

平成 26 年 4 月 18 日

〔平成25年度〕

瑞浪超深地層研究所

事業報告



独立行政法人 日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター

(目次)

【平成 25 年度の事業報告概要】	1
1. 研究報告	4
(1) 地質環境調査技術に関する研究	4
1) 地上における調査研究	4
① 表層水理定数観測	4
② 地下水の水圧や水質の観測	4
2) 研究坑道における調査研究	5
① 壁面調査	5
② 物理探査	5
③ 地下水の水圧や水質の観測	6
④ 初期応力の測定	7
⑤ 再冠水試験	7
⑥ 物質移動試験	9
⑦ 施工対策影響評価試験	10
3) 地質環境のモデル化・解析	10
(2) 工学技術に関する研究	11
(3) 研究坑道等を活用した共同研究・施設利用	11
2. 施設報告	12
(1) 研究坑道の掘削	12
(2) 研究坑道の掘削に伴う排水	12
(3) 研究坑道の掘削土	12
(4) 研究所用地内整備等	12
3. 安全対策	12
4. 開かれた研究施設としての取り組み	13

【平成 25 年度の事業報告概要】

平成25年9月26日に公表した機構改革計画に基づいて、今後の計画の見直しを行うこととしており、平成26年9月末までに研究所の調査研究の成果の取りまとめを行うとともに、必須の課題を明確にした深地層の研究施設計画を策定するための検討を進めました。

瑞浪超深地層研究所(以下「研究所」といいます。)の平成 25 年度の事業は、平成 24 年度に引き続き、超深地層研究所計画における第 2 段階(「研究坑道の掘削を伴う研究段階」と第 3 段階(「研究坑道を利用した研究段階」)の調査研究を進めました。

平成 25 年度の研究坑道の掘削工事としては、深度 500 m の水平坑道(研究アクセス北および南坑道)の掘削工事を継続して行い、研究アクセス北坑道および研究アクセス南坑道を合わせて約 250 m を掘削しました(図 1)。研究アクセス南坑道を掘削するにあたっては、パイロットボーリング調査を平成 24 年度から継続して行い、湧水の量や岩盤の硬さなどを確認しました。



図 1 研究坑道の掘削状況

平成 25 年度における第 2 段階の主な調査研究としては、研究坑道の掘削に伴う坑道の壁面調査や研究坑道を利用した物理探査(自然電位測定^{*1})による地下水流動のモニタリング、新規のボーリング孔(2 本)を用いた岩盤の初期応力^{*2}の測定を行いました。また、これまでに地上や研究坑道から掘削したボーリング孔等に設置した観測装置を用いて、地下水の水圧や水質の長期的な観測を継続しました(図 2、図 3)。第 3 段階の調査研究としては、深度 500 m 研究アクセス北坑道において、坑道の冠水に伴う地下水の水圧や水質の変化を把握するためのボーリング調査や観測機器の設置を行うとともに、研究坑道で採取した岩石や地下水を用いて物質移動の試験を室内で行いました。工学技術に関する研究としては、研究坑道の掘削工事中の支保工(鋼製の枠や吹付けコンクリート等)にかかる力や岩盤の動きに関する計測結果を反映しながら掘削工事を行う技術や、異常出水や坑道壁面の崩壊等の突発的な事象に対する施工対策技術、安全を確保するための技術等について、これまでに検討してきた技術を実際の研究坑道の掘削工事へ適用しました。

開かれた研究施設としての取り組みにおいては、電力中央研究所との共同研究として、深度 300 m ボーリング横坑において、新規のボーリング孔(2 本)を用いた岩盤中の物質移動に関する調査研究を実施するとともに、産業技術総合研究所、地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所、名古屋大学、東海大学、京都大学等との間で、研究坑道等を活用した共同研究を含む研究協力や施設利用を進めました。

また、研究所では、見学会の開催、中・高校生等を対象とした科学学習やスーパーサイエンスハイスクール等の科学教育の支援を行うとともに、研究所の調査研究や掘削工事の状況、平成 17 年 11 月に岐阜県および瑞浪市との間で締結した「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」といいます。)に基づく環境管理測定の結果等について情報発信に努めました。

*1: 地下水の流れに伴って岩盤中に弱い電気が発生する現象を利用して、地表や研究坑道内に設置した電極で、この弱い電気を測定し、地下水の流動が変化した箇所を捉える調査。

*2: 自然状態において岩盤が受けている圧力。

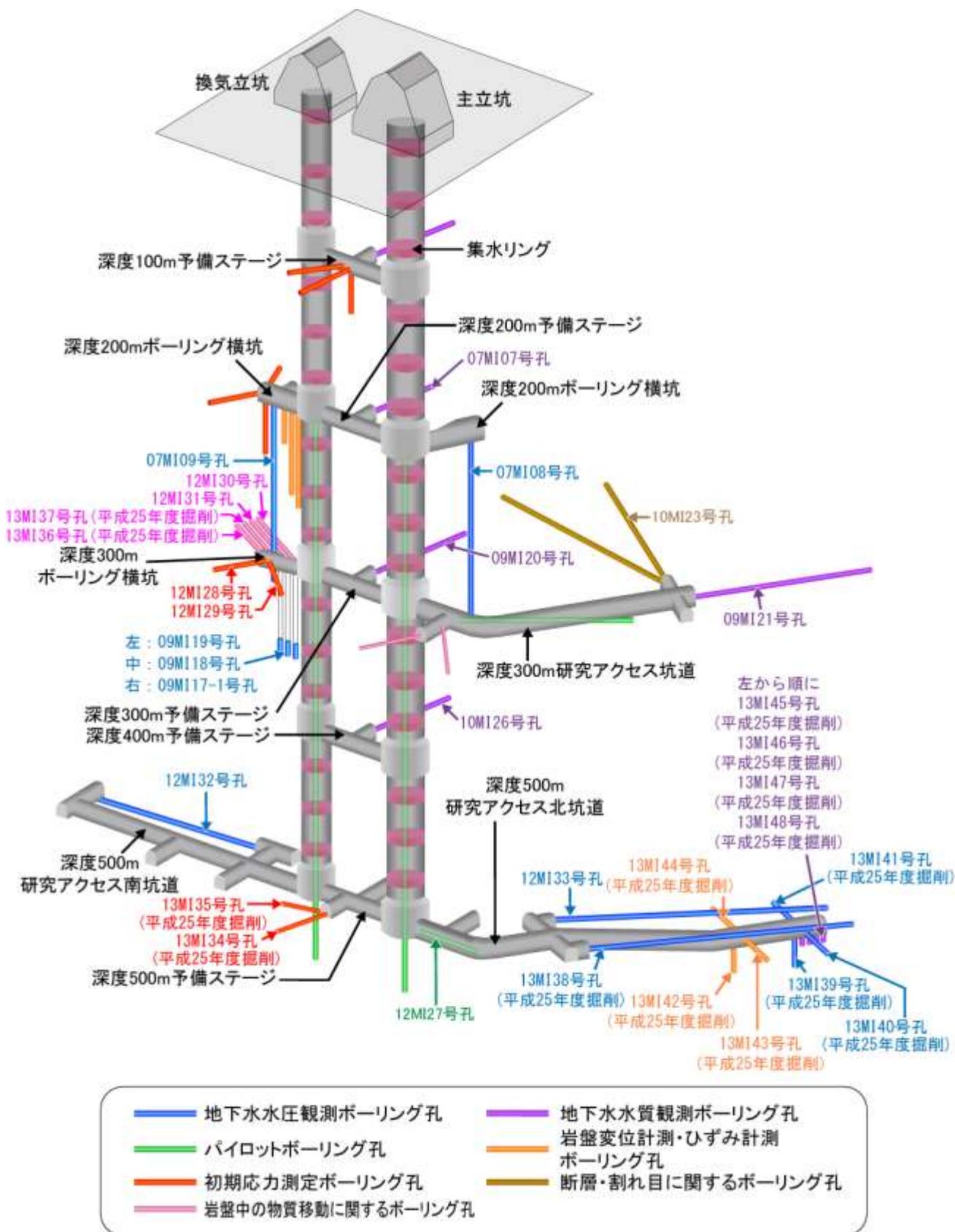


図2 平成25年度における研究坑道での主な調査位置図

1. 研究報告

(1)地質環境調査技術に関する研究

1)地上における調査研究

①表層水理定数観測

地下水流動解析の入力データとなる地下水涵養量*³ や研究坑道の掘削に伴う地表付近の地下水位等の変化を把握するため、研究所用地内に設置した気象観測装置による降水量等の観測、ボーリング孔を利用した地表付近の地下水位の観測、土壌水分量の観測を継続しました。

その結果、これまでの観測結果と同様に、地表付近の地下水位や土壌中の水分量に、研究坑道の掘削による影響とみられる変化が無いことを確認しました。

また、地下水の水圧の変化の把握を目的とした傾斜計による観測については、これまでのデータの整理などを行いました。

②地下水の水圧や水質の観測

施設周辺における、坑道掘削に伴う地下水の水圧や水質の変化の把握を目的として、地上のボーリング孔(MSB-1～4号孔:長さ99.0～201.0m、MIZ-1号孔:長さ1,300.2m、05ME06号孔:長さ300.0m)において、地下水の水圧や水質の観測を継続しました(図3)。



図3 地下水の長期観測孔の位置図

*3:降水が地下にしみ込む量。

地上のボーリング孔を用いた地下水の水圧や水質の観測では、主立坑断層を境として、研究坑道の掘削工事や地震等に伴う地下水の水圧の変化量が異なることから、主立坑断層が研究所用地周辺における地下水の水圧分布に大きな影響を与えていることを引き続き確認しました(図 4)。



図 4 地上からの水圧モニタリングデータの一例

2) 研究坑道における調査研究

①壁面調査

平成 25 年度に掘削した研究坑道(図 1 の掘削範囲参照)において、坑道壁面の地質観察やデジタルカメラによる撮影、岩石や地下水試料の採取・分析を行いました。調査の結果、深度 500 m の割れ目や断層の分布、それらの特徴を把握することができました。

②物理探査

地下水の流動方向や範囲を推定する技術の開発のため、深度 300 m 研究アクセス坑道で自然電位測定*1による地下水流動のモニタリングを継続しました。

さらに、これまでに取得してきた研究坑道の掘削工事に伴う振動を利用した物理探査(逆 VSP 探査*4)のデータ解析を行い、高角度に傾斜する断層や割れ目帯に対応すると考えられる振動の反射面の分布を把握することができました。

*4: Vertical Seismic Profile の略で孔井内地震探査法のこと。震源と受振器の関係が通常の VSP 探査と逆の位置になるため、逆 VSP 探査という。

③地下水の水圧や水質の観測

研究坑道の掘削に起因する坑道周辺の地下水の水圧分布やその長期変化を把握するため、深度 200 m のボーリング横坑において掘削したボーリング孔 (07MI08 号孔:主立坑側、07MI09 号孔:換気立坑側、両孔とも鉛直下向き、長さ 125.0 m)、深度 300 m ボーリング横坑において掘削したボーリング孔 (09MI17-1 号孔、09MI18 号孔、09MI19 号孔:換気立坑側、各孔とも鉛直下向き、長さ 51.0m)、深度 300 m 研究アクセス坑道において掘削したボーリング孔 (10MI23 号孔:水平方向、長さ 109.7 m) に設置している観測装置を用いて地下水の水圧観測を継続しました。また、深度 200 m において掘削したボーリング孔 (07MI07 号孔:水平から約 5° 下向き、長さ 55.3 m)、深度 300 m において掘削したボーリング孔 (09MI20 号孔:水平から約 3° 下向き、長さ 102.0 m; 09MI21 号孔:水平から約 3° 下向き、長さ 103.0 m 産業技術総合研究所との共同研究として掘削) や深度 400 m において掘削したボーリング孔 (10MI26 号孔:水平から約 2° 上向き、長さ 70.6 m) を用いた地下水の水圧や水質の観測、坑道内における壁面や両立坑の集水リング*⁵ を用いた坑内湧水の水量や水質の観測を継続しました (図 2)。

10MI23 号孔での観測結果から、土岐花崗岩中の研究坑道の掘削に伴う地下水の水圧変化は、地質の特徴の違いによって異なる傾向を示しますが、区間 1 の全水頭は、平成 24 年 9 月頃から区間 2 の値に近づく傾向を示しています。これは区間 1 周辺の水圧が回復傾向であることを示しますが、今後も他の観測孔での水圧の値や水質変化との関係を確認していきます (図 5)。

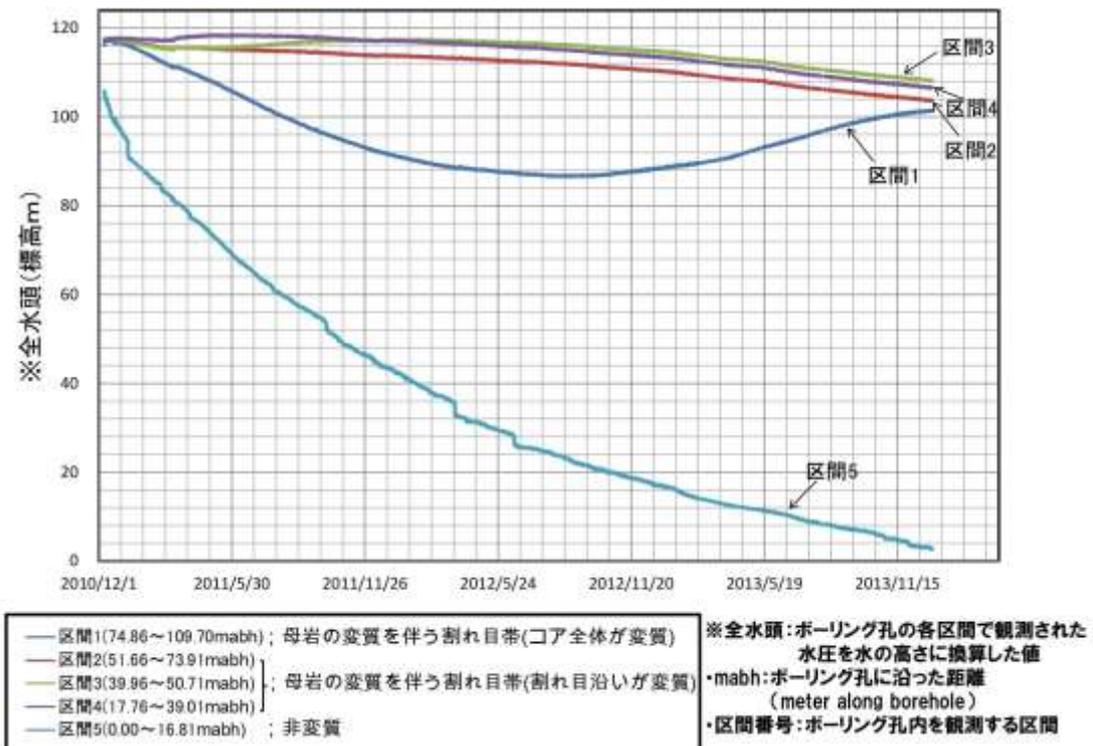


図 5 深度 300 m における水圧モニタリングデータの一例 (10MI23 号孔)

*5: 立坑の坑壁に設置された樋(とい)のような集水設備。

また、深度 200～400m の各ボーリング孔における水質観測結果に基づいて坑道掘削に伴う中長期的な水質変化に関わる解析を行った結果、水圧低下に伴い、塩分濃度が相対的に低い浅層水の浸透により、徐々に深部地下水の塩分濃度が低下していく傾向が確認されました。

上記に加えて、深度 500 m の研究坑道において掘削したパイロットボーリング孔(12MI32 号孔:水平から約 3° 下向き、長さ 106.4 m、研究アクセス南坑道側; 12MI33 号孔:水平から約 1° 下向き、長さ 107.0 m、研究アクセス北坑道側)に設置した観測装置を用いて、地下水の水圧や水質の変化を把握するための観測を開始しました(図 2)。

④初期応力*²の測定

深度 500 m 予備ステージにおいて、ボーリング孔(13MI34 号孔:水平から約 10° 上向き、長さ 20.5 m; 13MI35 号孔:水平から約 10° 上向き、長さ 20.5 m)を掘削し、岩盤の初期応力*²を測定しました(図 2)。その結果、測定位置周辺の岩盤では、水平面において最大で約 15MPa の初期応力*²が作用していることが明らかになりました。最大主応力が作用している方向は、これまでの結果と若干異なるものの、応力の値は、第 1 段階で推定した結果とほぼ同様な値であることから、第 1 段階の推定結果の信頼性が確認されました(図 6)。

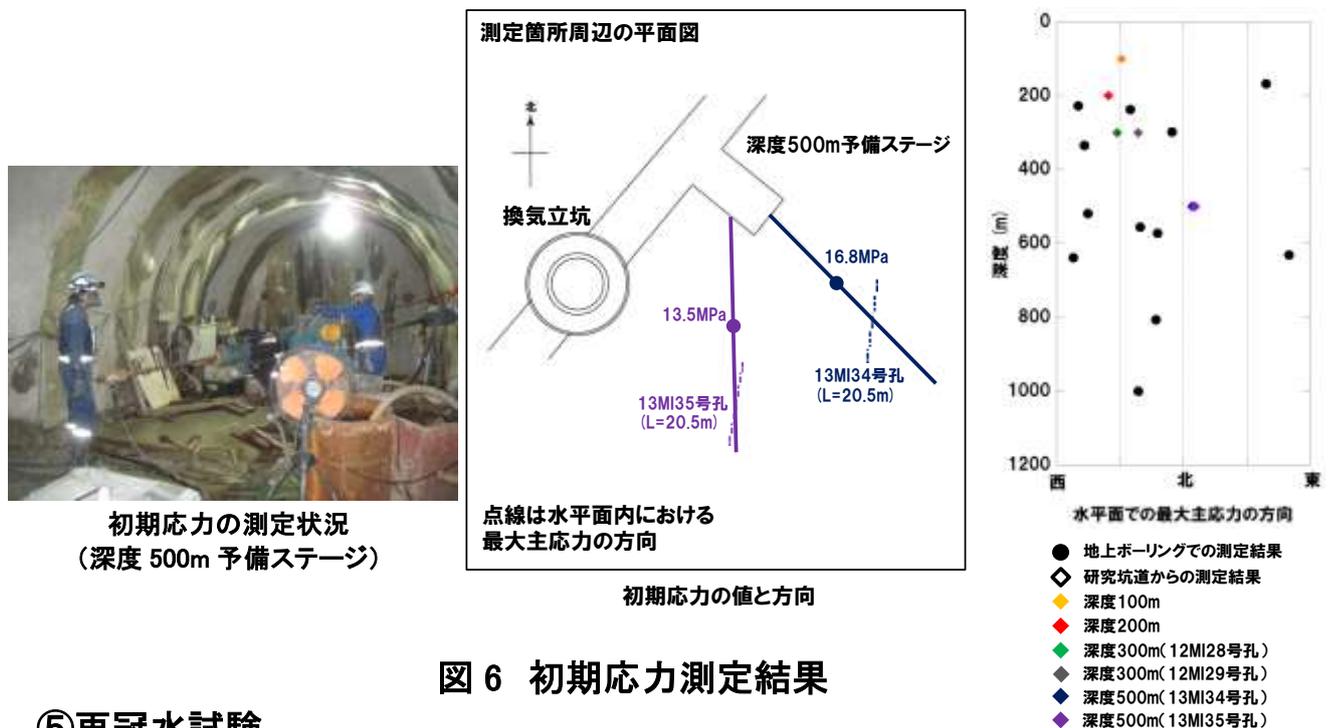


図 6 初期応力測定結果

⑤再冠水試験

第 3 段階の調査試験として実施する再冠水試験は、大規模地下施設の建設により変化した坑道周辺の地質環境が、坑道閉鎖後に元の状態へ、どのように回復するのかを調べる試験です(図 7)。平成 25 年度は、深度 500 m 研究アクセス北坑道の先端に設けられた冠水坑道の掘削と並行して、平成 24 年度に掘削したパイロットボーリング孔(12MI33 号孔:水平から約 1° 下向き、長さ 107.0 m)に

設置した水圧・水質観測装置を用いて、地下水の水圧や水質の観測を開始しました(図2)。冠水坑道の掘削前と掘削直後での地下水の水圧や水質の変化を調べた結果、坑道から約5m離れた地点において、地下水の水圧が掘削前の約4MPaから最大で1.6MPa前後まで低下する変化が認められました。また、地下水の水質については、pH8~9の弱アルカリ性のナトリウムと塩素に富む水質であること、掘削の前後で大きな水質の変化は起きなかったことが確認されました。

冠水坑道の掘削後、冠水坑道に並行するボーリング孔(13MI38号孔:水平から約1°下向き、長さ102.1m)や冠水坑道内から10本のボーリング孔(13MI39号孔:鉛直下向き、長さ16.5m;13MI40号孔:水平から約4°下向き、長さ16.6m;13MI41号孔:水平から約4°下向き、長さ16.6m;13MI42号孔:鉛直下向き、長さ11.6m;13MI43号孔:水平から約4°下向き、長さ11.6m;13MI44号孔:水平から約3°下向き、長さ11.7m;13MI45号孔、13MI46号孔、13MI47号孔、13MI48号孔:各孔とも鉛直下向き、長さ2.3m)を掘削し、13MI38号孔、13MI39~41号孔、13MI45~48号孔には水圧や水質の観測装置を、また、13MI42~44号孔には岩盤変位^{*6}の観測装置を設置し、観測を開始しました(図2)。また、冠水坑道周辺の岩盤中の割れ目の分布や力学特性を調べるために、坑道壁面において物理探査(地中レーダー探査^{*7})を行いました。



図7 再冠水試験の主な実施項目と手順

*6: 岩盤にかかる圧力によって掘削した坑道の直径が縮む方向に力が作用する。
これによって生じる岩盤の変形量をいう。

*7: 電磁波を地中に放射し、割れ目などで反射した電磁波を観測することによって、地下の構造を調べる調査。

*8: 冠水坑道内に湧出する地下水を貯めるため、坑道の入口を塞ぐコンクリート製の栓のような構造物。

⑥物質移動試験

本調査研究は、第 3 段階における調査研究であり、岩盤中を物質が移動する現象の理解や、それに必要となる調査・解析・評価技術の開発を目標として実施しています。

平成 25 年度は、これまでに研究坑道において実施したボーリング調査で採取した岩石試料を用いた室内での透過拡散試験(図 8)や、研究坑道の掘削に伴って得られるブロック状の岩石を用いた室内での拡散試験、地下水中のコロイド*⁹ 粒子の調査を継続して実施しました。また、岩盤中を物質が移動する場を地質調査の結果に基づいてモデル化*¹⁰を行いました。

地下水中のコロイド*⁹を限外ろ過*¹¹により採取し、ろ過膜上のコロイド*⁹粒子の電子線分析を行った結果、地下水中のコロイド*⁹粒子は、炭素、硫黄、ケイ素、アルミニウム、ナトリウム、カルシウム、鉄などの元素を含むことが明らかになりました。これらの化学組成から、コロイド*⁹粒子は主に有機物、ケイ酸塩鉱物、水酸化鉄などにより構成されていると考えられます。

また、原位置トレーサー試験を実施する場所を選定するための情報取得を主な目的として、深度 300 m ボーリング横坑において、2 本のボーリング調査(13MI36 号孔:水平から約 33° 下向き、長さ 22.6 m;13MI37 号孔:水平から約 40° 下向き、長さ 27.0 m)を電力中央研究所との共同研究として行いました(図 2)。その結果、2 本のボーリング孔の間で連続する割れ目を複数確認しました。

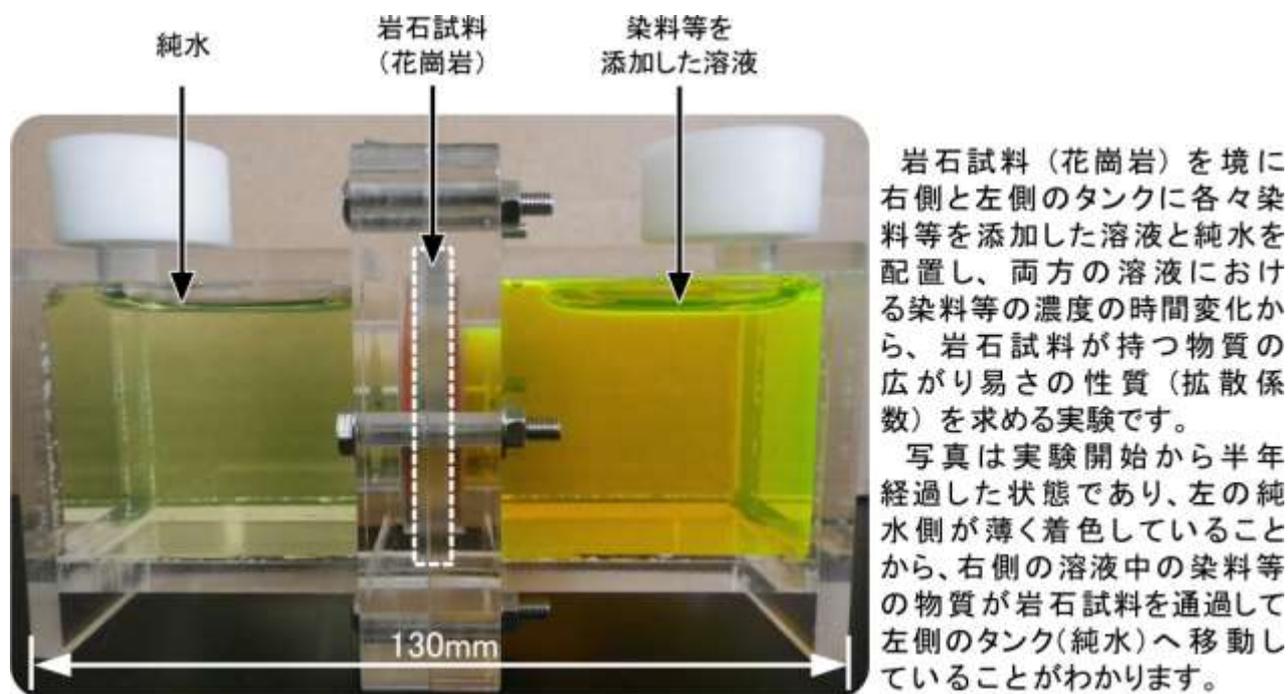


図 8 室内での透過拡散セルを用いた試験

* 9: 地下水中に存在している 1 ミクロン(1,000 分の 1 ミリ)以下の大きさの粒子。

* 10: 地質環境の状態や現象を模式的に表現したり、数式化すること。

* 11: 分子レベルの大きさの孔を持つ高分子膜などを利用して、分子の大きさに応じてろ過する手法。

⑦施工対策影響評価試験

第3段階の研究として、坑道掘削や掘削時の施工対策に使用した人工材料（鋼製の枠、吹付けコンクリート、セメントグラウト等）が、周辺の地質環境に与える影響を把握・評価するための試験を今後実施する予定です。

平成25年度は、深度500m研究アクセス南坑道の掘削工事における低アルカリ性瞬結吹付けコンクリートによる施工部分を対象に、このコンクリートによる周辺岩盤や地下水への影響を調査するための方法について検討を行いました。

3)地質環境のモデル化・解析

平成24年度までに新たに取得した地質環境に関する情報に基づき、断層や割れ目、変質帯等の地質や地質構造、岩盤の透水性、地下水の水質や岩盤の初期応力*2の分布等を表す地質環境のモデルの更新を行うとともに、更新したモデルを用いて地下水流動等を解析しました。また、これらと第1段階でのモデルや解析結果との比較を行い(図9)、第1段階で適用した調査解析手法の妥当性を評価するとともに、研究坑道の掘削や維持管理に伴う岩盤の力学特性、地下水の水圧や水質の変化を解析する技術の高度化を行いました。さらに、研究坑道の壁面調査の結果に基づき、断層や割れ目の形成過程などを推定しました。

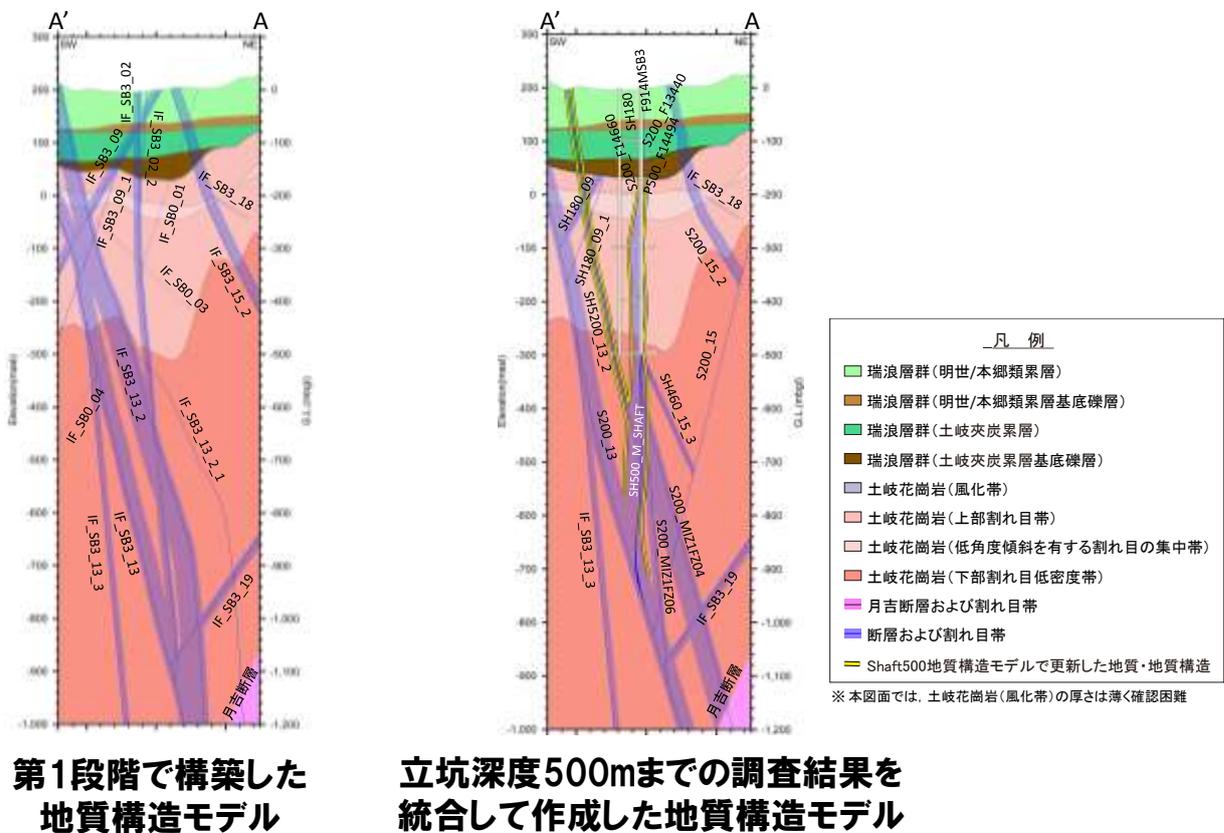


図9 第1段階と第2段階の地質構造モデルの比較
(両立坑を通過する鉛直断面)

(2)工学技術に関する研究

研究坑道の掘削工事中の支保工や施工対策に使用した人工材料(鋼製の枠や吹付けコンクリート、セメントグラウト等)にかかる力や岩盤変位^{*6}計測の結果を反映しながら掘削工事を行う技術や、異常出水や坑道壁面の崩壊等の突発的な事象に対する施工対策技術、安全を確保するための技術等について、これまでに検討してきた技術を実際の研究坑道の掘削工事へ適用した結果を取りまとめました。平成 24 年度までの研究坑道の掘削工事で行った坑道壁面の地質観察や岩盤変位^{*6}計測の結果から、現在適用している支保工は十分な安全性を有していることを確認し、研究坑道の設計や施工計画の妥当性を検証しました。また、湧水抑制対策技術の高度化の観点から、国際共同研究契約をスウェーデン・シャルマール工科大学、清水建設株式会社、当機構の 3 者間で締結し、打合せを実施しました。さらに、再冠水試験で設置する止水壁^{*8}について、国内外の事例を調査するとともに、掘削影響を修復・軽減する技術の観点から止水壁^{*8}に求められる機能を整理し、必要な計測について検討を行いました。

(3)研究坑道等を活用した共同研究・施設利用

わが国において地下深部の地質環境を研究できる貴重な研究施設として、研究坑道等を外部の研究機関等にも活用していただくため、共同研究を含む研究協力や施設利用を進めています。

平成 25 年度には、電力中央研究所との岩盤中の物質移動に関する共同研究として、深度 300 m 研究アクセス坑道から採取した岩石試料を用いた室内試験や、深度 300 m ボーリング横坑において 2 本のボーリング調査(図 2、13MI36 号孔:水平から約 33° 下向き、長さ 22.6 m;13MI37 号孔:水平から約 40° 下向き、長さ 27.0 m)を実施しました。産業技術総合研究所とは、地下水中に存在する微生物を調査するための技術開発として、平成 21 年度に掘削したボーリング孔(図 2、09MI21 号孔:水平から約 3° 下向き、長さ 103.0 m)を利用した採水や分析調査を継続しました。また、原子力環境整備促進・資金管理センターと地中無線モニタリング技術の適用性確認を目的とした共同研究を開始し、深度 500 m 研究アクセス北坑道、深度 300 m 研究アクセス坑道において地中無線通信環境の調査を実施しました。また、川崎地質株式会社とは、宇宙線を由来とする素粒子の一つである「ミュオン粒子」を利用した地質構造探査技術の開発に向けた共同研究を開始しました。この他、東海大学、京都大学等との共同研究を進めました。

研究坑道の施設利用としては、地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所に対して、応力計や地震計設置等のために深度 300 m 研究アクセス坑道の一部や各深度の予備ステージ等の一部を、また、名古屋大学に対しては、ニュートリノ捕捉用原子核乾板保管のために深度 200 m ボーリング横坑(主立坑側)の一部を提供する等の協力をしました。

2. 施設報告

(1) 研究坑道の掘削

深度 500 m の研究坑道の掘削工事を継続して行い、研究アクセス北坑道および研究アクセス南坑道を合わせて約 250 m 掘削しました(図 1)。研究アクセス南坑道を掘削するにあたっては、パイロットボーリング調査(図 2、12MI32 号孔)を平成 24 年度から継続して行い、湧水の量や岩盤の硬さなどを確認しました。このパイロットボーリング調査の結果から、研究アクセス南坑道において湧水が多いと考えられる箇所、湧水抑制対策として、坑道掘削に先立ち地下水の水みちとなる割れ目等にセメント系の溶液を注入する作業(グラウト作業)を行いました。

(2) 研究坑道の掘削に伴う排水

研究坑道の掘削工事に伴い坑道内に湧き出してくる地下水は、地上に設置している排水処理設備により処理し、平成 17 年 11 月に岐阜県および瑞浪市との間で締結した「環境保全協定」に基づき定めた管理基準値を満たす水質で、1 日あたり約 910 m³(平成 26 年 3 月平均)を近くの河川へ放流しています。

なお、排出水等の測定結果については、関係自治体へ毎月報告するとともに、ホームページ等で公表しています。

(3) 研究坑道の掘削土

研究坑道の掘削工事に伴い発生する掘削土(ズリ)については、「環境保全協定」に基づき管理しています。深度 500 m の水平坑道の掘削において「環境保全協定」のふっ素の参考値(0.8 mg/L)を超える掘削土(ズリ)が約 2,480 m³発生したため、専門処理会社に依頼し、適正に処理しました。また、掘削工事の状況に応じて、掘削土(ズリ)を瑞浪市残土処分場に搬出しました。

(4) 研究所用地内整備等

研究所用地の美化等の環境整備を継続して行いました。また、掘削工事による周辺の河川や井戸等への影響の有無や、工事中の振動、騒音等の影響を確認するため、研究所周辺環境の現況調査を継続して行いました。

その結果、掘削工事による周辺環境への影響が法令等に照らして問題ないことを確認しました。

3. 安全対策

研究所における研究や研究坑道の掘削を始めとする工事は、「環境保全協定」に基づく環境管理測定を行うなど環境に配慮しながら、安全第一で進めています。

4. 開かれた研究施設としての取り組み

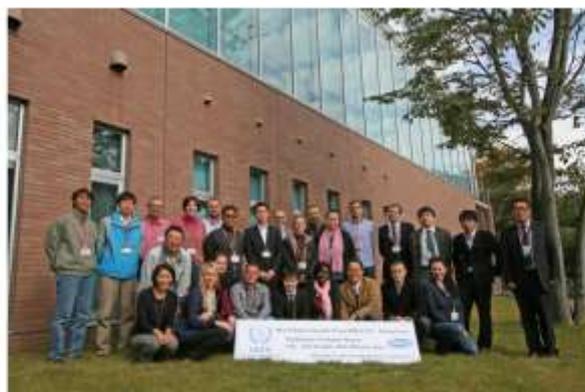
研究所では、研究坑道等を活用した外部の研究機関、大学等との共同研究を含む研究協力や施設利用を進めるとともに、見学会の開催等による見学者の受け入れ(平成25年度実績:2,637人)や、中・高校生等を対象とした科学教育に関する学習支援(サイエンスキャンプの開催、スーパーサイエンスハイスクールへの協力)、国際原子力機関(IAEA)の地層処分に関するトレーニングコースなどを行いました(図10)。また、ホームページや広報紙(地層研ニュース)において、調査研究や掘削工事の進捗状況、「環境保全協定」に基づく環境管理測定の結果を公表する等、情報発信に努めました。



地下水の水質分析
(サイエンスキャンプ)



深度 300m 研究アクセス坑道
(スーパーサイエンスハイスクール)



国際原子力機関 (IAEA) との集合写真
(地層処分に関するトレーニングコース)

図10 開かれた研究施設としての取り組み