

東濃地科学センターにおける深地層の科学的研究の現状 — 超深地層研究所計画を中心として —

核燃料サイクル開発機構
東濃地科学センター
地層科学研究情報化Gr
GL 茂田 直孝

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)東濃地科学センターでは、国の計画・方針にしたがい、地層処分技術に関する研究開発として、地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究(以下、地層科学研究)を進めている。東濃地科学センターにおける地層科学研究は、超深地層研究所計画、広域地下水流動研究、東濃鉱山での調査試験研究、地質環境の長期安定性に関する研究の4プロジェクトからなる。このうち、超深地層研究所計画は、原子力長期計画に示された深地層の研究施設計画のひとつとして結晶質岩を対象に岐阜県瑞浪市において進めているものである。本計画は平成8年度より開始し、昨年7月には研究坑道の設置場所となる瑞浪超深地層研究所の建設に着工した。本稿では、超深地層研究所計画を中心に、東濃地科学センターにおける地層科学研究の現状について報告する。

2. 研究の課題

「第2次取りまとめ」(サイクル機構, 1999a)以降における地層処分技術に関する研究開発の課題については、「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価」(原子力委員会, 2000)や「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告)」(原子力安全委員会, 2000)において、重要な項目が示されている。そのうち、地層科学研究に関連する課題としては、「地表から地下深部までの調査の体系化」「深部地質環境データの蓄積」(原子力委員会, 2000), および「実際の地質環境条件を適切に考慮した設計, シナリオに基づく評価」「地質環境の長期にわたる変化を考慮した評価」(原子力安全委員会, 2000)などが挙げられている。

これら国の報告書で示された課題を踏まえ、東濃地科学センターにおいては、以下の4つの大きな研究課題を設定して地層科学研究を進めている。

- ①地質環境特性に関する研究
- ②地質環境の長期安定性に関する研究
- ③深地層における工学技術の基礎の開発
- ④ナチュラルアナログ研究

上記①は、地質環境条件として重要な地下水の動きや化学的性質、岩盤の特性、坑道掘削が周辺の岩盤に与える影響に関する知見の取得と、それに必要な技術に関する研究開発である。②は、火山や地震などの天然現象の活動の特徴や影響の程度を明らかにし、地質環境の将来における変化を予測する研究である。また、③は、研究坑道などの地下施設の建設を通して、様々な工学技術の地下深部への適用を研究するものであり、④は、地質環境中における天然ウランの移動等に関する極めて長期の天然現象を解明し、安全評価手法の信頼性の向上に寄与する研究である。これらの研究課題に対

プロジェクト 課題項目	広域地下水	超深地層	東濃鉱山における	地質環境の
	流動研究	研究所計画	調査試験研究	長期安定性に関する研究
地質環境特性に関する研究	○ (広域スケール)	○ (施設スケール)		
地質環境の長期安定性に関する研究			△	○
深地層における工学技術の基礎の開発		○		
ナチュラルアナログ研究			○	

○：課題項目に対応するプロジェクト
△：課題項目の一部に対応するプロジェクト

図1 地層科学研究の課題とプロジェクト

して、東濃地科学センターでは地層科学研究を構成する 4 つのプロジェクト、すなわち超深地層研究所計画、広域地下水流動研究、東濃鉱山における調査試験研究、地質環境の長期安定性に関する研究、として取り組んでいる(図1)。

3. 研究の現状

東濃地科学センターが進めている地層科学研究のうち、超深地層研究所計画、広域地下水流動研究、東濃鉱山における調査試験研究の 3 プロジェクトは、地下深部の岩盤とそこに含まれる地下水の性質やそこで起こっている現象を理解しながら、その調査・評価のために必要な技術を開発整備していくことを主な目的として、東濃地域を対象に実施している。一方、地質環境の長期安定性に関する研究は、わが国における地震や火山活動等の天然現象の特徴やそれによる地質環境への影響を理解することを目的に、全国を視野に入れて実施している。

超深地層研究所計画については次節で詳しく述べるため、これを除く 3 つのプロジェクトの概要を以下に紹介する。

3.1 広域地下水流動研究

広域地下水流動研究は、地下水の涵養域から流出域(例えば、尾根から河川)までを包含する領域における地下水の大局的な流れや、それに伴う水質の変化などを効率的に把握するための技術の開発整備を主な目的として、平成 4 年度から実施している。東濃地域においては、東濃鉱山を含む約 10 km 四方程度を対象に、空中や地表からの物理探査、地表地質調査、表層での水理・水文調査、深度 500 m~1,000 m の深層ボーリング調査(13 孔)などを行ってきた。これまでの研究により、深度 1,000 m までの岩盤や地下水を調査・観測するための機器や手法を開発するとともに、大局的な地下水の流動状況や深度による地下水水質の違いなどを把握してきた(サイクル機構, 2000a)。

今後は、実際の地質環境を対象とした調査研究を通して、取得される情報量と地質環境の理解の程度との関係を事例的に示すとともに、用いられた各種調査・解析技術の適用性の評価と、それらの技術の組合せや手順および適用に際しての留意点などを示した調査・解析フローの構築を目指す。そのため、特に、瑞浪超深地層研究所用地とそれを含む広域地下水流動研究の研究成果を相互に活用しながら、広い領域から研究坑道を展開する瑞浪超深地層研究所用地までのスケールを対象とした調査手法および調査データを一連のものとして、調査・解析手法の適用性に関する知見を蓄積していく(サイクル機構, 2002a)。この一環として、瑞浪超深地層研究所用地に隣接する既存のボーリング孔(DH-2 号孔; サイクル機構, 2000b)周辺での地表物理探査や DH-2 号孔を利用したボーリング調査を実施している。

3.2 東濃鉱山における調査試験研究

東濃鉱山における調査試験研究は、ウラン鉱床に掘削された既存の地下坑道を利用して、昭和 61 年度に開始した。深度約 150 m までの堆積岩が主な研究対象である。ウラン鉱床が存在し、さらにそれを断層が横切るという特徴を活かして、物質の移行・遅延現象に着目したナチュラルアナログ研究や、坑道周辺の地質環境を総合的に調べるための技術の整備を進めている。今後も、ウラン鉱床を利用したナチュラルアナログ研究として、既往の研究事例のレビューや岩芯・地下水試料を用いた室内調査などにより基礎情報を蓄積しつつ、体系的なナチュラルアナログ研究手法として整備していく。また、岩盤の力学的安定性に関する試験研究として、場の 3 次元的応力分布を解析的に評価する手法および堆積岩の長期挙動を表現できる解析手法の開発を目的とした調査研究を実施していく(サイクル機構, 2002b)。なお、ウラン鉱床を利用したナチュラルアナログ研究は、地質環境による物質の保存能力など、地層処分の長期的な安全性についての国民の理解を得ていく上でも有効であると考えている。

3.3 地質環境の長期安定性に関する研究

地質環境の長期安定性に関する研究は、わが国における地震・断層活動、火山活動、隆起・侵食、気候・海水準変動といった天然現象の活動の特徴(活動の傾向・規則性、地域性、変動の速度・規模など)や影響の程度・範囲などを理解することを目的とした研究である。平成元年度より全国を視野に入れて、大学等の専門家の協力を得ながら、文献調査や事例研究による情報・知見の整備、データベース化を進めている。これまでの研究により、過去数十万年にわたり、わが国における主要な地震・断層活動や火山活動が限られた場所や地域で繰り返し起こっていること、また、隆起・侵食および気候・海水準変動には、一定の傾向や周期性が認められることなどがわかってきている。このような状態は将来的にも継続すると考えられるため、現在の活断層(帯)や火山地域、あるいは隆起・侵食が著しい地域などを避けることにより、将来にわたって十分に安定な地域を見出すことができる(サイクル機構, 1999a)。今後は、実施主体による概要調査地区等の選定や国による安全審査基準・指針等の策定等への反映を念頭に置き、将来の天然現象を予測するための技術(長期予測技術)、具体的な地質環境において長期安定性を評価するために必要なデータを取得するための体系化された調査技術(地層変動調査技術)に係わる研究開発を進めるほか、安全評価等に必要な知的基盤・情報基盤の整備を図っていく(サイクル機構, 2002c)。

4. 超深地層研究所計画

4.1 計画の概要

本計画では、深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備および深地層における工学的技術の基盤の整備を目標として設定し(サイクル機構, 2002d)、これらの目標を達成するため、地質環境を調査・予測・検証する一連のアプローチを繰り返し行うことにより、地上や地下から、地質環境を調査・解析・評価する手法の有効性を確認していく。そのため、全体計画を3段階(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)に分け、全体を約20年間かけて実施する計画である。

本計画の成果は、他の地層科学研究の成果とあわせて、東海事業所で実施している処分技術の信頼性向上および安全評価手法の高度化に関する研究開発に反映していくとともに、国が行う安全審査指針等の策定や実施主体が進める処分事業の推進にも基盤情報として活用される。また、研究施設は広く公開し、地下深部についての学術的な研究の場、あるいは深部地質環境や地層処分の研究開発に対する国民の理解を深める場としても寄与する。

現在実施している第1段階の目標は、以下のとおりである。

- 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

本計画では平成8年度より岐阜県瑞浪市明世町のサイクル機構が所有する用地(正馬様用地)において第1段階の調査研究を行ってきたが、平成14年1月に、瑞浪市と、正馬様用地の約2km東方に位置する同じ明世町内の市有地(研究所用地)の賃貸借契約を締結し、研究坑道などの設置場所を研究所用地に変更することとした。

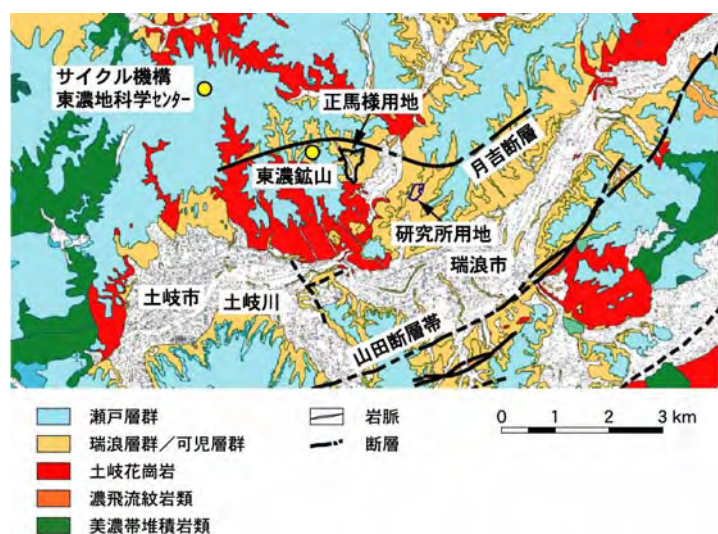


図2 研究実施領域周辺の地質

双方の用地は共に白亜紀の花崗岩(土岐花崗岩)の分布域に含まれており、これを基盤として、新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)が不整合で覆い、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)が不整合で覆っている(図2)。現在、正馬様用地での研究成果を活用し、研究所用地において地表からの調査予測研究段階である第1段階の調査研究を進めている。正馬様用地については、これまで蓄積された地質環境の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ていく(サイクル機構, 2002d)。

4.2 現状と主な成果

研究所用地では、これまでに地上物理探査、深度200m程度までのボーリング調査(MSB-1~4号孔)を実施しており、現在、それらの調査結果を踏まえて、深層ボーリング調査(深度1,300m程度)の準備作業を開始したところである。また、調査研究と並行して、平成14年7月に研究所用地の造成工事に着手し、現在、研究坑道の掘削仕様や施工計画の検討を行っている。一方、正馬様用地では、これまでに地上物理探査、表層水理調査およびボーリング調査を実施してきており、今後はこれらの調査結果の解析を進めるとともに、ボーリング孔を利用した地下水の長期観測(水圧、水質)等を継続していく。

1) 研究のアプローチ/成果の統合化

本計画においては、物理探査やボーリング調査などによって得られた結果を統合しながら、順次充実してくる情報に基づき、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤力学に関する地質環境モデルの構築を進めている。その過程で、調査計画の立案から調査結果の評価に至る一連のプロセスを繰り返し、品質の確認、向上を図るとともに、情報の質・量と地質環境の理解における不確実性の関係を把握する(サイクル機構, 2001; 三枝ほか, 2001など)。また、処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化といった観点から、研究成果の反映先や具体的なアウトプットを設定し、このアウトプットに至る調査・解析およびモデル化の流れ(データフロー)を明確化してきた(中野・大澤, 2001)。あわせて、データの追跡性を確保するため、データベースの整備を進めてきている(図3)。

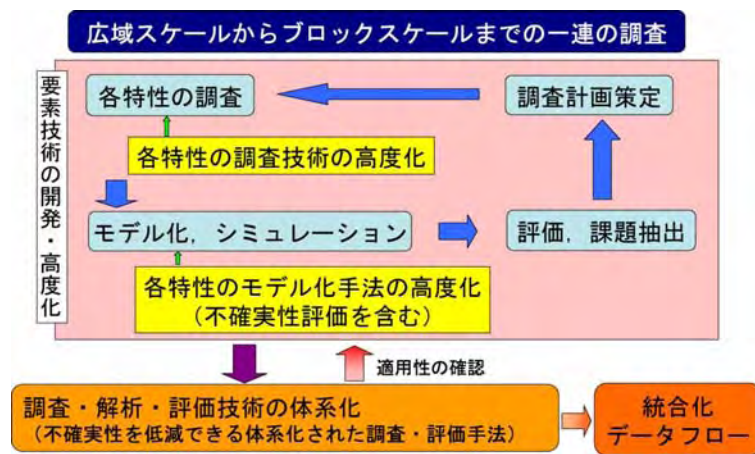
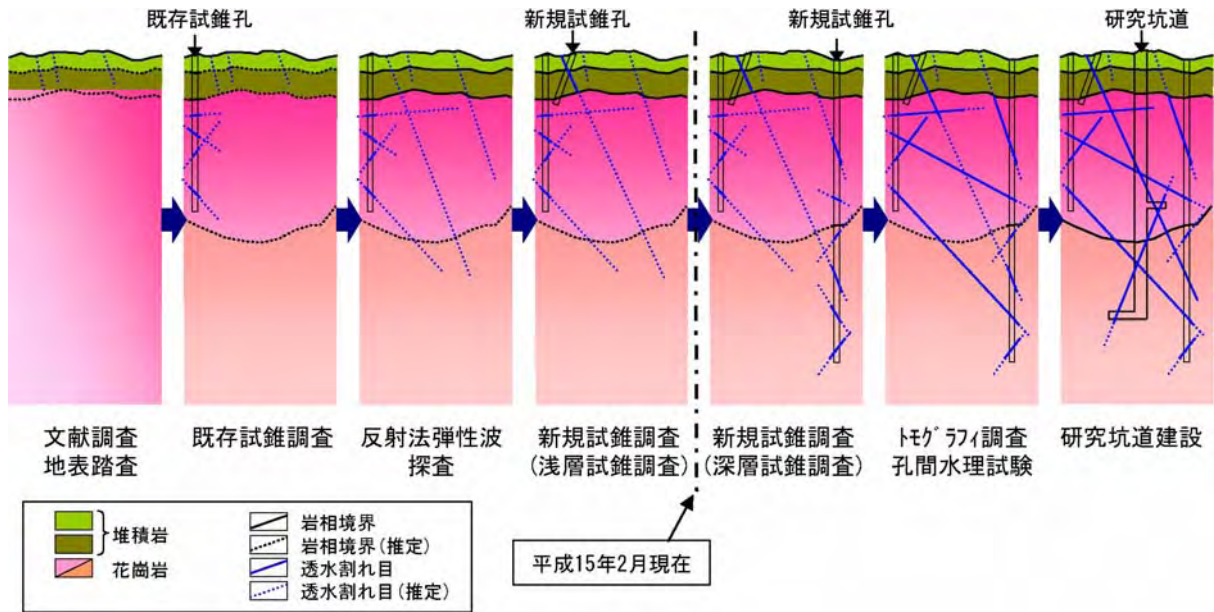


図3 研究開発の進め方

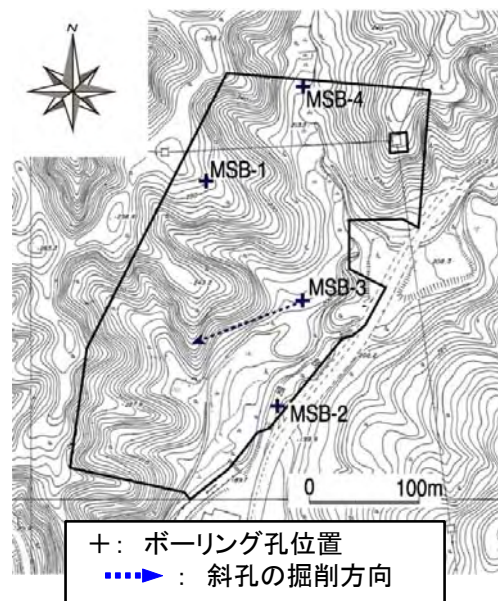
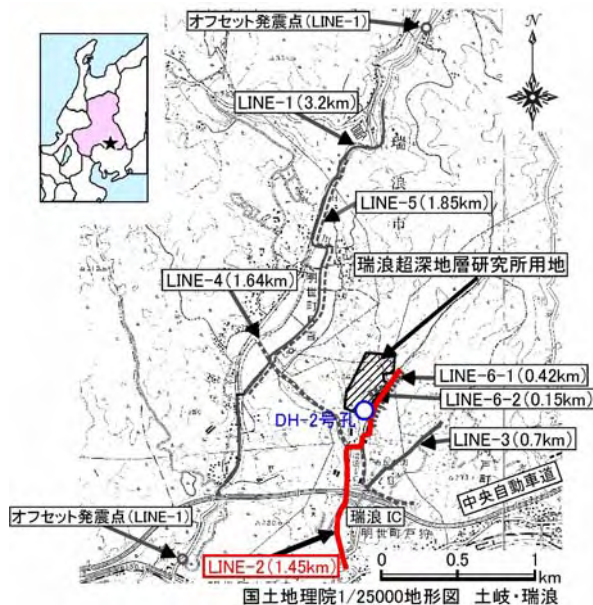
これまで正馬様用地での調査研究により実施してきた上述のアプローチを踏まえて、新たに研究所用地における調査研究の計画を策定した(図4; サイクル機構, 2002d)。研究所用地及びその周辺で行う調査研究では、段階的に地質環境モデルの構築、解析・評価を繰り返し行い、本研究領域を事例として、調査の種類・量、解析・評価の手法と結果の精度(深部地質環境の理解度)の関係を明らかにするとともに、深部地質環境を理解するための調査・解析・評価体系や、個々の調査・試験技術の手順・品質担保の方法、モデル化手法の適用性を示す計画である。

以下、研究所用地における調査研究の現状を研究課題ごとに報告する。また、最後に正馬様用地における研究成果の概要をまとめる。



2) 地質・地質構造に関する調査研究

地質・地質構造に関する調査研究では、研究用地の周辺の地質・地質構造に関する既存情報を収集・整理するとともに、研究用地およびその周辺の地質・地質構造に関する情報を取得するための地上物理探査(図5)を実施した。また、堆積岩から花崗岩表層部までの地質環境の情報を取得するため、深度200m程度までのボーリング調査(MSB-1~4号孔, 図6; Goto et al., 2002)を実施した。地上物理探査では、DH-2号孔のボーリング調査データなどの既存情報との対比を通して、花崗岩中の断層などの地質構造と反射イベントとの間に認められる相関関係により、花崗岩中においても反射法弾性波探査によって地質構造を推定できる可能性があることを示した(図7; 松岡ほか, 2002)。また、ボーリング調査では、花崗岩上部までの地層・岩相境界深度を把握した。



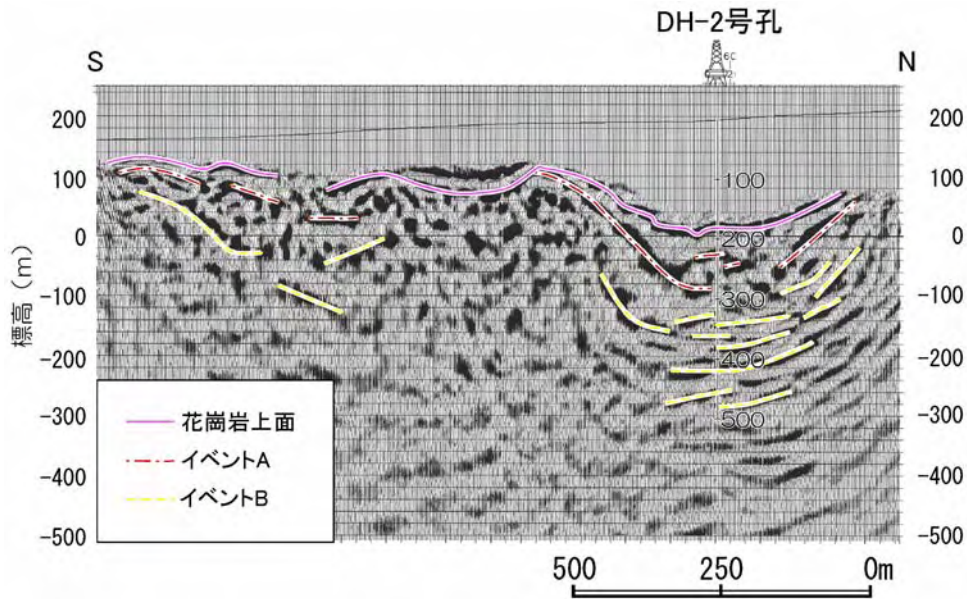


図7 反射法弾性波探査で捉えられる花崗岩中の反射イベント

3) 地下水の水理に関する調査研究

地下水の水理に関する調査研究では、研究所用地の周辺の水理に関する既存情報を収集・整理するとともに、深度 200m 程度までのボーリング調査 (MSB-1~4 号孔) において水理試験・流体検層を実施した。浅層ボーリング調査では、研究所用地に分布する堆積岩の透水係数、研究所用地の間隙水圧分布および MSB-3 号孔で捉えられた走向 NNW の断層の水理学的性質を把握した。

また、これらの情報や広域地下水流動研究で行う調査・試験の結果に基づいて水理地質構造モデルを構築し、予備的な地下水流動解析を実施中である。

4) 地下水の地球化学に関する調査研究

地下水の地球化学に関する調査研究では、研究所用地の周辺の地下水の地球化学に関する既存情報を収集・整理するとともに、深度 200m 程度までのボーリング調査において土岐夾炭類層および土岐花崗岩最上部の地下水の採水を実施した。その結果、ボーリング調査で採水した地下水は全て天水起源であり、Na-Cl 型の淡水であること、鉄および硫黄の酸化還元境界がそれぞれ深度約 20m、約 40~60m と推定されることなどがこれまでに明らかとなっている。

5) 岩盤力学に関する調査研究

岩盤力学に関する調査研究については、DH-2 号孔の岩芯を用いた力学試験などを実施した。このデータと今後実施予定の深層ボーリング調査などで得られるデータにより、研究所用地における土岐花崗岩の3次元的な岩盤力学モデルを構築していく。

6) 深地層における工学技術に関する研究

深地層における工学技術に関する研究については、研究坑道の掘削を伴う研究段階ならびに研究坑道を利用した研究段階において実施すべき調査研究項目について、国内外の先行事例などを参考に整理し(サイクル機構, 1999a), それに基づいて研究坑道の展開手順や仕様の決定方法などを検討してきた。また、これまでの調査で得られた深部地質

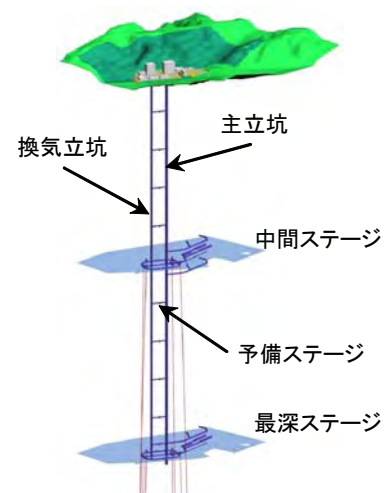


図8 研究坑道レイアウトの例

環境に関する情報を加味して、平成 15 年度より掘削に着手する研究坑道のレイアウトや施工計画を検討した(見掛ほか, 2000; サイクル機構, 2002c)。現在検討しているレイアウト案を図8に示す。

7) 正馬様用地における調査研究

正馬様用地では、これまでに実施した地上物理探査、表層水理調査およびボーリング調査の結果に基づき、地質・地質構造、地下水の水理、岩盤力学等についての解析を進めている。

地質・地質構造については、これまでに掘削された MIU-1～3 号孔における掘削中の逸水観測および流体検層から地下水の流出入が認められた箇所割れ目データを詳細に見直し、割れ目の密度や開口量、二次鉱物の有無・種類、あるいは物理検層値などの特徴に着目して割れ目の調査・評価手法を構築した。この手法を MIU-4 号孔のボーリング調査に適用し、構造地質学的特徴に基づく割れ目調査および割れ目を介した(熱)水-岩石反応とその程度の特特定を行った(サイクル機構, 2002e)。

地下水の水理については、割れ目(帯)の水理学的な連続性と水理定数に関する情報を取得すること、水理地質構造モデルを確認するためのデータを取得することを目的として、MIU-2 号孔を揚水孔、その周辺のボーリング孔を観測孔として長期揚水試験を行った。その結果、月吉断層が水理学的な遮水ゾーンとなっていることを確認するとともに、月吉断層に伴う割れ目帯が、上盤、下盤ともに高い透水性を示し、ボーリング孔間で水理学的に連続していることが明らかとなった(図9; サイクル機構, 2002e)。

岩盤力学については、正馬様用地で実施してきた MIU-3 号孔までの調査結果により構築した概念モデル(松井ほか, 2000) および MIU-1～3 号孔のジョイントせん断試験結果(畑ら, 2001)などに基づき、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤への力学的影響評価解析のために用いる岩盤力学モデルを構築した(図 10)。この岩盤力学モデルを用いて、2 次元有限要素法を用いた掘削に伴う力学的影響評価解析を実施した(サイクル機構, 2002e)。

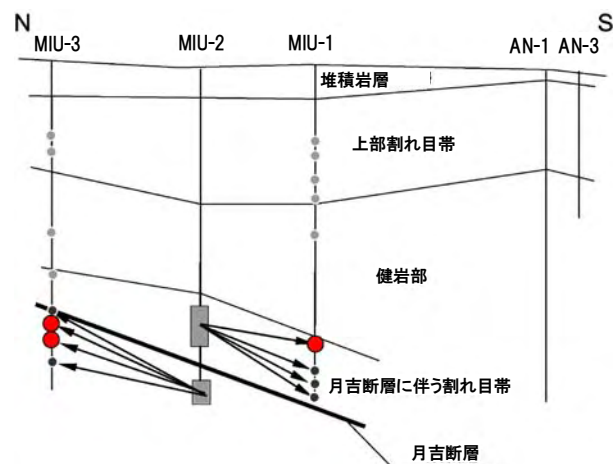


図9 長期揚水試験の結果概要

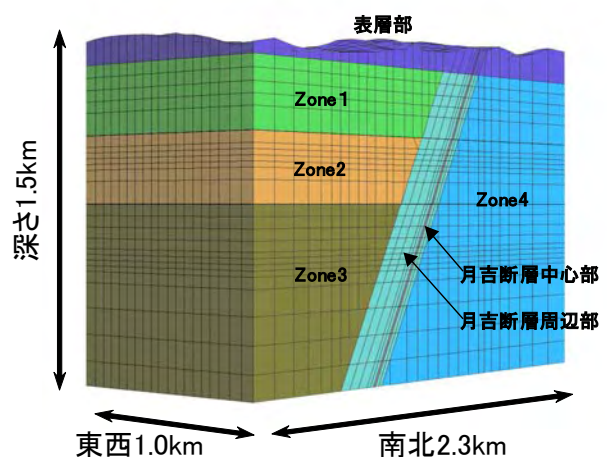


図10 正馬様用地の岩盤力学モデル

5. おわりに

東濃地科学センターにおいては、今後とも国内外の研究機関との連携をはかりながら、また、大学等の専門家の協力を得ながら、原子力長期計画等で求められている深地層の科学研究(地層科学研究)を着実に、かつ効率的に進めていく。研究の成果については、地層処分技術の信頼性をさらに向上するための基盤的な知見・情報、技術として整備し、処分事業や安全規制への具体的な反映を念頭において時宜を得た取りまとめを行っていく。また、透明性を確保する観点からも、研究計画の策定段階から積極的に情報を公開していく。さらに、平成 15 年度より研究坑道の掘削に着手する瑞浪超深地層研究所についても広く公開し、地下深部についての学術的な研究の場、学習の場、国民の理解を深める場としても寄与していく。

参考文献

- 原子力安全委員会(2000):高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告).
- 原子力委員会(2000):我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価.
- Goto, J., Ikeda, K., Kumazaki, N., Mukai, K., Iwatsuki, T. and Hama, K.(2002):Working Program for Shallow Borehole Investigations, JNC Technical Report, JNC TN7400 2002-005.
- 畑 浩二, 丸山 誠, 鳥井原誠(2001):土岐花崗岩中の割れ目を対象としたジョイントせん断試験, サイクル機構技術資料(契約業務報告書;株式会社大林組), JNC TJ7430 2001-002.
- 核燃料サイクル開発機構(1999a): わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—, サイクル機構技術資料, JNC TN1410 99-020~024.
- 核燃料サイクル開発機構(2000a):広域地下水流動研究の現状—平成 4 年度~11 年度—, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2000-014.
- 核燃料サイクル開発機構(2000b):DH-2 号孔における調査研究報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2000-007.
- 核燃料サイクル開発機構(2001):超深地層研究所計画の現状—平成 8 年度~11 年度—, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-001.
- 核燃料サイクル開発機構(2002a):広域地下水流動研究年度計画書(平成 14 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-004.
- 核燃料サイクル開発機構(2002b):東濃鉦山における調査試験研究年度計画書(2002 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-001.
- 核燃料サイクル開発機構(2002c):平成 14 年度地層科学研究情報・意見交換会—要旨集—, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2002-006.
- 核燃料サイクル開発機構(2002d):超深地層研究所地層科学研究基本計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018.
- 核燃料サイクル開発機構(2002e):超深地層研究所計画年度報告書(平成 13 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2002-004.
- 松井裕哉, 前田信行, 吉川和夫(2001):MIU-3 号孔における力学特性調査結果及び正馬様用地における土岐花崗岩体の岩盤力学的概念モデル, サイクル機構技術資料, JNC TN7420 2001-001.
- 松岡稔幸, 上原大二郎, 藪内 聡, 太田陽一, 川中 卓(2002):花崗岩地域を対象とした反射法弾性波探査の適用, 応用地質学会中部支部平成 14 年度支部研究発表会・講演会予稿集, pp.31-36.
- 見掛信一郎, 杉原構造, 永崎靖志(2000):地下 1000 m に研究坑道を掘る—東濃地科学センター超深地層研究所計画—, トンネルと地下, 31, pp.1163-1171.
- 中野勝志, 大澤英昭(2001):超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階の現状, サイクル機構技報, No.12(2001.9), pp.91-106.
- 三枝博光, 前田勝彦, 稲葉 薫(2001):水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価(その 6)—不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析—, 地盤工学会亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム論文集, pp.299-308.