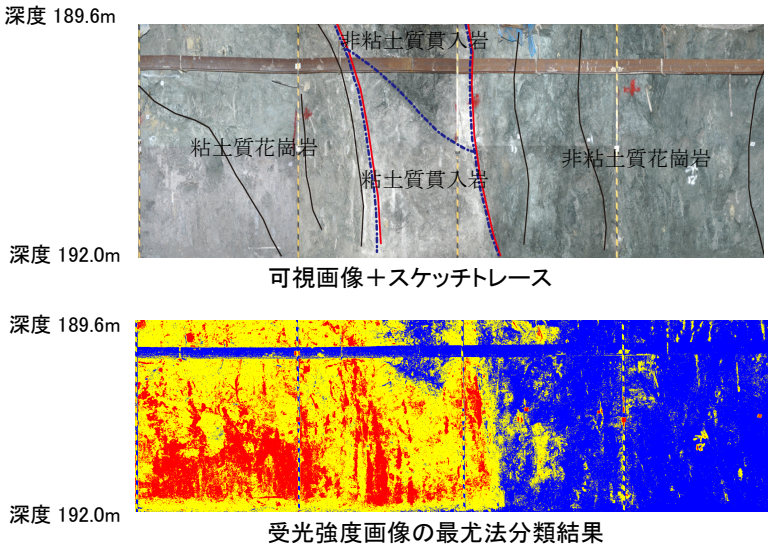


図 4.1-12 可視画像と三次元レーザー計測による受光強度画像 [6)]

2) 逆 VSP 探査手法の高度化

逆 VSP 探査手法の高度化として，4.1.2(1)3)で取得した雑音信号記録を用いた地震波干渉法によるデータ処理・解析を実施した。なお，地震波干渉法は，地表に設置した複数の測定点において受動的に観測された波形データを用いた地震探査法であり，観測された波形データから相互相関関数を計算することにより，地表に震源を置いて観測を行う通常の反射法地震探査と等価な反射波記録を取得することが可能である。したがって，受動的に観測された波形データから擬似反射データを合成し（図 4.1-13），反射法地震探査と同様の処理を実施することで，反射法地震探査と同様の反射断面を得ることができる。

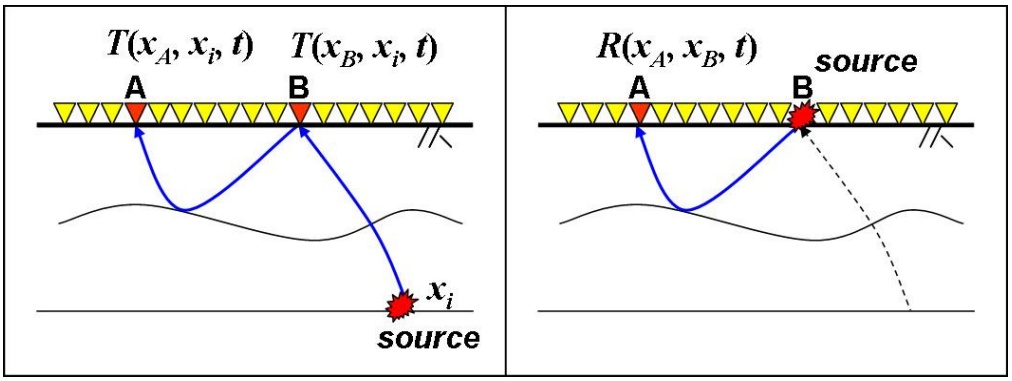
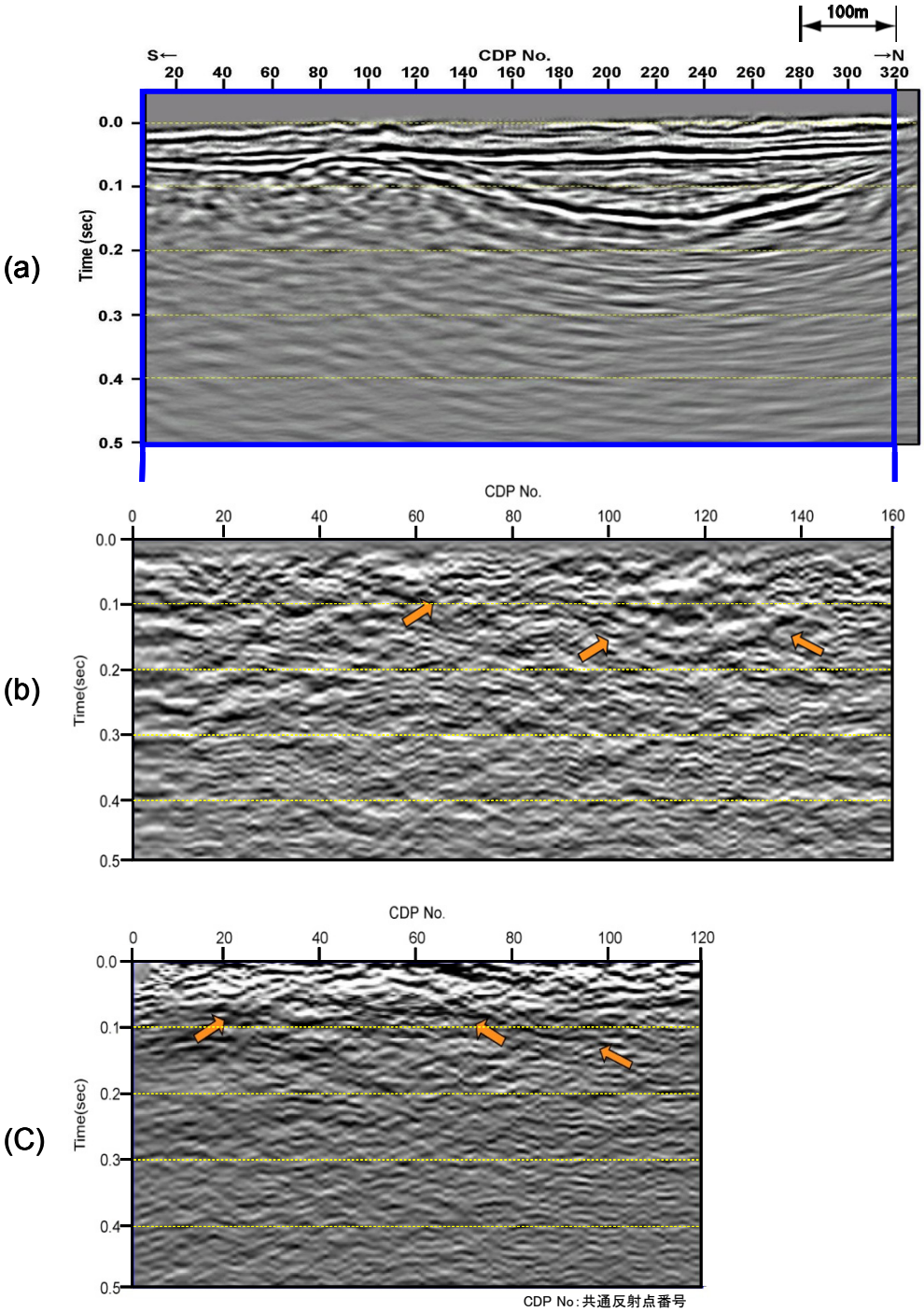


図 4.1-13 地震波干渉法の概念図

地表において，取得した雑音信号から擬似反射データを作成し，通常の反射法データ処理を実施した。その結果，2006 年度実施した主にボーリング掘削振動を利用した処理・解析結果 [1)] と比較して，分解能や反射面の連続性といった面では劣るものの，既存の反射法地震探査による反射断面と整合的な反射面分布を確認することができた（図 4.1-14 中の矢印）。



(a) 既存の反射法地震探査による反射断面

(b) 今年度取得した雑振動記録による反射断面（矢印は確認された反射面）

(C) 昨年度取得した主にボーリングを利用した反射断面（矢印は確認された反射面）

図 4.1-14 雑音信号を用いた処理・解析結果（地表測定）

一方，200m 予備ステージで取得した雑音信号についても同様に処理・解析した結果，予備ステージ直下において，いくつかの水平な反射面を抽出することができた（図 4.1-15 中の矢印）。坑道内においては，地表における測定と比較して高分解能な記録（数百 Hz までの信号記録）が取得できていることから，

地表からでは抽出が困難なより小規模な割れ目帯などの構造を抽出する上で有効であると考えられる。今後，深度 300m 以深の水平坑道が建設・整備された段階においても継続してデータ取得・処理・解析を実施していく予定である。

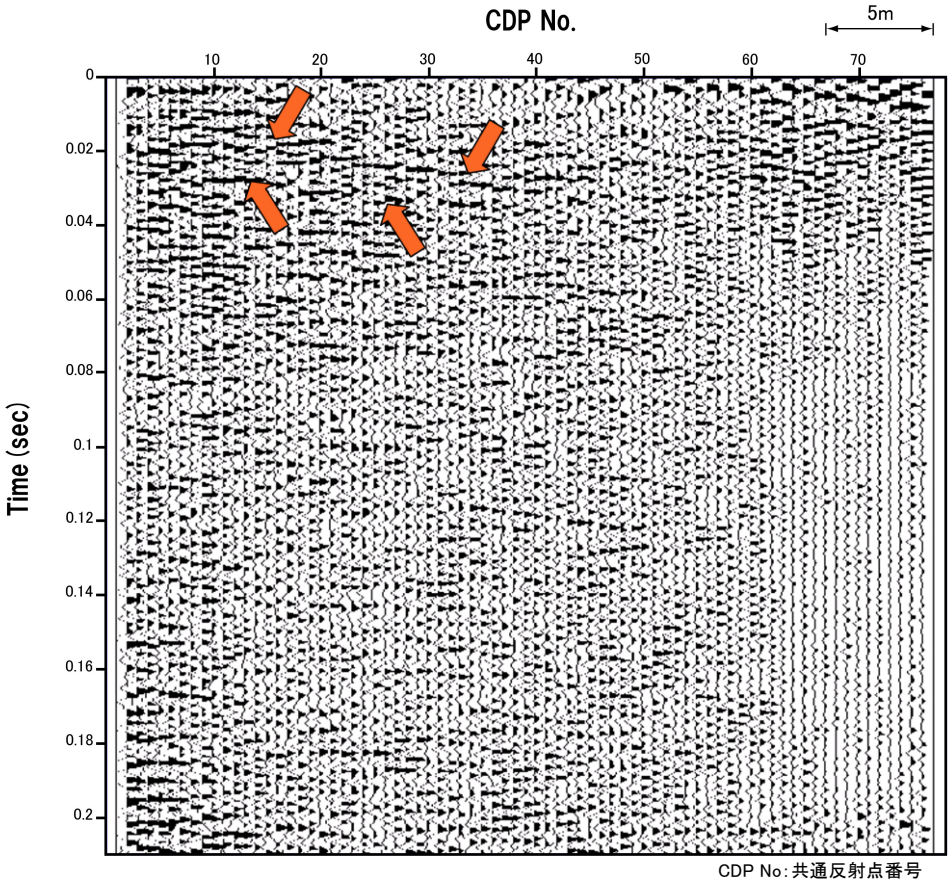


図 4.1-15 雑音信号を用いた処理・解析結果（200m 予備ステージ上での測定）

3) 地質構造モデル化手法の高度化

4.1.2(2)で構築する地質構造モデルが有する不確実性の低減（調査の質・量が十分でない領域の地質分布の推定など）を図るために，地球統計学で用いられている原理・手法を基礎としたマルチスケールモデリングの開発を実施した。これまでの超深地層研究所計画ならびに広域地下水流動研究で取得されてきたボーリング情報を用いた解析・シミュレーションの結果，月吉断層・次月断層に関連すると考えられる数 km スケールのトレース長を有する断層がモデル上に表現され，それらの断層の深部への連続性が推定できた（図 4.1-16）。今後は，スケールの異なる三つの亀裂データ（ボーリング孔に分布する節理・断層，DEM（Digital Elevation Model）リニアメント，マイクロクラック）の関連性から亀裂の空間的相関構造とスケール則を導出するとともに，マルチスケールでの亀裂分布モデリングが可能な地球統計学的シミュレーション技術を開発する。

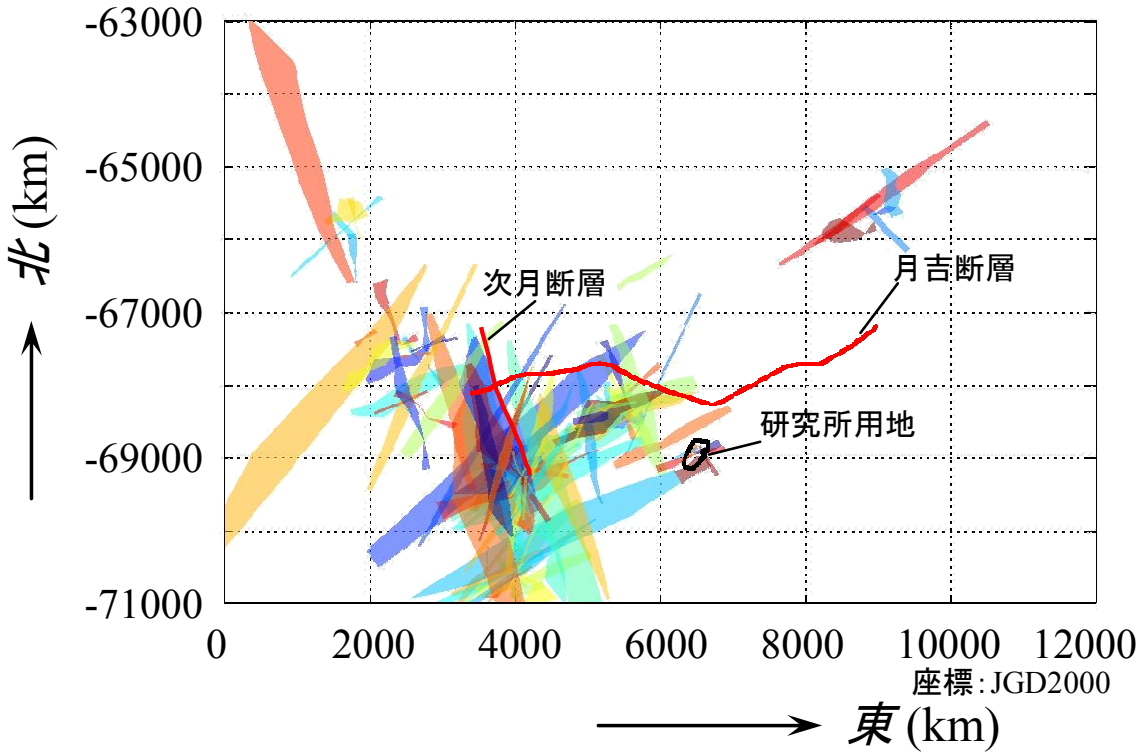


図 4.1-16 1km 以上の連続性を有する断層の 3 次元シミュレーション結果

4.2 岩盤力学に関する調査研究

4.2.1 実施概要

2007 年度は，立坑深度 200m に設けられた換気立坑側のボーリング横坑からボーリング孔を掘削し，立坑のプレグラウトおよび立坑掘削に伴う影響範囲に関する情報を取得することを目的としてひずみ計を設置し，計測を開始した。また，第2，第3段階において実施する掘削影響に関する研究についての検討を開始した。さらにモデル化・解析として，岩盤の長期挙動の評価研究を実施した。

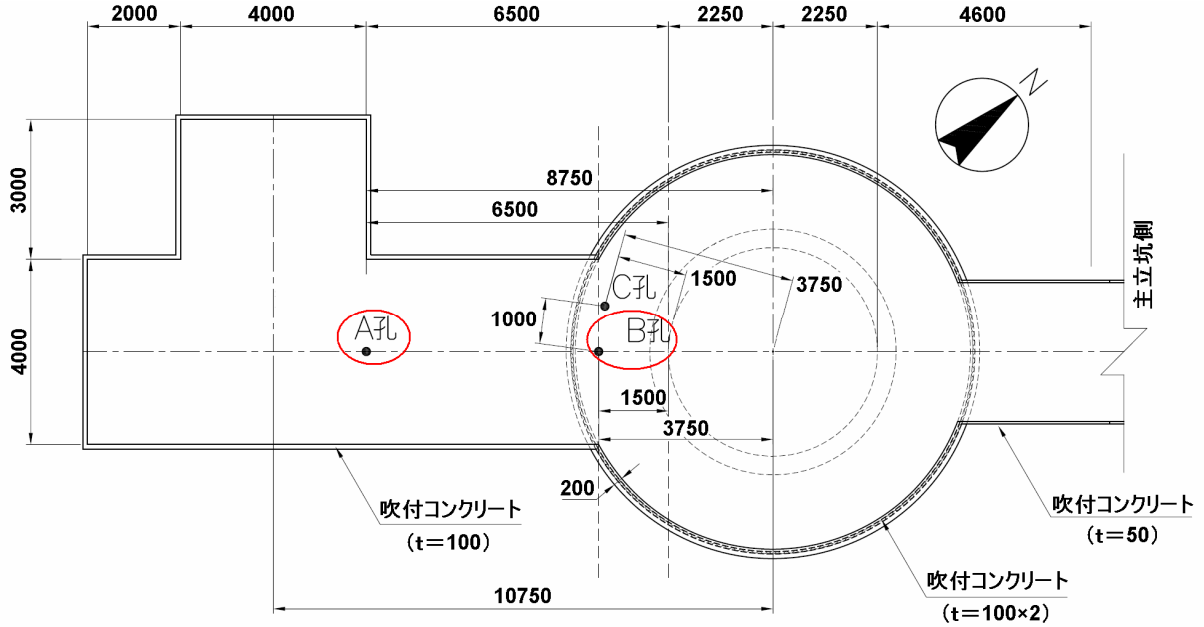
4.2.2 実施内容

(1)調査試験

立坑のプレグラウトおよび立坑掘削に伴う周辺岩盤へ影響を把握するために，ひずみ計を設置するためのボーリング孔の掘削，ひずみ計の設置を行った。あわせて掘削影響試験に関する検討を開始した。

1) ボーリング孔掘削

ひずみ計を設置するボーリング孔として，深度 200m の換気立坑側のボーリング横坑より鉛直下向きにボーリング孔（PQ 径：123mm）を2本掘削した（図 4.2-1 の A 孔（図 4.1-1 の 07MI10 号孔），B 孔（図 4.1-1 の 07MI11 号孔））。なお，A 孔は換気立坑の覆工壁面から 6.5m の位置に，B 孔は換気立坑の壁面から 1.5m の位置とし，立坑からの距離と立坑掘削による変位量との関係を比較することとした。ここで覆工コンクリート厚は 0.4m であり，A 孔位置を掘削面からの距離で示すと 6.1m（1.15D，ただし D は掘削径 =5.3m ）であり，B 孔のそれは 1.1m である。



＊C 孔は，先行変位計測用のボーリング孔（参照：4.5.2(5)）

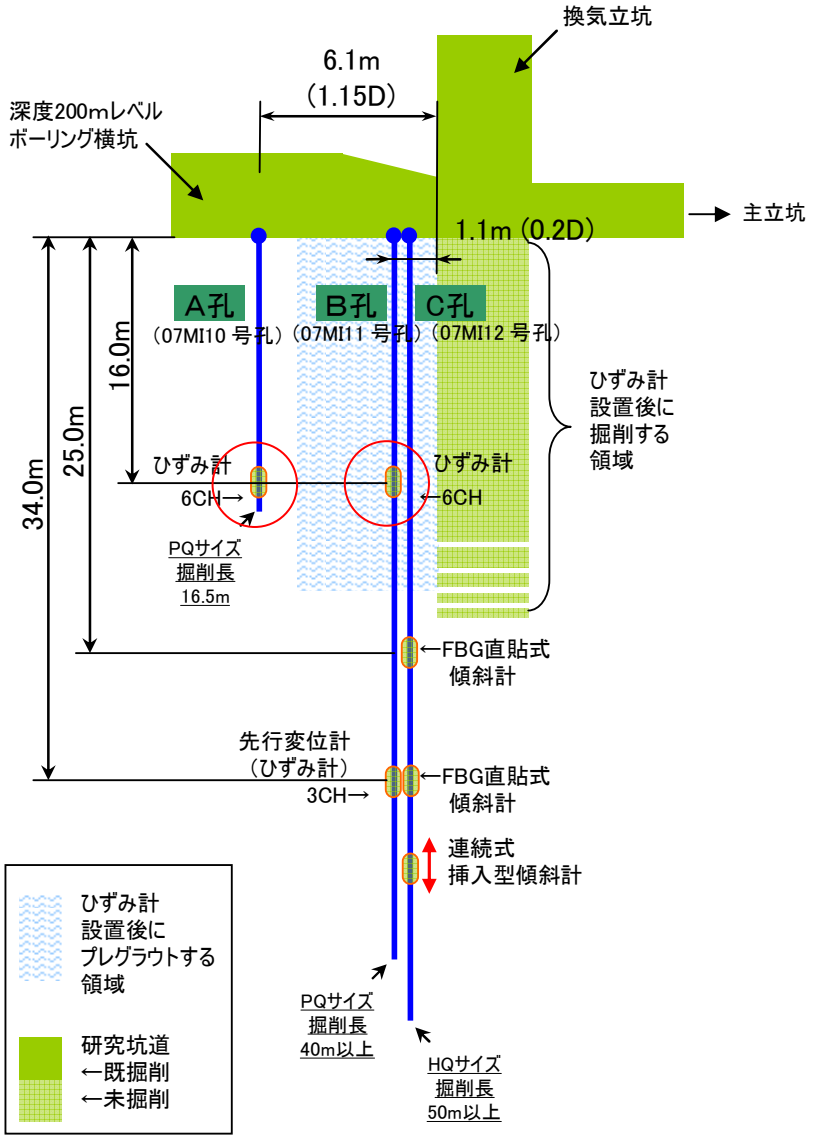
図 4.2-1 ボーリング孔レイアウト（200m 換気立坑側ボーリング横坑概略平面図）

2) ひずみ計の設置

掘削した 2 本のボーリング孔(図 4.2-1 の A 孔, B 孔)の所定の深度にひずみ計を挿入し, 充填材を注入して固定・設置した。ひずみ計中心の設置深度は, 両孔とも 200m 予備ステージのボーリング横坑より 16.0m(深度 216.0m)である(図 4.2-2 の A 孔, B 孔の○印)。なお, ひずみ計は, 観測座標系の座標軸方向の垂直ひずみ三成分(ε_{xx}, ε_{yy}, ε_{zz})と, 座標軸のうち二軸で成す面内の 45 度方向の垂直ひずみ三成分(ε_{x45y}, ε_{y45z}, ε_{z45z})の 6 方向成分が測定できるように製作した。

プレグラウトおよび掘削開始前のひずみの経時変化を図 4.2-3 に示す。図から, ひずみ計の値はほぼ安定してきており, 埋設時の充填材の硬化やプレグラウトなどがひずみ計の測定値に与える影響は小さい状態となっていることが確認できる。

2007 年度に設置したひずみ計によるプレグラウトや立坑掘削に伴う岩盤ひずみ計測およびその評価・分析は, 2008 年度に実施する予定である。



＊B 孔の 3ch ひずみ計および C 孔は, 先行変位計測用(4.5.2(5)参照)

図 4.2-2 ひずみ計設置深度(200m 換気立坑側ボーリング横坑概略立面図)

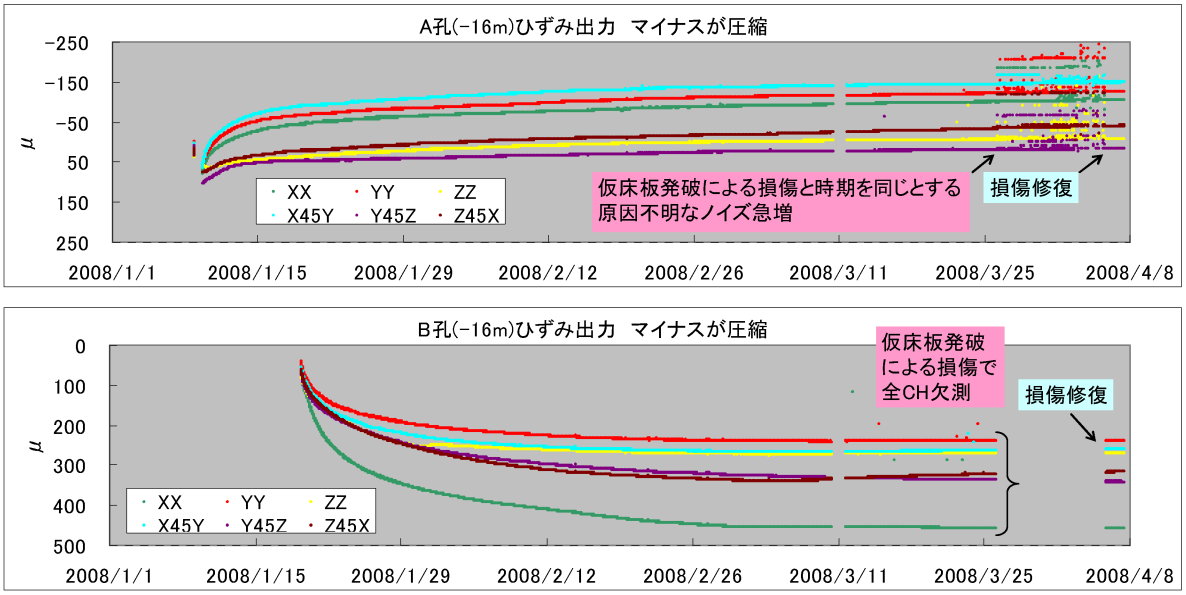


図 4.2-3 ひずみの経時変化の例(A 孔, B 孔)

3) 掘削影響試験計画の検討

第 2, 第 3 段階において実施する掘削影響に関する研究について, 実施目的や調査試験項目などの試験計画を検討した。

まず, 掘削影響試験の目的として, 以下の 4 項目を設定した。

・掘削影響領域の特性(岩盤力学, 岩盤水理, 地下水化学)・広がりを把握する。
・掘削影響領域の発生メカニズムを把握する。
・掘削影響領域の上記の特性を把握するための手法を確立する(調査機器開発を含む)。
・上の結果をもとに, 掘削影響領域のモデル化手法を確立する。

第 2 段階においては, 坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の掘削影響予測解析の高度化に向けて, 第 2 段階で得られる岩盤変位計測,内空変位計測,支保の応力やひずみ計測(A 計測, B 計測)などの計測結果と照合し, 解析手法の妥当性・適用性を確認するとともに, 課題の抽出などの検討を行う。また, 各予備ステージからの調査・試験で得られる最新の調査結果を用いて, 構築された岩盤力学モデルを基本として, 解析用の岩盤力学モデルを設定し, 深度 500m および 1,000m の立坑と水平坑道を対象とした掘削影響予測解析を行い, 第 3 段階以降の調査・研究計画策定の基礎資料を得る。掘削影響予測解析手法としては, 第 1 段階のモデル化・解析において採用した水理学的挙動の評価が可能な, MBC モデルおよびクラックテンソルモデルと仮想割れ目モデルを組み合わせた手法を用いる。

第 3 段階においては, 掘削影響領域のうち, 立坑および水平坑道掘削による直接的な掘削損傷領域および応力再配分領域の物性と分布を把握し, 掘削影響予測解析を評価・検証することを主な目的として, 掘削影響領域の調査を行う。調査は, 深度 500m および 1,000m 付近の立坑および水平坑道において実施する。

現時点で考えられる手法は以下のとおりである。

・損傷領域, 応力再配分領域の把握

岩盤変位計測, 岩盤ひずみ計測, 内空変位計測, AE 計測

・掘削による岩盤性状や力学特性の変化の把握(解析に用いる各種パラメータの把握)
　亀裂観察:既存亀裂の寸法分布, 新規亀裂密度, 方向分布等
　各種力学調査(室内物理・力学試験), 原位置応力測定
　弾性波探査(弾性波屈折法探査, PS 検層, 弾性波トモグラフィ等)
・新規割れ目の水理学的連続性(透水性)調査
・岩盤の透水異方性の評価
・施工法の違いによる掘削影響の把握
　TBM, 通常発破, スムースブラスティング

今後は, 研究の考え方や進め方に関して, 堆積岩を対象とした「幌延深地層研究所計画」も参考の上, 対象となる岩盤や遭遇する地質環境特性の違いを考慮した詳細な研究計画を立案していく予定である。

(2) モデル化・解析

結晶質岩を対象とする岩盤の長期挙動評価手法およびモデル化手法の確立を目的として, 現象論的研究(クリープや応力緩和の現象を精密な試験や観察・計測から直接捉える方法)および理論的研究(クリープや応力緩和の原因となるマイクロクラックの進展などを動分子力学理論や均質化理論などにより理論的に解明する方法)を実施した。

1) 現象論的研究

1997 年度から実施している田下凝灰岩の低応力レベル(一軸圧縮強度 9.1MPa の 30%)での長期クリープ試験[8]を継続するとともに, 過去 10 年分のクリープデータをもとに長期クリープ挙動を分析した。その結果, 田下凝灰岩の低応力レベルでのクリープひずみの経時変化は, 開始後 10 年を経過しても微増傾向を継続する一方で, クリープひずみ速度は, 低下傾向を継続して示していることを確認するとともに, 大久保・福井が報告[9]している式で表現できることを再確認した。

また, 土岐花崗岩の長期的な力学挙動を数値シミュレーションにより評価するために, 大久保らによって提案された強度破壊点以前から以降までの広範囲の応力レベルでの時間依存性挙動を再現できる拡張コンプライアンス可変型構成方程式[10]のパラメータ取得を行った。

拡張コンプライアンス可変型構成方程式は以下のように示される。

$$\frac{d\lambda^*}{dt} = a_1\left(\sigma^*\right)^{n_1}\left(\lambda^* - 1\right)^{-m_1} + a_3\left(\sigma^*\right)^{n_3}\left(\lambda^*\right)^{m_3} \quad (4.2\text{-}1)$$

ここで, λ を初期値 λ_0 で正規化した値を λ^* ($=\lambda/\lambda_0$) とし, σ を一軸圧縮強度 σ_c で正規化した値を σ^* としている。その他の a, n, m は周圧や岩石によって決まるパラメータであり, 添字 1 と 3 はそれぞれ 1 次クリープおよび 3 次クリープに係わるパラメータであることを示している。a は現象の進む速度を決めるパラメータで, この値が大きいほどクリープひずみが進行し易く, 一軸圧縮試験では強度が低下する。n は, $d\lambda^*/dt$ の応力依存性をあらわすパラメータで, 値が大きいほど非線形性が高くなる。m は応力-ひずみ線図の形(破壊が急激に進むかどうか)を決めるパラメータであり, この値が大きいほどピーク強度後の耐荷能力の低下が急激となる。

ある岩石について, 式(4.2-1)を用いる際のパラメータは a_1, n_1, m_1, a_3, n_3 および m_3 の 6 つであり, これらはクリープ試験や一般化応力緩和試験[11]等の適切な実験を行って取得する必要がある[12]。MIZ-1 号孔で採取した土岐花崗岩を対象にして取得されたパラメータを表 4.2-1 に示す。

土岐花崗岩を対象にして取得されたパラメータは, 今回報告するものが始めてである。今後は, 拡張したコンプライアンス可変型構成方程式を用いた FEM 解析に取り組む予定にしている。そのためには, ま

ず，拡張した式のパラメータに関するデータを蓄積することが重要であるとともに，拡張したコンプライアンス可変型構成方程式を組み込んだ FEM プログラムの開発が必要である。

表 4.2-1 拡張したコンプライアンス可変型構成方程式のパラメータ

（得られた順）	試験片1	試験片2	備考
n_3	52		文献 [12]より引用
n_1	52		$n_1 = n_3$ と仮定 [10),13)]
m_1	4	4	初期段階のクリープより算定
	4.9	4.9	一般化応力緩和試験（図 4.2-4 参照）
a_1	7×10^{-8}	3×10^{-7}	
m_3	60		文献 [12]より引用
a_3	3×10^{-4}	1×10^{-4}	

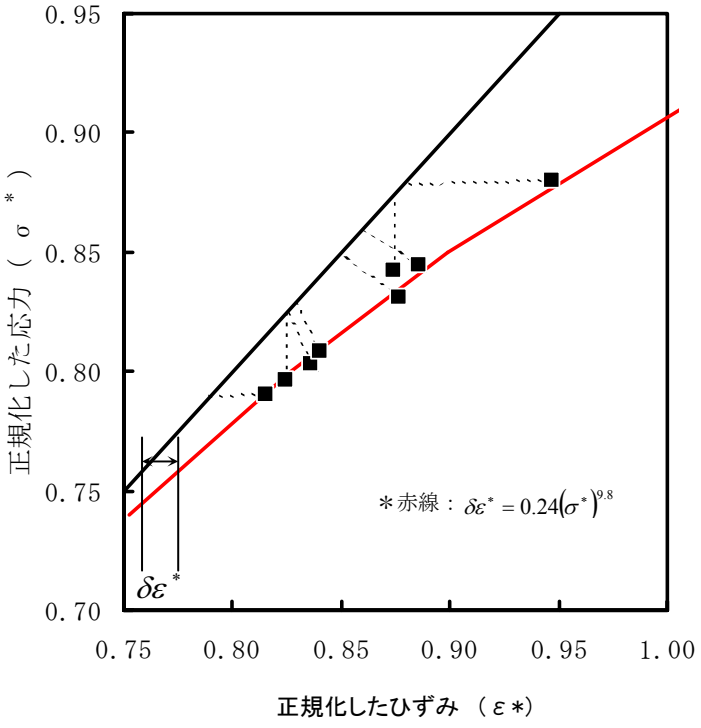


図 4.2-4 一般化応力緩和試験開始から 10^4s 後の正規化した応力－ひずみ線図上での位置

2) 理論的研究

2007 年度の研究では，(1)土岐花崗岩を用いたレーザー共焦点顕微鏡(CLSM) 観察下における応力緩和試験，(2)石英の溶解拡散に関する均質化解析，(3)強不連続解析を導入した均質化法による土岐花崗岩の微視レベルの亀裂進展解析を実施した。

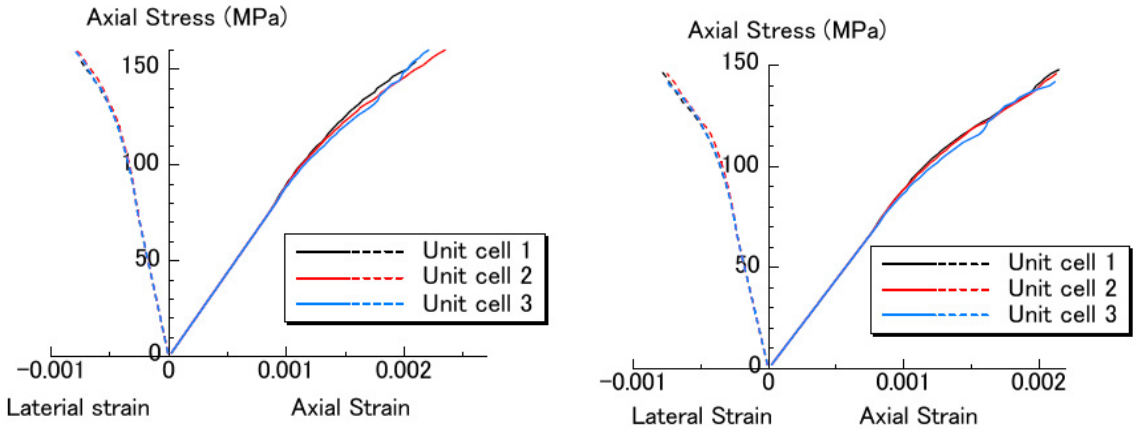
レーザー共焦点顕微鏡による観察は，2007年度は約一ヶ月の応力緩和試験を複数供試体（3本）に対して実施した。画像処理により石英と黒雲母およびその粒界における平均ひずみ（体積ひずみ）と偏差ひずみ（せん断ひずみ）の分布を調べた。その結果，花崗岩のように緻密で多くの異なった性質の鉱物が集合した多結晶材料では，局所的な変形の主な要因となるのはせん断であると理解された。

石英の溶解拡散に関する均質化解析については，石英中を移行するアルカリイオンの拡散問題に石英の溶解速度式を組み合わせた均質化解析を行い，高アルカリ環境下における石英溶解量を定量的に評価した。ベントナイトを模擬した一次元供試体モデルによる解析結果から，以下のことが明らかになった。

・石英溶解量における温度の影響は，層間水の厚さによる影響に比べて非常に大きい。
・乾燥密度が大きい方が，石英の溶解に対する遅延効果が大きくなる。
・高アルカリ環境との接触面付近においては，乾燥密度の増加による遅延効果の影響よりも，粘土鉱物量が増大して増えた反応表面積の影響が大きく（質量の増加に伴う体積の増加量より表面積の増加量が大きくなるので），石英溶解量は乾燥密度の増加に伴い大きくなる。

これにより，高アルカリ環境との接触面から浸出したアルカリ成分の拡散によるpHの変化と石英の微視的構造およびミクロレベルにおける物性を考慮した石英溶解量を定量的に求めることが可能となった。今回はベントナイト中の水酸基拡散に基づく石英の溶解問題を取り扱ったものであり，溶解物と他の鉱物の化学反応の影響も大きいと考えられる。よって，他の含有成分の影響を考慮した研究が今後の課題である。

均質化法による土岐花崗岩の微視レベルの亀裂進展解析では，微視・巨視問題を取り扱う均質化法の微視問題にOliver等[14),15)]によって開発された変位の不連続を許す強不連続解析を導入し，土岐花崗岩の微視レベルの亀裂進展解析を実施した。MIZ-1号孔の掘削長663.88～664.00の地点から採取した花崗岩試料の顕微鏡写真を撮影し，その写真上に0.5mm 間隔でメッシュを被せてポイントカウンター法で鉱物組成を決定した。この顕微鏡写真を参考に，3種類のユニットセルのモデルを作成した。また，地下の深度を100mと600 mの2 種類に設定し，それぞれに異なった損傷場パラメータを導入した。これら6種類の微視モデルを使って強不連続均質化解析を実施し，亀裂の進展状況を調べた。巨視モデルとして1端面は固定し，反対の端面に一定の分布荷重の増分を与える載荷実験を考えた。深度100mおよび深度600 mのモデルで計算した応力・ひずみ関係を横ひずみとともに図4.2-5 に示す。予備試験（応力緩和試験）をふまえて，深度が深いほうの損傷割合を大きくしている[16)]ため，一軸試験を実施すると深い深度の供試体が早く降伏域に入ると思われ，計算結果はそれを表している。ただし，今回の計算では軟化域まで計算することができなかったことから，今後の工夫が必要である。



(a)深度 100m のモデル　　(b)深度 600m のモデル

図 4.2-5 各深度の巨視モデルで計算した応力ひずみ関係

4.3 岩盤の水理に関する調査研究

4.3.1 実施概要

2007 年度は，第 2 段階の調査研究の一環として，第 1 段階で構築したサイトスケールおよびブロックスケールの水理地質構造モデルの妥当性を確認するとともに，モデルを適宜更新し，このモデルに基づく地下水流動解析に必要な情報を取得するための調査を実施した。また，研究坑道の掘削が周辺の地下水流動特性に与える影響を評価するため，地下水長期モニタリングや表層水理観測などを継続して実施した。

4.3.2 実施内容

(1) 調査試験

1)湧水量調査

研究坑道からの湧水量については，両立坑への給水量，揚水量を利用した湧水量の計測および，立坑に設置した集水リングでの観測を実施している。

①両立坑への給水量，排水量を利用した湧水量

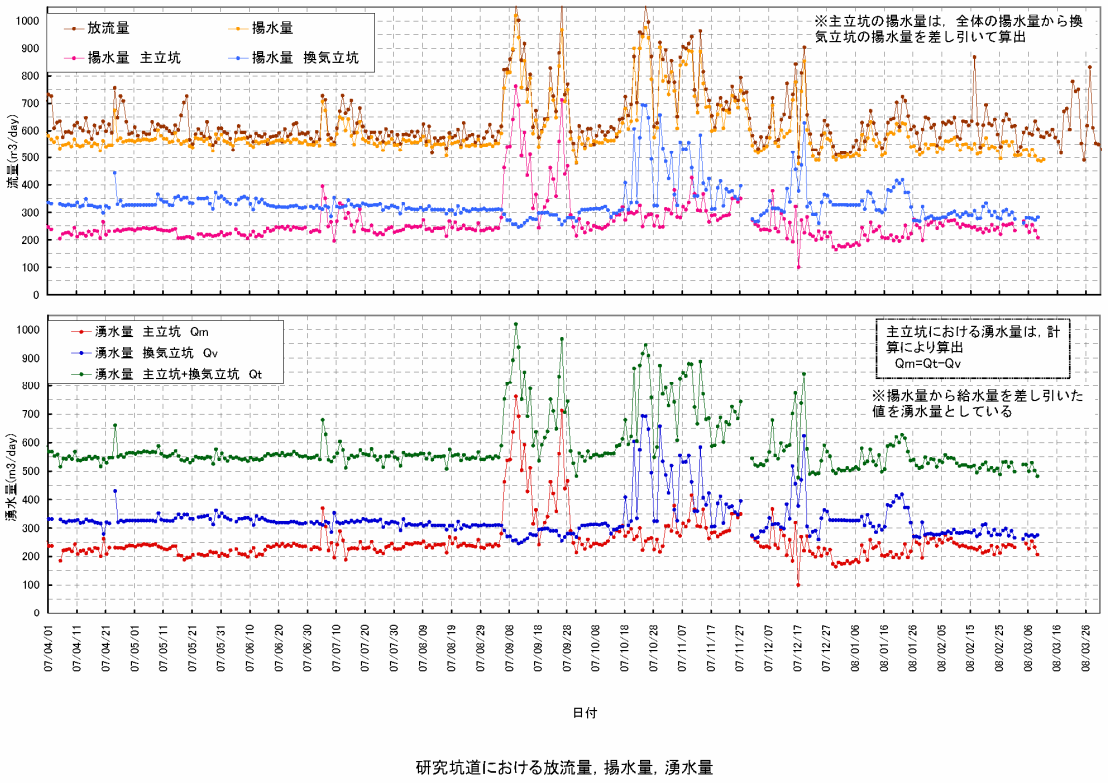
研究坑道では，地下施設全体からの揚水量(トータル揚水量)，換気立坑側の揚水量および，坑道内作業に伴い地上から地下施設へ送水される給水量が計測されている。これらの計測値を利用することで両立坑での湧水量を以下の計算から求めている。

研究坑道全体の湧水量＝トータル揚水量－主立坑給水量－換気立坑給水量
主立坑湧水量＝トータル揚水量－主立坑給水量－換気立坑揚水量
換気立坑湧水量＝換気立坑揚水量－換気立坑給水量

研究坑道全体の湧水量は，2007 年 8 月頃までは 550m^3/日であったが，12 月末頃からは若干減少し 500m^3/日で概ね安定している。主立坑では期間を通して湧水量は約 200m^3/日であるのに対し，換気立坑では 2007 年 8 月頃まで約 300m^3/日の湧水量が 2008 年 1 月以降 250m^3/日程度に減少している。こ

れは，200m 予備ステージ，ボーリング横坑掘削等に先立ち実施したグラウト工の効果によるものと考えられる。なお，2007 年 8 月から 12 月の間の湧水量の変動は，ボーリング横坑，200m 予備ステージで行われたボーリング孔掘削，調査，機器設置等の作業に伴う変動であることが確認されている。

図 4.3-1 に研究坑道の湧水量を示す。



研究坑道における放流量，揚水量，湧水量

図 4.3-1 研究坑道の湧水量

②集水リングでの湧水量

集水リングは各立坑での区間ごとの湧水量を把握することを目的として，両立坑の地質・地質構造を考慮し，25m 間隔を目安として設置している。表 4.3-1 に両立坑の集水リング設置区間，図 4.3-2 に集水リングでの湧水量観測結果を示す。図 4.3-2 に示す切羽までの湧水量は，各立坑全体の湧水量から，各深度の集水リングで観測された湧水量を減じたものである。

主立坑では多少のばらつきは見られるものの，各深度とも概ね安定した湧水量となっている。一方，換気立坑では，流量計の不具合等によるデータの異常や欠損が相次ぎ，品質を確保したデータが取得できていない。そのため，信頼性の高い観測を継続的に実施できる計測器の保守を充実させる必要がある。

表 4.3-1 集水リング設置深度

主立坑	GL-10.0m	換気立坑	GL-11.6m
	GL-43.5m		GL-39.5m
	GL-77.3m		GL-68.5m
	GL-94.4m		GL-94.0m
	GL-102.6m		GL-102.6m
	GL-136.2m		GL-131.2m
	GL-151.8m		GL-165.0m
	GL-167.4m		

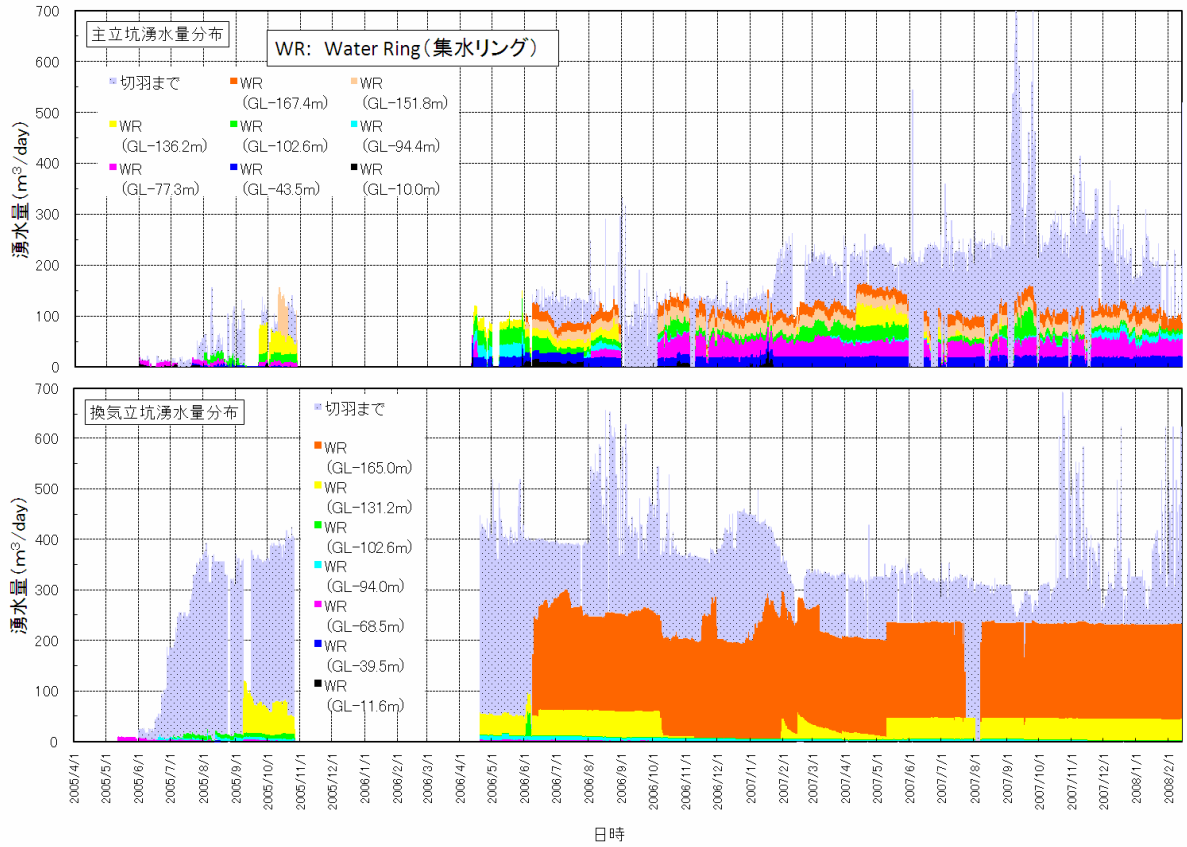


図 4.3-2 集水リングでの湧水量観測結果

2)地下水採水ボーリング孔(07MI07 号孔)での水理調査

07MI07 号孔(図 4.1-1 掘削長 55.3m)は，地下水の水質長期モニタリングを目的として研究坑道内の 200m 予備ステージに位置する避難坑からおよそ西北西方向にほぼ水平角度で掘削された。掘削時には，掘削長 28m 付近で約 200ℓ/分，55.3m まで掘削した時点で約 500ℓ/分(全孔)の湧水が確認された。

地下水の水質長期モニタリングシステムの設置に先立ち，同孔での水みちの位置および透水性を把握するために電磁フローメータ検層および，水理試験を実施した。

検層結果を図 4.3-3 に示す。掘削長約 28m，37m および 48.5～55.3m において顕著な流速変化が認められるが，これらの箇所は，ボーリング孔掘削時に大量の湧水が発生した箇所と概ね一致している。

水理試験は，湧水条件を前提として試験区間からの湧水量を指標として，湧水量が 40ℓ/分未満で定圧湧水試験，40ℓ/分以上で定流量湧水試験を選択した。図 4.3-4 に湧水量の測定結果，図 4.3-5 に水

理試験結果を示す。

水理試験の結果から，電磁フローメータ検層で抽出された湧水区間は，いずれも 10^{-6}～10^{-5}m/s オーダーの高透水性を有することが確認された。また，間隙水圧は最も口元に近い区間で約 0.89MPa，孔底付近で 1.01MPa であり，研究坑道から離れるほど高い間隙水圧を保持している可能性が示唆された。

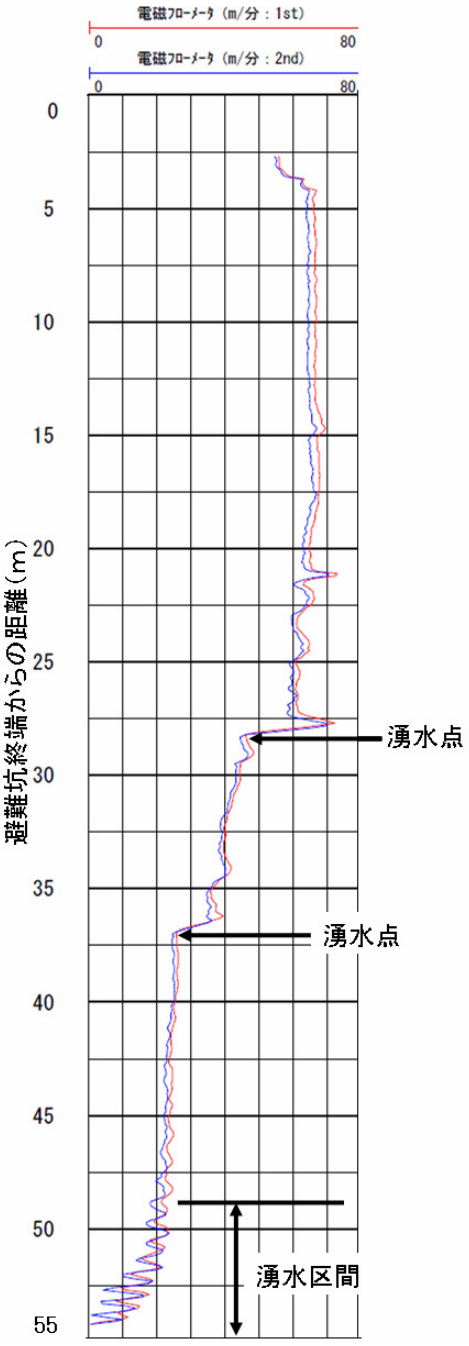


図 4.3-3 電磁フローメータ検層結果

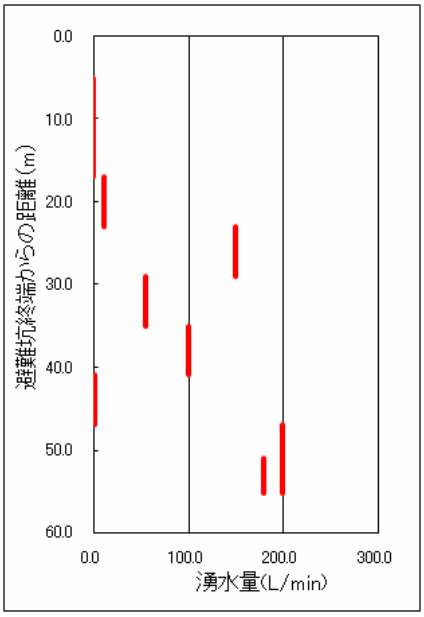


図 4.3-4 区間湧水量計測結果

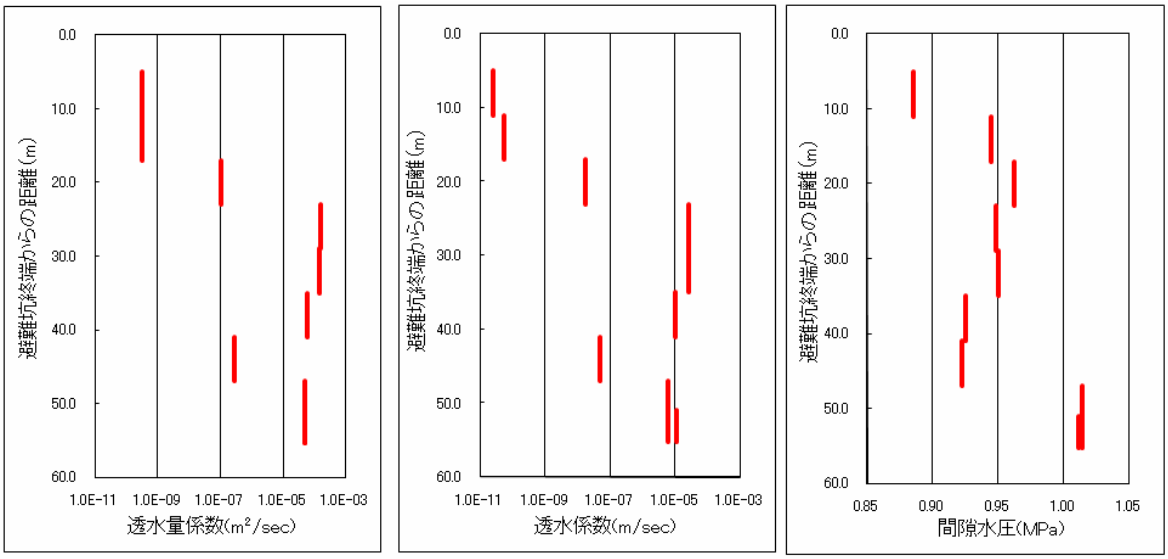


図 4.3-5 水理試験結果

3)水理調査ボーリング孔(07MI08 号孔, 07MI09 号孔)での水理調査

研究坑道からの湧水量は, 坑道掘削の影響による物性の変化に加えて, コンクリートライニングやグラウト等の人工構造物の存在により大きく変化する。よって, 湧水量をより精度良く予測するためには, 研究坑道周辺の掘削に伴う影響を考慮する必要がある。そこで, 研究坑道周辺における掘削に伴う影響を把握する指標として, 研究坑道近傍の水圧分布の変化を観測するため, 深度 200m に位置するボーリング横坑に掘削長約 120mの鉛直孔(07MI08 号孔, 07MI09 号孔 図 4.1-1)を掘削し, 地下水圧長期モニタリングシステムを設置した。

①07MI08 号孔における地下水圧長期モニタリングシステムの設置

07MI08 号孔は, 主立坑側の 200m ボーリング横坑から掘削した鉛直下向きボーリング孔である。モニタ

リングシステム設置に先立ち，コア観察，物理検層，電磁フローメータ検層を実施した。図 4.3-6 に総合柱状図を示す。

07MI08 号孔の地質は土岐花崗岩の上部割れ目集中帯に相当する。岩盤等級は B～CH で，顕著な孔径拡大は EL-20～-30m，-120m 付近に見られる。電磁フローメータ検層の結果から，明瞭な流速変化は EL-100～105m 付近に認められるが，湧水量は全体に少なく，全孔で 20ℓ/分以下である。

07MI08 号孔に設置した地下水圧モニタリングシステムは，カナダ West bay 社製「MP システム」である。上述したコア観察，物理検層および，電磁フローメータの結果から孔内を 7 区間に区切り，各区間の間隙水圧の連続モニタリングを開始した。表 4.3-2 に観測区間を示す。

②07MI09 号孔における地下水圧長期モニタリングシステムの設置

07MI09 号孔は，換気立坑側の 200m ボーリング横坑から掘削した鉛直下向きボーリング孔である。モニタリングシステム設置に先立ち，コア観察，物理検層，電磁フローメータ検層を実施した。図 4.3-7 に総合柱状図を示す。

07MI09 号孔の地質は土岐花崗岩の上部割れ目集中帯に相当する。岩盤等級は B～CH で，顕著な孔径拡大が EL-105m 付近に見られる。明瞭な流速変化は EL-10m，-17m，-32m，-80m，-93m，-105m 付近に認められる。湧水量は多く，全孔で 500ℓ/分程度である。

07MI09 号孔には口元湧水圧観測方式を用いたモニタリングシステムを設置した。本システムは，マルチパッカーシステムによって孔内を 5 区間に区切り，各区間から水圧観測ラインをボーリング孔口元まで立ち上げ，地上で各区間の湧水圧を観測するものである。本システムには，水圧観測ラインの目詰まりを除去するための注水ラインを有している。図 4.3-8 にモニタリング装置概念図を示す。

上述したコア観察，物理検層および，電磁フローメータの結果から孔内を 7 区間に区切り，各区間の間隙水圧の連続モニタリングを開始した。表 4.3-3 に観測区間を示す。

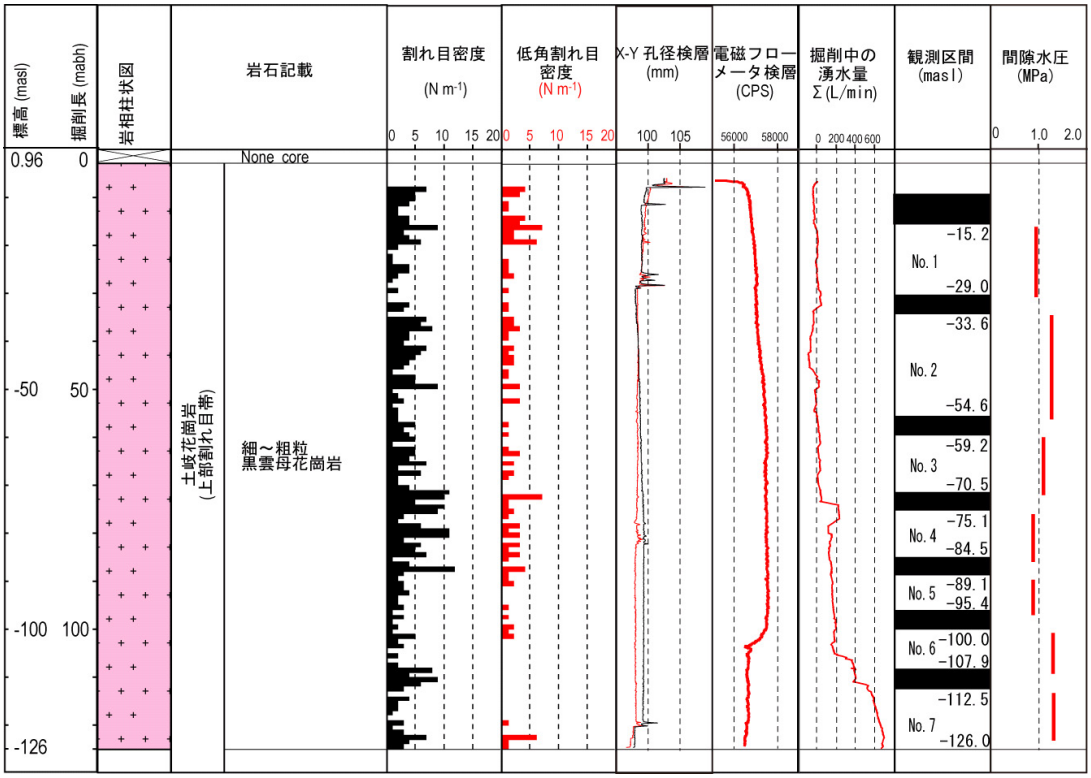


図 4.3-6 総合柱状図（07MI08 号孔）

表 4.3-2 観測区間一覧(07MI08 号孔)

07MI08号孔　　孔口標高 EL(m); 0.96

区間番号	区間深度				区間長	メジャメントポート	地　質
	掘削長 (m)		EL (m)		m	EL (m)	
1	16.2	～ 30.0	-15.2	～ -29.0	13.9	-24.3	土岐花崗岩
2	34.6	～ 55.6	-33.6	～ -54.6	21.0	-49.8	土岐花崗岩
3	60.2	～ 71.5	-59.2	～ -70.5	11.4	-65.8	土岐花崗岩
4	76.1	～ 85.5	-75.1	～ -84.5	9.3	-79.7	土岐花崗岩
5	90.1	～ 96.4	-89.1	～ -95.4	6.3	-92.2	土岐花崗岩
6	101.0	～ 108.9	-100.0	～ -107.9	7.9	-103.1	土岐花崗岩
7	113.5	～ 126.9	-112.5	～ -126.0	13.5	-112.5	土岐花崗岩

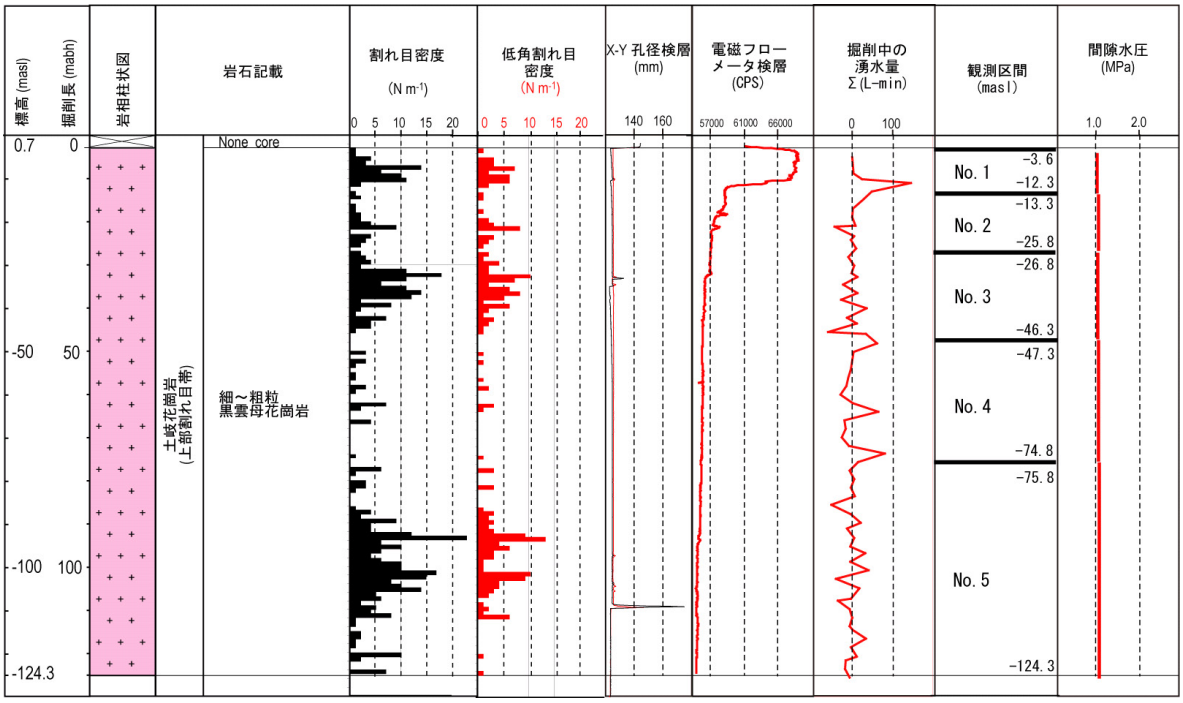


図 4.3-7 総合柱状図(07MI09 号孔)

表 4.3-3 観測区間一覧(07MI09 号孔)

07MI09号孔　　孔口標高 EL(m): 0.70

区間番号	区間深度				区間長	地質
	掘削長(m)		EL(m)		m	
1	4.3	～ 13.0	-3.6	～ -12.3	8.7	土岐花崗岩
2	14.0	～ 26.5	-13.3	～ -25.8	12.5	土岐花崗岩
3	27.5	～ 47.0	-26.8	～ -46.3	19.5	土岐花崗岩
4	48.0	～ 75.5	-47.3	～ -74.8	27.5	土岐花崗岩
5	76.5	～ 125.0	-75.8	～ -124.3	49.5	土岐花崗岩

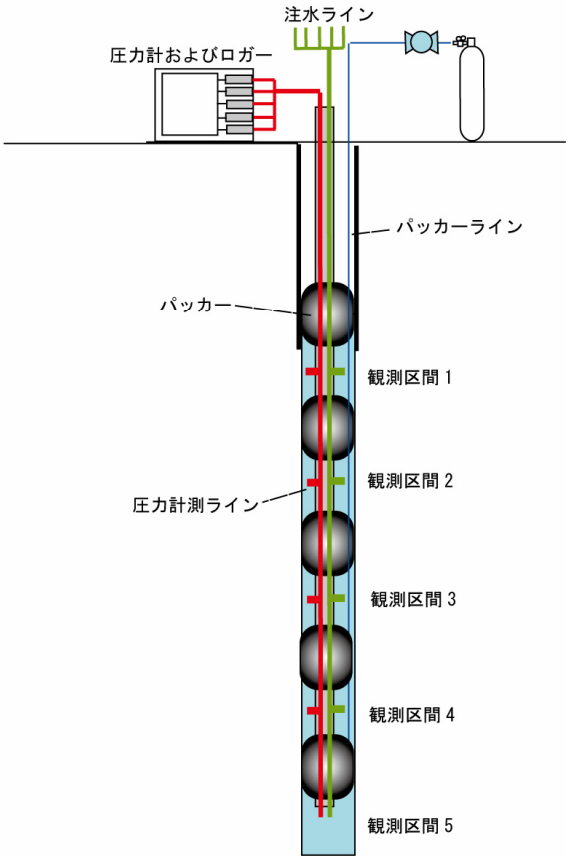


図 4.3-8 間隙水圧モニタリング装置概念図

4)地下水長期モニタリング

2006 年度に引き続き，研究所用地内の堆積岩～花崗岩上部を対象とした MSB-1 号孔および MSB-3 号孔において MP システムを用いて間隙水圧のモニタリングを継続するとともに，花崗岩を対象として MIZ-1 号孔において SPMP システム，05ME06 号孔において MP システムを用いた間隙水圧モニタリングを継続した(図 4.3-9)。

2007 年度における研究所用地内での主な作業は①深度約 200m までの掘削(換気立坑)②深度 200m の予備ステージおよびボーリング横坑の掘削，③立坑内水理ボーリング(07MI08 号孔，07MI09 号孔)と地下水採水ボーリング(07MI07 号孔)および先行変位ボーリング，④深度 200m 以深の掘削(主立坑)である。

換気立坑の掘削は 2007 年 1 月 8 日に深度 191m からさぐり削孔およびグラウチングを開始し 2007 年 8 月 2 日で深度 200.2m に到達した。また，主立坑側では 2007 年 2 月 10 日に深度 200.2m に達した後，200m 予備ステージおよびボーリング横坑の掘削を挟んで，2008 年 1 月より深度 200.2m 以深の掘削を実施し，2008 年 3 月段階で深度 231.2m に達している。

主立坑側と換気立坑側を連結する予備ステージおよび主立坑側と換気立坑側の各々の観測用の機器を設置するための空間であるボーリング横坑の掘削は 2007 年 2 月より開始された。同年 9 月 10 日に主立坑側と換気立坑側が貫通し，最終的には 2008 年 3 月にポンプ配管等の作業を完了した。

水理ボーリング，地下水採水ボーリングおよび先行変位ボーリングについては，地下水採水ボーリングの掘削・調査および地下水の水質長期モニタリングシステム設置作業が 2007 年 8 月から 10 月，水理ボーリングの掘削，調査および地下水の水圧長期モニタリングシステムの設置作業が主立坑側で 2007 年 8 月から 12 月，換気立坑側で 2007 年 10 月から 1 月末，また，先行変位ボーリングが 2007 年 11 月から 1 月末で作業を実施している(図 4.1-1)。

2007 年 4 月 1 日～2008 年 3 月 31 日の間隙水圧の変動(図中では水位標高に換算)を図 4.3-10～4.3-13 に示す。

堆積岩上部の明世/本郷累層である MSB-1 号孔の区間 No.1,2(EL.186.7～136.8m，135.9m～121.5m),MSB-3 号孔の区間 No.1,2(EL.190.2～137.7m,136～123.9m)では,水位の急激な上昇や低下は少なく比較的安定している。一方，堆積岩下部の土岐夾炭累層である MSB-1 号孔の区間 No.2～4(EL.135.9～58.0m)および MSB-3 号孔の区間 No.3～5(EL.123.1～38.6m)では，水位は全体的に低下傾向を示す。2007 年度の傾向としては，MSB-3 号孔のみならず，MSB-1 号孔でも研究坑道内の作業に対応する水位変動が確認できる(特に，MSB-1 号孔 2007 年 9 月～2008 年 1 月)。

花崗岩区間では，主立坑近傍に分布すると考えられる断層(以降，NNW 断層という)の影響を受けて，NNW 断層の北東側である MSB-1 号孔と南西側である MSB-3 号孔及び 05ME-06 号孔で，研究坑道の作業に対する水位変動に違いが生じている。

MSB-3 号孔の区間 No.6,7(EL.37.7～17.6m)および 05ME06 号孔の全区間では，立坑内作業に対する顕著な水理応答が認められる。また,MSB-1 号孔の区間 No.5(EL.57.1～52.1m)および MIZ-1 号孔の区間 No.1～3(EL.90.1～-440.7m)においても，勾配の変化が生じる程度ではあるが，研究坑道内の作業に対する水位変動が確認できた。

MIZ-1 号孔の No.4 以深の区間(EL.-441.7～1093.4m)については，観測装置内における地下水中の溶存ガスの分離の影響と考えられる変動が大きいため，研究坑道内の作業に対する水理応答の有無は不明である。