

<平成26年度>

瑞浪超深地層研究所 事業報告



国立研究開発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 26 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物理探査	..... 5
②地下水の水圧や水質の観測	..... 5
③初期応力の測定	..... 8
④再冠水試験	..... 8
⑤物質移動試験	..... 10
⑥施工対策影響評価試験	..... 11
3)地質環境のモデル化・解析	..... 11
(2)工学技術に関する研究	..... 12
(3)研究坑道等を活用した共同研究・施設利用	..... 12
2. 施設報告	..... 13
(1)研究坑道の工事	..... 13
(2)研究坑道の掘削に伴う排水	..... 13
(3)研究坑道の掘削土	..... 13
(4)研究所用地内整備等	..... 13
3. 安全対策	..... 13
4. 開かれた研究施設としての取り組み	..... 14

【平成 26 年度の事業報告概要】

瑞浪超深地層研究所(以下、研究所)の平成 26 年度の事業は、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。また、平成 25 年 9 月に公表した原子力機構改革計画に基づいて、研究所におけるこれまでの調査研究の成果を取りまとめ、それに基づいて残された必須の課題を検討し、3 つの必須の課題(「地下坑道における工学的対策技術の開発」、「物質移動モデル化技術の開発」、「坑道埋め戻し技術の開発」)を抽出し、公表しました。

平成 26 年度の研究坑道の工事としては、深度 500m 研究アクセス北坑道において冠水坑道への止水壁^{*1}の設置作業を開始するとともに、深度 500m 研究アクセス南坑道においてグラウト^{*2}による湧水抑制対策を行いました。湧水抑制対策は、平成 25 年度に行ったセメント系の溶液を用いたプレグラウト^{*3}に引き続き、掘削した坑道内の比較的湧水が多い区間約 16m を対象に、超微粒子セメントやシリカ系の溶液等を用いたポストグラウト^{*4}を行いました。この結果、坑道への湧水量をさらに抑制できることを確認しました。



止水壁の設置作業
(深度 500m 研究アクセス北坑道)



湧水抑制対策
(深度 500m 研究アクセス南坑道)

* 1: 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。

* 2: 地下水の水みちとなる割れ目に溶液を注入し、湧水を低減する方法。

* 3: 坑道掘削前に行うグラウト。

* 4: 坑道掘削後に行うグラウト。

平成 26 年度における主な調査研究としては、深度 500m 研究アクセス北坑道において、再冠水試験の準備を継続し、冠水坑道とその周辺のボーリング孔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および岩盤変位^{*5} の観測を行いました。また、冠水坑道床面に設置したボーリングピット 2 箇所を砂や粘土等の埋め戻し材で埋め戻すとともに、内部に水圧計、水分計、土圧計を設置し、埋め戻し材が周辺環境に与える影響を評価するためのピット埋め戻し試験を開始しました。さらに、新規のボーリング孔(2 本)を掘削し、岩盤の初期応力^{*6} の測定を行うとともに、冠水後の状況を観察するための耐圧水中カメラの設置、冠水坑道周辺の地質状況を推定するための物理探査(弹性波探査^{*7}、比抵抗探査^{*8})を実施しました。

深度 500m 研究アクセス南坑道においては、工学技術に関する研究として、湧水抑制対策等について、これまでに適用してきた技術の有効性や適用性の評価による高度化を進めました。

このほか、従来から行っている深度 300m 研究アクセス坑道における物理探査(自然電位測定^{*9})による地下水流动のモニタリング、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た、地下水の水圧や水質の長期観測を継続しました。

なお、研究開発の一部については、平成 25 年度に引き続き、国からの受託研究として実施しました。

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、産業技術総合研究所、原子力環境整備促進・資金管理センター、川崎地質株式会社、清水建設株式会社、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。

さらに、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)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。

*5: 岩盤にかかる圧力によって生じる岩盤の変形量をいう。

*6: 自然状態において岩盤が受けている圧力。

*7: 人工的に起こした振動を利用して、地質や地質構造を推定する調査法。

*8: 電流を地中に流すことによって生じる電場の観測から、地中の比抵抗分布を求める調査法。比抵抗とは、単位断面積を通る電流に対する単位長さ当たりの電気抵抗を指すもので、電気の流れやすさを示す。

*9: 天然に存在する電気の流れを測定する調査。

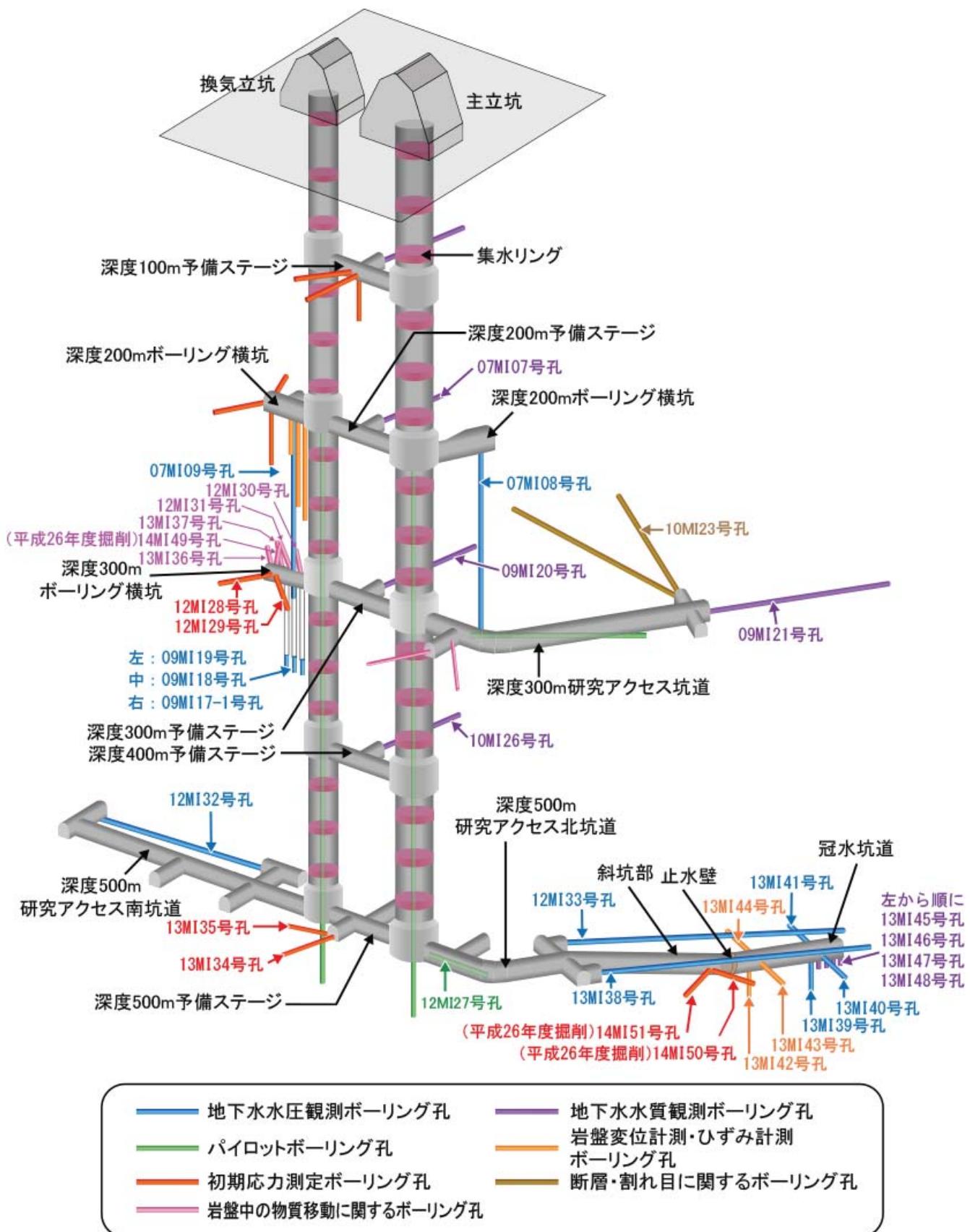


図1 平成26年度における研究坑道での主な調査位置図

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

地下水流动解析の入力データとなる地下水涵養量^{*10}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、土壤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壤中の水分量に、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、地下水の水圧変化を把握すること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等を継続しました。

② 地下水の水圧や水質の観測

研究所用地周辺における、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 99.0～201.0 m、MIZ-1 号孔:長さ 1,300.2 m、05ME06 号孔:長さ 300.0 m)において、地下水の水圧や水質の観測を継続しました(図 2)。

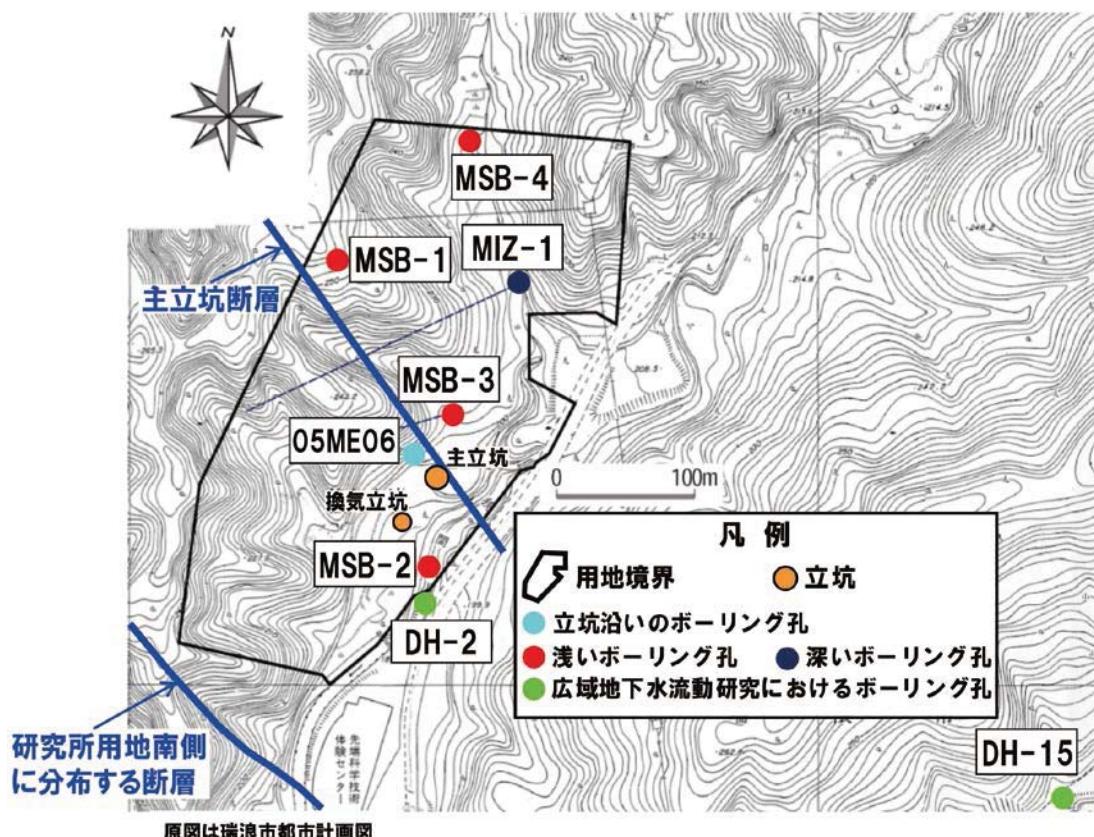


図 2 地下水の長期観測孔の位置図

*10: 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 3)。また、浅いボーリング孔(MSB-2, 4号孔)で得られた地下水の水質は平成25年度までに観測された組成とほぼ同じであり、堆積岩中の地下水の水質が定常状態(地下水の水質が一定の状態)に達していることを確認しました。

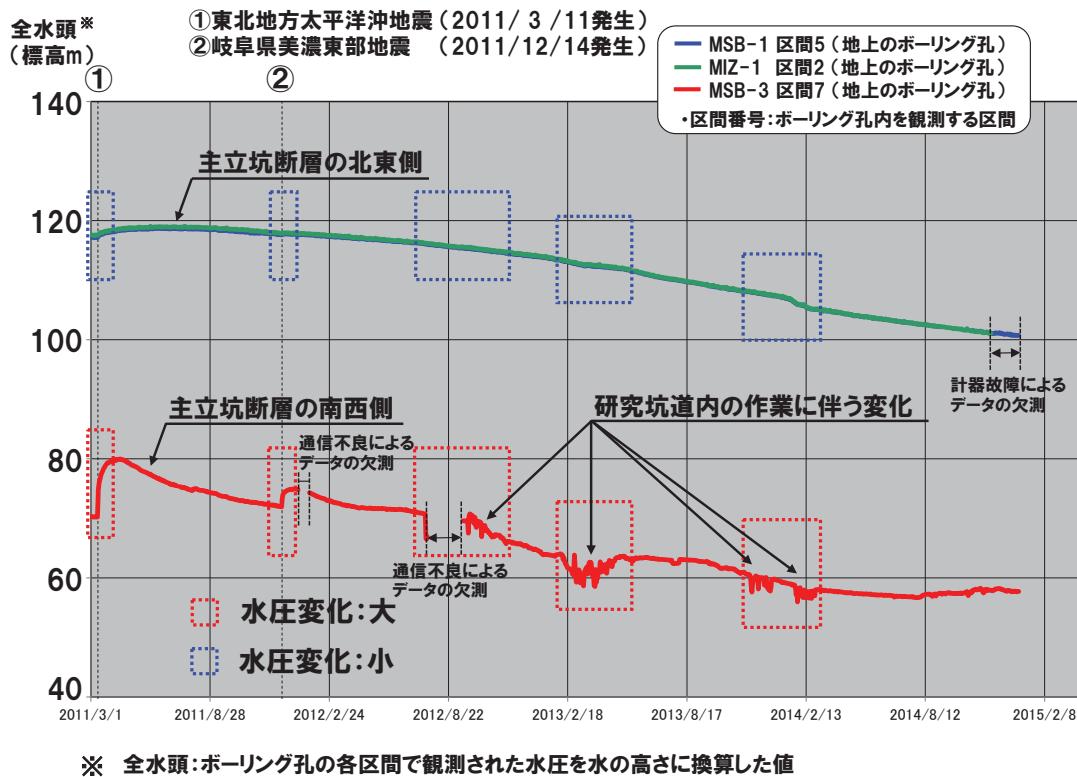


図3 地上からの水圧モニタリングデータの一例

2) 研究坑道における調査研究

① 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300m研究アクセス坑道で自然電位測定^{*9}による地下水流動のモニタリングを継続しました。

② 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、表1に示すボーリング孔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(調査位置は図1)。

表 1 水圧観測孔

設置場所	孔の名称	孔の方向	掘削の長さ
深度 200m ボーリング横坑(主立坑側)	07MI08 号孔	鉛直下向き	125.0m
深度 200m ボーリング横坑(換気立坑側)	07MI09 号孔	鉛直下向き	125.0m
深度 300m ボーリング横坑(換気立坑側)	09MI17-1 号孔 09MI18 号孔 09MI19 号孔	鉛直下向き	51.0m
深度 300m 研究アクセス坑道	10MI23 号孔	水平方向	109.7m

深度 300 m 研究アクセス坑道のボーリング孔(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(図 4)。具体的には、区間 1 では、区間 2~4 と異なる傾向を示していましたが、平成 24 年 9 月頃から区間 1 周辺の水圧が回復し、区間 2~4 と同様の全水頭となっています。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。

また、表 2 に示す各ボーリング孔に設置している観測装置を用いて地下水の水圧や水質の観測を継続しました(調査位置は図 1)。

表 2 水圧・水質観測孔

設置場所	孔の名称	孔の方向	掘削の長さ
深度 200m 予備ステージ	07MI07 号孔	水平から約 5° 下向き	55.3m
深度 300m 予備ステージ	09MI20 号孔	水平から約 3° 下向き	102.0m
深度 300m 研究アクセス坑道 (産総研との共同研究において掘削)	09MI21 号孔	水平から約 3° 下向き	103.0m
深度 400m 予備ステージ	10MI26 号孔	水平から約 2° 上向き	70.6m
深度 500m 研究アクセス南坑道	12MI32 号孔	水平から約 3° 下向き	106.4m
深度 500m 研究アクセス北坑道	12MI33 号孔 13MI38 号孔	水平から約 1° 下向き	107.0m 102.1m
深度 500m 研究アクセス北坑道 冠水坑道	13MI39 号孔	鉛直下向き	16.5m
	13MI40 号孔 13MI41 号孔	水平から約 4° 下向き	16.6m
	13MI45 号孔 13MI46 号孔 13MI47 号孔 13MI48 号孔	鉛直下向き	2.3m

これらの水質観測結果に基づいて坑道掘削に伴う水質変化に関する解析を行った結果、水圧低下に伴い、深度 400m までの深度では、塩分濃度が相対的に低い浅層水の浸透により、徐々に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。一方で、深度 500m では、相対的に高い塩分濃度の地下水が確認され、500m より深い深度の地下水を引き込んでいる可能性が考えられました。

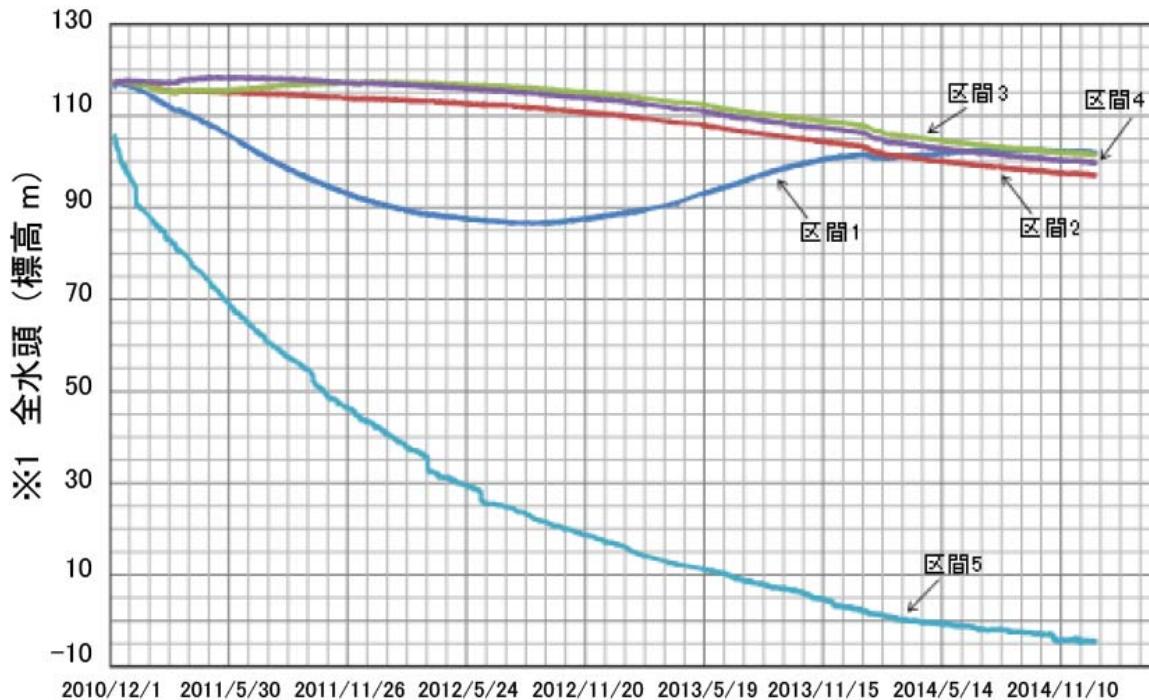


図 4 深度 300 m における水圧モニタリングデータの一例(10MI23 号孔)

加えて、坑道内における壁面や両立坑の集水リング^{*11}を用いた坑内湧水の水量や水質の観測を継続しました。

* 11: 立坑内の坑壁から染み出した地下水を回収・採取するために、立坑壁面に約 25m ごとに設置されている集水設備。

③初期応力^{*6}の測定

深度500m冠水坑道周辺の岩盤の初期応力状態を把握するために、研究アクセス北坑道の斜坑下において、ボーリング孔(14MI50号孔:水平から約10°上向き、長さ10.5m;14MI51号孔:水平から約10°上向き、長さ10.5m)を掘削し、初期応力を測定しました(調査位置は図1)。その結果、測定位置周辺の岩盤では、水平面において平均で約17MPa(1cm²当たり約170kgの圧力に相当)の初期応力が作用していることが明らかになりました。坑道壁面から2m以内では、最大で約25MPaの応力が作用しており、坑道掘削の影響を受けて、応力が集中していると推定されました(図5)。

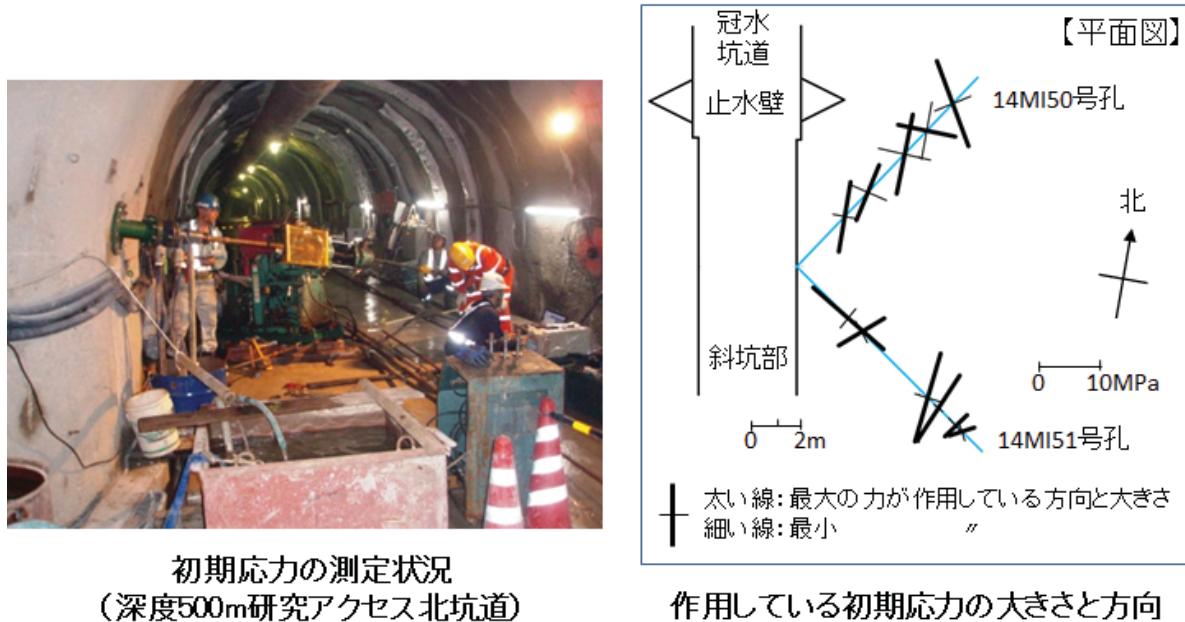


図5 初期応力測定の結果

④再冠水試験

本試験は、研究坑道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。

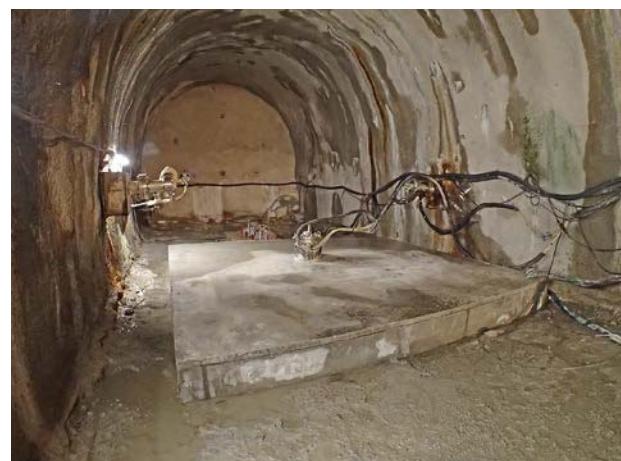
平成26年度は、平成25年度から観測を開始したボーリング孔(12MI33号孔:水平から約1°下向き、長さ107.0m)での水圧や水質の観測を継続するとともに、平成25年度に冠水坑道に並行して掘削したボーリング孔(13MI38号孔:水平から約1°下向き、長さ102.1m)および冠水坑道内から掘削したボーリング孔(13MI39号孔:鉛直下向き、長さ16.5m;13MI40号孔:水平から約4°下向き、長さ16.6m;13MI41号孔:水平から約4°下向き、長さ16.6m;13MI45号孔、13MI46号孔、13MI47号孔、13MI48号孔:各孔とも鉛直下向き、長さ2.3m)に設置した観測装置を用いて、地下水の水圧や水質の観測を継続しました(調査位置は図1)。同様に冠水坑道内部から掘削したボーリング孔(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)において、岩盤変位^{*5}の観測を継続しました(調査位置は図1)。

また、冠水坑道の容積を把握するための3次元レーザー測量、冠水後の坑道内の状況を観察するための耐圧水中カメラの設置、冠水坑道周辺の地質状況を推定するための物理探査(弾性波探査^{*7}、比抵抗探査^{*8})を実施しました。加えて、13MI39号孔、13MI42号孔の掘削時に冠水坑道床面に設けたボーリングピット2箇所(長さ約4m、幅約3m、深さ約1m)を、埋め戻し材としてセメント、砂、粘土、碎石を用いて埋め戻しました。その際に水圧計、水分計、土圧計を設置し、埋め戻し材が周辺環境に与える影響を予察的に評価するとともに、将来、研究坑道の埋め戻しに利用可能な埋め戻し材について検討するためのピット埋め戻し試験を開始しました。また、ボーリングピット埋め戻し時の埋め戻し材の力学－水理連成挙動について、事前解析を行いました。

3次元レーザー測量の結果、冠水坑道の容積は、約914m³と求められました。冠水坑道周辺の地下水の水圧は、地質状況(割れ目の分布等)に応じて掘削前の約4MPaから最大で2MPa前後まで低下する変化が認められました。この水圧は、ほぼ一定の値となっており、冠水坑道を再冠水させる前の水圧の状態を把握することができました。また、平成25年度に実施した地中レーダー探査^{*12}の結果と弾性波探査^{*7}および比抵抗探査^{*8}の結果を併せて評価したところ、坑道壁面から岩盤内部の約1mの範囲において、坑道掘削に伴う岩盤損傷領域が存在する可能性があると推定されました。ピット埋め戻し試験に関わる事前解析では、埋め戻し材の飽和度の変化や変形について、水平方向の変化が支配的となることや、埋め戻し材の膨潤が周辺岩盤に与える力学的な影響は小さいこと等が予想されました。今後、再冠水時の観測結果に基づき、解析結果の妥当性を確認していきます。



計測機器の設置作業



ボーリングピット内埋め戻し終了

*12:電磁波を地中に放射し、割れ目等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。

⑤物質移動試験

本試験は、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 26 年度は、これまでに研究坑道内の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 7)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、地下水中的コロイド^{*13}の調査を、平成 25 年度に引き続き実施しました。また、岩盤中を物質が移動する場について地質調査の結果に基づいたモデル化^{*14}を行いました。

また、コロイドとともに移動する物質について調べるため、地下水中的コロイドを限外ろ過^{*15}により採取し、ろ過膜上のコロイドを対象として、その化学形と微量元素(希土類元素等)濃度を分析しました。その結果、微量元素は、ケイ酸塩鉱物、酸化物、炭酸塩鉱物等から構成されるコロイドのうち、主に炭酸塩鉱物から構成されるコロイドに多く含まれ、コロイドとともに移動していることがわかりました。

原位置トレーサー試験を実施する場所の地質環境を把握するために、深度 300m ボーリング横坑において、1 本のボーリング調査(14MI49 号孔:水平から約 29° 下向き、長さ約 22.5m)を電力中央研究所との共同研究として行いました(調査位置は図 1)。その結果、これまでに掘削したボーリング孔との間で連続する割れ目を複数確認しました。また、物質移動試験用の調査機器の適用性を確認すること等を目的として、これまでに掘削したボーリング孔のうち、2 本(12MI30 号孔:水平から約 35° 下向き、長さ約 27.5m; 12MI31 号孔:水平から約 35° 下向き、長さ 26.0m)を利用して、原位置トレーサー試験を実施しました(調査位置は図 1)。その結果、本調査機器を用いることにより、岩盤中の物質移動特性を評価するための試験データを取得できることを確認しました。なお、試験結果については、現在解析を進めています。

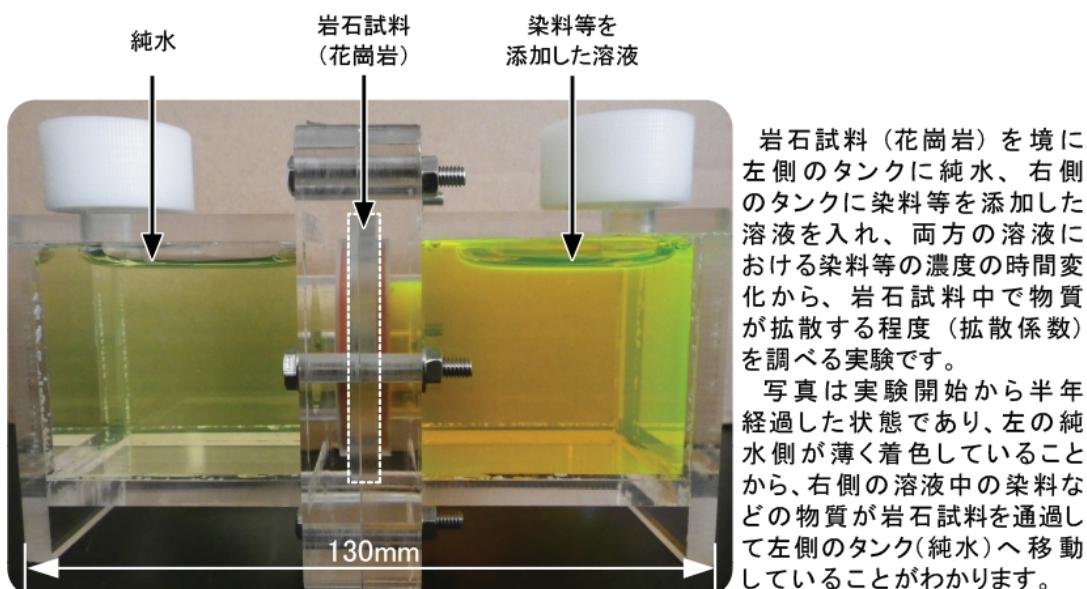


図 7 室内での透過拡散セルを用いた試験

*13: 地下水中に存在している 1 ミクロン(1,000 分の 1 ミリ)以下の大きさの固体物質。

*14: 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。

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

⑥施工対策影響評価試験

本試験では、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、セメント等)が、周辺の地質環境に与える影響を評価する技術の開発を行います。

平成 26 年度は、深度 500 m 研究アクセス南坑道の掘削工事で試験的に使用した低アルカリ性瞬結吹付けコンクリートの室内試験と施工結果について成果を取りまとめました。室内試験では、コンクリートの練り上げ早期に強度が発現することを、現場における施工では、岩盤への付着状況が良好なこと等を確認しました。また、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針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 25 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、第 3 段階の調査研究を実施する研究坑道周辺の断層や割れ目、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^{*6} の分布等を表す地質環境のモデルを更新しました。また、更新したモデルを用いて岩盤変位^{*5} や地下水流动等を解析しました(図 8)。これらにより研究坑道の掘削や維持管理に伴う岩盤変位、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。

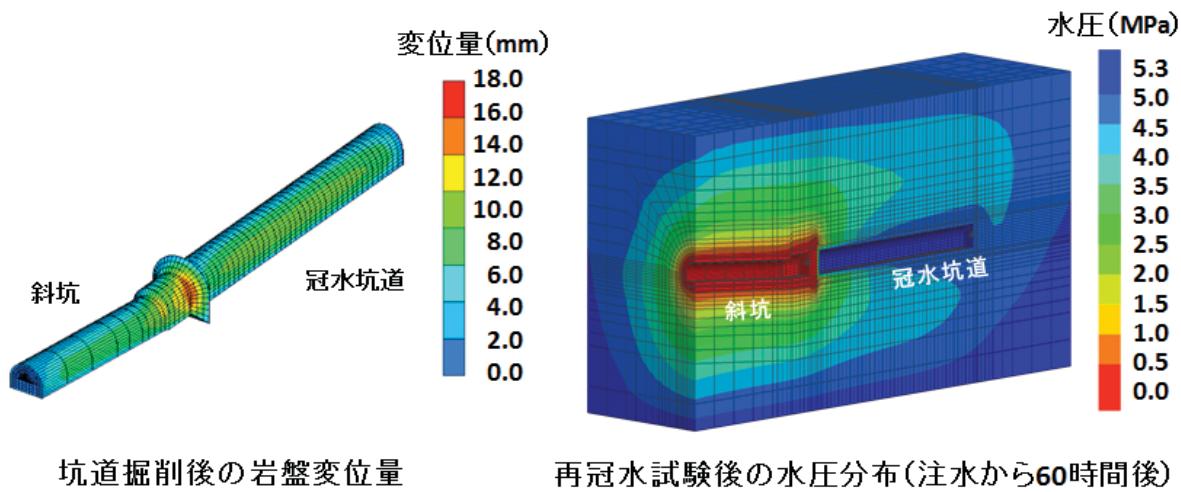


図 8 冠水坑道を対象とした解析結果の例

(2)工学技術に関する研究

研究坑道の掘削工事中の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、これまでに適用してきた技術の有効性や適用性の評価を行うことで高度化を進めました。深度 500m 研究アクセス南坑道で実施したプレグラウト^{*3} の結果を検討して、湧水抑制効果を評価しました。また、溶液型グラウトに関する国際共同研究については、スウェーデンと瑞浪における施工実績を比較しました。比較の結果、割れ目密度の大きい日本においてもスウェーデンのグラウト技術は適用が可能であり、日本特有のグラウト技術もスウェーデンにおけるグラウト品質の向上に役立つと判断され、これらの結果を国際学会で発表しました。さらに、再冠水試験で設置する止水壁^{*1}について、コンクリートの配合試験や熱解析を実施し、最適なコンクリート配合を決定するとともに、コンクリート打設時の発熱を抑制するための冷却設備等の計画を立案して、工事に反映しました。

(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 26 年度には、電力中央研究所と岩盤中の物質移動に関する共同研究(詳細は 10 ページ参照)を行いました。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 年度に深度 300m 研究アクセス坑道において掘削したボーリング孔(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(調査位置は図 1)。また、原子力環境整備促進・資金管理センターとは、地中無線モニタリング技術の適用性確認を目的として、深度 500 m 研究アクセス北坑道において地中無線水圧センサーによる観測に向けた準備を行いました。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「ミュー粒子」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継続しました。清水建設株式会社とシャルマール工科大学(スウェーデン)との共同研究として溶液型グラウトに関する研究を(工学技術に関する研究を参照)、清水建設株式会社との共同研究として地下水流动のモデル化・解析に関する研究を実施しました。

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、応力計や地震計等の設置および観測のために深度 300 m 研究アクセス坑道の一部や深度 100m~400m の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行いました。

2. 施設報告

(1) 研究坑道の工事

深度 500 m 研究アクセス北坑道の冠水坑道に止水壁^{*1}を設置しています。また、深度 500 m 研究アクセス南坑道において湧水抑制対策を行いました。湧水抑制対策は、平成 25 年度に行ったセメント系の溶液を用いたプレグラウト^{*3}に引き続き、掘削した坑道内の比較的湧水が多い区間約 16m を対象に、超微粒子セメントやシリカ系の溶液等を用いたポストグラウト^{*4}を行いました。

(2) 研究坑道の掘削に伴う排水

研究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適切に処理し、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 841 m³(平成 27 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し、用地内堆積場に保管している掘削土(ズリ)のうち、約 5,000 m³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、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等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、地層科学研究の研究開発成果や状況等について情報交換やご意見をいただく情報・意見交換会の開催や見学者の受け入れ(平成26年度実績:2,514人)、学生を対象とした科学教育に関する学習支援(スーパーサイエンスハイスクールへの協力)、地域機関とのタイアップ講座(岐阜県先端科学技術体験センター・サイエンスワールドとの共催)等を行いました(図9)。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。



図9 開かれた研究施設としての取り組み