

<平成29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  
核燃料・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 29 年度の事業報告概要	1
1. 研究報告	2
(1) 地下坑道における工学的対策技術の開発	2
1) 大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術の開発	2
2) 地下水管理技術の開発	3
(2) 物質移動モデル化技術の開発	3
1) 低透水性領域での亀裂ネットワークモデル化手法の開発	3
2) 地質環境の長期変遷解析技術の開発	4
3) 深部塩水系地下水の起源・滞留時間の理解	6
(3) 坑道埋め戻し技術の開発	6
1) 坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術の開発	6
① 再冠水試験	6
② 岩盤の破壊現象評価	9
③ 埋め戻し試験	9
2) 長期モニタリング技術の開発など	9
① 長期モニタリング	9
② 長期モニタリング技術の開発	13
③ モニタリングデータの取りまとめ・評価	13
2. 研究所の工事、環境保全、安全管理	14
3. 開かれた研究施設としての取り組み	14
(1) 共同研究・施設利用	14
(2) 理解促進活動・情報発信	14

## 【平成 29 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 29 年度の事業は、日本原子力研究開発機構(以下、機構)の中長期計画期間(平成 27 年 4 月 1 日～平成 34 年 3 月 31 日)の 3 年目として、機構改革において抽出された三つの必須の課題(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)について調査研究を継続しました。

平成 29 年度の主な調査研究としては、坑道閉鎖に伴う地質環境の回復現象の把握等を目的として、再冠水試験<sup>\*1</sup>を平成 28 年度に引き続き実施しました。本試験においては、冠水坑道周辺のボーリング孔に設置した観測装置を用い、坑道冠水後の地下水の水圧・水質の変化及び岩盤変位<sup>\*2</sup>の観測を継続するとともに、冠水坑道内の地下水を排水して周辺岩盤等の試料採取及び冠水坑道内の物理探査を実施しました。また、岩盤中の物質移動に関する調査研究として、深度 300m ボーリング横坑(換気立坑)及び深度 500m 研究アクセス南坑道において、新規のボーリング孔の掘削と調査を行うとともに、高粘性流体試験<sup>\*3</sup>やトレーサー試験を実施しました。さらに、地上や研究坑道から掘削したボーリング孔等での地下水の水圧・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 28 年度に引き続き、国からの受託研究として、あるいは茨城県にある当機構の核燃料サイクル工学研究所の協力を得て実施しました。

平成 29 年度の研究坑道の工事としては、坑内外仮設備の維持管理のほか、老朽化した配管の交換等を実施しました。

坑道内に湧出する地下水は、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 月に岐阜県及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)に基づき定めた管理基準値を満たす水質で近隣の河川へ放流しました。排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ました。また、研究用地の美化等の環境整備を継続するとともに、周辺の河川や井戸等への影響の有無を確認するため、研究所周辺の環境の現況調査を継続しました。

研究所における調査研究や工事にあたっては、環境に配慮しながら、安全第一で進め、平成 29 年度も無災害で作業を終了しました。

開かれた研究施設としての取り組みにおいては、原子力環境整備促進・資金管理センター、産業技術総合研究所、電力中央研究所、岡山大学、京都大学、静岡大学、東京大学、東北大学、大林組、鹿島建設、清水建設、東京測器、西松建設、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行いました。

また、研究所では、児童・生徒の地層の科学に関する学習施設として活用してい

---

\*1: 深度 500m 研究アクセス北坑道の冠水坑道の入口に止水壁を設置し、坑道を冠水させた際の地質環境の変化を評価する試験。

\*2: 岩盤にかかる圧力によって生じる岩盤の変形量。

\*3: 地盤内に粘性の高い流体を注入し、注入時の圧力変化から割れ目の幅や流れ方を評価する試験。

ただけるよう努めるとともに、見学者の受け入れ等を積極的に進めました。さらに、サイエンスカフェ、セミナー等を行いました。

## 1. 研究報告

### (1) 地下坑道における工学的対策技術の開発

坑道周辺の割れ目にセメントミルク等を注入して、坑道に湧出する地下水の量(湧水量)を低減する技術(グラウト<sup>\*4</sup>技術)を開発します。

特に坑道への湧水量をプレグラウチング<sup>\*5</sup>とポストグラウチング<sup>\*6</sup>の組み合わせによって制御可能とするウォータータイトグラウト<sup>\*7</sup>技術を実証します。また、地下水排水処理技術等の地下水管理技術の高度化に取り組めます。

#### 1) 大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術の開発

プレグラウチングとポストグラウチングを併用することにより、グラウチングによる改良範囲の拡大及び岩盤の透水係数<sup>\*8</sup>のさらなる低減により湧水量を抑制します。

平成 29 年度は、プレグラウチングとポストグラウチングを併用した深度 500m 研究アクセス南坑道の湧水抑制効果について、国際学会等で公表するとともに、平成 28 年度に実施したポストグラウチングの有効性も評価し、この成果を論文として取りまとめました。

研究坑道の掘削ではグラウチングや支保に、セメントや鋼材等の人工材料が使用されます。人工材料の使用による岩盤の長期的な変化や地下水への化学的な影響(施工対策影響)が発生する可能性があるため、これまでに、グラウト材が坑道周辺の地質環境に及ぼす影響を把握・評価するための技術開発を目的として、各種室内分析を実施してきました。

平成 29 年度は、国からの受託研究としてこれまで実施してきた成果を学会発表するとともに、成果報告書として取りまとめて公表しました。グラウト材の影響による岩盤状態の経年変化を把握するため、既に採取した深度 300m 研究アクセス坑道(図 1)の岩盤に充填されたグラウト材を含む試料を用いて、分析等を実施しました。また、深度 500m 研究アクセス南坑道(図 1)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について、同コンクリートが周辺の地下水や岩盤に及ぼす影響を把握・評価する目的で室内試験(長期浸出試験)を開始しました。

---

\*4: 地下水の水みちとなる割れ目に溶液を注入し、湧水を低減する技術。ここでは、グラウトに使う材料(グラウト材)と岩盤へのグラウト材の注入(グラウチング)を総称し、グラウトとしている。

\*5: 坑道掘削前に実施するグラウチング。

\*6: 坑道掘削後に実施するグラウチング。

\*7: 坑道への湧水量を限りなく少なくするための技術で、研究所ではプレグラウチングとポストグラウチングを組み合わせた技術の適用性を評価している。

\*8: 岩盤中の水の流れやすさを示す指標。

## 2) 地下水管理技術の開発

研究所の湧水には自然由来のふっ素、ほう素が含まれており、これらを凝集沈殿処理及びイオン交換処理によって環境保全協定に基づき定めた管理基準値を満たす水質になるまで除去して河川に放流しています。また、近年、公共工事等で自然由来の重金属による地下水汚染や土壌汚染が問題視され、その対策が求められています。

そのため、排水中のふっ素、ほう素処理技術の現状を把握するとともに、自然由来の重金属による汚染事例や対策技術を調査します。

平成 29 年度は、これまでに実施した文献調査結果を取りまとめました。その結果、研究所における処理量や除去しなければならぬ濃度を踏まえると、現状の凝集沈殿処理及びイオン交換処理が適切であると考えられました。また、成果について学会発表や報告書として公開しました。

## (2) 物質移動モデル化技術の開発

花崗岩中の物質の移動現象を理解し、モデル化<sup>\*9</sup>するための調査解析を実施します。また、物質の移動経路となる割れ目の透水性、地下水の流動や水質の長期変化及び地下水流動の緩慢さを明らかにするための調査を実施します。

### 1) 低透水性領域での亀裂ネットワークモデル化手法の開発

深度 500m の研究坑道において、ボーリング孔を用いた割れ目の特性把握や物質移動試験等を実施するとともに、得られたデータを基に割れ目分布のモデル化といった解析を実施します。

平成 29 年度は、深度 500m 研究アクセス北坑道の冠水坑道周辺岩盤を対象として、割れ目の位置、方向や透水性等の統計分布を再現するためのモデル化手法について検討を行いました。

また、岩盤中の物質移動現象を評価するための原位置調査方法の適用性確認を目的として、深度 500m 研究アクセス南坑道 125m 計測横坑(図1)において、既存のボーリング孔を利用したトレーサー試験、高粘性流体試験を電力中央研究所との共同研究として実施し、割れ目の分布や岩盤の透水性等のデータを取得しました。深度 300m ボーリング横坑(換気立坑)に新規に掘削した 3 本のボーリング孔(17MI60 号:水平から約 38° 下向き、長さ約 23m、17MI61 号孔:水平から約 34° 下向き、長さ約 24m、17MI62 号孔:水平から約 35° 下向き、長さ約 26m)では、岩石試料の採取、水理試験を実施し、岩盤中の割れ目の特性を調査しました。その結果、これまでに開発してきた調査手法を用いることにより、花崗岩中での物質移動特性を評価するための試験データが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、平成 29 年度までに実施した試験結果と合わせて解析・評価を進めています。

---

\*9:地質環境(地下深くの地下水の流れや水質等)の状態や現象を模式的に表現したり、数式化すること。

また、深度 500m の冠水坑道の周囲に掘削したボーリング孔と冠水坑道内の地下水を対象として、コロイド\*<sup>10</sup> や放射性元素と同様の化学的挙動を示す希土類元素の分析を行いその結果を整理したところ、それらの濃度が時間とともに低下していたことから、坑道を閉鎖すると、その内部では放射性元素が移動し難い環境が形成されることがわかりました(図 2)。この成果は論文として取りまとめて、プレス発表を行いました。

## 2) 地質環境の長期変遷解析技術の開発

地下水の流動や水質等の地質環境の長期変化を推定するため、主な地下水の流動経路となる割れ目の形成履歴と充填鉱物を調べます。

平成 29 年度は東北大学との共同研究として、新たに、透水性の高い花崗岩中の割れ目の特徴を調べました。その結果、熱衝撃\*<sup>11</sup> の特徴を示す割れ目と、高温を示す充填鉱物が認められました。充填鉱物の化学組成と、結晶中に閉じ込められた流体を詳しく調べた結果、土岐花崗岩体の形成直後に、700℃程度の高温の流体が割れ目に沿って侵入したことがわかりました。この充填鉱物は破碎を受けていないため、断層運動の影響を受けずに長期間保存されてきたと考えられます。

---

\*10: 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。

\*11: 急激な温度の変化に伴って、物体に急激に加えられる力のこと。

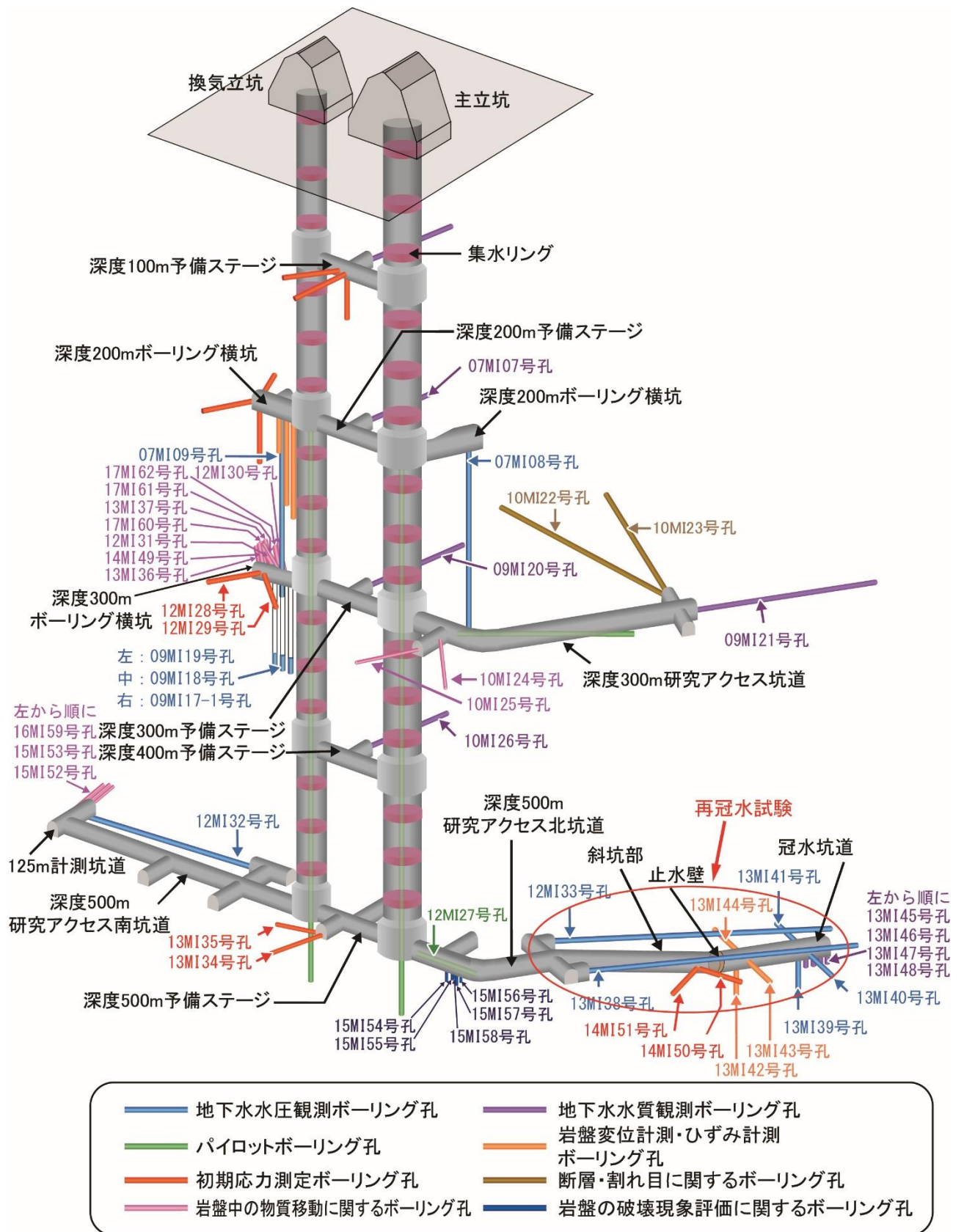


図1 平成29年度における研究坑道での主な調査位置図

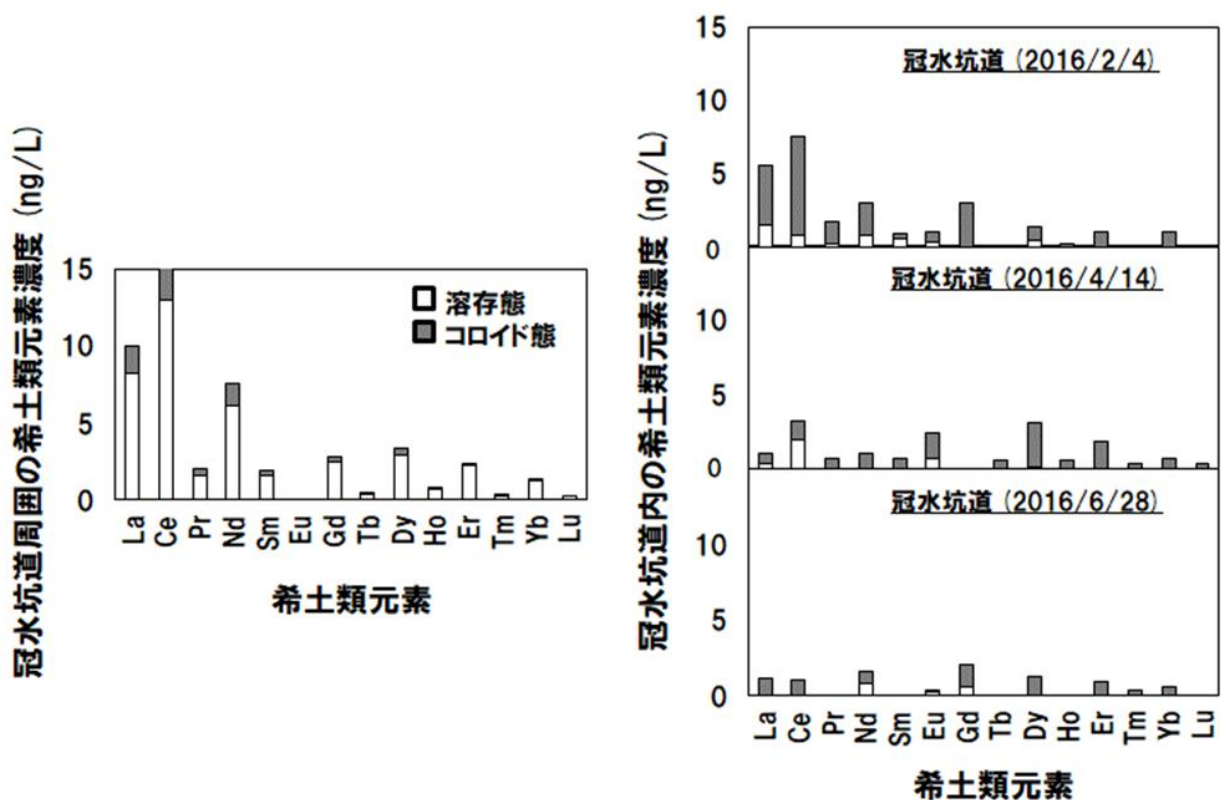


図 2 冠水坑道内の希土類元素濃度の時間変化

### 3) 深部塩水系地下水の起源・滞留時間の理解

深部花崗岩の地下水の水質や起源等から地下水流動の緩慢さを明らかにするため、地下水の採水や分析を実施します。

平成 29 年度は、地下水の滞留時間を評価する上で重要な地下水流動の変動性について、100 万年前から現在までの地形変化、地表環境の変化を踏まえて得られた多数の地下水流動解析結果を統計処理することで評価する手法について検討しました。

### (3) 坑道埋め戻し技術の開発

坑道の一部を埋め戻し、地下水を自然に冠水させることによって、地下水の水圧・水質及び坑道周辺岩盤の化学的変化や力学的変化を観察し、地質環境の回復能力等を評価するとともに、地質環境に応じた埋め戻し技術の構築を目指します。また、長期観測に必要なモニタリング技術の開発を実施します。

#### 1) 坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術の開発

##### ① 再冠水試験

坑道閉鎖に伴う地質環境の力学・水理・化学特性の変化を複合的に把握する技術の開発を目的として、深度 500m 研究アクセス北坑道の冠水坑道において、冠水及び排水に伴う坑道内外の環境変化を確認する試験を行います。

平成 29 年度は、冠水坑道周辺のボーリング孔 (12MI33、13MI38～48 号孔：図 3) に設置した観測装置を用いて、冠水坑道内と周辺岩盤中の地下水の水圧・



水質の変化、岩盤変位の観測及び平成26年度に埋め戻し材(砂、粘土等)で埋め戻した13MI39号孔、13MI42号孔のボーリングピット2か所において、埋め戻し材及び周辺岩盤での水理・化学・力学的な変化の計測を継続しました。また、冠水坑道内の地下水の一部排水・減圧と排水停止・水圧回復(一部排水試験)及び全排水を実施し、周辺岩盤中の地下水の水圧・水質の変化、岩盤変位の観測を行いました。

冠水坑道周辺の地下水の水圧は、坑道掘削後の約2年間で坑道掘削前の約4MPaから1~2MPaまで低下しました。平成28年1月の坑道閉鎖以降、冠水坑道内の水圧は2週間ほどで約3MPaまで上昇しました。その後、水圧上昇に伴う冠水坑道周辺の水理場の変化により、徐々に水圧が低下し、1年経過後以降はほぼ一定の値(約2.5MPa)となりました。一部排水試験の結果から、排水によって生じる水圧低下は、排水停止後、短期間で回復することが確認されました(図4)。また、排水や排水停止に伴う冠水坑道及び周辺観測孔での水圧変化から、冠水坑道周辺の岩盤の透水不均質性が推定されました。閉鎖後の冠水坑道内の地下水の化学的な状態は酸素のない還元状態にあり、また坑道壁面のセメント等との反応によりpH10程度のアルカリ性の状態で定常状態となっていました。この還元環境の形成については、地下水中の微生物分析を行いその結果を整理したところ、種組成が時間とともに還元環境の形成に関与する種類に変化していたことから(図5)、微生物活動の影響があると考えられました。以上の成果については、学会等にて発表するとともに、論文として取りまとめて公表しました。また、観測結果を利用した解析技術の開発については、国際共同プロジェクト(DECOVALEX2019)の検討テーマとして、海外の研究機関と連携して取り組みました。

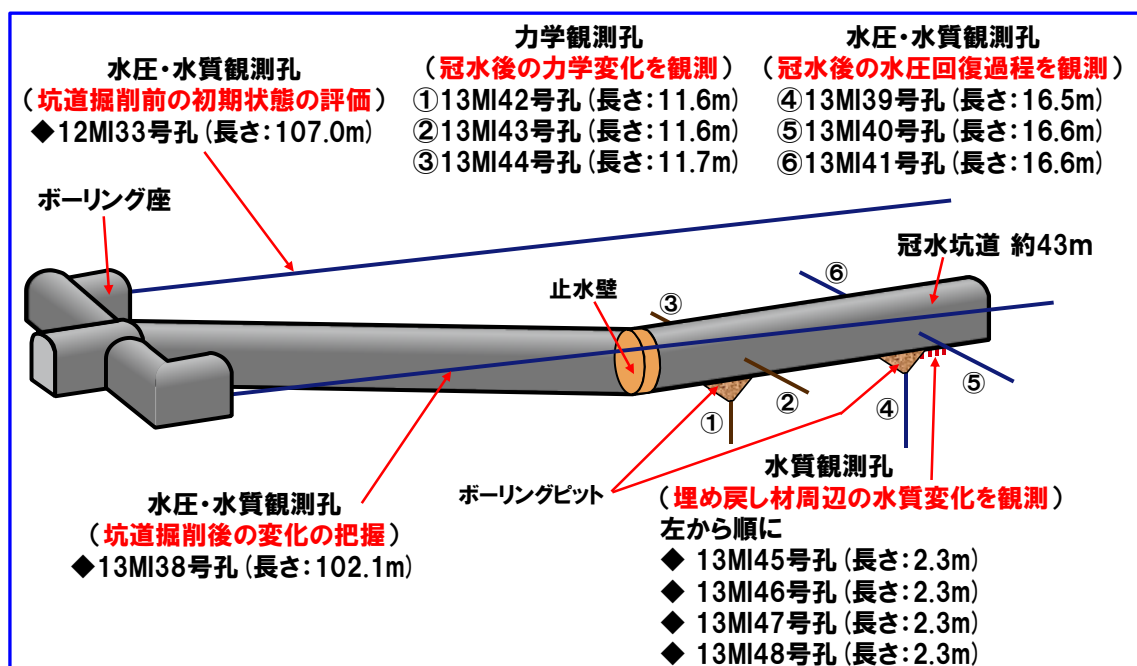


図3 冠水坑道周辺における観測孔の概要

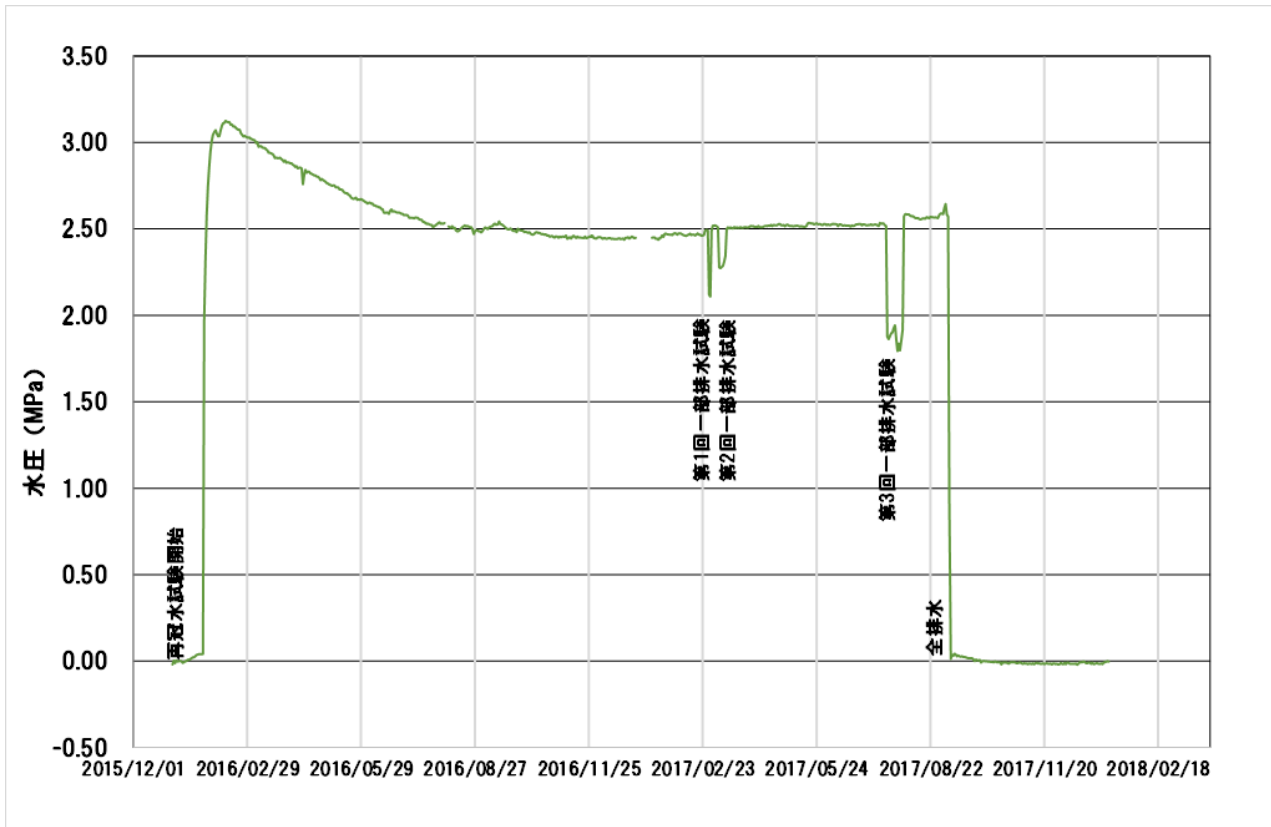


図4 冠水坑道内の水圧変化

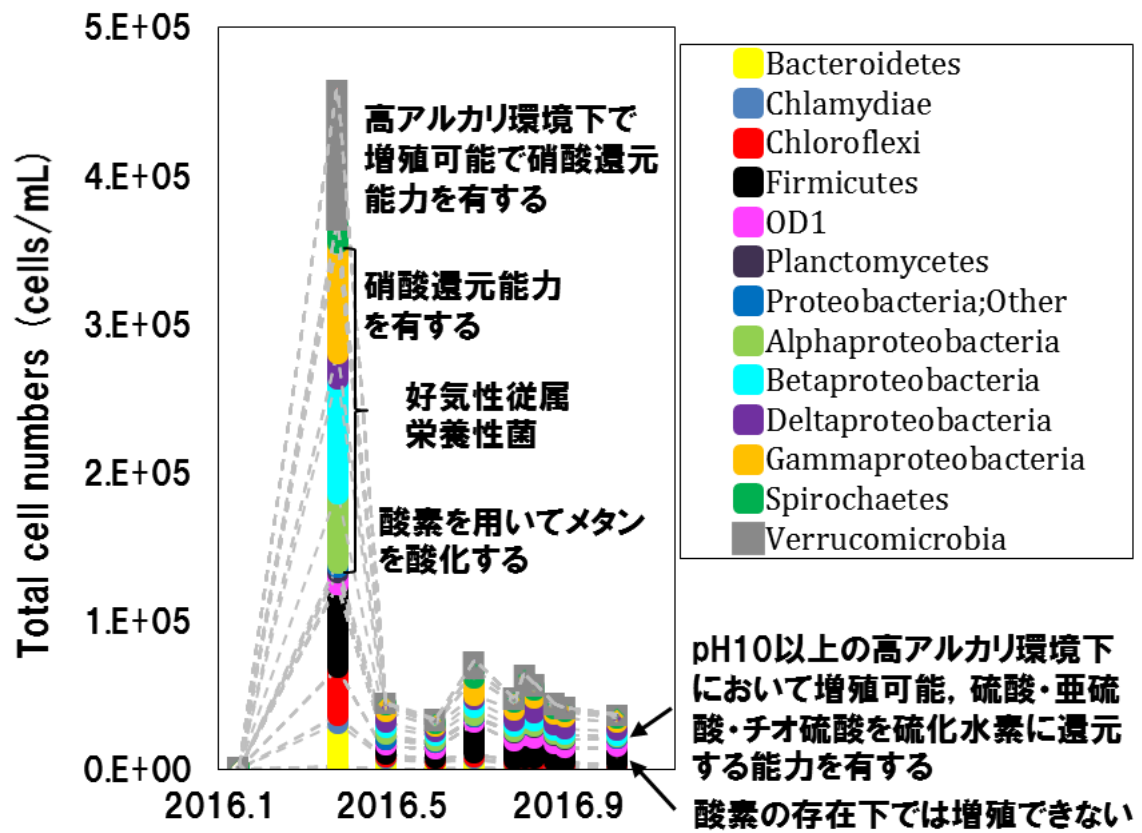


図5 冠水坑道内の微生物組成の時間変化

## ②岩盤の破壊現象評価

大口径ボーリング孔の掘削による孔壁破壊現象の調査や岩盤の破壊現象を含む長期岩盤挙動の評価手法の開発を行い、坑道掘削から埋め戻しまでを想定した周辺岩盤における破壊挙動と、その後の変化を評価する方法を整備します。

平成 29 年度は、京都大学及び大林組との共同研究として実施した粘性流体注入に伴う周辺岩盤への影響把握に関する成果を学会等にて発表するとともに、論文として取りまとめ公表しました。

## ③埋め戻し試験

ボーリングピットや坑道の一部を利用した埋め戻し試験を実施し、埋め戻しの施工管理に関わる留意点や地質環境への影響等を把握します。また、上記①②の調査研究の成果とあわせて、地質環境の回復能力等を評価する技術を整備します。

平成 29 年度は、研究坑道内で実施予定の埋め戻し試験の計画検討を行いました。具体的には、国内外での同種の研究事例の調査から試験の目標を定めた上で、研究坑道内での試験候補位置を決定し、その領域の地質環境等の条件の整理とそれに基づく具体的な試験方法の検討等を行いました。

## 2) 長期モニタリング技術の開発など

### ①長期モニタリング

#### 地上におけるモニタリング

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(04ME01 号孔)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(図 6)。また、研究坑道周辺における、坑道掘削に伴う地下水の水圧・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、MIZ-1 号孔、05ME06 号孔)において、地下水の水圧・水質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には研究坑道の掘削による影響とみられる変化が無く、地下深部については、主立坑断層を境として地下水の水圧が異なることを確認しました。(図 7)。

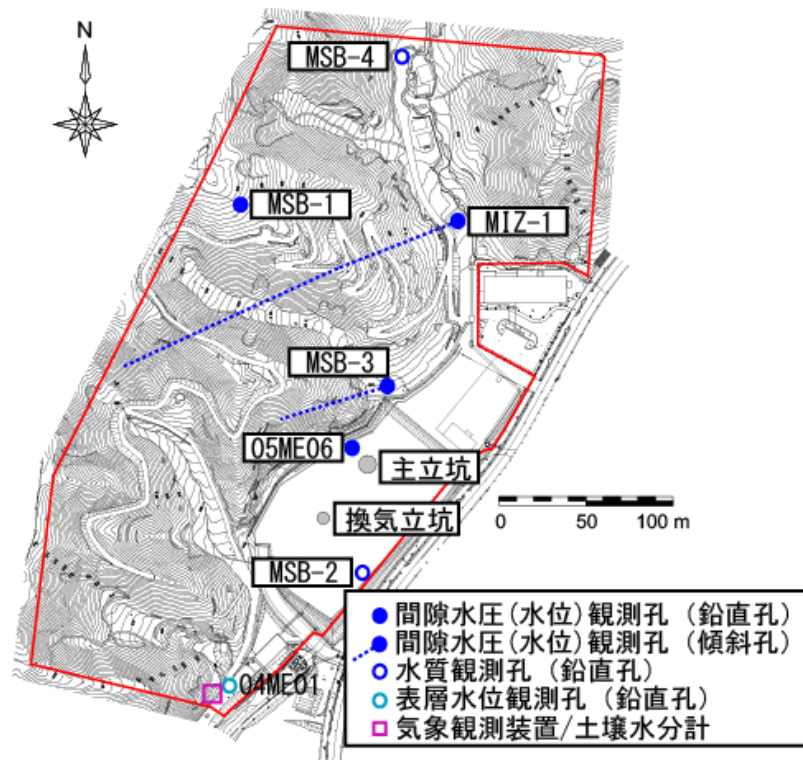


図6 地上から掘削されたモニタリング孔

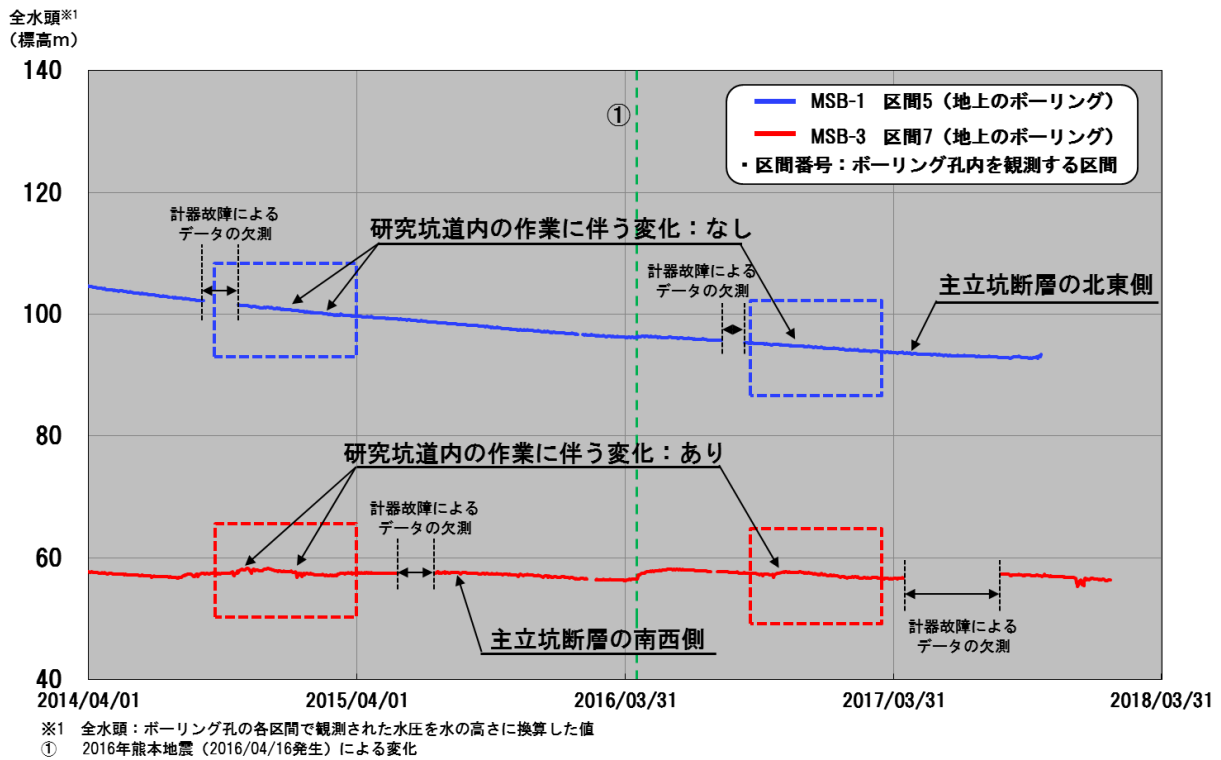


図7 地上からの水圧モニタリングの一例(MSB-1、3号孔)

## 研究坑道におけるモニタリング

研究坑道の掘削や維持管理、再冠水試験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おいて地下水の水圧・水質の観測を継続しました(調査位置は図 1)。また、坑道壁面や集水リング(図 1)\*<sup>12</sup>で採取した地下水の水質分析と解析を継続しました。さらに、深度 300m ステージでの自然電位測定による地下水流動のモニタリングを継続しました。

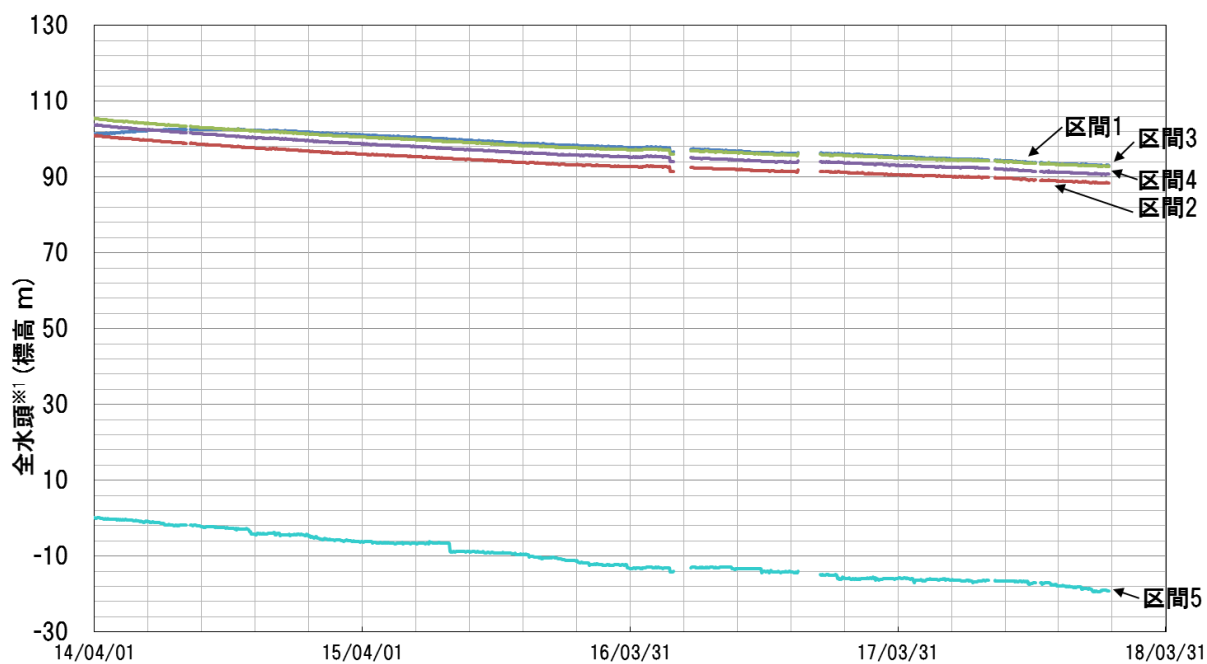
その結果、研究坑道周辺の水圧には低下傾向が認められるものの、坑道壁面から十数 m 離れた位置では、研究坑道近傍よりも高い水圧を保持し続けていることが確認されました(図 8)。

地下水の水質については、深度 500m 研究アクセス北坑道における水質の長期観測の結果、連続性の高い割れ目を含む観測区間で坑道への定常的な湧水により水質が大きく変化していることが確認され、水質を長期モニタリングすることにより、物質の移動経路になりやすい割れ目とそれらが少ない領域を区分することができました(図 9)。なお、深度 300m ステージでの自然電位測定については、再冠水試験に伴う変化は認められませんでした。

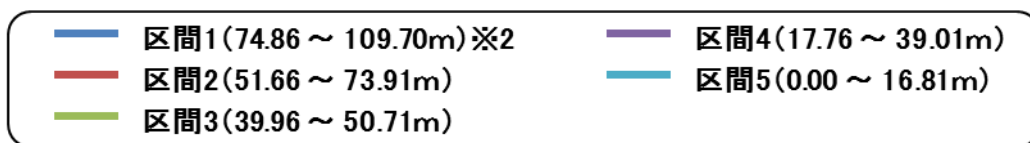
表 1 水圧観測孔及び水圧・水質観測孔

設置場所	孔の名称	孔の方向	掘削長
水圧観測孔			
深度 200m ボーリング横坑(主立坑)	07MI08 号孔	鉛直下向き	125.0m
深度 200m ボーリング横坑(換気立坑)	07MI09 号孔	鉛直下向き	125.0m
深度 300m ボーリング横坑(換気立坑)	09MI17-1 号孔	鉛直下向き	51.0m
	09MI18 号孔		
	09MI19 号孔		
深度 300m 研究アクセス坑道	10MI23 号孔	水平方向	109.7m
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
水圧・水質観測孔			
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 研究アクセス北坑道	12MI33 号孔	水平から約 1° 下向き	107.0m
	13MI38 号孔		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	水平から約 4° 下向き	16.6m
	13MI41 号孔		
	13MI45 号孔	鉛直下向き	2.3m
	13MI46 号孔		
13MI47 号孔			
	13MI48 号孔		

\* 12: 立坑内の坑壁から湧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。



※1 全水頭:ボーリング孔の各区間で観測された水圧を水の高さに換算した値



※2 各区間のmは、ボーリング孔の孔口から観測地点までの長さ

図 8 深度 300m における水圧モニタリングの一例(10MI23号孔)

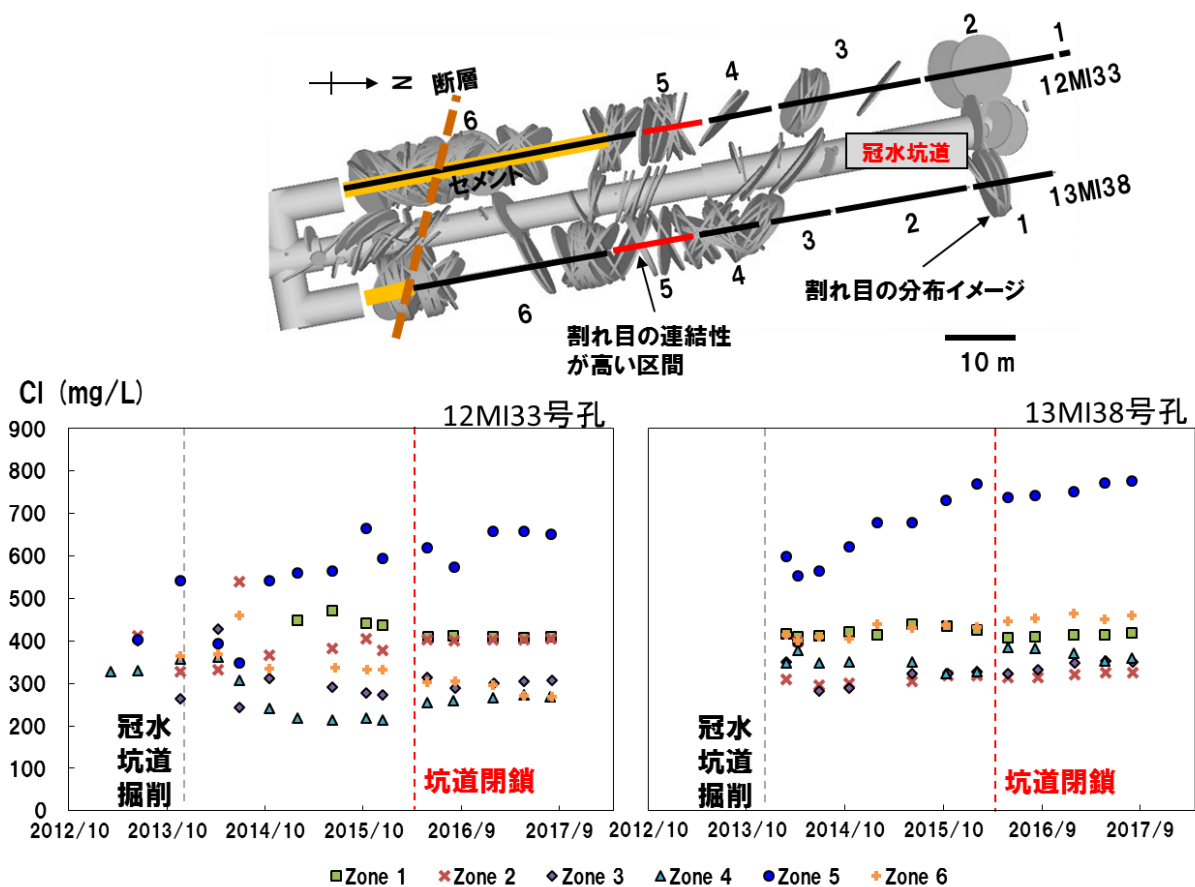


図 9 深度 500m 研究アクセス北坑道における水質モニタリングの一例

## ②長期モニタリング技術の開発

研究坑道内に設置された地下水の水圧・水質、岩盤変位のモニタリング装置を活用して、地上から地下水の水圧・水質、岩盤変位の長期モニタリングを行う方法、地中無線によるデータ伝送技術(原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究)の検討を行いました。

地中無線によるデータ伝送技術の適用試験として、地中無線システムを用いた冠水坑道の水圧計測を継続し、花崗岩中においても地中無線システムによる水圧計測、データ転送が適用可能であることを確認しました。

## ③モニタリングデータの取りまとめ・評価

調査研究で得られるデータや地上から掘削したボーリング孔及び研究坑道から掘削したボーリング孔を利用した地下水の水圧・水質のモニタリングデータの取りまとめ・評価を継続しました。

## 2. 研究所の工事、環境保全、安全管理

研究坑道の工事としては、坑内外仮設備の維持管理作業のほか、老朽化した配管等の交換や換気立坑巻上設備の制御盤の交換を実施しました。

坑道内に湧出する地下水は、地上に設置している排水処理設備により処理し、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近隣の河川へ放流しています。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。

また、研究所用地の美化等の環境整備を継続するとともに、周辺の河川や井戸等への影響の有無を確認するため、研究所周辺の環境の現況調査を継続しました。その結果、研究所の作業が周辺環境へ問題となる影響を与えていないことを確認しています。

安全管理としては、研究所における研究や工事等は、日常の巡視や安全パトロールを実施するとともに、研究や工事等の関係者間での情報共有を目的として安全連絡会議を毎月開催し、災害防止を図りました。これらの安全活動の取り組みにより、無災害で作業を実施しました。

## 3. 開かれた研究施設としての取り組み

### (1) 共同研究・施設利用

わが国における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ました。

平成 29 年度は、原子力環境整備促進・資金管理センター、産業技術総合研究所、電力中央研究所、岡山大学、京都大学、静岡大学、東京大学、東北大学、大林組、鹿島建設、清水建設、東京測器、西松建設、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実施しました。

なお、東京大学との共同研究として実施した深度 300m 研究アクセス坑道から採水した地下水中の微生物の生態調査では、花崗岩深部でマグマ由来のメタンに依存した微生物生態系が存在することが分かり、放射性核種の移動を抑制する地下水水質が形成されていることも示されました。これは、地底生命の代謝活動により、高レベル放射性廃棄物地層処分の安全性が高められると期待できることを示しており、成果を論文に取りまとめてプレス発表しました。

### (2) 理解促進活動・情報発信

研究所では、地層科学研究における研究開発の成果や状況等を報告する情報・意見交換会の開催や見学者の受け入れ(平成 29 年度見学者数実績:2,725 名)、児童・生徒を対象とした科学教育に関する学習支援(夏休みサイエンス体験イベント)等を行いました(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、調査研究の内容や成果、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。



さらに、地元住民の方を対象とした見学会、サイエンスカフェ、セミナー等を開催し、多くの地元の方々にご参加いただきました。



東濃地科学センターセミナー  
(演題: 地下の資源のさがし方)



施設見学会  
(深度500m研究アクセス北坑道)



夏休みサイエンス体験イベントでの地下水量の測定  
(東濃地震科学研究所との共催講座)



サイエンスカフェ  
(テーマ: 地下を旅する地下水のなぞ)

## 図 10 開かれた研究施設としての取り組み