

平成29年4月21日

〈平成28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 28 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	2
(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	3
3) 深部塩水系地下水の起源・滞留時間の理解	5
(3) 坑道埋め戻し技術の開発	5
1) 坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術の開発	5
① 再冠水試験	5
② 岩盤の破壊現象評価	7
③ 埋め戻し試験	8
2) 長期モニタリング技術の開発など	8
① 長期モニタリング	8
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	14
2. 施設報告	14
3. 安全対策	14
4. 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 28 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 28 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 2 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 28 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、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確認する再冠水試験を昨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・水質の変化および岩盤変位^{*1}の観測を継続しました。また、岩盤中の物質移動に関する調査研究として、深度 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、トレーサー試験を実施しました。さらに、従来から実施している、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・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 27 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 28 年度の研究坑道の工事としては、深度 500m 研究アクセス南坑道においてポストグラウチング^{*2}を実施するとともに、坑内外仮設備の維持管理の他、老朽化した配管等の交換や主立坑エレベーターのワイヤーロープ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、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ました。また、研究所周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、清水建設、鹿島建設、大林組、東京大学、静岡大学、京都大学、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、学習施設として活用してい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。

*1:岩盤にかかる圧力によって生じる岩盤の変形量。

*2:坑道掘削後に、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。

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(グラウト技術^{*3})を開発します。

特に坑道への湧水量をプレグラウチング^{*4}とポストグラウチング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^{*5}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みます。

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あるいは透水係数^{*6}のさらなる低減により湧水量を抑制します。

平成 28 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、年度当初に実施したポストグラウチングの有効性も評価し、プレス発表を行いました。

研究坑道の掘削ではグラウトや支保として、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、岩盤の長期的な劣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、グラウト材料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 28 年度は、引き続き、国からの受託研究として、グラウト材料の影響による岩盤状態の経年変化を把握するため、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料を採取し、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・評価するための研究計画に基づき、室内試験の準備を進めました。

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およ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。

平成 28 年度は、平成 27 年度までに実施した文献調査結果の取りまとめを継続しました。今後、報告書として公開する予定です。

*3: 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、グラウト技術としている。

*4: 坑道掘削前に実施するグラウチング。

*5: 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する。

*6: 岩盤中の水の流れやすさを示す指標。

(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^{*7}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およ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

平成 28 年度は、平成 27 年度までに行った室内拡散試験の結果を取りまとめ、論文として公開するとともに、プレス発表を行いました。

また、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 500m 研究アクセス南坑道 125m 計測横坑において、1 本のボーリング調査 (16MI59 号孔: 水平から約 30° 下向き、長さ約 30m) を電力中央研究所との共同研究として実施し (調査位置は図 1)、割れ目の分布や岩盤の透水性等のデータを取得するとともに、トレーサー試験を実施しました。深度 300m ボーリング横坑 (換気立坑) では、既存のボーリング孔を利用して水理試験を実施し、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、深度 500m においても、岩盤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 28 年度までに実施した試験結果と合わせて解析を進めています。

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^{*8} やそれらと地下水中の様々な元素の相互反応に関する調査を行ったところ、周囲の岩盤から冠水坑道内に流入した地下水においては、坑道壁面のセメント等との反応により元々地下水に含まれていたランタン等の希土類元素の濃度の減少が認められました。

2) 地質環境の長期変遷解析技術の開発

断層による地質環境への影響と、割れ目の形成過程を把握するために、主立坑断層とその周辺の割れ目の特徴を詳細に観察しました。その結果、断層に沿って分布する貫入岩^{*9} 近傍の花崗岩中では、400℃以上の高温状態で一部の鉱物の溶脱と割れ目の形成が開始され、その後の温度低下に伴い、熱水やガスから生成した石英や炭酸塩鉱物によって、一部の割れ目が充填されていることがわかりました。主立坑断層沿いの割れ目について詳しく調べた結果、鉱物による充填が地下水の移動を抑制することが明らかになり、この成果を論文として公開し、プレス発表を行いました。

*7: 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。

*8: 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。

*9: 既に存在している地層や岩石にマグマが侵入してできた岩石。

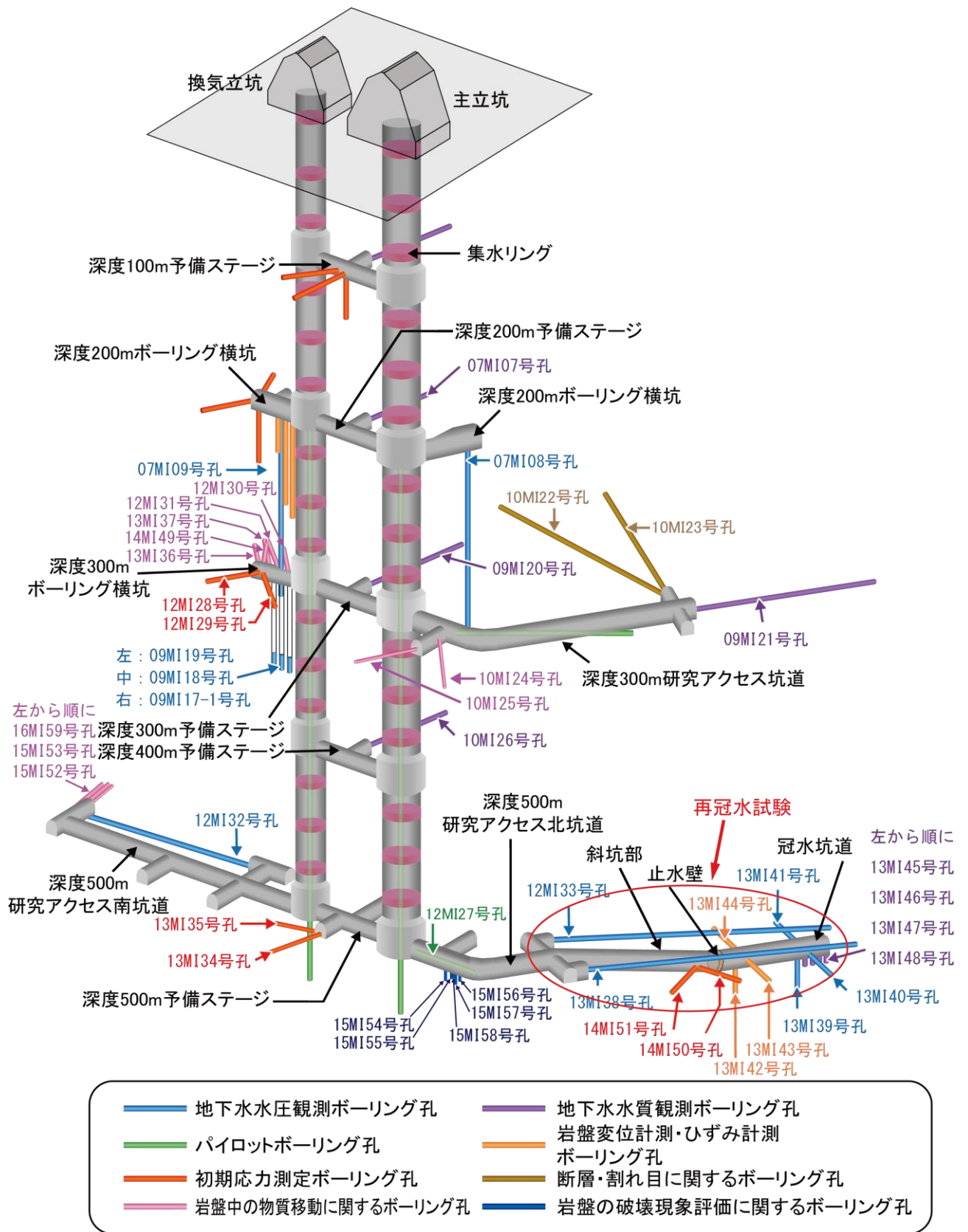


図1 平成28年度における研究坑道での主な調査位置図

3) 深部塩水系地下水の起源・滞留時間の理解

研究坑道内からの大深度ボーリング孔の掘削・調査について、既存技術の情報収集等を行い、実施計画等についての検討を実施しました。また、深度 500m の研究坑道において得られた地下水を対象として、炭素 14 による年代測定を実施した結果、地下水の年代が約 2 万 5 千年～3 万年であることがわかりました。

(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・水質およ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

平成 28 年度は、深度 500m 研究アクセス北坑道の冠水坑道周辺のボーリング孔 (12MI33、13MI38～48 号孔: 図 2) 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、岩盤変位の観測を継続しました。

また、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、埋め戻し材およ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。

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 まで低下していました。平成 28 年 1 月の坑道閉鎖以降、冠水坑道内の水圧は 1 か月ほどで約 3MPa まで上昇しました。その後、止水壁および周辺の岩盤からの地下水湧水により徐々に水圧が低下したものの、1 年経過後はほぼ一定の値 (約 2.4MPa) となっています (図 3)。また、冠水坑道内の地下水の化学的な状態は、当初、地下水が空気に触れていたため溶存酸素を含む酸化状態にありましたが、冠水坑道の閉鎖後は、地下水中の溶存酸素濃度が急激に減少しました。さらに、地下水の酸化還元状態に関わる指標である酸化還元電位^{*10}も時間とともに低下し、坑道掘削前の酸化還元電位と同等の値 (約 180mV) となりました (図 4)。これらのことから、坑道の掘削に伴い変化した地下水の水圧や酸化還元状態は、坑道の閉鎖後、数か月程度で元の状態に回復することが確認されました。

一方で、地下水の pH は坑道の閉鎖後、坑道壁面のセメント等との反応により徐々に上昇しアルカリ状態となっており (図 4)、元の状態と大きく異なることがわかりました。

なお、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の課題として、海外の研究機関と連携した取り組みを行いました。

*10: 地下水中に鉄など金属を浸したときにその錆びやすさを表す指標。値が高いと錆びやすく、低いと錆びにくい。

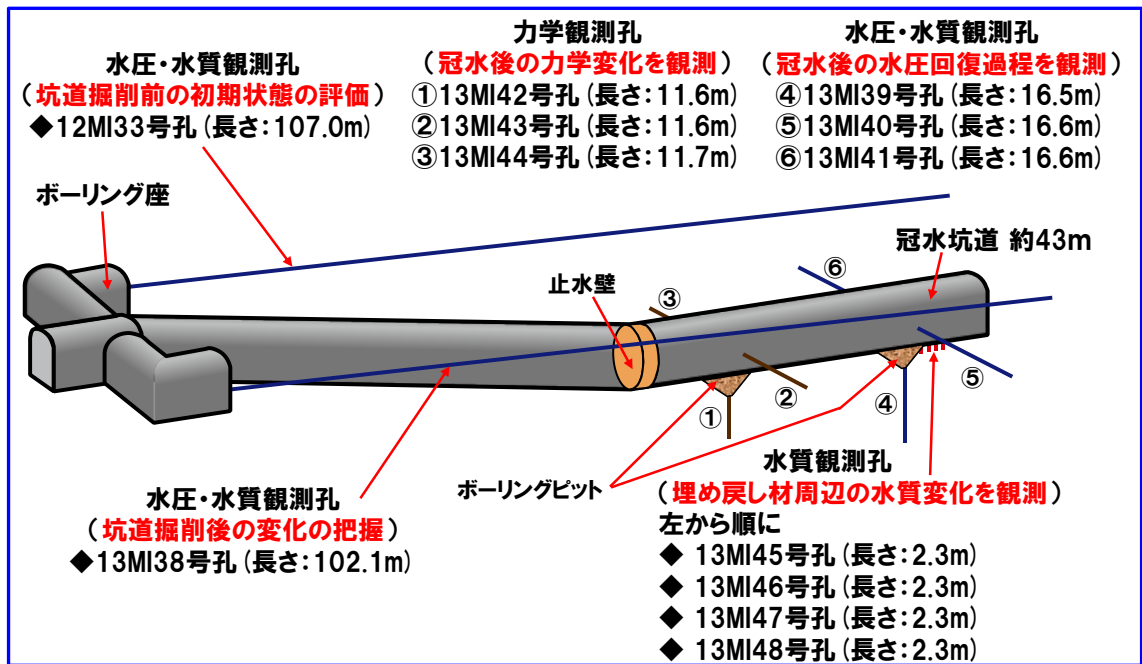


図2 冠水坑道周辺における観測孔の概要

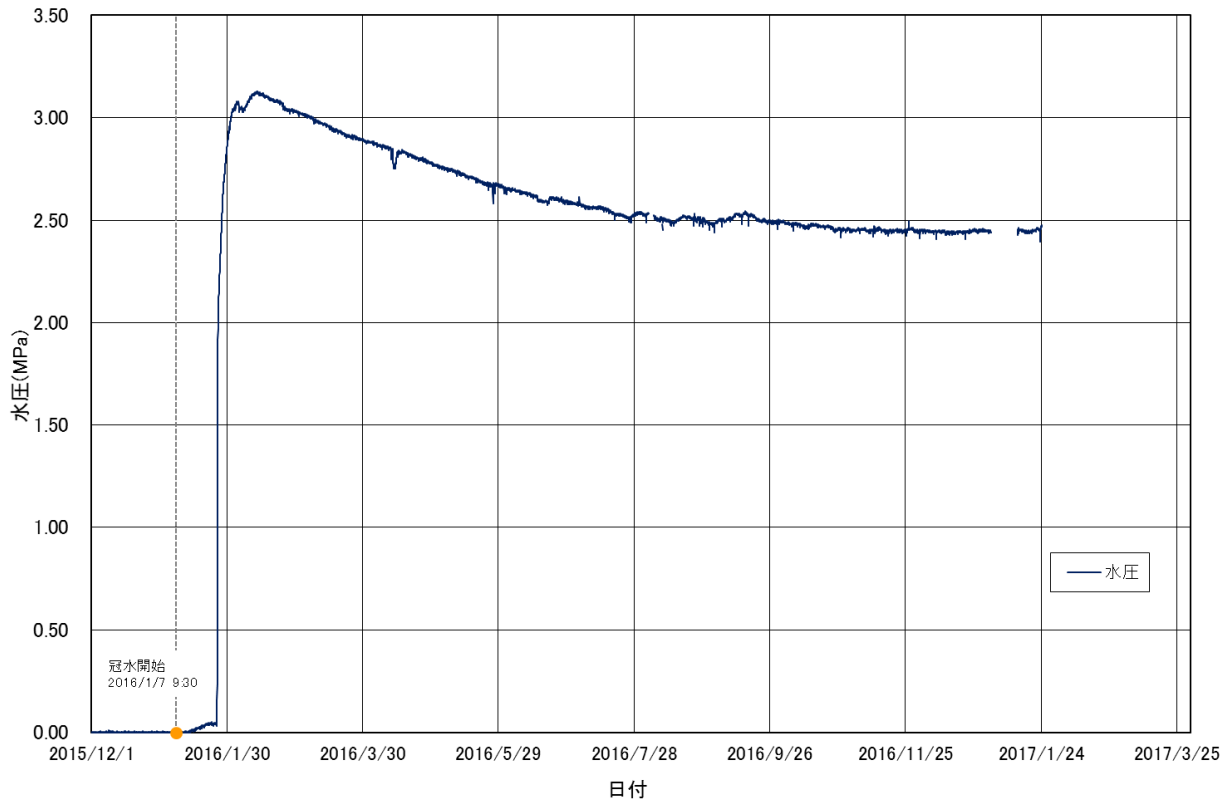


図3 冠水坑道内の水圧変化

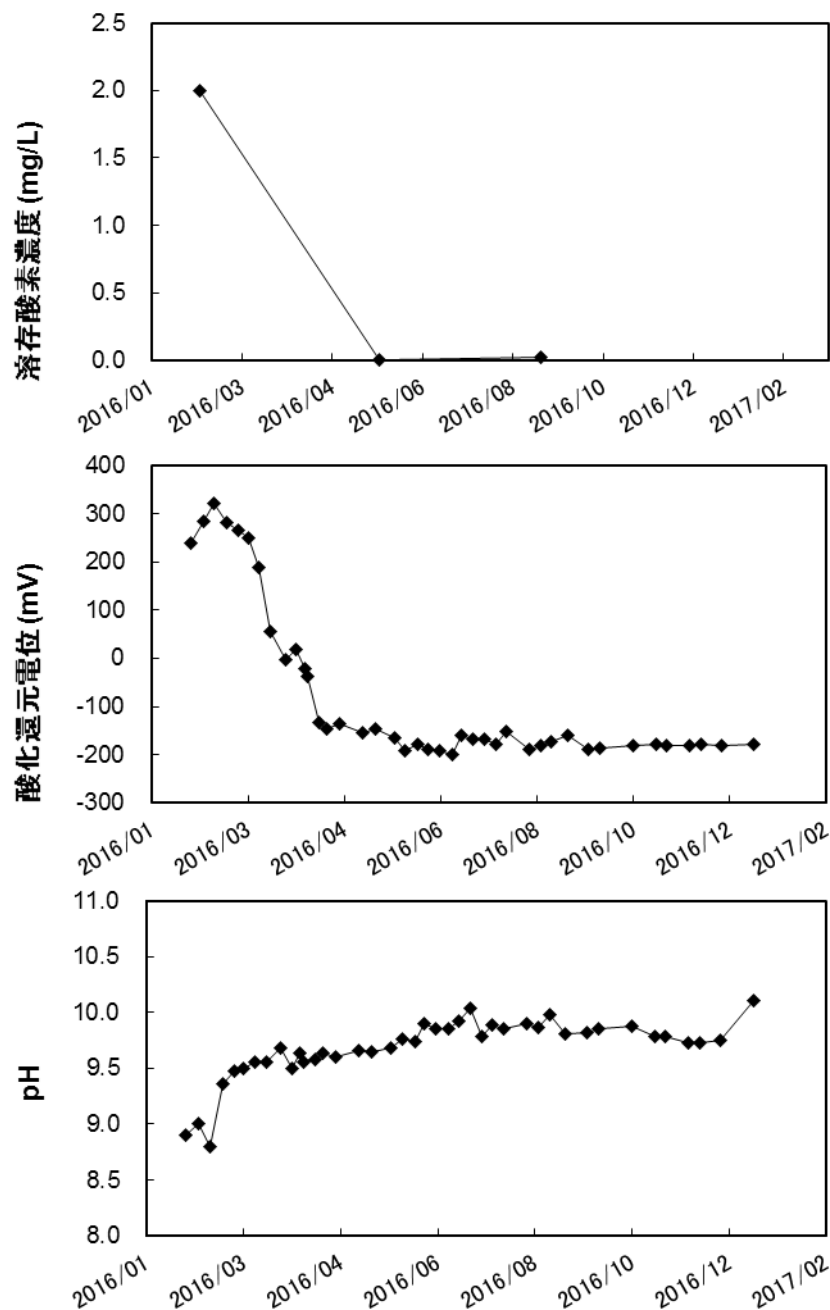


図 4 冠水坑道内の地下水の水質変化

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 28 年度は、京都大学および大林組との共同研究による成果を、12 月に開催した地下環境シンポジウムで報告しました。

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 28 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。

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の水位の観測、土壌水分量の観測を継続しました(図 5)。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く、地下深部については、これまでと同様に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。また、主立坑南西側のボーリング孔(MSB-3 号孔)では、2016 年熊本地震に伴う水圧の変化が観測されました(図6)。

地下水の水質に関しては、一部の観測区間で水質の変化が認められ、研究坑道への地下水の湧出による周辺地下水への影響と考えられました(図7)。

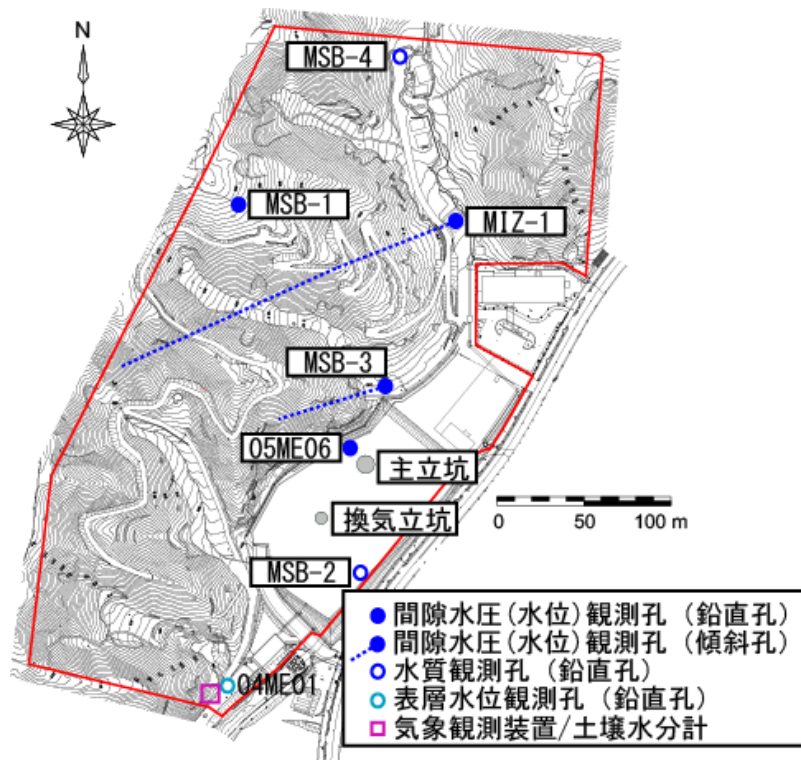
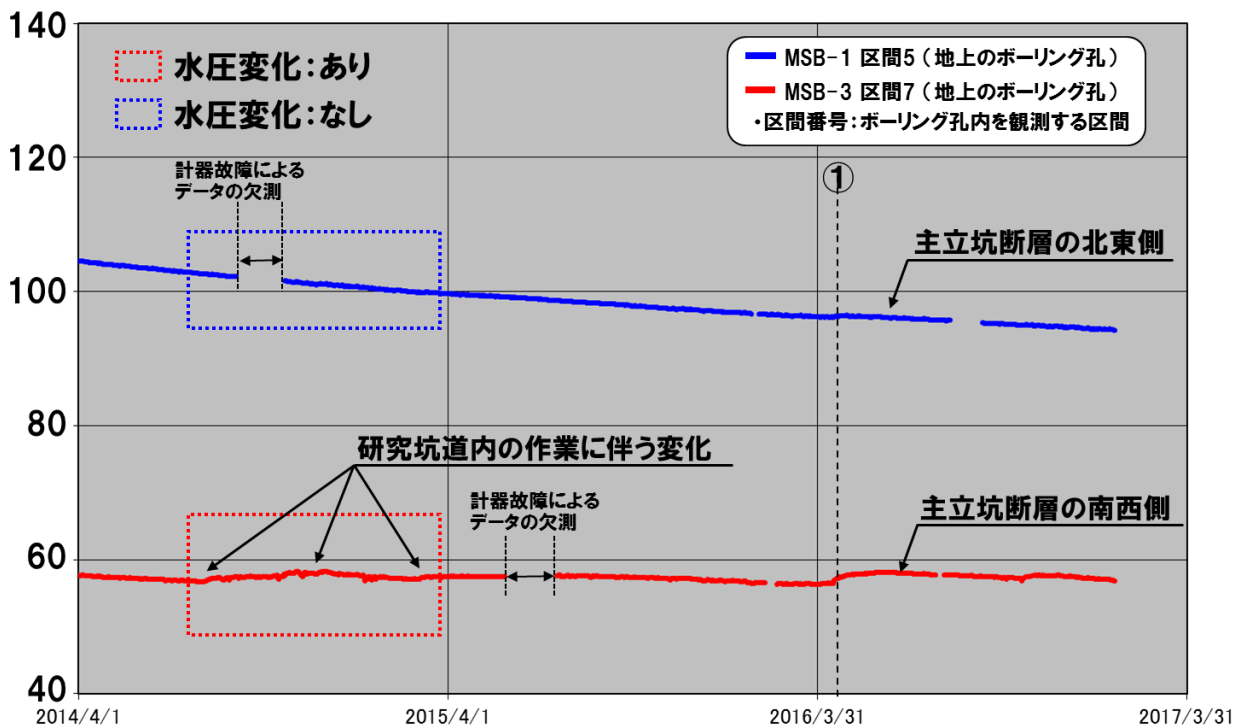


図5 地上から掘削されたモニタリング孔

全水頭^{※1}
(標高m)



※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

① 2016年熊本地震(2016/4/16発生)による変化

図6 地上からの水圧モニタリングの一例(MSB-1、3号孔)

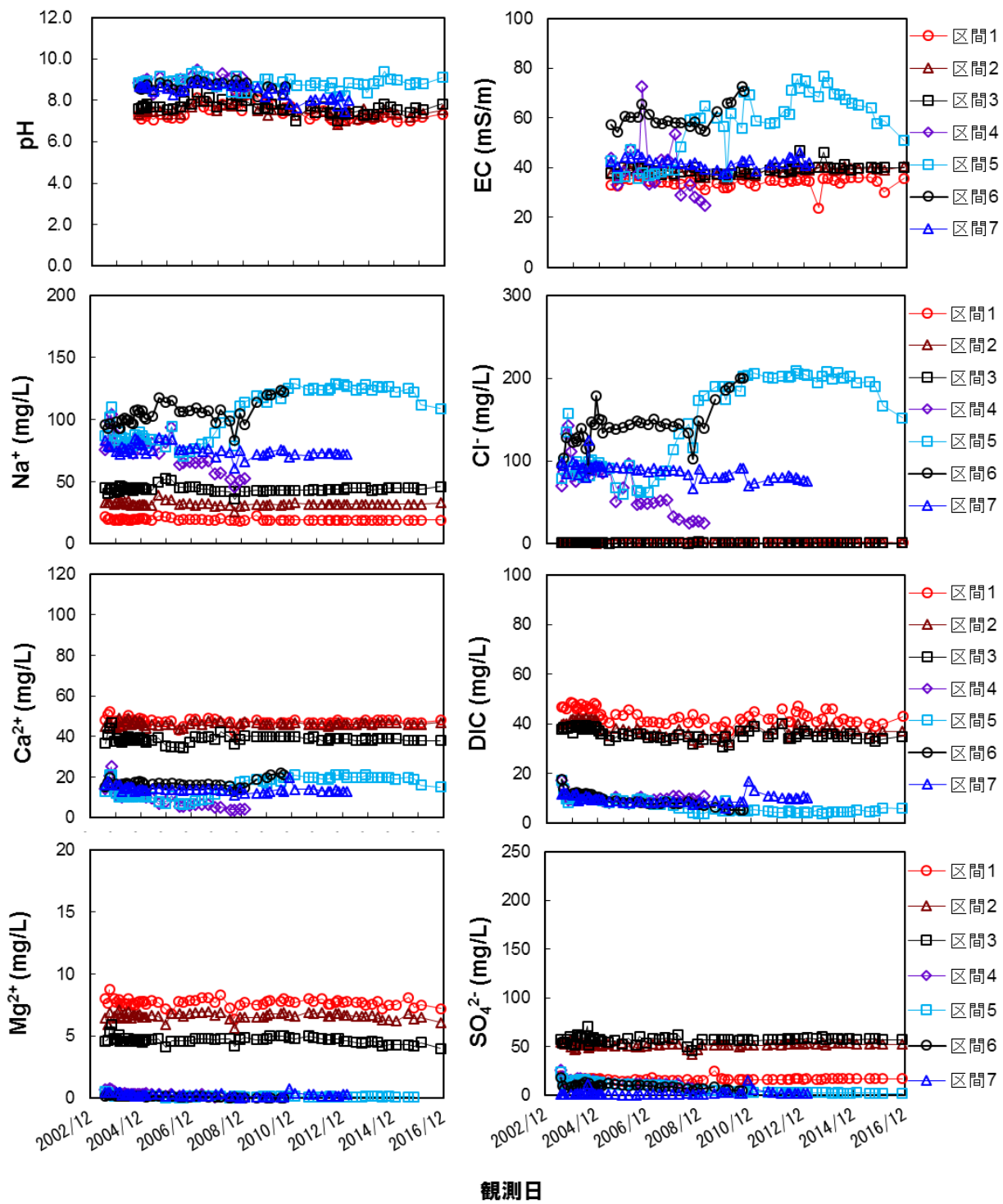


図7 地上からの水質モニタリングの一例(MSB-4号孔)

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) *11 で採取した地下水の水質分析と解析を継続しました。

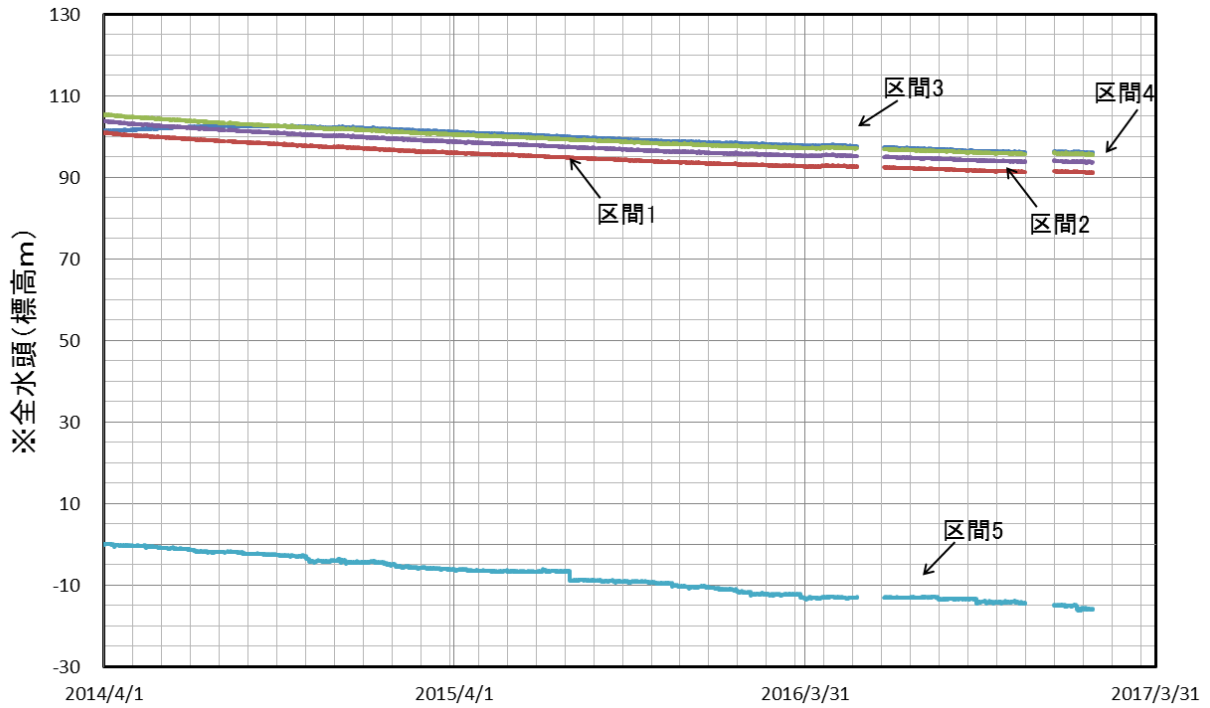
その結果、研究坑道周辺の水圧には低下傾向が認められるものの、坑道壁面から十数 m 離れた位置では、研究坑道近傍よりも高い水圧を保持していることが確認されました(図 8)。

地下水の水質については、集水リングにおける水質の長期観測の結果、堆積岩と花崗岩の不整合部より深部に設けられた主立坑集水リングにおいて、水質の季節変動が認められました(図 9)。不整合部から花崗岩上部において立坑への湧水量も多いことから、この深度において表層水が立坑に流れ込んでいると推測されました。

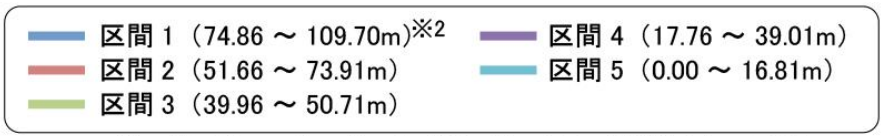
表1 水圧観測孔および水圧・水質観測孔

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			

* 11: 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、ボーリング孔の坑口からの観測地点までの距離

図 8 深度 300m における水圧モニタリングの一例(10MI23号孔)

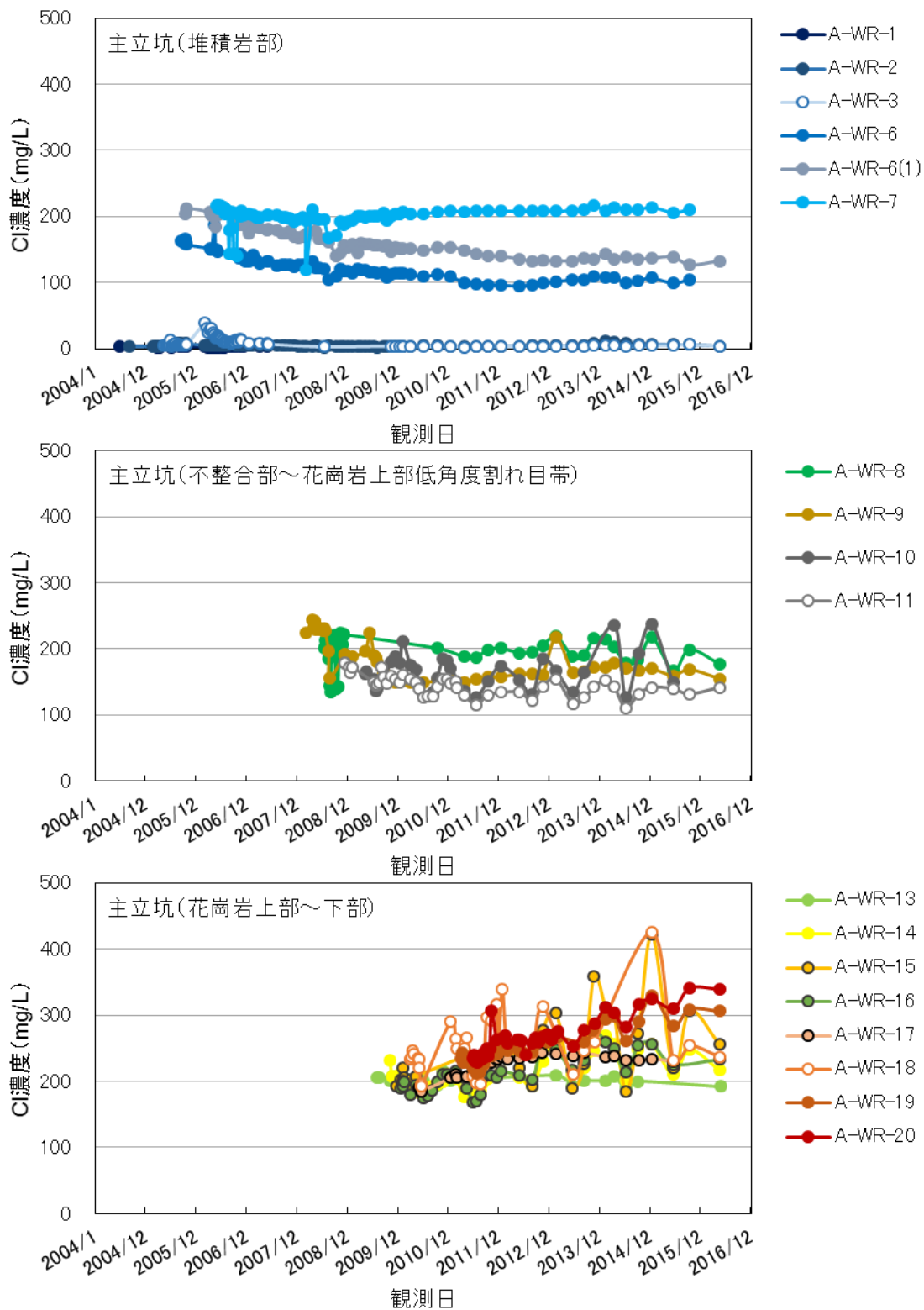


図9 立坑における水質モニタリングの一例(主立坑集水リング)

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方法(原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究)、レーザー光による給電技術等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。今後は、地中無線システムの長期耐久性の確認を目的として、冠水坑道での水圧計測を継続します。

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およ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. 施設報告

研究坑道の工事としては、深度 500 m 研究アクセス南坑道においてポストグラウチングを実施しました。また、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主立坑エレベーターのワイヤロープ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影響を与えていないことを確認しています。

3. 安全対策

研究所における研究や工事は、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

(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。

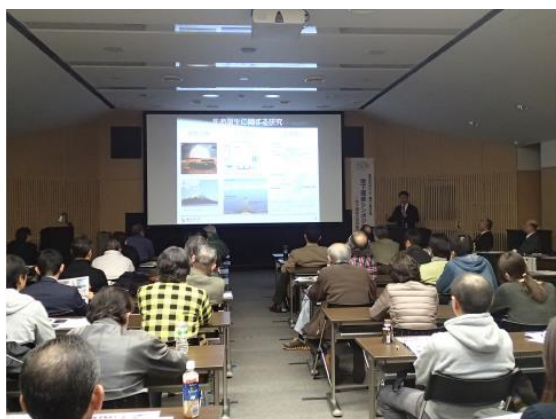
平成 28 年度は、電力中央研究所、産業技術総合研究所、原子力環境整備促進・資金管理センター、清水建設、鹿島建設、大林組、東京大学、静岡大学、京都大学、地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所、名古屋大学等との間で、研究坑道等を活用した共同研究を含む研究協力や施設利用を実施しました。

(2) 理解促進活動・情報発信

研究所では、地層科学研究の研究開発成果や状況等について情報や意見

を交換するための情報・意見交換会を開催するとともに、6月からは深度500mの坑道へ見学者の受け入れを開始しました(平成28年度見学者数実績:2,732人)。また、学生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12)。さらに、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。

平成28年度は、超深地層研究所計画の開始から20年、東濃地科学センター開所から50年という節目の年であったことから、地下環境シンポジウム、地元住民の方を対象とした見学会、サイエンスカフェ等を開催し、多くの地元の方のご参加をいただきました。



地下環境シンポジウム



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
(地下水のpH測定)



サイエンスカフェ
(テーマ: 瑞浪の大地のおいたち)

図12 開かれた研究施設としての取り組み