

図 4.3-9 研究所用地における地下水モニタリング孔位置図

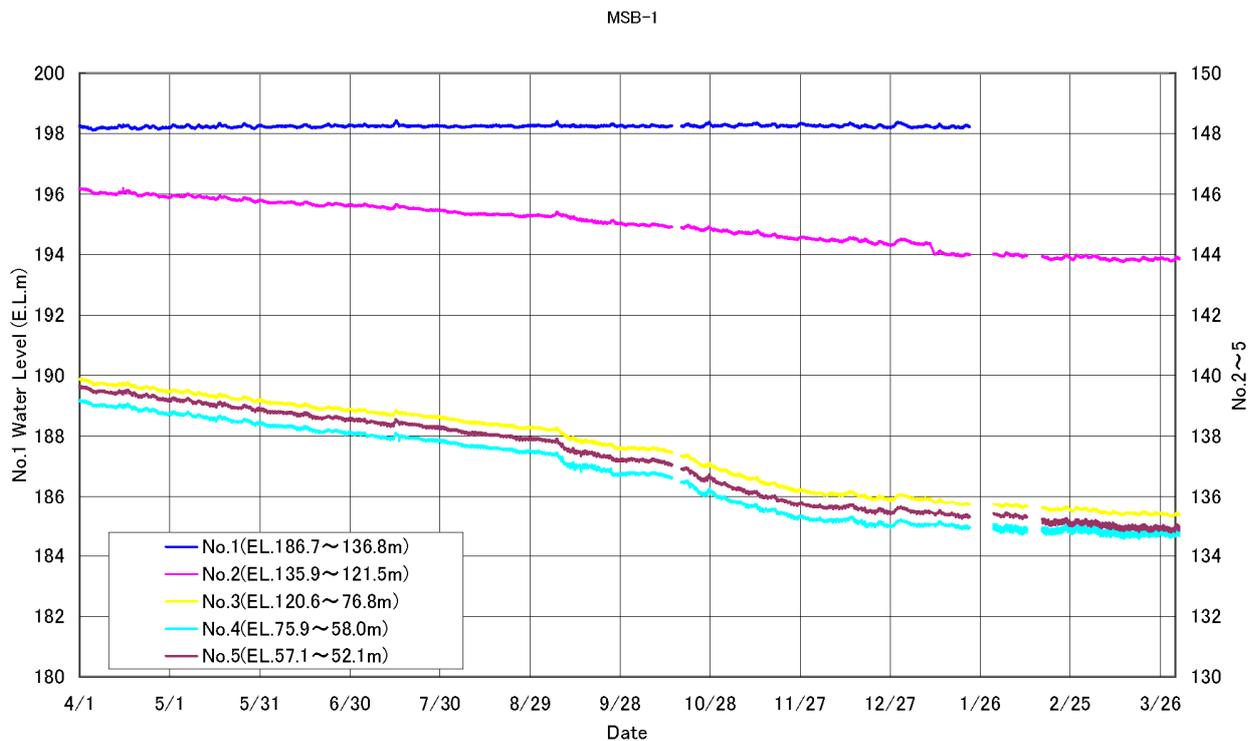


図 4.3-10 MSB-1 号孔の水位変化

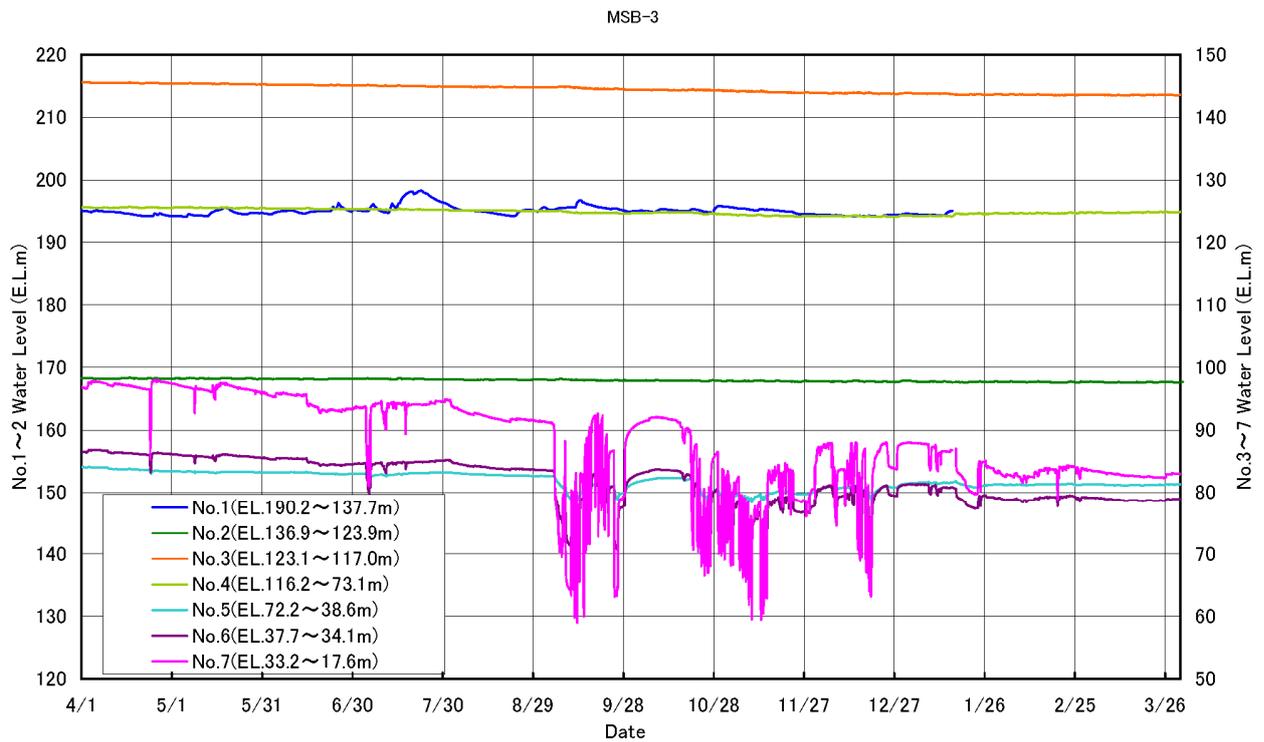


図 4.3-11 MSB-3 号孔の水位変化

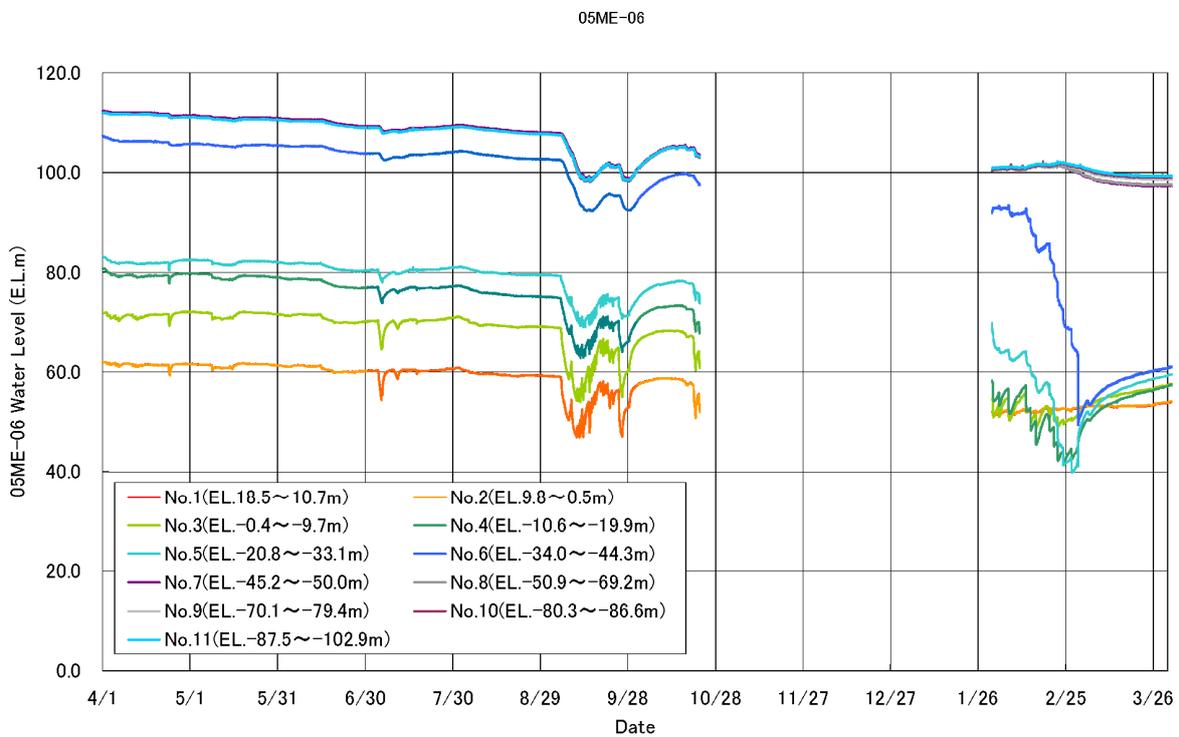


図 4.3-12 05ME06 号孔の水位変化

(観測区間は全て花崗岩)

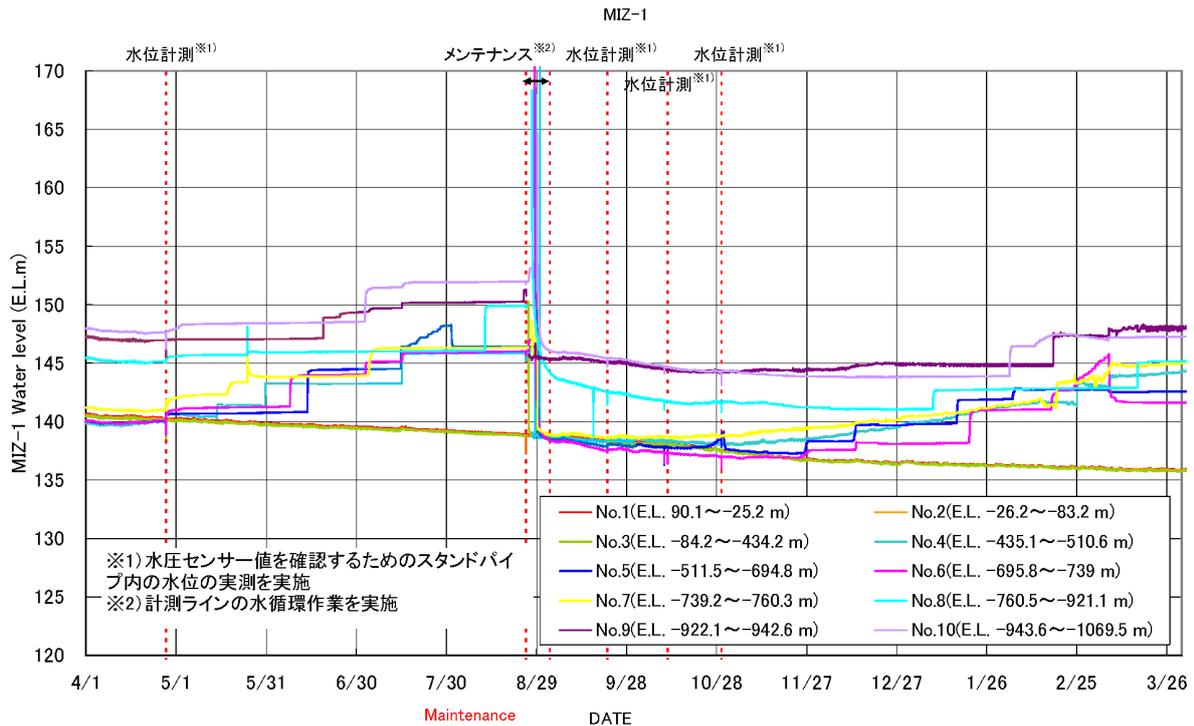


図 4.3-13 MIZ-1 号孔の水位変化
(観測区間は全て花崗岩)

以下に、

- ① 2007 年 4～7 月 (予備ステージおよびボーリング横坑の掘削)
- ② 2007 年 8～2008 年 1 月 (水理ボーリング, 地下水採水ボーリングおよび先行変位ボーリング孔の掘削・調査および, モニタリングシステムの設置)
- ③ 2008 年 2 月～2008 年 3 月 (研究坑道掘削)

の 3 期について, MSB-1 号孔の区間 No.5 (土岐花崗岩風化部), MSB-3 号孔の区間 No.7 (土岐花崗岩健岩部), 05ME06 号孔の区間 No.1,2 (土岐花崗岩健岩部) の間隙水圧変化について述べる。なお, MIZ-1 号孔は地下水の溶存ガス分離およびメンテナンス作業の影響を受けているため, 掲載しない。

①2007 年 4～7 月の間隙水圧の変化量(予備ステージおよびボーリング横坑の掘削)

研究坑道からの排水および掘削に対する水理応答が比較的顕著な花崗岩区間に注目すると, 以下のようまとめられる。MSB-1 号孔では, 全体的な傾向として, 緩やかな水位低下を示す一方, 研究坑道掘削作業に対する水理応答は明確には認められない。MSB-3 号孔の区間 No.7 においては, 研究坑道の作業に対応した突発的な水位低下(2～15m 程度)が確認できる。また, 研究坑道のうち換気立坑側の作業に対して水理応答が大きい。05ME06 号孔においては, 研究坑道の切羽位置に近い No.1,2 で水理反応が大きく生じている。また, 研究坑道の作業に対する水理応答も明瞭である。

②2007 年 8 月～2008 年 1 月の間隙水圧の変化量(水理ボーリング, 地下水採水ボーリングおよび先行変位ボーリングの掘削・調査および, モニタリングシステムの設置)

水理ボーリング, 地下水採水ボーリングおよび先行変位ボーリングの作業に対する水理応答は, MSB-3 号孔において顕著である。また, 地下水採水ボーリング孔掘削において, これまでは明確な反応が確認できなかった MSB-1 号孔において明瞭な水理応答が確認された。05ME06 号孔については, 10

月下旬より計測機器にトラブルが生じたため、計測休止となっているが、地下水採水ボーリングの影響と思われる水位応答は確認できる。

③2008年2月～2008年3月の間隙水圧の変化量(研究坑道掘削)

MSB-1号孔では期間全体を通して研究坑道内の作業に対応する水圧応答は認められない。また、MSB-3区間 No.1～5(堆積岩)においても研究坑道内の作業に対する水理応答はほとんど見られない。MSB-3号孔区間 No.6,7については、発破による影響と思われる水位上昇が確認され、期間全体としては水位の上昇傾向がみられる。なお、区間 No.7において、2月20日頃に確認できる急激な水位低下は、換気立坑側での湧水量の増加に伴う応答と考えられる。05ME-06号孔については、全区間で主立坑掘削(特に発破)に対する明瞭な水理応答が認められる。区間 No.1～6で特に主立坑掘削に対する水理応答が大きく、2月下旬の段階では区間 No.6で最大42m程度の低下量が認められる。これは、主立坑の掘削の進捗による切羽深度の変化によって、より深度の深い区間へ水位応答が広がったためと考えられる。

④地震による間隙水圧の変化

2007年4月から2008年3月に各地で発生した地震のうち、水理応答が認められた地震を表4.3-4に示す。期間中に確認された地震に伴う間隙水圧変化は、いずれも地震発生直後の間隙水圧の上下微動のみであった。

表 4.3-4 2007年4月～2008年3月に発生した主な地震一覧

名称	日	時	マグネ チュード	震源深さ (m)	瑞浪市 での震度	水位変動			
						MSB-1	MSB-3	05ME06	MIZ-1
三重県中部地震	2007/04/15	12:19	M5.4	16	2	上下微動	上下微動	上下微動	上下微動
新潟中越沖地震	2007/07/16	10:13	M6.8	17	2	上下微動	上下微動	上下微動	上下微動
ペルー地震	2007/08/16	08:40	Mw8.0	-	-	変化なし	不明確	変化なし	不明確
スマトラ地震	2007/09/12	20:10	Mw8.4	34	-	上下微動	上下微動	上下微動	上下微動

5)表層水理観測

研究所用地内では、立坑掘削に伴う浅部地下水流動の変化を把握するための気象観測や04ME01孔(図4.3-9)での地下水位観測などを実施している。図4.3-14に04ME01孔の水位および降水量を示す。

04ME01孔の水位は降雨に対応した変動が確認されるものの、研究坑道掘削工事に伴う変動は確認されていない。このことは、先に述べた深層ボーリング孔でのモニタリング結果同様、本郷累層(泥岩)が鉛直方向に対する遮水構造として機能しているという従来の調査結果と整合するものである。

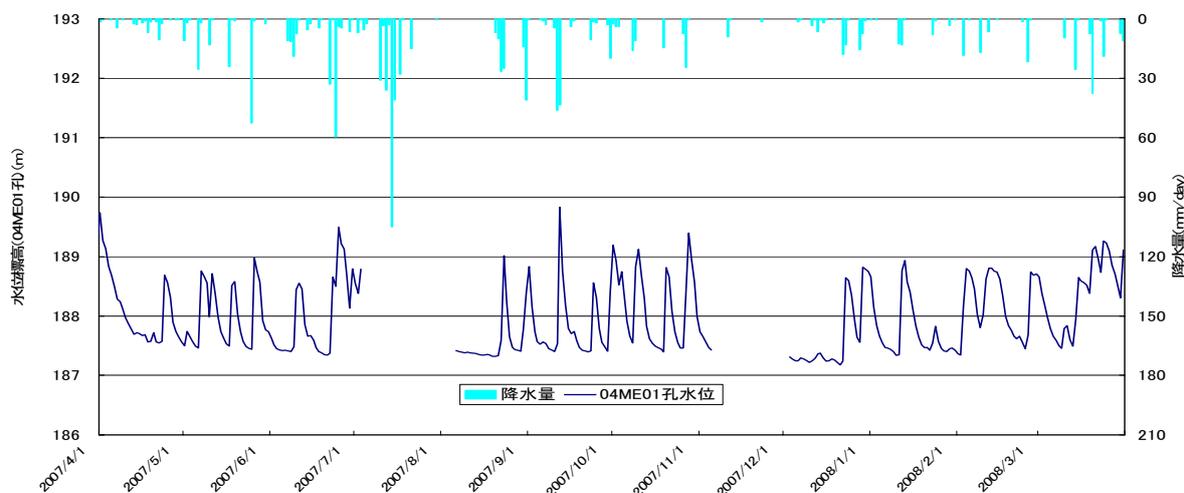


図 4.3-14 04ME01 孔の地下水位および降水量

(2) 水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析

瑞浪超深地層研究所の研究坑道の掘削に伴う地下水位分布や水頭分布の変化、研究坑道への湧水量や湧水地点などを予測評価するための水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析を実施した。これらは、研究坑道の設計・施工への情報提供および研究坑道の掘削に伴う地下水流動場の変化を用いたモデルキャリブレーションに必要な調査項目や仕様を抽出すること(第 2 段階での調査計画策定への情報提供)を目的としたものである。

これまで、第 2 段階における調査研究では、研究坑道掘削時の湧水量が計測されてきているとともに、それに関連した水圧変化が周辺ボーリング孔で観測されている。この水圧変化は、研究坑道掘削に伴う比較的長期間のトレンドを有する変化と、発破や一時的な湧水量の増加に伴う短期間の変化が認められている。また、地震による影響も観測されている。さらには、地表での高精度傾斜計による研究坑道掘削に伴う地表面の微小な変位が観測されている。

2007 度は、これらのデータを用いて研究用地およびその周辺の水理地質構造を総合的に解釈し、概念モデルとそれに基づく水理地質構造モデルを構築した。この水理地質構造モデルに基づき、今後の湧水量や水圧変化、グラウチングの効果などを予測するための地下水流動解析を実施した。

また、研究坑道の掘削に伴う水圧変化に伴い、立坑に流入する地下水の供給源が変化し、地下水の溶存成分の濃度分布が変化する可能性があることから、調査データの解釈を行い、地下水中の塩化物イオン濃度の分布を評価するための水理地質構造モデルを構築した。この水理地質構造モデルに基づく地下水の移流分散解析を実施して、今後の研究坑道掘削の進展に伴う研究坑道への湧水や研究坑道周辺の水質分布の変化を予測した。

(3) 調査技術開発

1) 地質環境データ解析・可視化システムの構築

データ解釈、地質構造および水理地質構造のモデル化、地下水流動解析、ならびにモデル化・解析結果の可視化に関する作業を通じて、抽出されたシステムの問題点の改善および機能の拡張を継続的に実施した。

具体的には、本システムを用いて研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化を予測するために、地下

水流動解析コードの改良を実施するとともに、改良した解析コードの信頼性確認のために、割れ目部と健岩部が混在するモデルを用いて、検証済みの解析コードと同一条件下での解析を実施した。その結果、整合的な結果が得られ、改良した解析コードの妥当性を確認した。

2) データベースの構築

これまでに東濃地科学センターにおいては、調査データを管理するためのデータベースシステム¹⁷⁾を導入・運用している。

また、地層処分研究開発においては、処分事業と安全規制の両面を支える地層処分技術の知識基盤を整備していくため、調査研究開発を通じて得られる様々な技術的成果を、地層処分技術の知識管理の枠組みで捉えるといったアプローチに従って知識ベースとしてまとめることとしている。さらには、それらを適切に管理・利用できるように、品質管理や新たな知識創造に基づく更新の考え方を含めた知識マネジメントシステムを構築することとしている。

したがって、2007年度は、この知識マネジメントシステム構築に向け、東濃地科学センターにおける成果情報を管理運用するためのシステム(成果情報管理システム)の概念設計を行うとともに、それに基づくプロトタイプシステムの開発を行った。

4.4 地下水の地球化学に関する調査研究

4.4.1 実施概要

2007年度は、第2段階の調査研究として、研究坑道の掘削と並行して周辺の地球化学環境のモニタリングを行い、研究坑道の掘削が周辺の地球化学環境に与える影響を把握することにより、第1段階で構築したサイトスケールの地球化学モデルを適宜更新した。さらに、第2段階の課題として挙げられた地球化学モデルの検証や地下水中の溶存ガスに係るデータの取得、脱ガスの影響のない酸化還元電位の把握などを解決するための調査研究を継続して実施した。

また、第3段階の調査研究に備えた地下水中の金属元素の存在状態に関する研究、地質環境の長期挙動に関する研究のうち地下水水質の変遷に関する研究についても、本調査研究の中で実施した。

4.4.2 実施内容

(1) 地下水の地球化学特性に関するデータ取得

1) 200m 予備ステージにおけるボーリング孔(07MI07号孔)の掘削および地下水水質観測

研究坑道近傍における地下水の水質の分布および研究坑道掘削の影響を経時的にとらえることを主目的として、200m 予備ステージからボーリング孔(07MI07号孔;傾斜角下向き約5°の水平孔 図 4.1-1)を掘削した。掘削長は当初100mを予定していたが、掘削中に大量の湧水が発生し、仮排水設備の排水能力を超える可能性があったために、55.3mで掘止めとした。掘削後、孔径検層、ボアホールテレビ(BTV 検層)、電磁フローメーター検層および水理試験を実施し、それらの結果に基づいてパッカーの設置箇所を決定し、多区間水質モニタリング装置を設置した。多区間水質モニタリング装置により、孔内を6区間に区分し、それぞれの区間において予備排水を実施した後、水質モニタリングを開始した(図 4.4-1～図 4.4-3)。モニタリング項目は物理化学パラメータ(水温、pH、酸化還元電位、電気伝導度、溶存酸素濃度)、主要元素、安定同位体、放射性同位体、溶存ガスおよび蛍光染料濃度である。物理化学パラメータは連続モニタリングとし、主要元素および蛍光染料濃度は1回/週、安定同位体、放射性同位体および溶存ガスは1回/月の頻度で分析を行った。その他、本孔から採取した岩石コアおよび地下水を対象とした予察的な微生物調査を実施した。

水質モニタリングの結果では、掘削時に使用した掘削水が排除されており、汚染されていない地下水が採取可能であることがわかった。また、水質は Na-Cl 型地下水であり、既存の知見と整合的である。ただし、地下水中の溶存成分濃度は掘削深度に対して減少する傾向を示しており、立坑からの距離に対する依存性を持つ。このことは、研究坑道の掘削により、研究坑道付近では深部から溶存成分濃度の高い地下水が上昇している可能性を示している。研究坑道掘削の影響に関しては、今後の水質モニタリングによってより詳細に検討できると考えられる。

微生物調査においては、割れ目表面において微生物が物質移行に及ぼす影響を評価するために、健岩部および透水性の異なる割れ目を含む岩石コア試料を採取し、岩石中の微生物の現存量、群集組成および活性について評価を行なった。その結果、岩石コア試料中の微生物細胞は $1.1 \times 10^3 \sim 5.0 \times 10^4 \text{ cells ml}^{-1}$ の範囲で検出され、割れ目を含む岩石中で細胞数が多く、健岩部に少ない傾向が認められた。また、割れ目の特性(母岩の鉱物・化学的特性、透水性、大きさ等)によっても細胞数に差が見られ、透水性が低い割れ目を含む岩石において比較的細胞数が多く検出されたが、堆積岩環境と比較すると花崗岩中の細胞数は約 3~4 桁少なく、現存量としては極めて低いことが明らかになった。また、透水性の高い割れ目において微生物による硫酸還元速度は $1.03 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ days}^{-1}$ であり、*Desulfotomaculum halophilum* に近縁な菌が検出された。これに対し、花崗岩健岩部や透水性の低い割れ目表面の花崗岩については、硫酸還元活性は確認できなかった。他方、地下水中の微生物細胞数は $2.02 \times 10^4 - 5.19 \times 10^4 \text{ cells ml}^{-1}$ の範囲で計数され、同深度の地下水における微生物数の水平分布は、ほぼ均一であることが示された。また、微生物細胞のサイズ分布を、1.0, 0.8, 0.2 μm の濾紙サイズを用いて計数したところ、0.2 - 0.8 μm の大きさの細胞が最も多く、1.0 μm あるいは 0.8 - 1.0 μm の大きさの細胞と比較すると 3 桁ほど多い傾向が見られた。これは、花崗岩中の有機物量が極めて少なく、微生物のエネルギー源となる物質供給が低いことと、生息空間の制限により、細胞サイズが小さくなっているものと思われる。

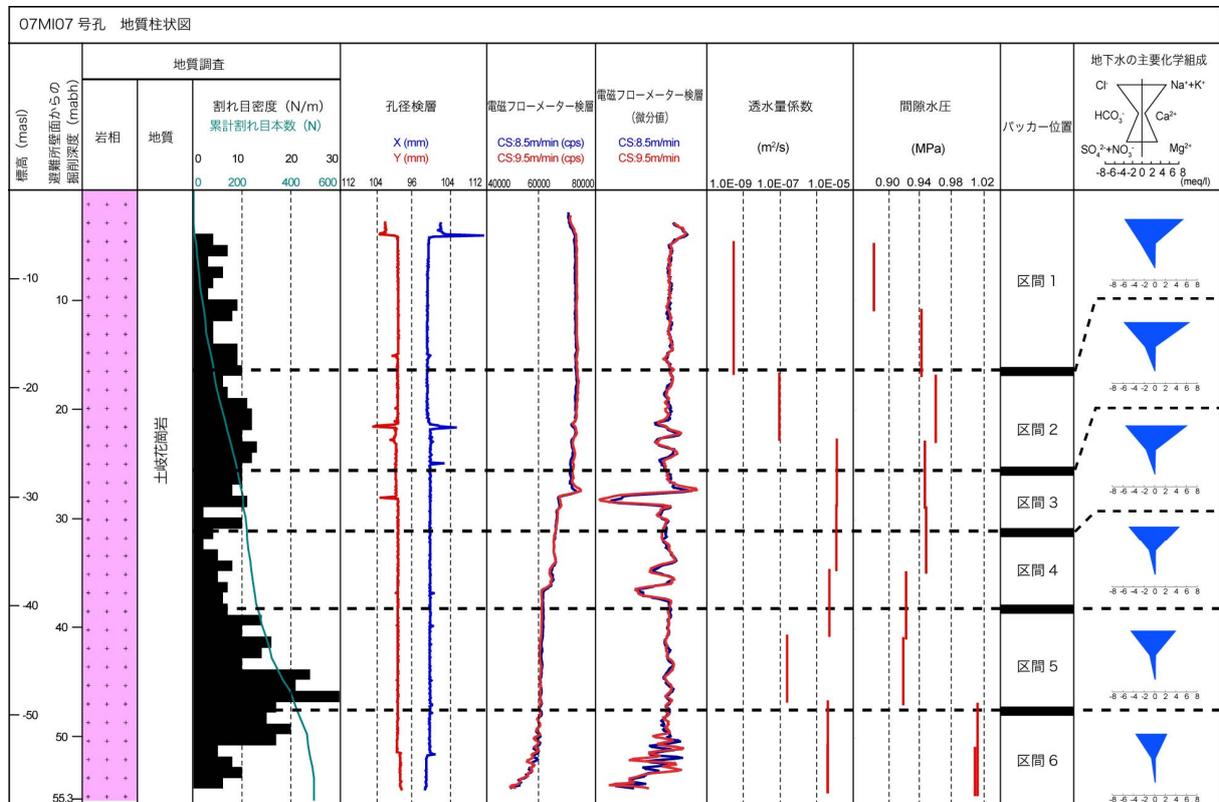


図 4.4-1 07MI07 号孔の調査結果

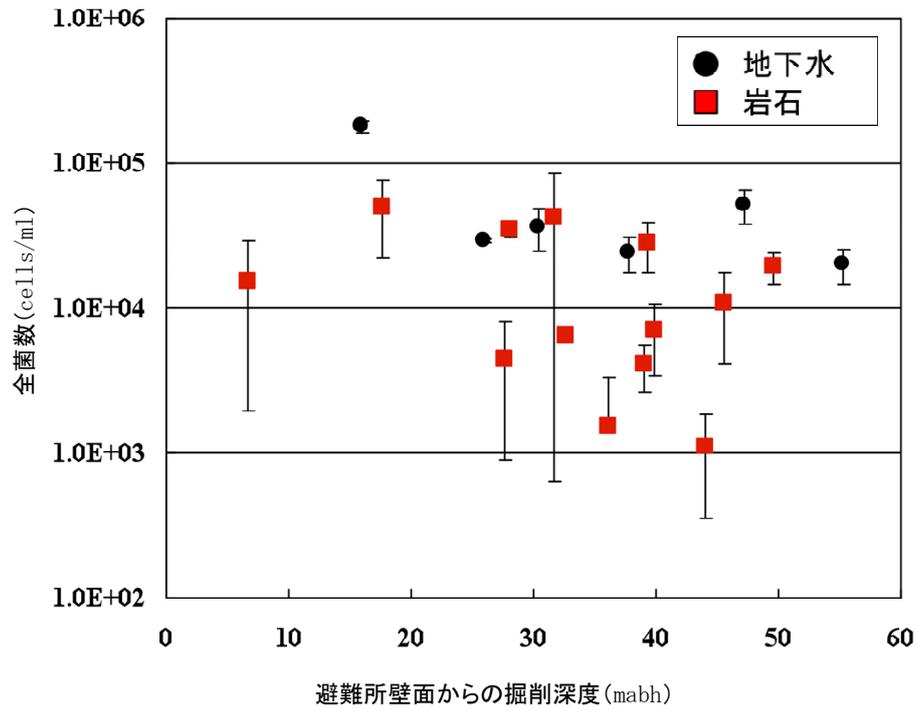


図 4.4-2 07MI07 号孔における地下水と岩石中の細胞数

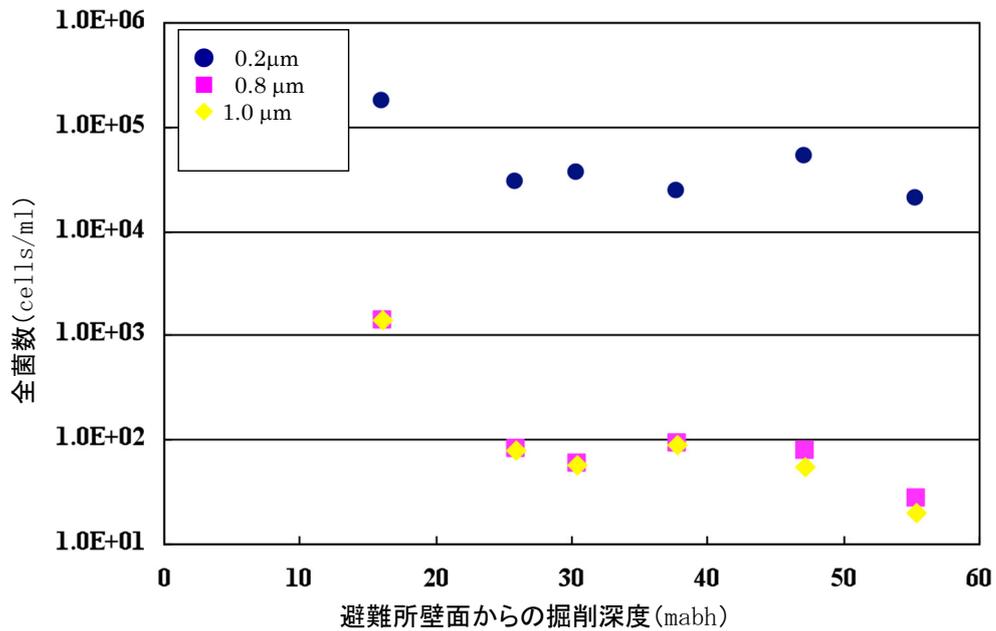


図 4.4-3 07MI07 号孔における細胞のサイズ分布

2)立坑壁面および集水リングを用いた坑内湧水の採水分析

立坑壁面からの湧水は掘削直後の擾乱が少ない地下水の地球化学特性の把握、集水リングでは研究坑道掘削の影響を経時的にとらえることを主目的として、それぞれの地下水を対象とした測定・分析を実施した。採水の頻度は、切羽湧水が観察時の1回、集水リング湧水がリング構築後から6ヶ月間は1回/週、それ以降は1回/月である。測定・分析項目は、物理化学パラメータ(水温、pH、酸化還元電位、電気伝導度、溶存酸素濃度)、蛍光染料濃度、主要・微量成分、溶存ガス、安定・放射性同位体(年2回)などである。

○壁面湧水

2007年度は研究坑道の掘削があまり進展しなかったこともあり、新たな壁面湧水のデータは取得できなかった。そのため、図4.4-4には2006年度までのデータを示す。

○集水リング

換気立坑に設置した集水リングより採取した地下水の測定結果の一例を図4.4-5に示す。pHは、2007年度中に低下し、再上昇する経時変化が認められる。pHが低下した時期は200m予備ステージにおいて多量の湧水を伴う作業を行っていた時期と一致するため、研究坑道周辺での地下水の流動状態の変化を反映している可能性がある。

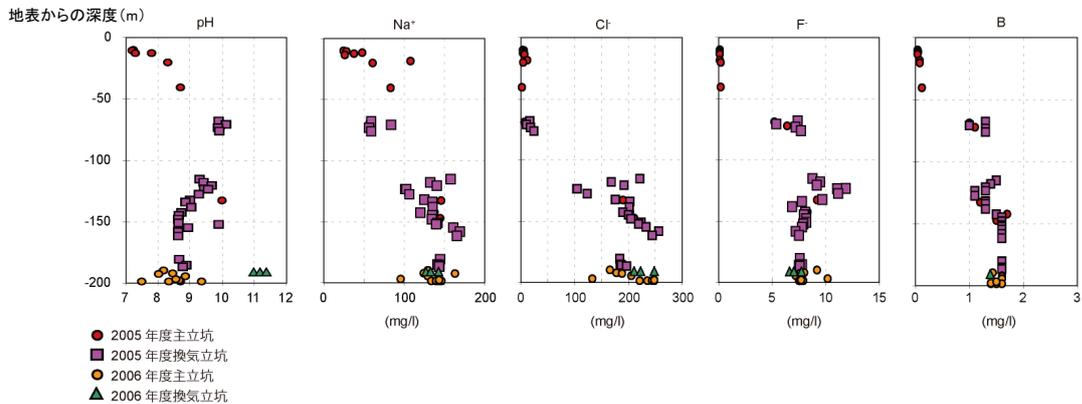


図 4.4-4 水質分析結果(壁面湧水)

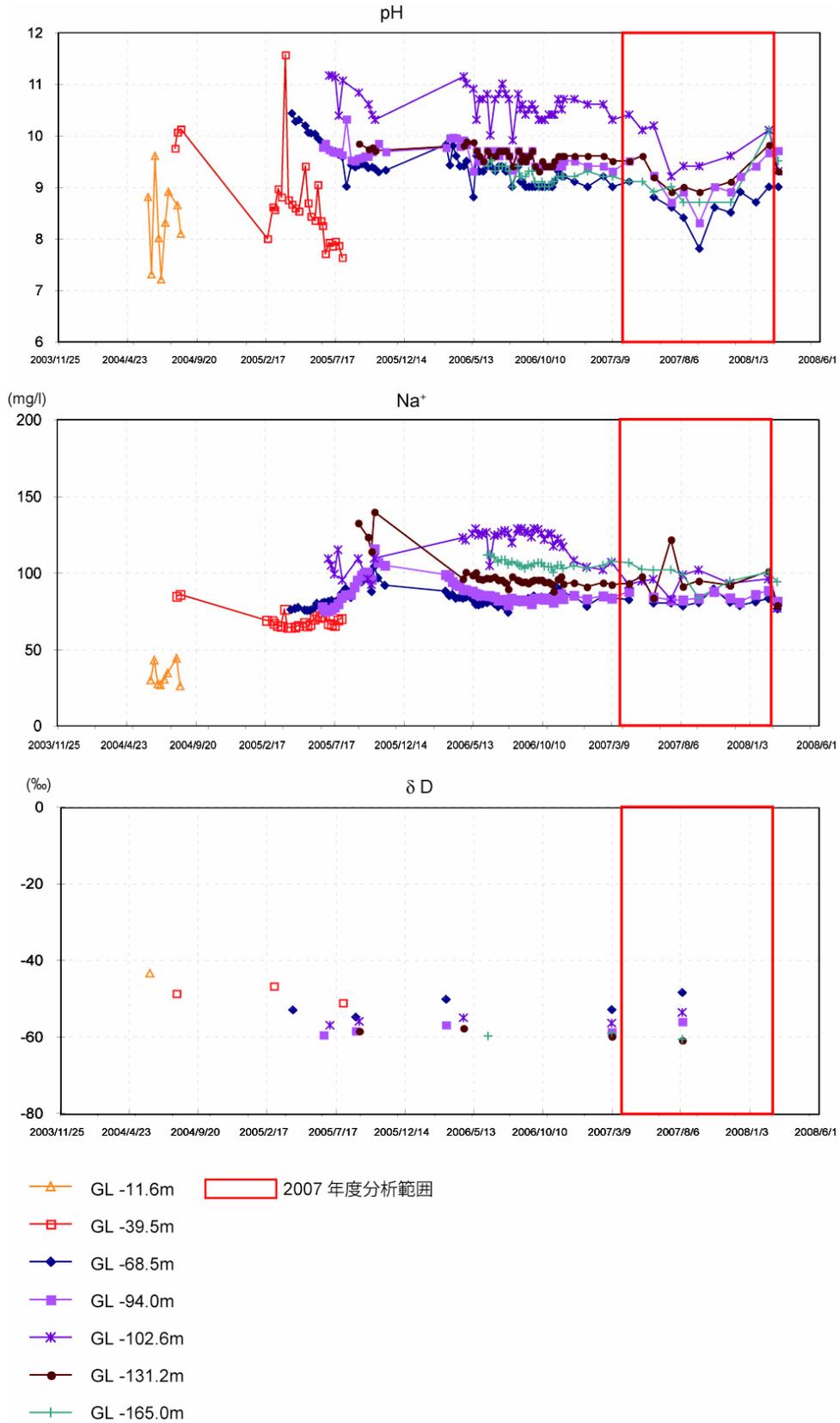


図 4.4-5 水質分析結果(集水リング:換気立坑)

3)100m 予備ステージにおけるボーリング孔(05MI01 号孔)における地下水水質観測

2005 年度に 100m 予備ステージから掘削したボーリング孔(05MI01 号孔;掘削長 86m)¹⁸⁾については、水質の連続モニタリング装置を設置し、地下水水質のモニタリングおよび水圧の連続観測を行ってきた。しかし、研究坑道掘削の進捗に伴って水圧が低下したため、これらの観測が困難となった。そのため、ボーリング孔の区間に異なる溶液を注入し、岩盤の酸素緩衝能力に関する原位置試験を試みたものの、この試験も注入した溶液が回収できずに目的を達成できなかった。今後は、新規開発した原位置試験装置等の性能評価の場として使用することを検討する。

4)地表からのボーリング孔を用いた地下水長期観測(水質)

研究所用地内の浅層ボーリング孔(MSB-2,4号孔:図 4.4-6)において、1回/月の頻度で水圧観測および地下水の採水・分析を実施した。

水圧観測の結果、両孔とも本郷累層より下層(MSB-2号孔:区間4以深,MSB-4号孔:区間4以深)において、立坑掘削の進捗に伴い水圧が低下していく傾向が認められた(図 4.4-7)。明世累層および本郷累層上部においては、水圧の変化は認められなかった。

水質については、MSB-2号孔においては区間1(明世累層)以外のすべての区間でナトリウムイオン濃度が増加する傾向が認められ、カルシウムイオンについては区間6(土岐夾炭累層)のみ、塩化物イオンについては、区間4(本郷累層),7,8(土岐夾炭累層)および9(花崗岩)にて濃度変化が認められた(図 4.4-8)。一方で、MSB-4号孔においては、区間5,6(土岐夾炭累層)および7(花崗岩)においてナトリウムイオン濃度が増加する傾向が認められ、区間5(土岐夾炭累層)にてカルシウムイオンおよび塩化物イオン濃度が増加する傾向が認められた(図 4.4-9)。区間4においては、塩化物イオン濃度の減少が認められた(本郷累層)。これらの水質の変化は、立坑掘削による水圧変化の影響を受けているものと考えられる。

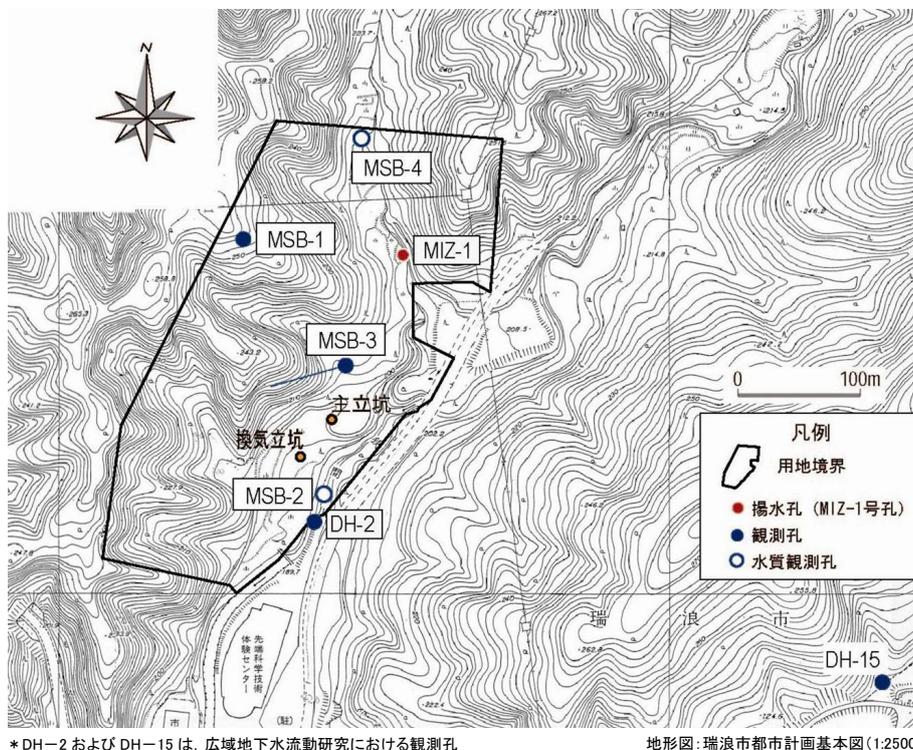


図 4.4-6 浅層ボーリング孔位置

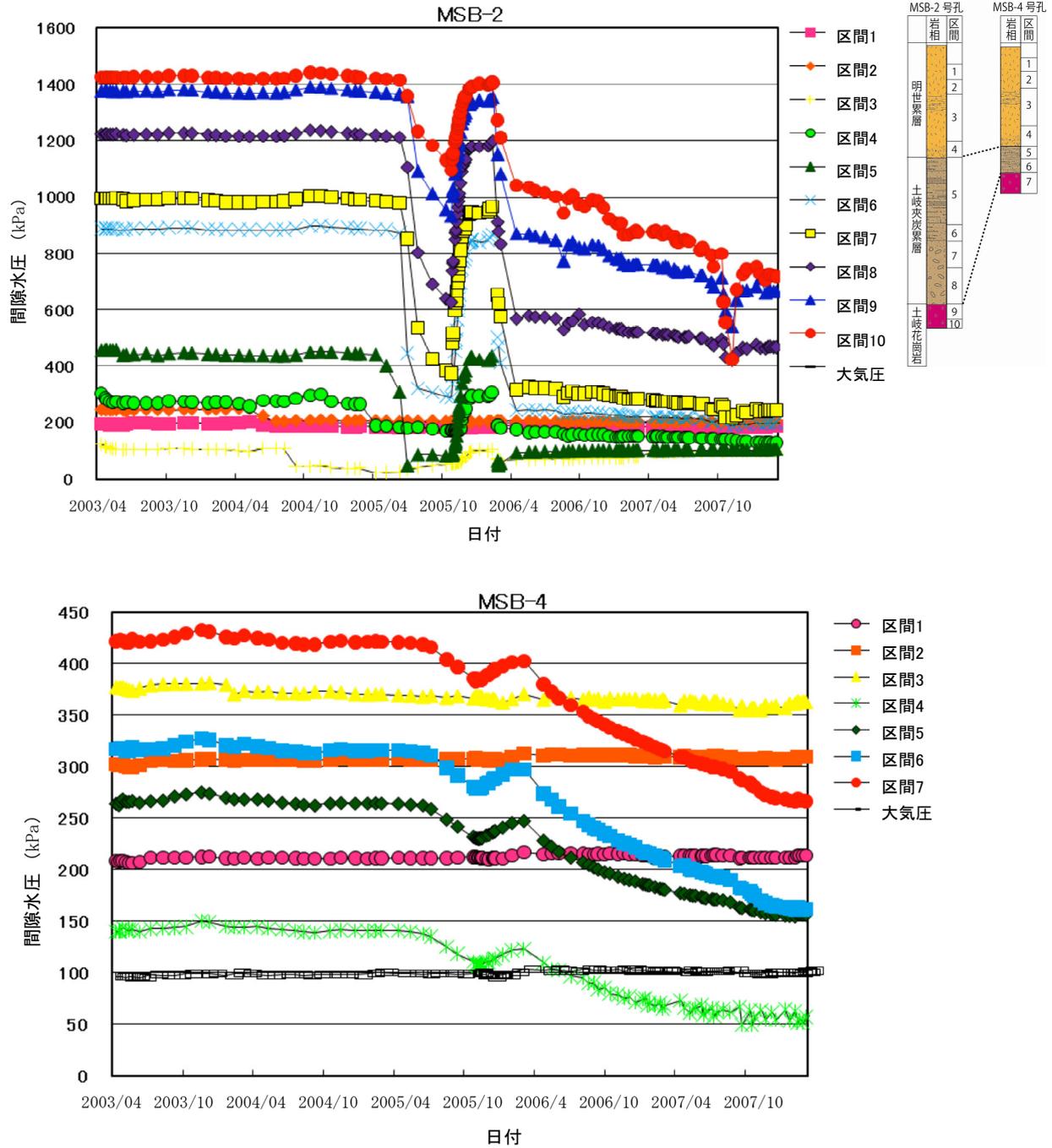


図 4.4-7 地下水圧の経時変化(MSB-2, 4号孔)

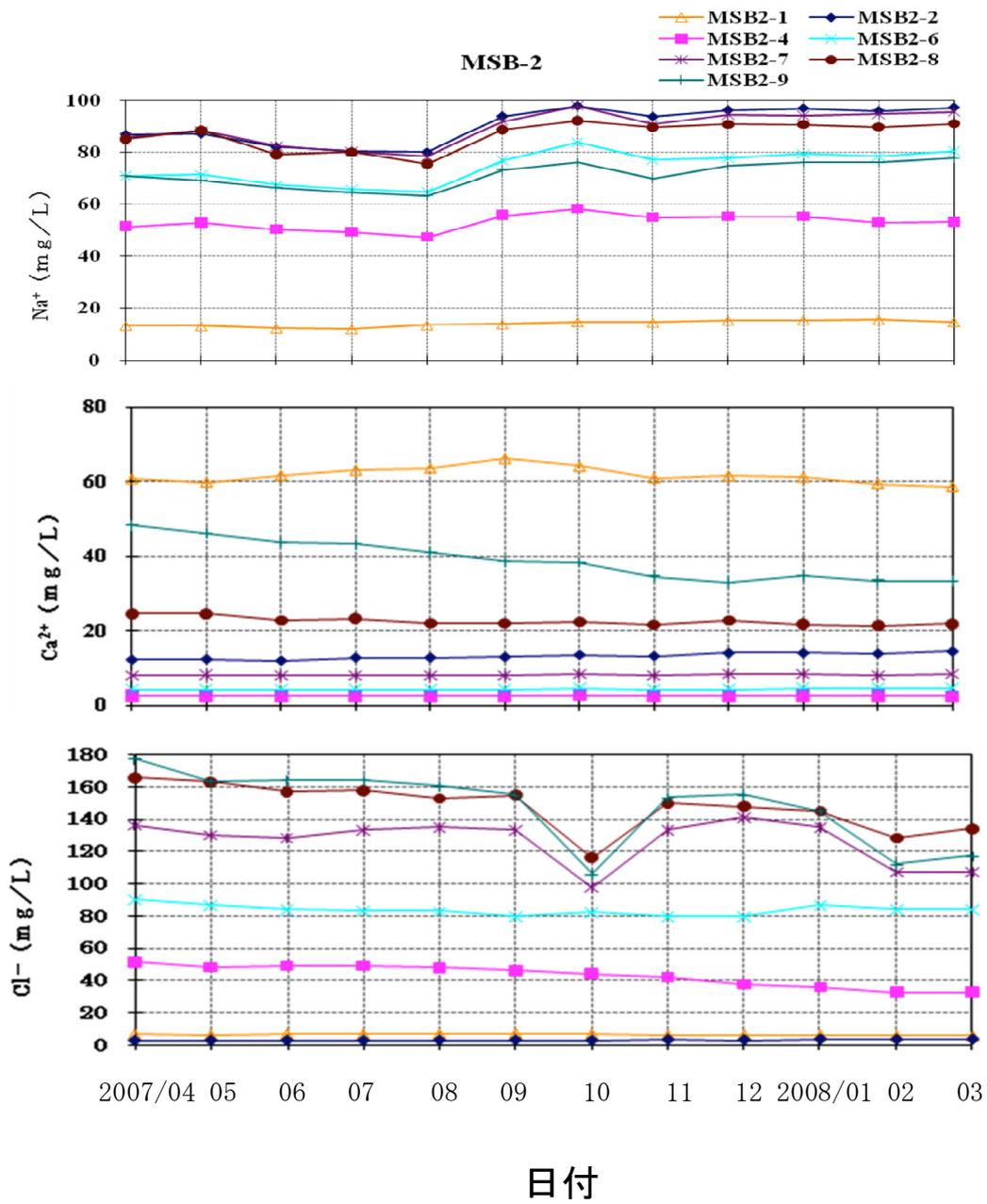


図 4.4-8 地下水水質の経時変化(MSB-2 号孔)

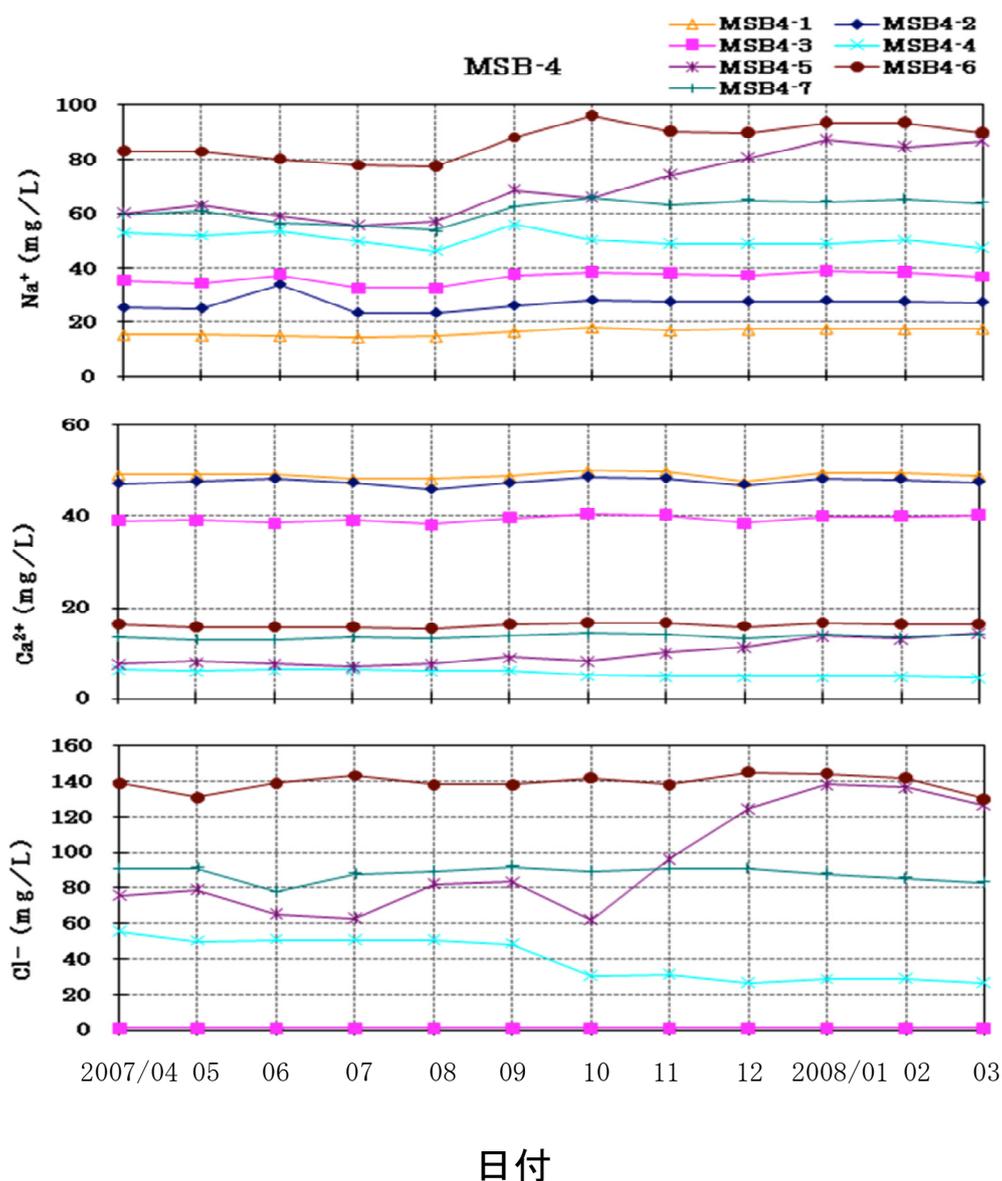


図 4.4-9 地下水水質の経時変化(MSB-4 号孔)

(2)地下水水質の長期変遷に関する調査

地下深部の長期的な地球化学環境の変遷を推定するための手法開発の一環として、方解石の同位体組成を指標とした地球化学環境と地下水流動状態の比較に関する予察的な検討を行った。指標として用いた方解石は、研究領域内に掘削された 11 本のボーリング孔において、土岐花崗岩中の割れ目表面に二次鉱物として産出するものを様々な深度から採取し、炭素および酸素安定同位体について分析を行った。

方解石の同位体分析の結果、海水起源の地下水から沈殿したと考えられる方解石が、深度に関わらず普遍的に認められた。このことは、研究領域内において過去に地下深部まで一様に海水が流入していたことを示す。研究所周辺に分布する Na-Cl 型地下水の起源は明らかにされていないものの、Na-Cl 型地下水中の水素および酸素同位体組成は塩化物イオン濃度の増加とともに現在の海水の水素および酸素同位体組成に近づく傾向を示す。このことから、研究所周辺に分布する Na-Cl 型地下水の主要な

起源が海進時に流入した海水であると仮定すると、現在の研究所周辺の地下水水質は、海進時に流入した海水が、その後の海退に伴い涵養された天水起源の地下水により洗い出されることによって形成されていると考えられる。つまり、現在の研究領域内における水質分布の不均質性は、一様に海水に置換された地下水が新たに涵養された天水起源の地下水によって洗い出される過程における、岩盤中の透水性の不均質性に依存している可能性が高い。

他方、現在の東濃地域における水頭は、Na-Cl 型地下水が確認できる研究所周辺でのみ低くなる傾向を示す。Na-Cl 型地下水の分布域と低水頭域が一致していることから、Na-Cl 型地下水の分布と同様に、低水頭域の形成は天水起源の地下水によって洗い出される過程における岩盤中の透水性の不均質性に依存している可能性が考えられる。

以上の結果から、地球化学調査と水理学調査の結果を比較することで、相互の長期的な変遷に対する知見を得られると考えられる。今後は、地質構造の発達過程や地下水の年代測定等の地球化学調査結果を踏まえて、総合的に検討する予定である。

(3)地下水中の金属元素の存在状態に関する調査

1)現場試験

地下環境中での金属元素の存在状態の把握を目的として、07MI07 号孔(図 4.1-1)において地下水採水、地下水中の主要元素、微量元素の分析を行った。採取した試料については、3 種類の限外ろ過膜(分画分子量:200,000MW, 50,000MW, 10,000M)によりろ過を行った後に、それぞれのフラクションについて分析を行い、主要元素、微量元素のサイズ分布に関する情報を取得した。

今回の分画の結果では分子量 200,000 以上および分子量 10,000 以下での分布が顕著であることが確認できた。そのため、サイズ依存性があった元素についてはコロイドとしての挙動について検討する必要がある。特に分子量 200,000 以上の分画に濃度分布が認められる元素については、懸濁物やコロイドとして地下水中に分布している可能性が高く、それらを考慮していない熱力学解析の結果から得られる存在形態と異なる可能性がある(図 4.4-10)。地下水中における元素の存在状態は地下深部における物質移行を理解する上で重要な情報であり、今後は更なるろ過システムからの汚染を防ぐために SUS を不動態化するなどの改善が必要であることがわかった。

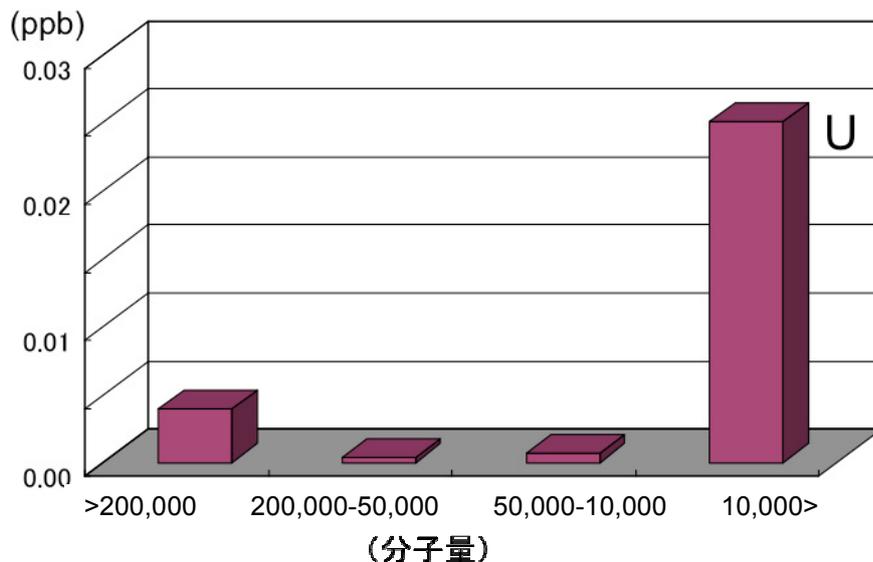


図 4.4-10 各分画でのウラン濃度

2)室内試験

地下環境(被圧, 不活性条件)を模擬した条件下において, 有機物の分子サイズおよび有機物の錯体形成能の圧力依存性に関する検討を行った。

その結果, 高圧環境下では大気圧環境下に対してフミン酸が低分子化する結果が得られた。また, 錯体形成能は圧力とともに増加し, 高圧環境下でより錯体を形成しやすいことが明らかとなった。これは, フミン酸が低分子化することにより, プロトン交換容量が変化するためと考えられる。

4.5 深地層における工学技術に関する研究

4.5.1 実施概要

深地層における工学技術に関する研究の目標は, 現状のあるいは新たに開発される工学技術を瑞浪超深地層研究所の地質環境に適用することにより, 地下深部に研究坑道を設置し, 安全かつ合理的に施工・維持・管理できることを確認することである。2007年度は, 2006年度に引き続き, 実際の建設工事を通じて, 掘削技術, 対策工, 品質確保技術や安全対策などの有効性を評価していくとともに, 設計時に適用した岩盤分類に基づく地盤モデルおよびその地盤モデルに基づき空洞安定性解析のために設定した岩盤物性(強度・変形特性)について比較検討を実施した。また, 湧水抑制対策として, 2006年度の調査で明らかになった高透水性・大量湧水の領域を対象にプレグラウトを実施した。

4.5.2 実施内容

(1)計測工

計測工は, 主立坑・換気立坑の深度 200m の接続部を中心として実施した。これは, 接続部が立坑と水平坑道が存在することにより周辺岩盤に生じる応力変化が最も複雑になるためである。計測結果のうち, 両立坑で実施した地中変位計測, ロックボルト軸力計測, 覆工コンクリート応力計測の計測配置および計測結果の例を図 4.5-1~3 に示す。なお, 地中変位計測とロックボルト軸力計測結果は, 予測されている水平面内最大主応力方向(北西方向)に近いものを示した。計測機器の不具合等でデータの欠損あるいはノイズの大きいものがあるが, 以下のような傾向が認められる。

- ・ 主立坑では, 掘削直後に設置した鋼製支保工には最大軸力が 250kN程度発生するとともに, その後に施工した吹付けコンクリートについても換気立坑の数倍の軸力が発生している。これらは, 主立坑側の岩盤が脆弱であることに起因していると考えられる。
- ・ 接続部付近は, 予備ステージおよびボーリング横坑といった水平坑道が連結しているために, それらがない立坑一般部で想定される周辺岩盤の変形挙動(水平断面内で見ただけの場合, 最大主応力方向は押され, 最小主応力方向は逆に広がるような変形挙動)とは異なる複雑なものとなっている(図 4.5-4)。これは, 鉛直と水平の坑道の連結により, 接続部周辺岩盤中の応力変化が複雑になっているためと考えられる。なお, 換気立坑側では発生している変形自体が微少であることと観測データへのノイズなどの影響により, 変形モードの評価にはいたっていない。

今後も上記観測を継続するとともに, 新たに掘削する深度 300m までの範囲で同種の計測を実施し, 岩盤の挙動分析を実施する。

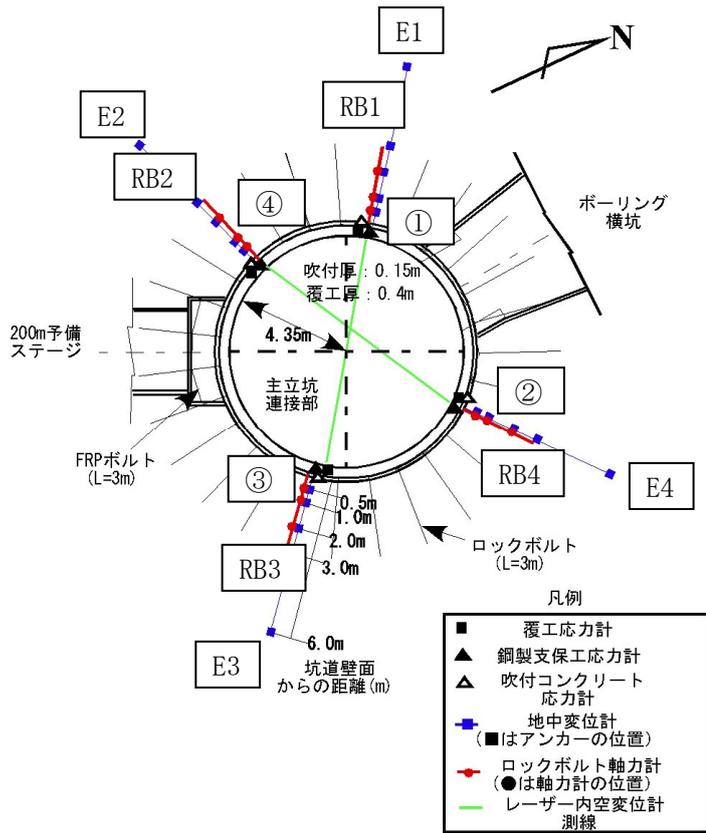


図 4.5-1 接続部における計測レイアウト(主立坑)

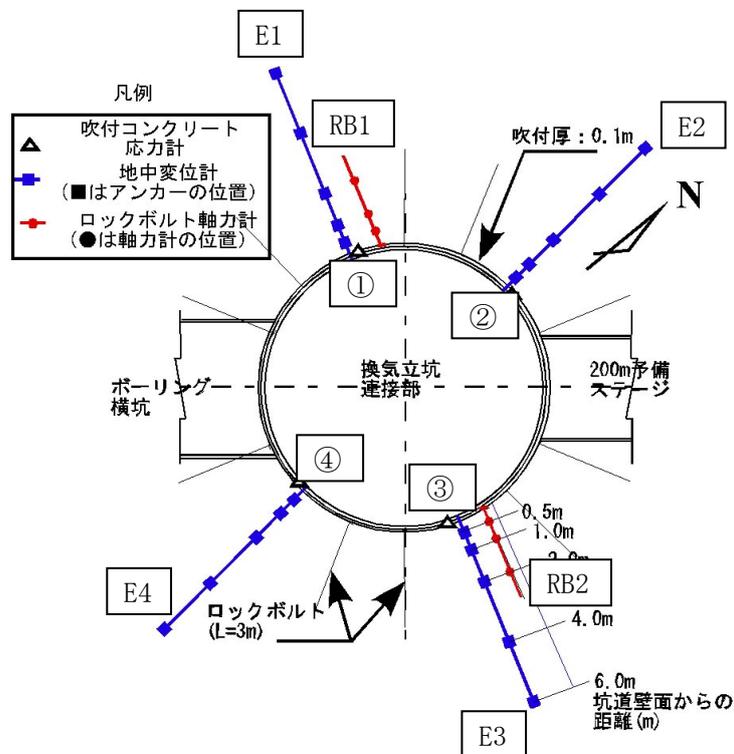
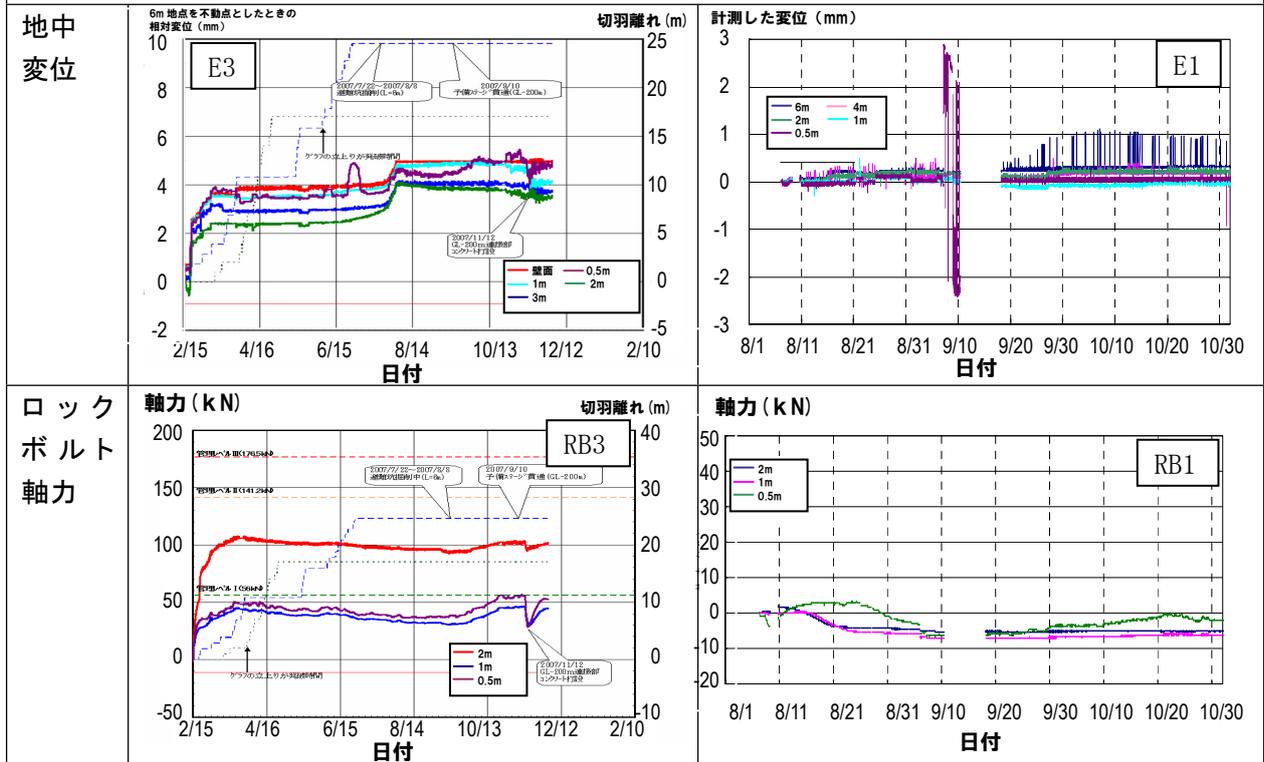


図 4.5-2 接続部における計測レイアウト(換気立坑)

岩盤の変形挙動などに関する計測結果の例(左:主立坑, 右:換気立坑)



立坑の覆工に関連する計測結果の例(左:主立坑, 右:換気立坑)

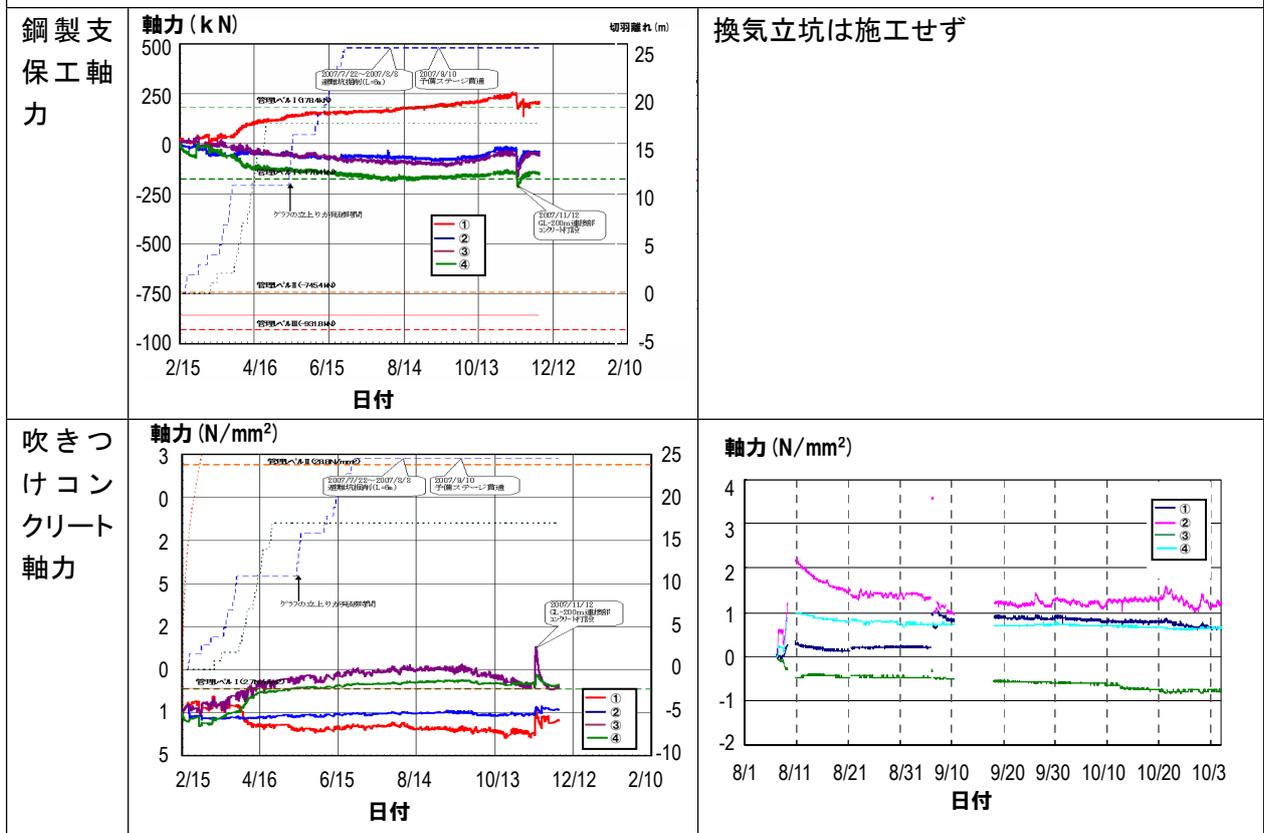


図 4.5-3 計測結果の例(地中変位, ロックボルト, 鋼製支保工, 吹付けコンクリート)

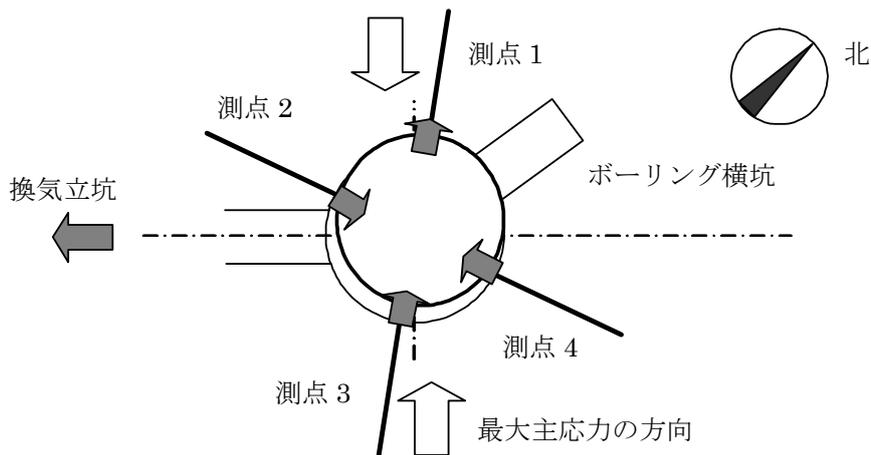


図 4.5-4 各種計測結果から総合的に推定した主立坑および周辺岩盤の変形モード

(2) 施工情報のデータベース化

計測工データ、坑内管理データ、サイクルタイムに関するデータ、掘削の仕上がりに関するデータおよび掘削機械・設備に関する品質データは、専用で設けたデータサーバー上にすべてデジタル化して保存・管理している。今後も同システムにおけるデータ管理を継続し、最終的にはデータベースとしてとりまとめる予定である。

(3) 解析・検討

2007 年度は設計の妥当性の評価として、設計時に適用した岩盤分類に基づく地盤モデルおよびその地盤モデルに基づき空洞安定性解析のために設定した岩盤物性(強度・変形特性)について、詳細な比較検討を実施した。

図 4.5-5 は、2006 年度までの地表からの調査および既存情報に基づき調整設計時に設定した深度 200m までの範囲の地盤モデルと施工時の地質観察結果に基づき構築した地盤モデルを示している。調整設計時には、主立坑・換気立坑とも深度 200m までの範囲で CL 級以上の岩盤と予測していた。主立坑については、施工中の地質観察結果に基づく岩盤分類では、深度 60～102m 間と 136～167m 間で D 級、それ以深でも CL～D 級の岩盤となっており、設計時の想定よりも不良な岩盤となっている。一方、換気立坑では、局所的に D 級の部分が見られるものの、概ね CL～B 級の岩盤が見られており、ほぼ設計時の想定と一致していると思われる。

上記の岩盤分類に対応して調整設計時の解析評価に用いた物性値とパイロットボーリング孔の岩石コアを用いた室内試験結果を表 4.5-1 に示す。これらの結果から、P 波速度を除くと、強度・変形特性とも設計時に設定した値と 10% 以内の差しかなく、定量的にもほぼ妥当な物性値設定が行われたといえる。なお、パイロットボーリング調査時に実施した密度検層や PS 検層結果から得られた岩盤密度、弾性波速度 (P 波, S 波) は、それぞれ 2.6g/cm³, 5.5km/s, 3.1km/s であり、深度 500m までの範囲でほぼ一定となっている。

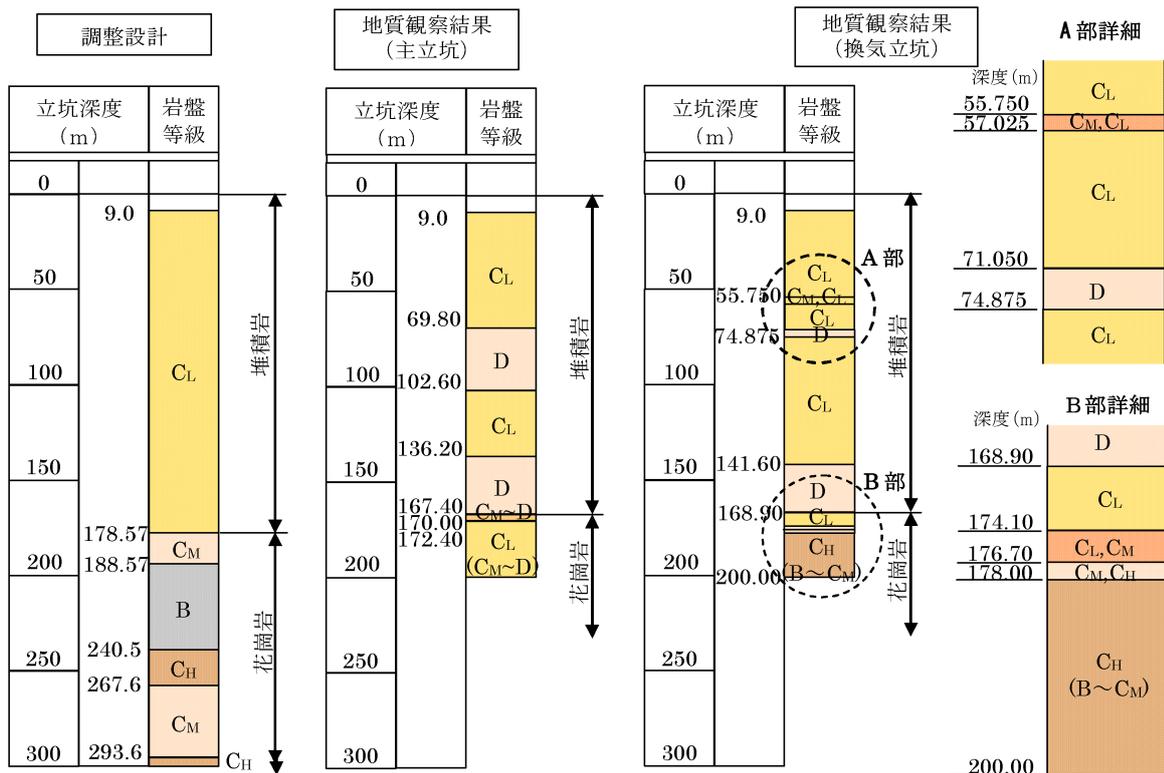


図 4.5-5 設計時と研究坑道における地質観察結果に基づき評価した岩盤等級区分の比較

表 4.5-1 設計時に設定した物性値と坑道内からのボーリングコアを用いた室内試験結果の比較

	設計 (実施・調整設計)	換気立坑パイロットボーリング 孔の岩石コアを用いた物性, 力学試験
湿潤密度 (g/cm ³)	2.65	2.62
一軸圧縮強度 (MPa)	173.3	189.3
破壊ひずみ (%)	0.33	0.39
変形係数 (GPa)	53.1	47.9
P 波速度 Vp (km)	5.48	4.77

(4) グラウト施工

研究坑道掘削工事のグラウト施工における注入量, 注入圧, 透水試験結果などのデータを収集・整理・評価し, 今後の湧水抑制対策へ反映させるとともに, 工学技術における対策技術として高度化を図っていく。

2007 年度は, 2006 年度に実施した探り削孔とそれらの調査結果(図 4.5-6)より, 高透水性・大量湧水の領域が深度 200m レベルの換気立坑接続部およびボーリング横坑付近に存在することが明らかになったため, それらの領域を対象としたプレグラウトを実施した。配置図を図 4.5-7,8 に示す

図 4.5-9,10 に接続部のプレグラウト後に実施した水押し試験より算定した岩盤の透水性分布を示す。図 4.5-9 に示される換気立坑接続部周辺の 20Lu を超えるような非常に高い透水性の箇所が殆ど見られ

ないことがわかる。図 4.5-10 の注入回数(注入の順序を示す)の透水性の変化を見ると、1次孔→2次孔への注入の移行に伴い、水押し試験で測定した透水係数(Lu)の値が減少していることがわかる。また、プレグラウト終了後のチェック孔掘削時に実施した水押し試験では、すべての値が改良目標値である2Luを下回る結果が得られた。

図 4.5-11 は、深度 200m 換気立坑ボーリング横坑におけるプレグラウト前後の単位湧水量および透水性の変化を示しているが、掘削前に比べ掘削後の単位湧水量および透水性はプレグラウト領域全体にわたり低減していることがわかる。なお、割れ目にグラウトが充填されている状況の例を図 4.5-12 に示す。

図 4.5-13 は、プレグラウト前後の研究坑道からの総湧水量の変化を示しているが、換気立坑の総湧水量(図中の■)は、プレグラウト前後でほとんど変化しておらず、高い湧水抑制効果が得られたと考えられる。

以上のことから、今回適用したプレグラウトにより、十分な岩盤の透水性の低減効果が得られ、その結果として研究坑道掘削に伴い生じる湧水が抑制できたと判断される。

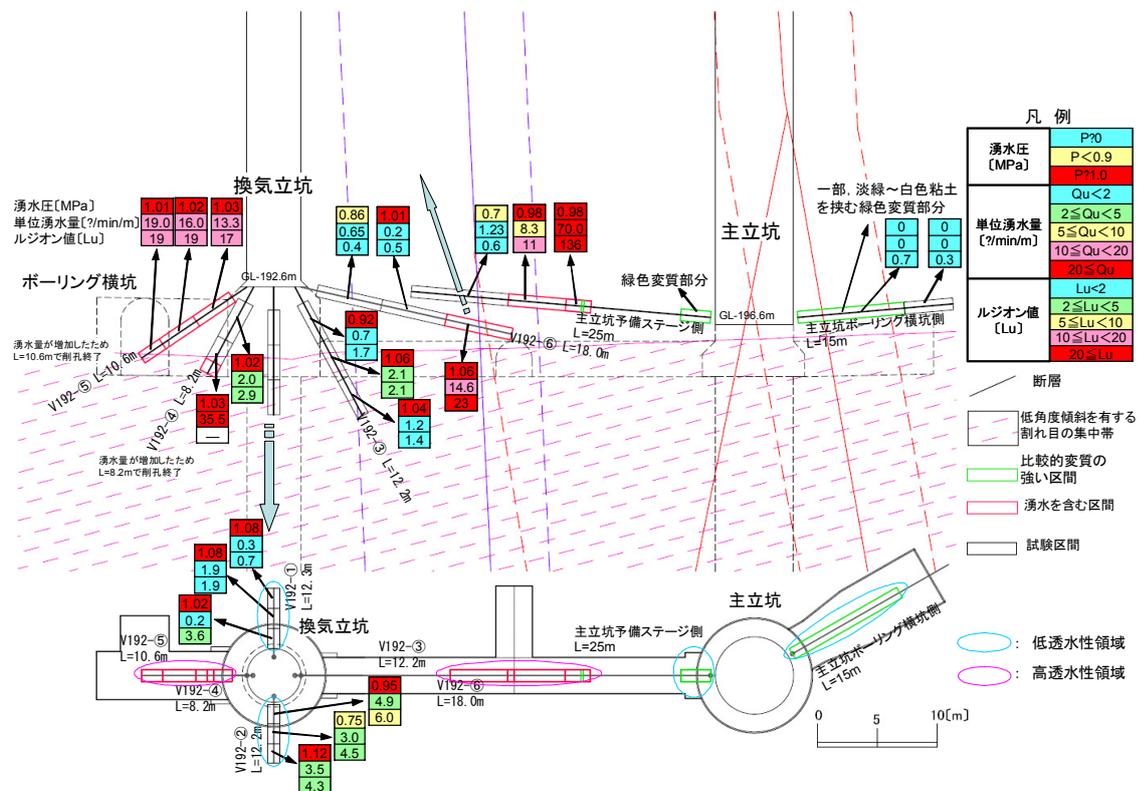


図 4.5-6 探り削孔の配置とその結果¹⁾

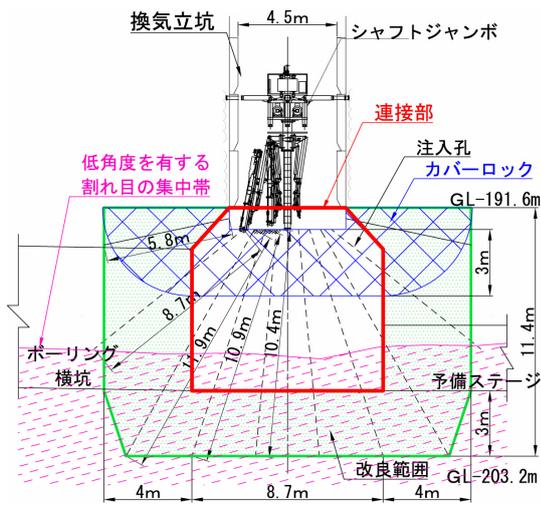


図 4.5-7 プレグラウト配置図(接続部)

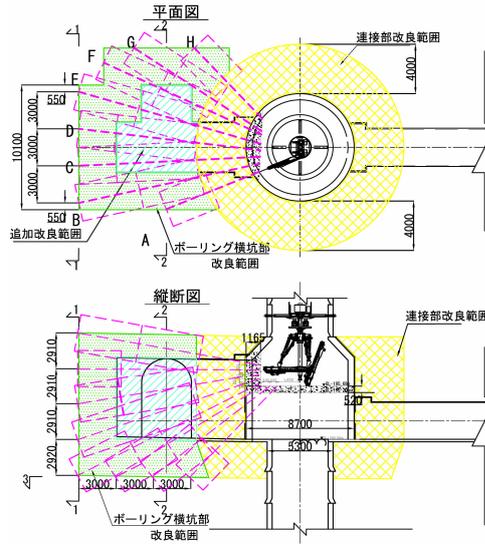


図 4.5-8 プレグラウト配置図(ボーリング横坑)

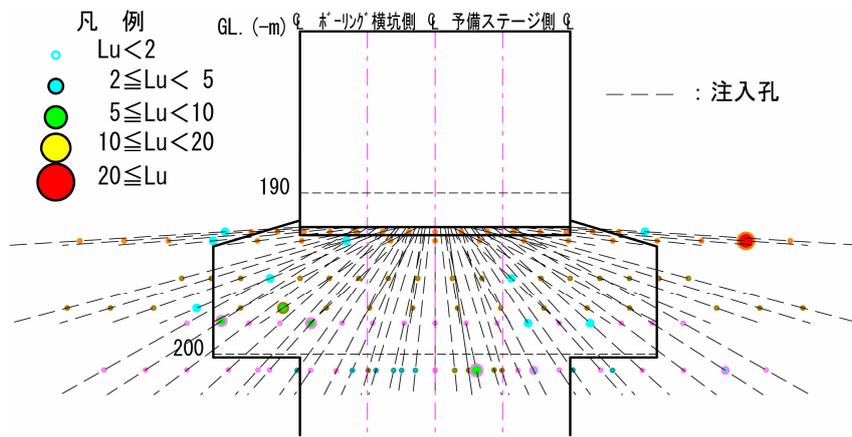


図 4.5-9 換気立坑接続部プレグラウト実施後の透水性分布(ルジオンマップ)

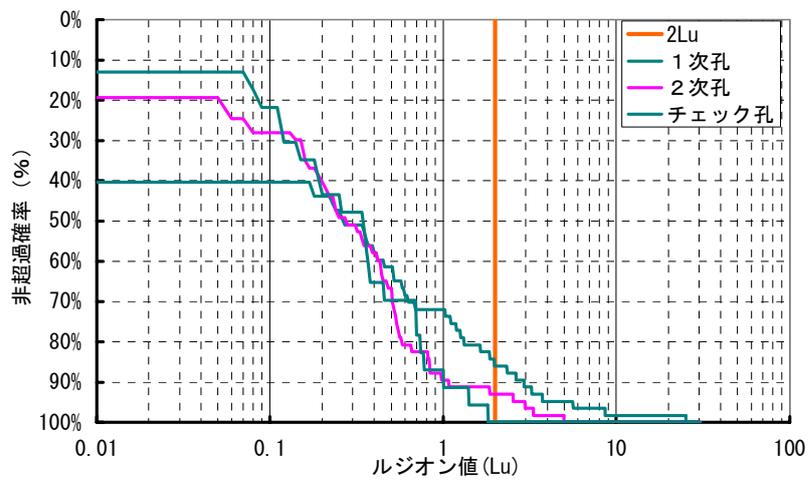


図 4.5-10 換気立坑接続部プレグラウト時の注入回数毎の透水性変化(改良目標値:2Lu)

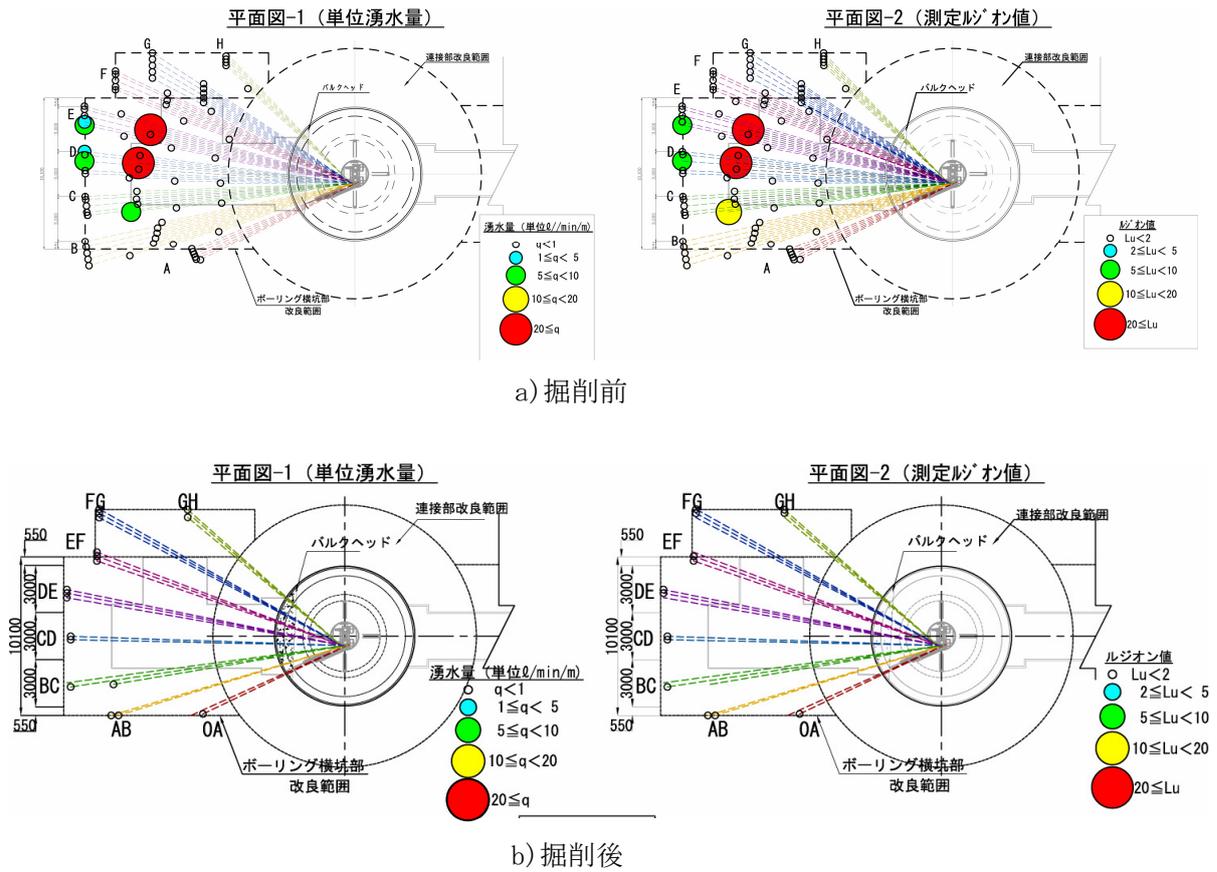
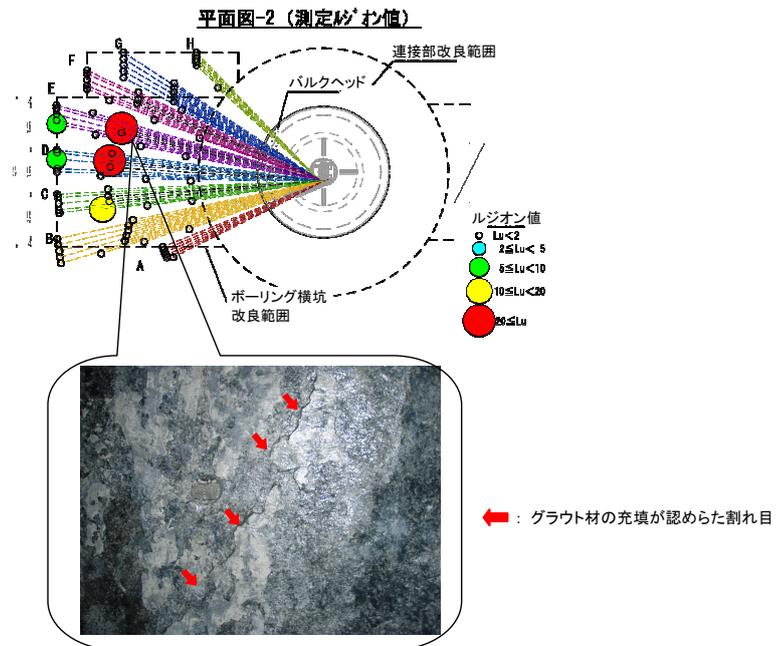


図 4.5-11 ボーリング横坑プレグラウト前後の単位湧水量および透水性分布の変化
(掘削後のデータはチェック孔掘削時に取得)



亀裂への注入材充填状況

図 4.5-12 プレグラウトにより充填された割れ目の状況の一例
(ボーリング横坑掘削後)

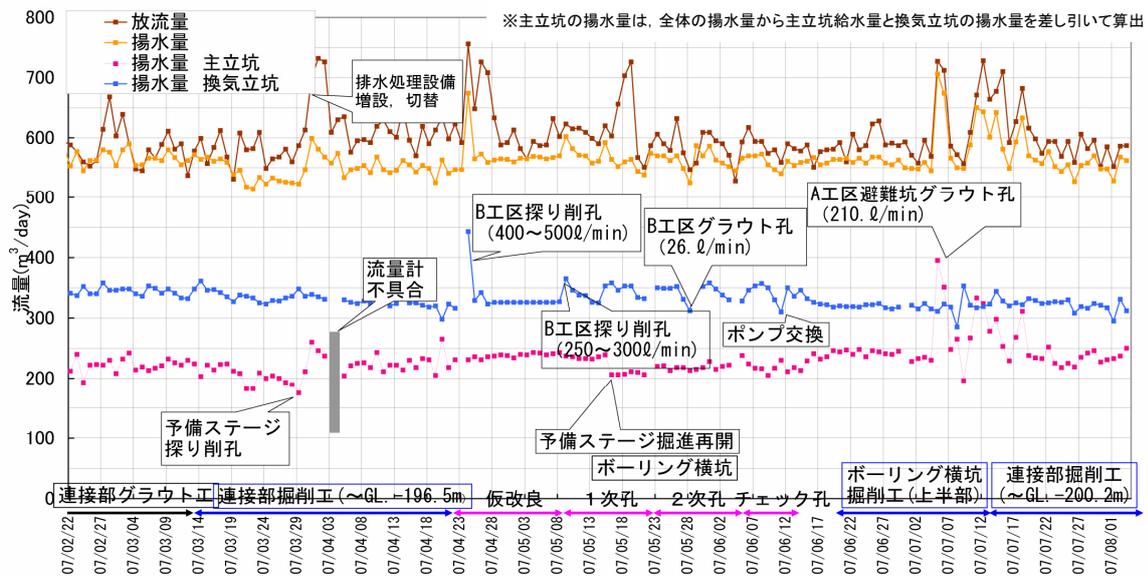


図 4.5-13 プレグラウト前後の換気立坑などからの総湧水量の変化

(5) 先行変位計測

先行変位計測は、ひずみ計測が主として研究坑道壁面からの距離に応じた岩盤の微小な変形を把握することを主に意図しているのに対し、立坑の掘削に伴い発生する岩盤の変形を鉛直方向に連続的に計測することで、岩盤の不均質性などで生じる掘削中の変形度合いの違いなども把握することを意図している。この両者の結果を総合的に検討することで、設計時に設定している立坑掘削時に生じる応力解放に伴う岩盤の変位と掘削深度との関係(応力解放率)の妥当性を検証することが可能となる。

2007年度は、深度200~250mまでの先行変位計測を行うためのボーリング孔掘削および傾斜計による岩盤変位計測に必要なケーシングの設置作業を実施した(計測配置の概要は図4.5-14を参照。)

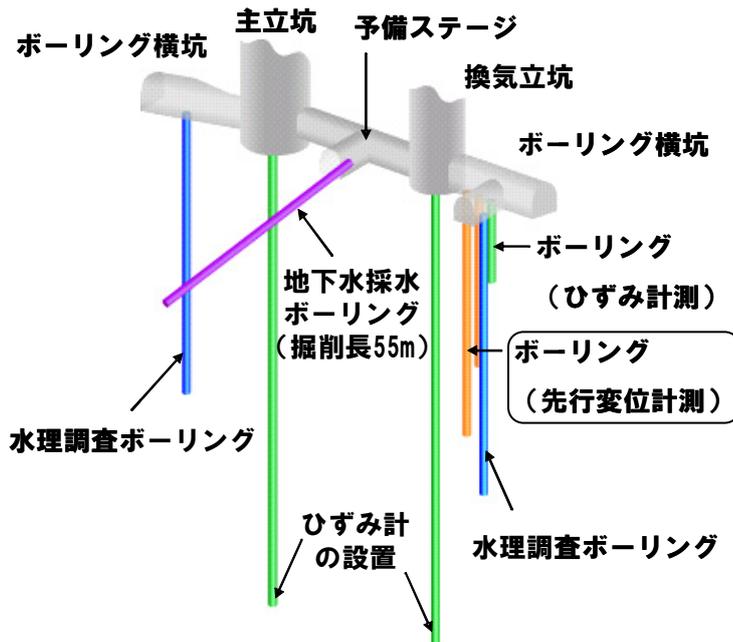


図 4.5-14 先行変位およびひずみ計測の計測レイアウト

4.6 調査技術開発

4.6.1 実施概要

第2段階においては、研究坑道の掘削を伴う調査研究で必要とされる既存の調査技術や調査機器の高度化を図るとともに、必要に応じて新規の開発を行う。また、第3段階の調査研究において必要と考えられる調査技術・調査機器の開発を行う。

4.6.2 実施内容

①水質モニタリング装置の適用性の検討

2007年度は、深度100m予備ステージに掘削したボーリング孔(05MI01号孔:掘削長86m)¹⁸⁾からの湧水量が低下し、十分な湧水量を得られる環境下を継続できないことから、水質モニタリングからのデータ取得を休止した。深度200m予備ステージにおいては、新たにボーリング孔(図4.1-1:07MI07号孔,掘削長55m)の掘削を行い、水質モニタリング装置を設置し、主に深度200m地点における地球化学特性の把握および立坑掘削による影響の評価を確認した。また、本装置は、設置以降、健全に計測機能を維持し、耐久性の点においても問題ないことを確認した。

②水圧モニタリング装置の適用性の検討

研究坑道近傍において、掘削に伴う深度方向の水圧変化を観測するためのモニタリング装置を製作した。深度200m予備ステージにおいて掘削した水理調査ボーリング孔に本装置を設置し、データ取得を開始した。今後、取得したデータを通じて、本装置の適用性を確認していく。

4.7 研究所用地における施設建設

4.7.1 実施概要

2007年度は、必要に応じてグラウトを行いつつ深度200m以深まで掘削を進めた。深度200mでは、主立坑と換気立坑を連結する予備ステージの他にボーリング調査の基地となるボーリング横坑を設置した。この両立坑のボーリング横坑からボーリングを実施し、深度200m以深の地質環境に関する情報を取得した。

研究坑道掘削工事は、2008年3月15日にその2工事を竣工させ、引き続きその3工事として工事を継続した。

4.7.2 実施内容

(1) 研究坑道の掘削

2006年度に実施した地質構造や地下水状況に関する情報を得るために立坑掘削に先立ち調査したパイロットボーリングの結果からは、深度200m付近の換気立坑側で大量湧水が発生する可能性が高いことがわかった。このため、換気立坑接続部およびボーリング横坑を対象に、坑道掘削に先行してグラウトを行い、掘削時の湧水を抑制する対策を実施した。

2007年度に実施した坑道掘削とボーリング掘削の概要を以下に示す。

1) 坑道掘削

a) 主立坑

深度200.2m～231.2m(2008年3月15日時点)を掘削

b) 換気立坑

深度193.7m～200.2m(2008年3月15日時点)を掘削

c) 水平坑道

- ・予備ステージ:深度 200m において掘削完了
- ・ボーリング横坑:主立坑および換気立坑の深度 200m において掘削完了

2) ボーリング掘削

a) 水理ボーリング:2 孔(参照:4.3.2(1) 3))

- ・主立坑深度 200m のボーリング横坑から 125m 掘削
- ・換気立坑深度 200m のボーリング横坑から 125m 掘削

b) 先行変位ボーリング:3 孔(参照:4.2.2(1), 4.5.2(5))

- ・換気立坑深度 200m のボーリング横坑から 16.5m, 42.0m, 52.0m

(2) 湧水対策

湧水量を抑制する対策として、花崗岩上部の割れ目頻度が高い部分の中でも特に低角度の割れ目が集中し、湧水が想定される深度 200m における換気立坑接続部および換気立坑ボーリング横坑を対象に、掘削に先立ちグラウトを実施した。例としてボーリング横坑の対象範囲を図 4.7-1 に示す。

グラウトは以下に示す仕様を基本として実施した。グラウトの実施による透水性の低減目標値と注入範囲に関しては、地下水の浸透理論や数値解析等を参考に設定した。

- ・グラウトの実施による透水性の低減目標値:注入範囲の透水性を 2 Lu 以下
- ・注入範囲:掘削面から 3.0m 以上を設定
- ・注入孔配置:注入孔先端で 3.0m 以内の離隔
- ・注入順序:注入孔は 1 次孔と 2 次孔を千鳥状に交互に配置し、先行して 1 次孔を削孔し注入。その後、1 次孔の中間に 2 次孔を削孔し注入する中央内挿法を標準とする。
- ・注入圧:湧水圧+1.0MPa(深度 200m の接続部周辺では 2.0MPa に相当)
- ・注入材料:普通ポルトランドセメントミルク+分散剤

以下に、グラウトを実施した例として換気立坑ボーリング横坑における概要について示す。

注入範囲は、換気立坑ボーリング横坑の形状に合わせて掘削面より 3.0m 程度の範囲とし、削孔はシャフトジャンボ(発破装薬孔掘削機械)を使って実施した(図 4.7-2)。グラウトを実施した結果として、ルジオンマップおよび単位注入セメント量(注入量単位:kg/m)マップを図 4.7-3 に示す。

図 4.7-3 は、換気立坑ボーリング横坑の三次元的な注入孔配置を鉛直断面図に投影して示しており、注入孔でも透水性が高い(ルジオン値:高)、または注入量が多い区間の分布は局所的であった。

換気立坑ボーリング横坑の掘削時の状況は、掘削壁面からにじみ出し程度の湧水はあるものの、顕著な湧水は認められなかった。また、坑内湧水量にはほとんど増加が認められなかった。これらの結果から、現状の注入仕様で湧水量の抑制が達成されていると評価できる。壁面地質観察においては、特に多くの注入量が必要とされた注入区間付近で注入材料が高角度の割れ目を中心とする割れ目の内部に浸透・固化している状況が確認された(図 4.7-4)。注入材料が、特定の割れ目の中に部分的に浸透・固化していることが特徴である。

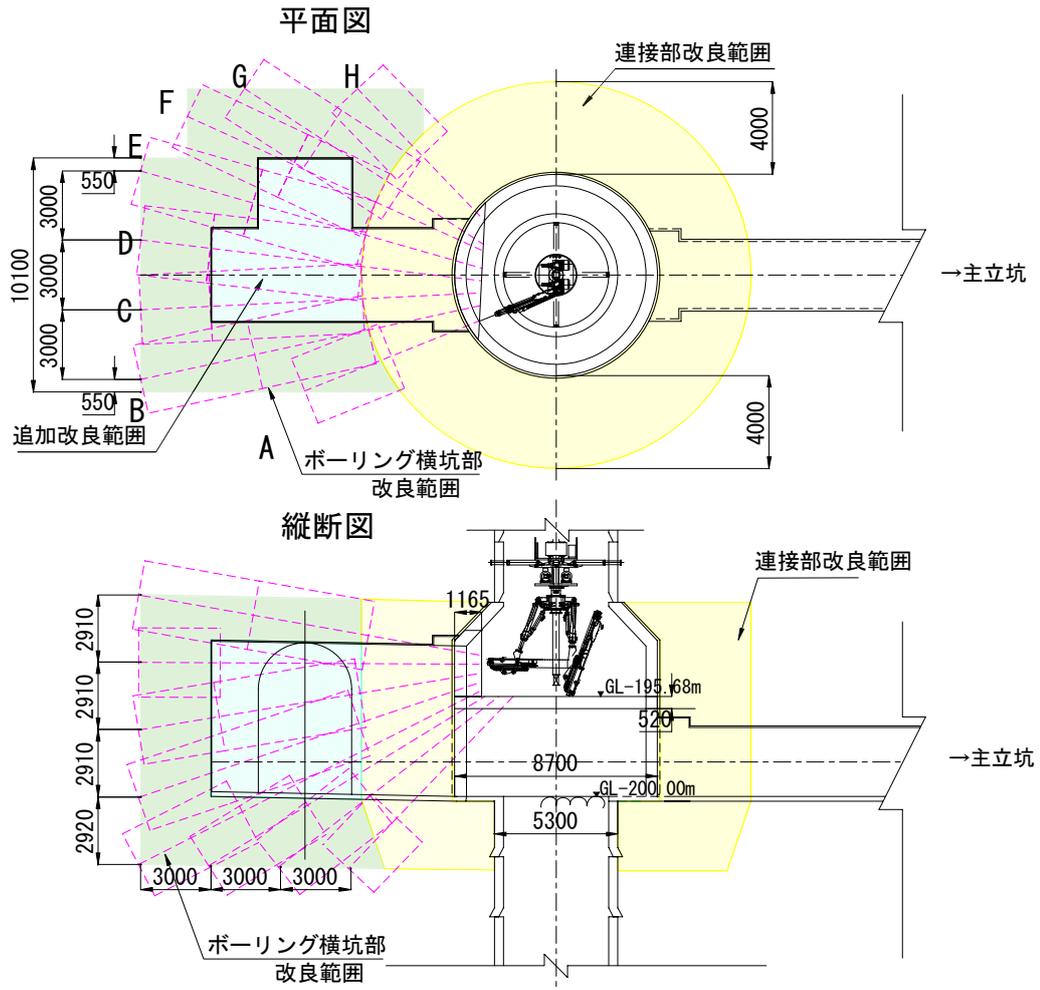
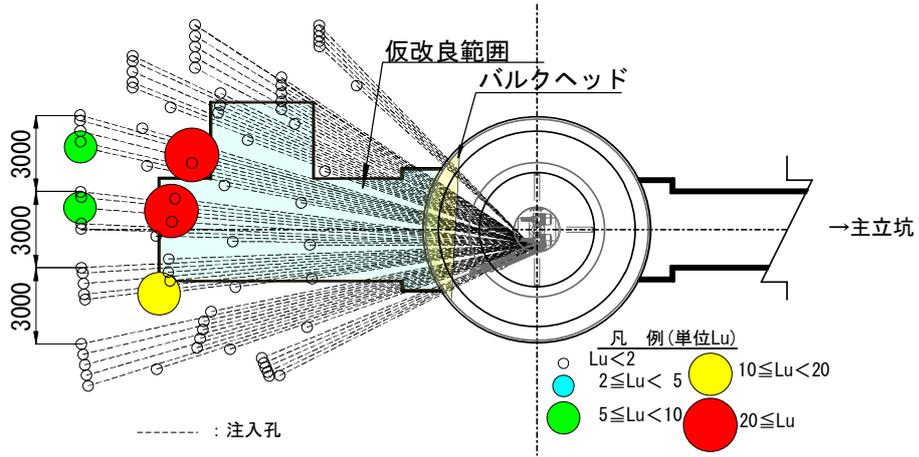


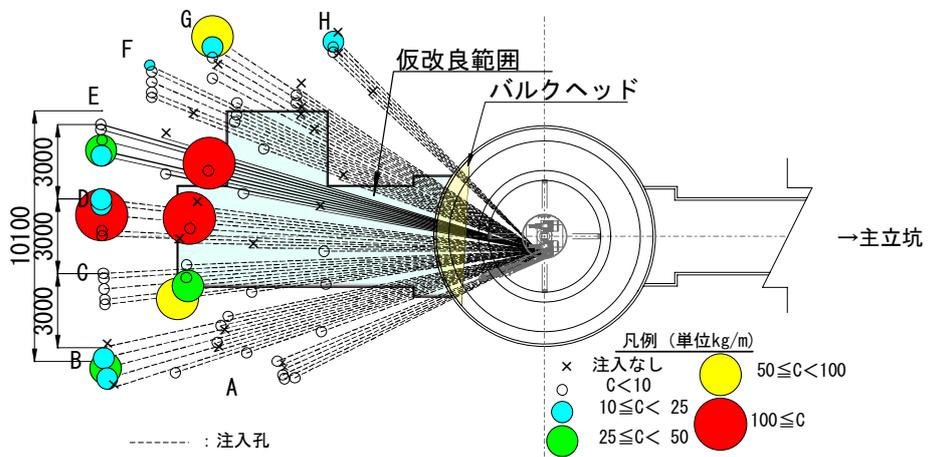
図 4.7-1 換気立坑ボーリング横坑グラウト対象範囲



図 4.7-2 シャフトジャンボによる注入孔の削孔状況
(換気立坑接続部からボーリング横坑への削孔)



(a) ルジオン値



(b) 単位注入セメント量

図 4.7-3 換気立坑ボーリング横坑グラウト結果



(a) 高角度亀裂



(b) 低角度亀裂

図 4.7-4 注入材料の浸透・固化状況(矢印部分)

(3) 周辺環境モニタリング調査

1) 河川流量調査

2007年度は2006年度に引き続き河川流量調査を行い、水位流量曲線式を設定するためのデータを蓄積した。調査方法は、観測される水位(H)と流量(Q)の関係を示す水位流量曲線(H-Q 曲線)を予め求めておき、この関係を用いて計測した水位を流量に換算し、流量を算定する方法である。

調査は狭間川の3箇所を設置した河川流量計(水位計)により実施した。設置場所は狭間川の上流、中流および下流地点の3箇所であり、上流地点は研究所用地の北東約1,300m、中流地点は北東約300m、下流地点は南南東約800mである。調査の結果、2007年度は2006年度と同様に平均的な雨量と流出傾向を示している。

2) 地下水位調査

研究所周辺の井戸10箇所を設置した地下水位計により調査を実施した。各地点において年間を通じての地下水位の変動幅が把握されるとともに基準水位が分かり、井戸水の揚水との関係、降雨時の地下水位の反応の状況を把握した。調査の結果、月平均水位が月雨量によく呼応した変動を示すデータがみられた。

3) 騒音・振動調査

騒音・振動調査は、研究坑道掘削工事において稼働している機械や発破作業による影響を把握するために実施している。2007年度は、4回実施した。調査結果は、騒音・振動とも特定建設業の規制に関する基準^{注1)}を下回るレベルであった。

4) 水質調査

研究坑道掘削工事に伴う立坑からの排水の放流先である狭間川の水質調査として、試料を採取し、生活環境項目および健康項目に関する水質分析を行なった。調査場所は狭間川の上流および下流地点の2箇所であり、上流地点は瑞浪国際地科学交流館敷地北側、下流地点は排水口から約20m下流である。水質分析結果は分析項目すべてが環境基準値未満であった。

注1)「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に定める作業時間、期間の基準」

「振動規制法施行規則第11条に定める特定建設作業における作業時間及び期間の規定」

参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構：“超深地層研究所計画 年度報告書(2006年度)”JAEA-Review 2009-001(2009)。
- 2) 中俣公德, 鶴田忠彦, 天野健治, 西本昌司, 吉田英一：“遮水性構造として機能する断層の内部構造と変形・変質作用—瑞浪超深地層研究所に分布する土岐花崗岩での研究事例—”, 日本応用地質学会平成19年度研究発表会講演論文集, (2007)。
- 3) 早野明, 中俣公德, 鶴田忠彦, 竹内真司：“瑞浪超深地層研究所の研究坑道に分布する割れ目の特徴”, 土木学会平成20年度全国大会第63回年次学術講演概要集, (2008)。
- 4) 竹内真司, 原雅人, 見掛信一郎, 鶴田忠彦, 池田幸喜, 山本勝：“超深地層研究所計画における研究坑道掘削中の湧水抑制対策について”第12回岩の力学国内シンポジウム(第29回西日本岩盤工学シンポジウム)講演論文集, pp.189-196, (2008)。
- 5) 菊池輝行, 天野健治, 鶴田忠彦：“岩盤物性評価における多変量データ解析の導入”, 日本応用

- 地質学会平成 19 年度研究発表会講演論文集, (2007).
- 6) 早野明, 鶴田忠彦, 天野健治: “3D レーザースキャナーを用いた坑壁地質観察の効率化—瑞浪超深地層研究所における適用事例—” 日本応用地質学会平成 19 年度研究発表会講演論文集, (2007).
 - 7) 持田裕之, 天野健治, 鶴田忠彦: “3D レーザースキャナーの受光強度画像を用いた画像処理による岩相区分の試み—瑞浪超深地層研究所に分布する瑞浪層群での適用事例—”, 応用地質, Vol.48, No.3, pp.126-131, (2007).
 - 8) 大久保誠介: “長期岩盤挙動評価のための巨視的観点による基礎的研究(平成9年度)”, 動力炉・核燃料開発事業団(委託研究成果報告書; 東京大学), PNC TJ1602 98-004 (1998).
 - 9) 大久保誠介, 福井勝則: “田下凝灰岩の長期クリープ試験と構成方程式”, 資源と素材, Vol.118, No.1, p.36-42 (2002).
 - 10) 大久保誠介, 福井勝則, 羽柴公博: “コンプライアンス可変型構成方程式の拡張とクリープ試験結果による検討”, 資源と素材, Vol.118, No.12, pp.737-744 (2002).
 - 11) 福井勝則, 大久保誠介, 西松裕一: “一軸圧縮荷重下での岩石の一般化した応力緩和特性”, 資源・素材学会誌, Vol.108, No.7, pp.543-548 (1992).
 - 12) 大久保誠介, 瀬野康弘, 中間茂雄, 佐藤稔紀, 平野享: “結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための現象論的研究(委託研究)”, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2007-088 (2007).
 - 13) 大久保誠介, 福井勝則, 羽柴公博: “コンプライアンス可変型構成方程式の拡張と三城目安山岩の一軸圧縮・引張強度試験による検討”, 資源と素材, Vol.119, No.9, pp.541-546 (2003).
 - 14) Oliver, J.: “Modelling strong discontinuity in solid mechanics via atrain softning constitutive equations. Part 1: fundermentals”, Int. J. Numer. Methods Eng., 39, 3575-3600 (1996).
 - 15) Oliver, J.: “Modelling strong discontinuity in solid mechanics via atrain softning constitutive equations. Part 2: numercal simulation”, Int. J. Numer. Methods Eng., 39, 3601-3623 (1996).
 - 16) 市川康明, 瀬野康弘, 中間茂雄, 佐藤稔紀: “結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための理論的研究(委託研究)”, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2008-005 (2008).
 - 17) 吉田裕一, 中野勝志, 長谷川健, 志賀貴宏, 三枝博光: “地層科学研究データベースシステム構築の現状”, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7410 2002-003 (2001).
 - 18) 日本原子力研究開発機構: “超深地層研究所計画 年度報告書(2005 年度)” JAEA-Review 2008-079(2008)

5. 正馬様用地における調査研究

5.1 実施概要

正馬様用地における調査研究では、断層に着目した地下水流動場の把握を目的とした地下水の長期モニタリングおよび地下への涵養量の把握を目的とした表層水理観測を継続した。

5.2 実施内容

(1)地下水長期モニタリング

正馬様用地では、AN-1号孔、AN-3号孔、MIU-1号孔、MIU-2号孔、MIU-3号孔およびMIU-4号孔においてMPシステムを設置し、間隙水圧のモニタリングを実施している(図5.2-1)。2007年度はAN-1号孔、MIU-1号孔およびMIU-2号孔の機器にトラブルが発生したため観測を休止した。また、AN-3号孔についても2007年7月12日から機器トラブルのため観測を中断しており、通年で観測が行えたのはMIU-3号孔、MIU-4号孔であった。

2007年度におけるMIU-3号孔、MIU-4号孔での観測結果を図5.2-2、図5.2-3に、正馬様用地内のボーリング孔で観測された代表的な区間での水位変動量を図5.2-4に示す。

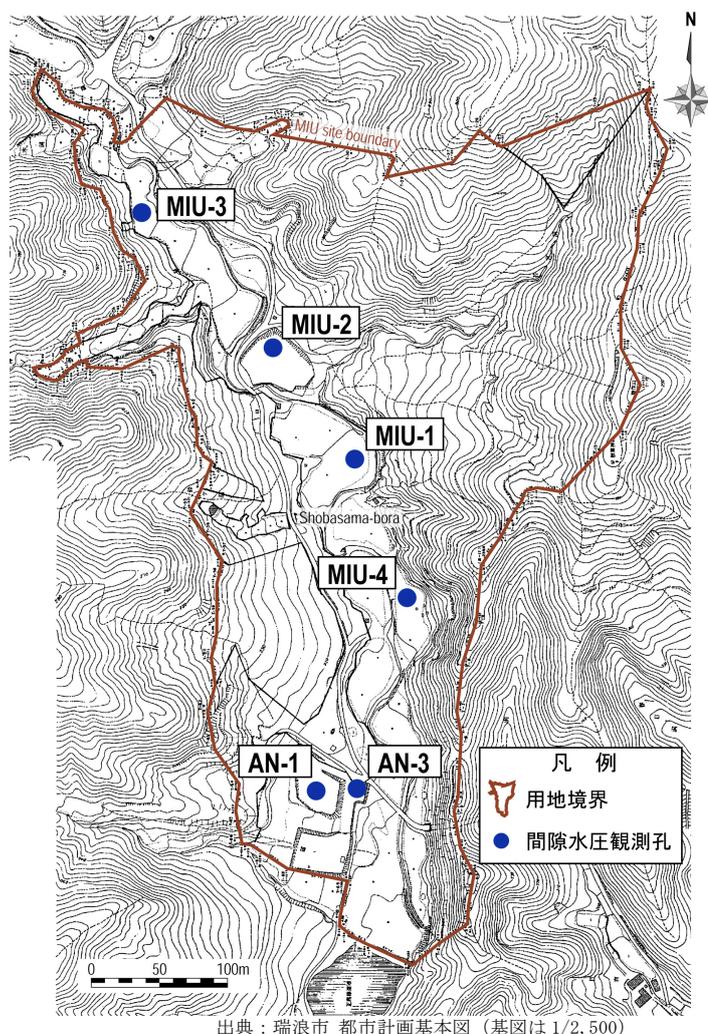


図 5.2-1 ボーリング孔位置図(正馬様用地)

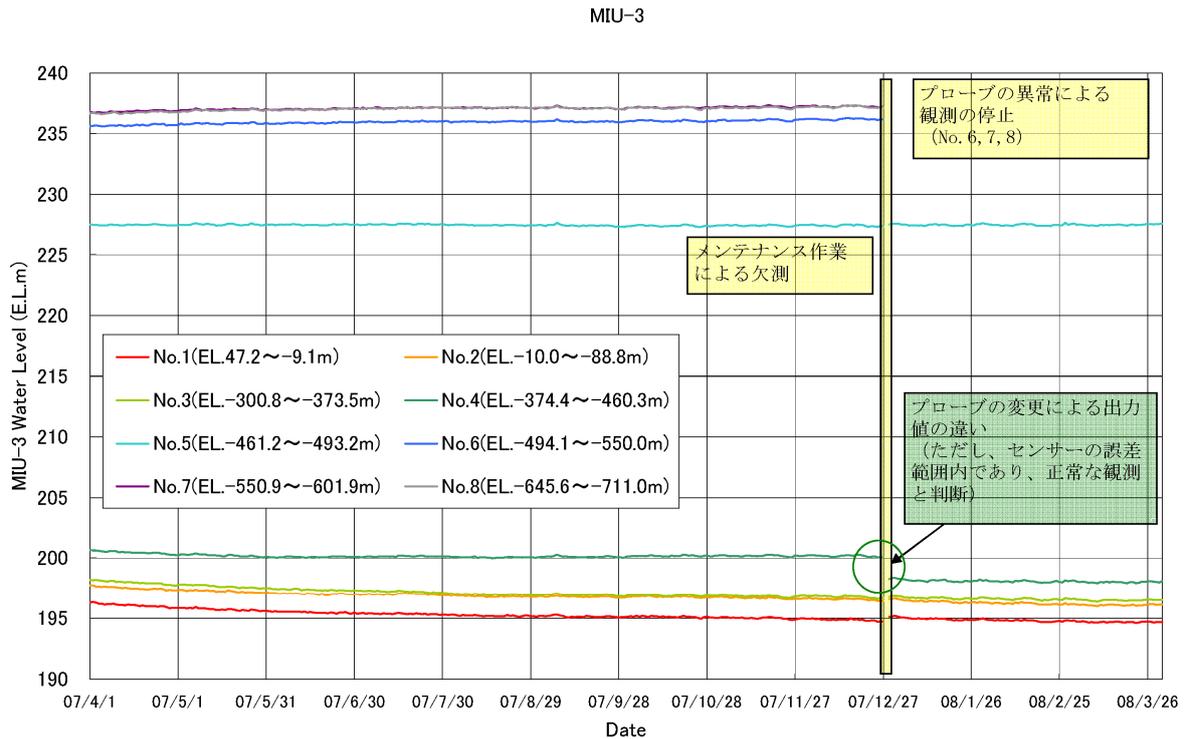


図 5.2-2 MIU-3 号孔での水位変化
(観測区間は全て花崗岩)

MIU-3 号孔では 12 月に行ったメンテナンスの結果、通信自体は正常に行えていたものの、No.5 センサーと No.6 センサーを繋ぐ通信ケーブルの絶縁抵抗に異常が確認されたため、メンテナンス以降、No.6 以深の区間の観測を中断している。また、各区間においてメンテナンス前後で水位の違いが生じているが、No.4 を除き、これらはセンサーの誤差範囲内に納まっていることを確認している。一方 No.4 に関しては、センサー回収時の出力点検において許容範囲を越える出力誤差が生じていることが確認されたことからセンサーを交換している。メンテナンス後の観測において、No.4 区間は No.1 から 3 の区間と同等の水位低下量を示していることから、No.4 区間については 2007 年 4 月以降、徐々にデータの信頼性が低下していたと考えられる。

メンテナンス以前の観測から、月吉断層上盤 (No.1~4) では水位低下が生じているのに対し、月吉断層を挟む区間 (No.5) および、月吉断層下盤 (No.6 以深) では緩やかな上昇から水位の安定傾向が確認できる。また、月吉断層上盤側、下盤側では約 40m の水位差が生じていることが確認できる。これらの結果は、月吉断層の断層と交差する方向に対する遮水性を示していると考えられ、これまでの調査結果と整合的である。

MIU-4

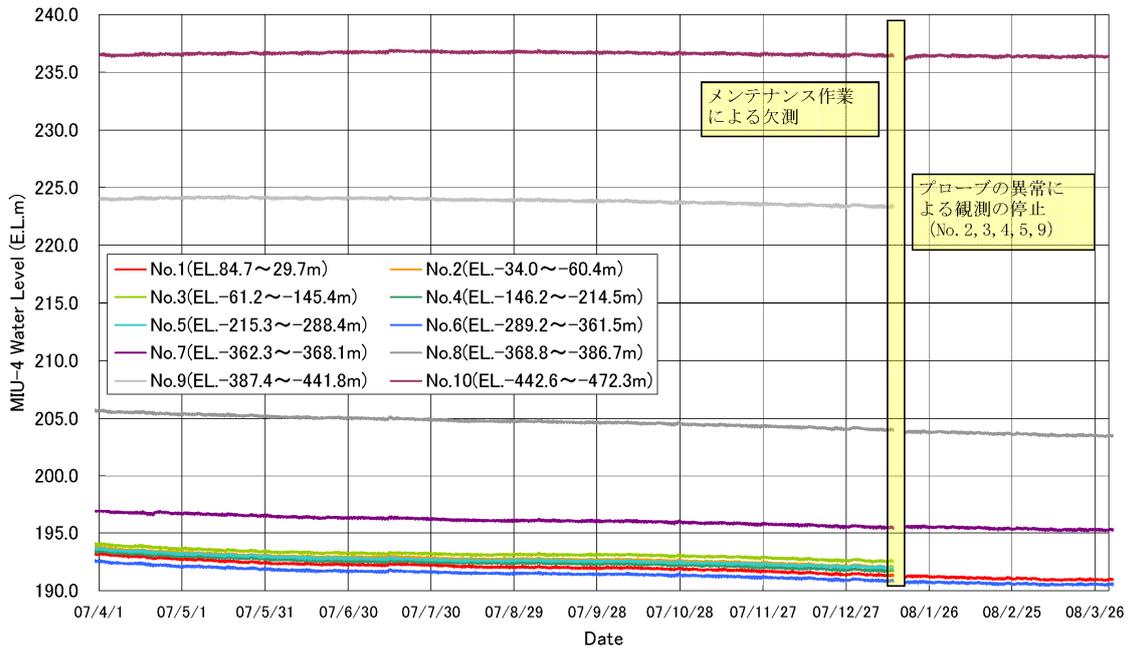


図 5.2-3 MIU-4 号孔での水位変化
(観測区間は全て花崗岩)

MIU-4 号孔では1月に行ったメンテナンスの結果、No.2,3,4,5 および No.9 のプローブにおいて内蔵モーターの作動不良が確認されたため、メンテナンス後はこれら区間の観測を中断している。

MIU-4 号孔の観測結果は、概ね MIU-3 号孔と同様の傾向を示すが、月吉断層を挟む区間 (No.7) および月吉断層下盤の一部 (No.8,9) において低下傾向が確認できる。一方で、No.7 以深の水位は、それ以浅の水位より高いことから、月吉断層が遮水性を有するというこれまでの調査結果とは矛盾しないと考ええる。

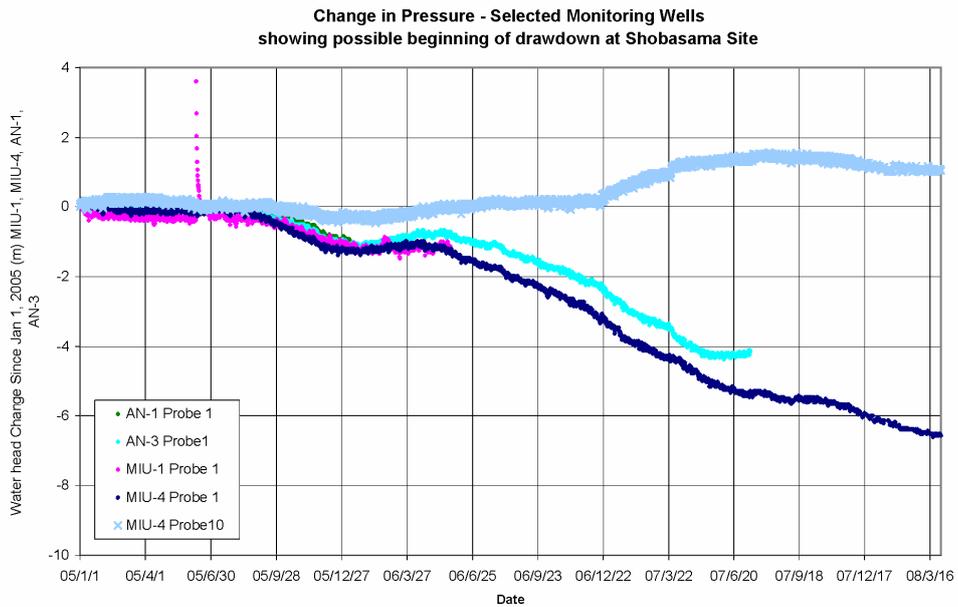


図 5.2-4 主な観測区間での水位変化量(正馬様用地)

月吉断層上盤(AN-1, AN-3, MIU-4 Probe1)では, 2006年4月以降, 水位低下傾向が続いていたが, 2007年7月中旬より10月中旬まで勾配が緩やかとなり, 再び10月下旬より低下傾向となっている。一方, 断層下盤(MIU-4 Probe10)では, 2006年12月19日の美濃地方東部地震(M4.3), 2006年3月25日の能登半島地震の影響と思われる水位上昇が継続していたが, 2007年8月頃より水位は低下傾向を示し, 2008年1月以降はほぼ安定している。

これら長期的な変動傾向についても, 月吉断層上盤, 下盤で異なっている。

(2)表層水理観測

地下水流動解析において上部境界条件を与える岩盤浸透量を水収支法で算出することおよび, 水理地質構造モデルのキャリブレーションに必要なデータを取得することを目的として, 表層水理定数観測システム(地下水位計, 河川流量計, 気象観測装置, 土壌水分計)での表層水理観測を継続している。(図5.2-5, 表5.2-2)。

2007年度については, 東濃鉦山気象観測システムが2008年2月に移設した事により欠測となったため, 2007年度は2007年2月~2008年1月までのデータを用いて岩盤浸透量の算定を行った。2007年度(2007年2月から2008年1月まで)の観測結果については, 欠測期間などにおける補正や補間前のデータに基づき岩盤浸透量の算出を行った。その結果を表5.2-3および表5.2-4に示す。

正馬川流域における2007年度(2007年2月から2008年1月まで)の岩盤浸透量は, 全域では274mm, 上流域では442mm, 下流域では205mmとなり, 過去の観測結果を見ても上流域の岩盤浸透量が下流域のそれよりも多い傾向にあることがわかる(図5.2-6)。また, 1999年度以降, 正馬川下流域の岩盤浸透量は正の値であり, 涵養域を示している。

正馬川モデル流域における2007年度(2007年2月から2008年1月まで)の岩盤浸透量は655mmであり, 正馬川流域同様, 涵養域であると考えられる。

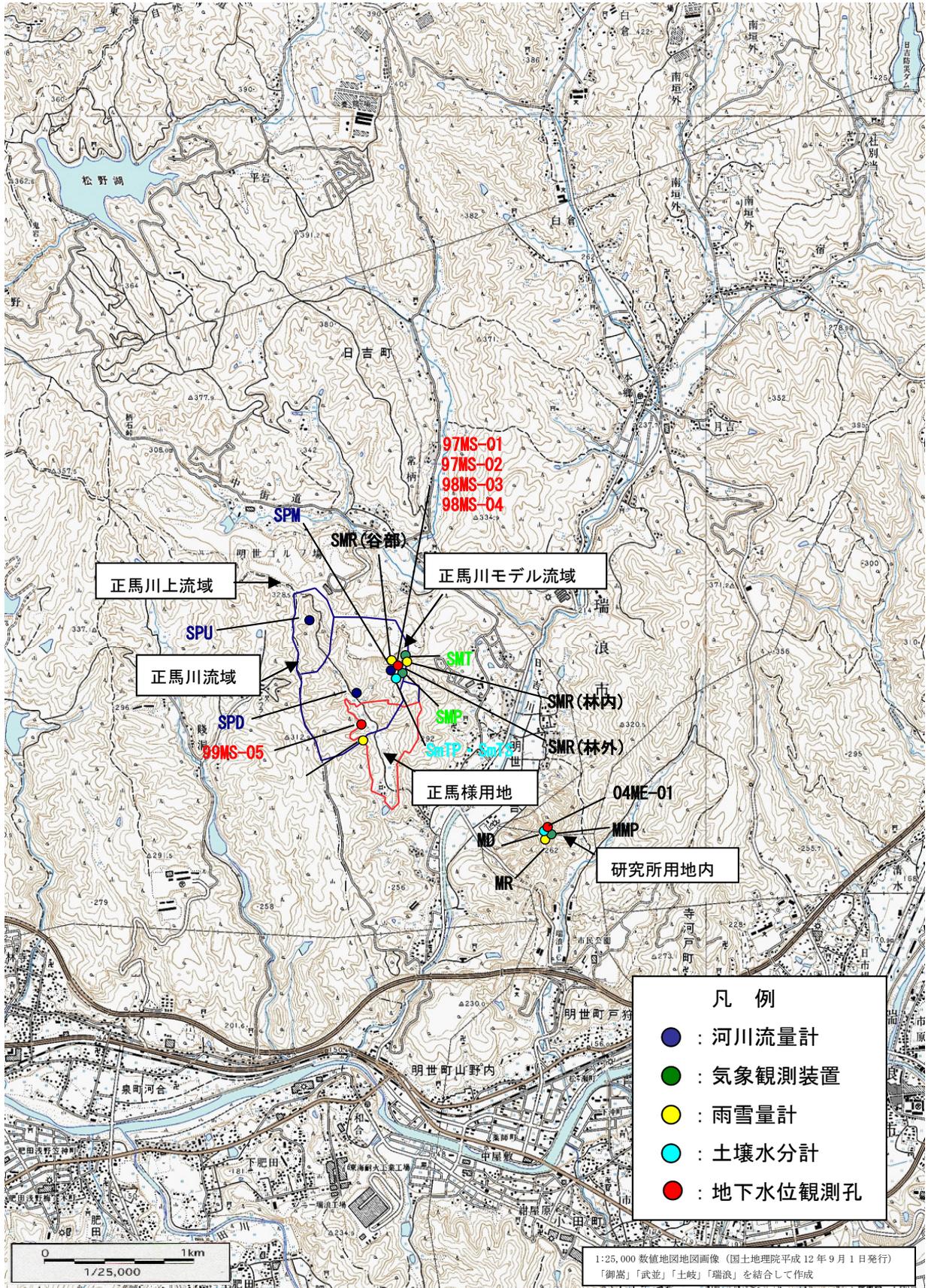


図 5.2-5 表層水理観測位置図

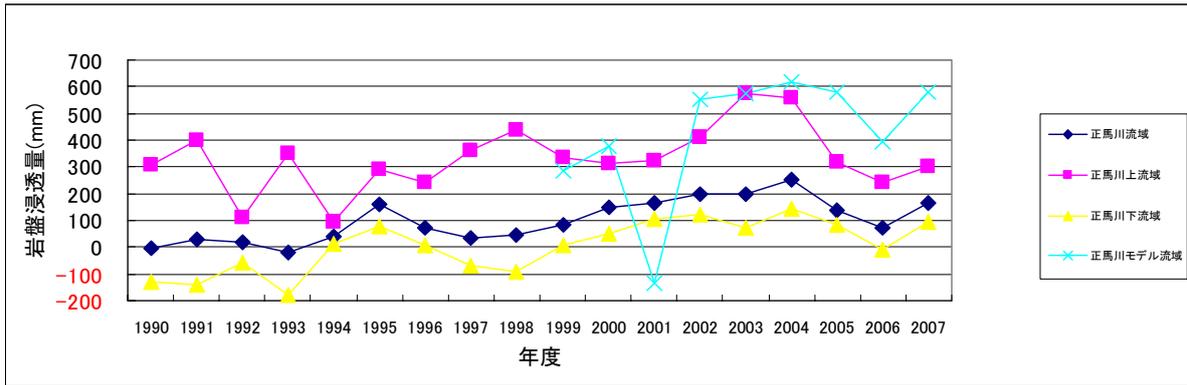


図 5.2-6 岩盤浸透量の経年変化

表 5.2-2 観測項目一覧表

設置流域名	観測装置の名称および記号 (記号は図)	蒸発散量	雨量	河川流量	地下水位	土壌水分	備考 (対象地質他)
研究所用地内	研究所用地内気象観測装置	MMP	●				
	研究所用地内雨量計	MR		●			
	04ME01	04ME01			●		瑞浪層群明世累層
	土壌水分計1 (3深度)	MD1				●	20cm, 40cm, 70cm
	土壌水分計2 (5深度)	MD2				●	20cm, 40cm, 70cm, 130cm, 200cm
正馬川流域	正馬川気象観測装置	SM	●				
	正馬川コミュニティ雨量計	SR		●			
	正馬川下流河川流量計	SPD			●		
	正馬川上流河川流量計	SPU			●		
	99MS-05	99MS-05				●	瑞浪層群明世累層基礎礫岩層
正馬川モデル流域	正馬川モデル流域タワー	SMT	●				
	正馬川モデル流域ポール	SMP	●				
	正馬川モデル流域林内雨量計	SMR林内		●			
	正馬川モデル流域林外雨量計	SMR林外		●			
	正馬川モデル流域谷部雨量計	SMR谷部		●			
	正馬川モデル流域河川流量計	SPM			●		
	97MS-01	97MS-01				●	瑞浪層群明世累層
	97MS-02	97MS-02				●	瀬戸層群土岐砂礫層
	98MS-03	98MS-03				●	瑞浪層群明世累層
	98MS-04	98MS-04				●	瀬戸層群土岐砂礫層
	SmTP (11深度)	SmTP				●	20cm, 40cm, 60cm, 100cm, 150cm, 300cm, 500cm, 750cm, 1000cm, 1250cm, 1500cm
	SmTS (8深度)	SmTS				●	20cm, 40cm, 60cm, 100cm, 150cm, 200cm, 300cm, 500cm

表 5.2-3 正馬様流域における岩盤浸透量

		2007年度*	
P: 降水量(mm)	(正馬様)	1399	
	(鉢山)	1346	
	(平均)	1372	
E: 蒸発散量(mm): 鉢山		507	
降水量に対する蒸発散量の割合(%)	(正馬様)	36	
	(鉢山)	38	
	(平均)	37	
正馬川流域	R: 河川流出高(mm)	728	
		(正馬様)	52
		(鉢山)	54
	降水量に対する河川流出高の割合(%)	(平均)	53
		(正馬様)	163
		(鉢山)	110
	G: 岩盤浸透量(mm)	(平均)	136
		(正馬様)	12
		(鉢山)	8
	降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(平均)	10
		R: 河川流出高(mm)	560
			(正馬様)
(鉢山)	42		
降水量に対する河川流出高の割合(%)	(平均)	41	
	(正馬様)	331	
	(鉢山)	278	
G: 岩盤浸透量(mm)	(平均)	305	
	(正馬様)	24	
	(鉢山)	21	
降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(平均)	22	
	R: 河川流出高(mm)	797	
		(正馬様)	57
(鉢山)		59	
降水量に対する河川流出高の割合(%)	(平均)	58	
	(正馬様)	95	
	(鉢山)	41	
G: 岩盤浸透量(mm)	(平均)	68	
	(正馬様)	7	
	(鉢山)	3	
降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(平均)	5	

*2007年2月~2008年1月

表 5.2-4 正馬川モデル流域における岩盤浸透量

		2007年度*	
P: 降水量(mm)	(モデル林外)	1460	
	(正馬様)	1399	
	(平均)	1430	
E: 蒸発散量(mm): 鉢山		507	
降水量に対する蒸発散量の割合(%)	(モデル林外)	35	
	(正馬様)	36	
	(平均)	35	
正馬側モデル流域	R: 河川流出高(mm)	374	
		(モデル林外)	26
		(正馬様)	27
	降水量に対する河川流出高の割合(%)	(平均)	26
		(モデル林外)	579
		(正馬様)	518
	G: 岩盤浸透量(mm)	(平均)	548
		(モデル林外)	40
		(正馬様)	37
	降水量に対する岩盤浸透量の割合(%)	(平均)	38

*2007年2月~2008年1月

6. 共同研究・施設供用

2007年度は、以下の外部研究機関等と超深地層研究所計画における共同研究および瑞浪超深地層研究所研究坑道等の施設の供用を行った。

(1) 共同研究

1) 学校法人 武蔵工業大学:天然環境中における微量元素の挙動に関わる研究

天然環境中における微量元素の挙動に関わる基盤情報を取得することを目的として共同研究を実施した。2007年度においては、堆積岩および花崗岩の両岩相において微量元素(希土類元素, ウラン, トリウム)の放射化分析の他, 主要化学組成についても分析を実施した。

その結果, 堆積岩においては炭酸塩鉱物によって充填されている箇所や亜炭部に微量元素が濃集している。このことから, 微量元素は主に炭酸錯体や有機錯体として堆積岩中を移動し, それらの沈殿に伴い濃集している可能性が示唆された。他方, 花崗岩においては, 地下水と岩石の相互作用が主な微量元素の移動のプロセスであることを示す結果が得られた。一般的には酸化された地下水が岩盤の緩衝能力によって還元される過程において, 微量元素が岩盤から溶出し, 再沈殿する過程が考えられる。ただし, 一部の試料においては割れ目表面が還元的であるものの, 割れ目表面から数 cm 離れた内部ではより酸化された環境をしており, 酸化された岩盤(割れ目表面)がその後の反応により再び還元されるような, 複数回の酸化還元プロセスを記録している可能性もある。

2) 財団法人 電力中央研究所:瑞浪超深地層研究所周辺の水理・物質移動特性評価に関する研究

地下水の滞留時間を推定する手法の構築を目的として, 正馬様用地内や研究所用地周辺のボーリング孔を利用して, 地下水の採取および地下水中の放射性元素(^3H , ^{14}C , ^{36}Cl)や希ガス濃度の測定を行い, 地下水流動解析結果との比較検討を行った。

岩盤中での物質移行特性を把握するための手法の構築を目的として, 瑞浪超深地層研究所での適用試験の実施に向けた技術情報の交換を実施し, 装置・試験方法の検討を行った。

2007年度は, 以下のことが明らかとなった。

- ・ 地下水流動の上流側から下流側に向かうにつれ, 地下水の ^{14}C 年代が古くなる。
- ・ 地下水中の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比から算出した年代と ^{14}C 年代を比較した結果, 両者が概ね一致する。

以上のことより, 地下水中の放射性同位体を利用した年代測定は, 独立に実施した地下水流動解析結果の妥当性を確認するために有効な手法であると考えられる。

3) 韓国原子力研究所(KAERI):地質環境調査・地質環境モデルの構築に関する技術支援

花崗岩中の地下水流動および水質形成メカニズムを把握するための原位置調査手法・モデル化技術の高度化を目的として, 両機関の地下研究施設計画や成果に関する技術議論などを行った。具体的には, 第4回技術検討会議を開催し, 両機関の地下研究施設計画に関する技術情報交換を行った。また, 地質環境調査(水理学的調査, 地下水の地球化学的調査)および地質環境のモデル化技術に関する技術研修(第2回, 3回, 4回)を行った。さらに, 派遣研究者を受け入れ, 地下水流動のモデル化・解析に関わる技術研修を実施した。

4) スイス放射性廃棄物管理協同組合(Nagra):超深地層研究所計画に関わる調査計画の立案支援, 研究成果の統合化に関わる支援

主に第2段階の調査研究の現場調査計画および結果の評価に関して技術的アドバイスを受けた。具体的には, 第5回技術検討会議を開催し, パイロットボーリング調査および解析・モデル化の結果について

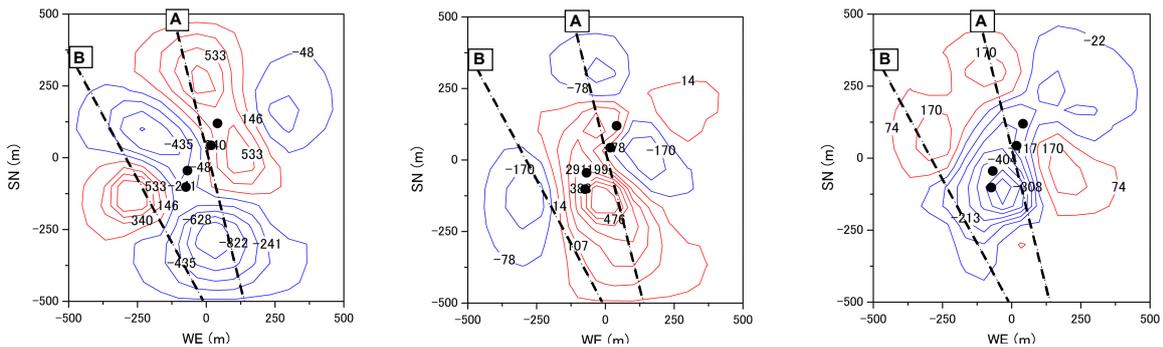
てNagraの技術者と議論を行った。また、研究坑道の掘削(グラウト計画など)や200m予備ステージでの調査研究計画に関する意見交換を行った。

5) 国立大学法人 東北大学: 傾斜計を用いたモニタリング技術の開発

本研究は、地下水流動に影響を及ぼす可能性のある水理地質構造の推定を目的として、地表傾斜データ観測および、観測データを用いた地下深部の体積変化量の推定手法の開発・改良を行なうものである。2007年度は、2006年度までに実施した逆解析の結果と研究所用地周辺で観測している長期水圧モニタリングデータを比較し、本手法の適用性についての確認を行なった。

2006年度までに実施した(a)立坑掘削に伴う排水期間(2005年4月12日~2006年9月30日:期間1)、(b)立坑からの排水停止期間(2005年10月27日~同年12月10日:期間2)および(c)立坑からの連続的な排水再開期間(2006年2月20日~同年3月31日:期間3)の岩盤傾斜量の観測データを用いた地下水流動解析の結果から、いずれの期間も地下水体積の増加・減少領域は主として2本の断層に挟まれた領域で生じており、これらの断層が遮水性を有していることが推定された(図6.1-1)。一方、長期水圧モニタリングデータから、推定断層を境として、断層の東側と西側で上記の期間の立坑水位の変化に対する水圧応答が異なることが示されており(図6.1-2)、このことから断層が遮水性を有していることが推定されている。

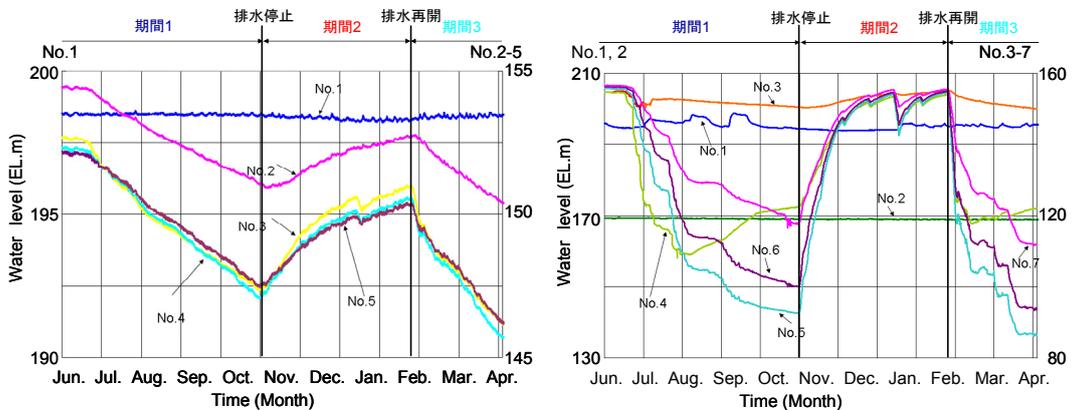
以上から、逆解析結果から得られた断層の解釈結果は、長期水圧モニタリングデータで得られた解釈結果と整合しており、本手法は地下水流動に与える影響が大きい水理地質構造を推定する際に、モニタリングデータを補完する有効な手法の1つとなり得る可能性が示された。



(a)立坑掘削に伴う排水期間 (b)立坑からの排水停止期間 (c)立坑からの排水再開期間

(図中の赤線は岩盤の単位体積あたりの地下水の体積増加領域、青線は体積減少領域を示す。単位は 10^{-6} 。また、破線は遮水性を有すると推定されている断層を示し、●は傾斜計の設置位置を示す。)

図 6.1-1 逆解析結果



(a)MSB-1号孔:断層の東側

(b)MSB-3号孔 浅部:断層の東側(No.1~3)
深部:断層の西側(No.4~7)

図 6.1-2 期間1から3における水圧応答

(2)施設供用

1) 財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所(以下、東濃地震科学研究所)とは、研究協力会議に関する確認書に基づき、研究協力会議を設置し、情報交換などを行っている。地震発生機構の解明や地域防災に関する研究を進めている東濃地震科学研究所と超深地層研究所計画などの地層科学研究を行っている東濃地科学センターが緊密な相互協力を進めることにより、両機関の研究開発や地域の地震防災対策への寄与が期待されている。

2007 年度は、2006 年度に引き続き、東濃地震科学研究所が計画している立坑掘削に伴う地球物理学的変動観測研究および地震動観測のため、瑞浪超深地層研究所研究坑道を施設供与した。東濃地震科学研究所は、2006 年度に設置した傾斜計を用いた連続観測を継続するとともに、立坑掘削に伴う地震動観測のために深度 100m 予備ステージに地震計を設置し観測を開始した。

7. 量子ビーム応用研究部門との連携融合研究

瑞浪超深地層研究所では、立坑からの湧水中に溶存するふっ素(7.2～9.5mg/l)、ほう素(0.8～1.5mg/l)の除去について、放流先河川において環境基準値(ふっ素 0.8mg/l, ほう素 1mg/l)以下にするため、薬剤による凝集沈殿およびイオン交換処理を行っている。

一方、量子ビーム応用研究部門 環境・産業応用研究開発ユニット 金属捕集・生分解性高分子研究グループ(以下、量子ビーム応用研究部門)では、ポリエチレンなどの布材料に放射線を照射し、薬剤によって特定の物質を除去するための吸着機能を付与する方法(放射線グラフト重合法)による捕集材の開発を進めており、これまでに温泉水中に溶存する金属やイオンを効率的に除去する捕集材の開発を行っている。

これらの状況から、量子ビーム応用研究部門と地層処分研究開発部門では、両者による部門間融合研究として、ふっ素、ほう素を除去する捕集材の研究開発や瑞浪超深地層研究所の湧水処理に関する研究を2006年度から開始した。その結果、ほう素については従来のイオン交換樹脂と比較して5倍の速度で吸着処理ができることが明らかとなった¹⁾。また、ふっ素については、湧水中濃度の95%除去は可能であるが、湧水中のふっ素濃度が高いため、現行のふっ素除去用捕集材では吸着量が不足し、破過時間が短くなってしまい、コスト等の面で実用化に向けた捕集材の改良をさらに行う必要があることがわかった。

2007年度は、通水速度の違いによる捕集材の吸着性能評価試験や耐久性・再生利用評価試験を行った。以下にその詳細を示す。

(1)通水速度の違いによる吸着性能評価

①試験方法

耐久性・再生利用評価試験の前提として、ほう素除去における通水速度の違いによる捕集材の吸着性能評価試験を行った。捕集材は、フェルト状のポリエチレン布基材に、ほう素に対して親和性の高いグルカミン基を放射線グラフト重合法によって導入して作製し、試験に用いた。

作製した捕集材を瑞浪超深地層研究所排水処理設備に仮設置している試験装置のカラム(内径:4.2cm)に充填し、湧水を上向流で通水させて、通水前と通水後のほう素濃度を分析することで、捕集材の吸着性能を評価することとした。ほう素濃度は、誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP)を用いて定量した。

②試験条件

捕集材へ通水する速度(空間速度, 以下 SV:Space Velocity)は、単位時間当たりの流量(m³/h)を捕集材体積(m³)で除した値であり、一般的なほう素除去用イオン交換樹脂では、約10h⁻¹というデータがある²⁾。

今回の耐久性評価として、SVを50h⁻¹, 100h⁻¹, 200h⁻¹, 500h⁻¹とし、処理流量を多くした場合における吸着性能を評価することとした。通水流量は0.2L/min(12L/h)として、SV値によって充填する捕集材量を変化させた。

③試験結果

SVを変化させたときの捕集材のほう素吸着性能について、吸着性能、つまり捕集材カラムの出口濃度の時間変化を示したグラフを図7-1に示す。グラフでは、カラムの出口濃度(吸着後)と入口濃度(吸着前、湧水中濃度と等しい)との比を縦軸に、湧水処理量と捕集材体積の比である通液倍率(BV:Bed Volume)を横軸に示している。また、カラムの出口濃度が入口濃度の5%、つまり95%除去したときを破過(これ以上捕集できない状態)とし、この時点におけるBV値を用いて、捕集材の吸着性能を評価した。

この結果より、SV が 50h^{-1} 、 100h^{-1} においては、捕集材体積に対して BV が約 1000 であることが明らかになった。また、SV が 200h^{-1} では BV が約 500、SV が 500h^{-1} では BV が約 50 となることが分かった³⁾。

2006 年度の通水試験では、95%除去において SV が 50h^{-1} において、BV は約 760 であることが分かっており、単位時間当たりの通水量を 2 倍 ($\text{SV}=100\text{h}^{-1}$) としても、吸着性能が変わらないことが明らかになった。

現行のほう素除去のイオン交換樹脂は、SV が 10h^{-1} であるが、本試験結果から、この試験に用いた捕集材では、約 10 倍の 100h^{-1} でも湧水中濃度の 95%除去が可能であるため、湧水量の突然の増加に対しても問題なく処理できる。

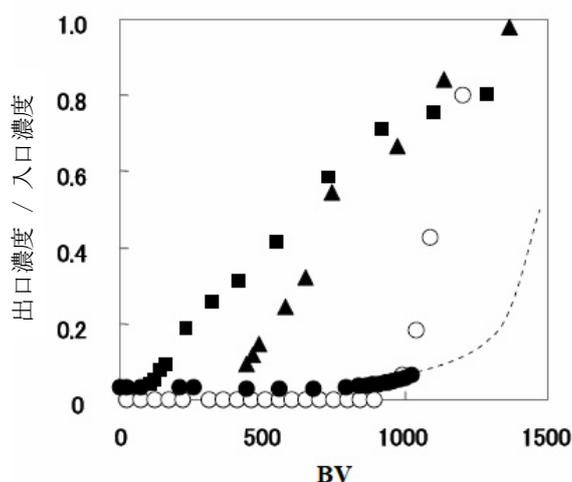


図 7-1 ほう素除去における SV による捕集材吸着性能の変化³⁾
SV: 50h^{-1} (●), SV: 100h^{-1} (○), SV: 200h^{-1} (▲), SV: 500h^{-1} (■)

2) 捕集材の耐久性・再生利用評価

ほう素除去における捕集材の耐久性・再生利用評価試験として、湧水を 8 日間通水した後、吸着したほう素を捕集材から除去し、再度湧水を 4 日間通水して吸着性能を評価する試験を行った。試験結果および評価については、2008 年度に取りまとめを行う。

参考文献

- 1) 弥富洋介, 瀬古典明, 保科宏行, 岡田健治, 玉田正男, 尾方伸久, 杉原弘造, 放射線グラフト重合法により作成した捕集材を用いた瑞浪超深地層研究所における湧水処理の検討, 日本応用地質学会中部支部研究発表会(2007)
- 2) 社団法人産業環境管理協会発行, 新・公害防止の技術と法規 2006 水質編(2006)
- 3) 保科宏行, 瀬古典明, 笠井昇, 岡田健治, 植木悠二, 玉田正男, 弥富洋介, 尾方伸久, 放射線グラフト吸着材を用いた地下湧水中のほう素除去特性(2007)

8. おわりに

超深地層研究所計画は、「地層処分技術に関する研究開発」のうち結晶質岩を対象とした深地層の科学的研究の一環として 1996 年度から実施しているプロジェクトである。本報告書は、超深地層研究所計画において 2007 年度に実施した調査研究で得られた成果等を年度報告書として取りまとめたものである。これらは、原子力発電環境整備機構による処分事業と国による安全規制の両面を支える技術基盤として活用できるものであると考える。

付録 広域地下水流動研究 2007 年度報告

A-1. はじめに

東濃地科学センターでは、広域地下水流動研究の一環として、

- ① 土岐花崗岩における水理学的・地球化学的な基礎情報の取得
- ② 地下水流動解析結果の妥当性確認のためのデータ取得

の 2 点を目的として、研究領域内に掘削された最大深度約 1,000m の複数のボーリング孔において、地下水長期観測システムを設置して間隙水圧(水頭)計測を実施している。

本報告書では 2007 年 4 月から 2008 年 3 月までの間隙水圧(水頭)観測結果および孔内水位観測結果を記す。

A-2. 観測地点

2007 年現在、地下水長期観測システムとして MP システム(カナダ Westbay 社製)が設置されているボーリング孔は DH-2, DH-3, DH-7, DH-9, DH-11, DH-13 号孔である。同様に、SPMP システム(スイス Solexperts 社製)が設置されているボーリング孔は DH-15 号孔である。このうち、対象とする間隙水圧の長期観測を実施している箇所は DH-2, DH-11, DH-13, DH-15 号孔である。

各ボーリング孔の位置を図 A-1 に示す。

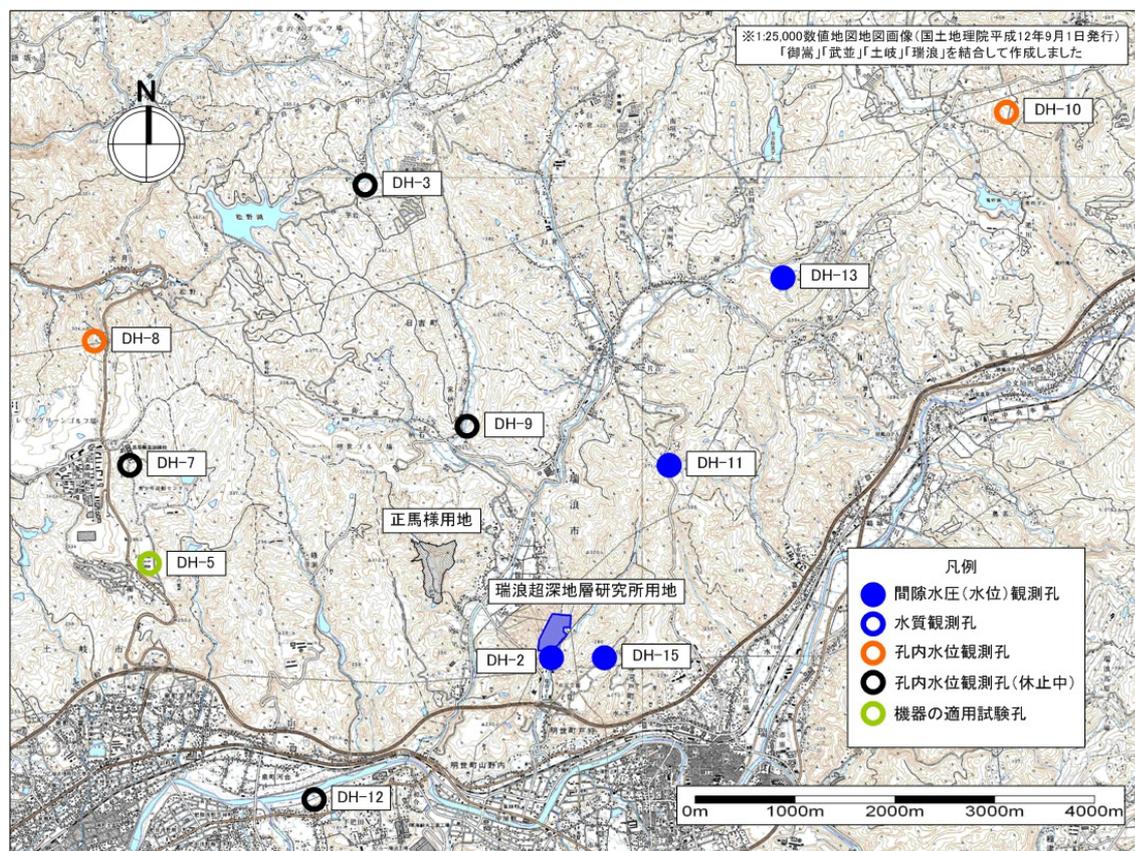


図 A-1 ボーリング孔位置図

A-3 観測結果

各孔におけるデータ取得間隔は、DH-2,15号孔が5分、DH-11,13号孔が30分である。DH-2号孔とDH-11号孔では2008年1月に2～3日間程度のメンテナンス作業を実施しており、その間、観測を中断している。また、DH-13号孔は2006年8月、DH-7号孔は2004年12月以降、機器の不具合によりデータが欠損している。2007年4月から2008年3月までの間隙水圧観測結果(図中では水位標高に換算)を以下に記す。

A-3-1. DH-2,DH-15号孔(研究所用地近傍)の水位変化

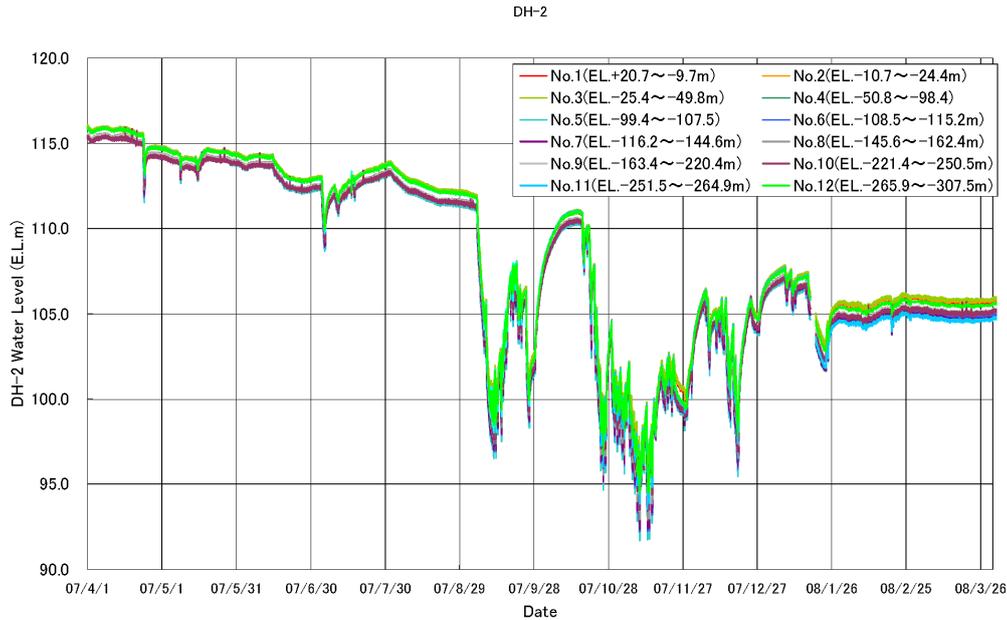


図 A-2 DH-2号孔の水位変化
(観測区間は全て花崗岩)

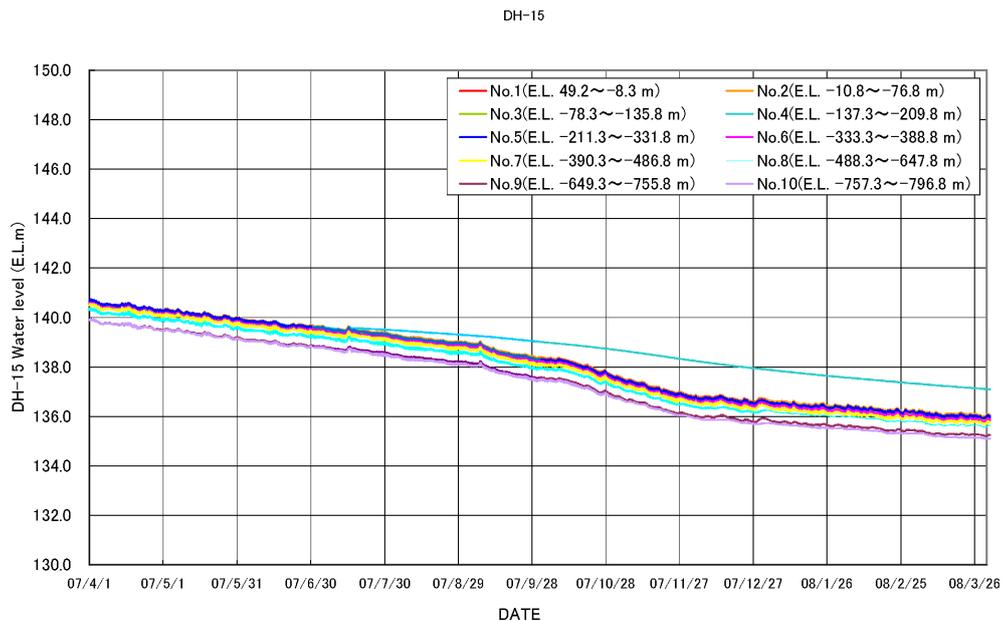


図 A-3 DH-15号孔の水位変化
(観測区間は全て花崗岩)

DH-2 号孔では 2008 年 1 月 17 日～19 日で計器のメンテナンス作業を実施している。この際、電気的なトラブルが生じている可能性があり継続使用が困難と判断された区間 No.5, 7, 11 について水圧観測プローブの交換を行った。なお、交換前のプローブを含む DH-2 号孔の全センサー出力値については、出力許容値を十分満足していることが確認されている。

DH-2 号孔では瑞浪超深地層研究所研究坑道内での作業(発破・削孔・水理試験等)に対する明瞭な水理応答が認められ、全体としては水位低下傾向である。

DH-15 号孔では、周辺の水圧に影響を及ぼす瑞浪超深地層研究所の立坑作業(発破・削孔・水理試験等)に対する明瞭な水理応答が認められないものの、9 月中旬から 12 月末までの期間で水位の低下勾配に変化がみられる。また、期間全体としては水位低下傾向である。

A-3-2. DH-11 号孔の間隙水圧変化

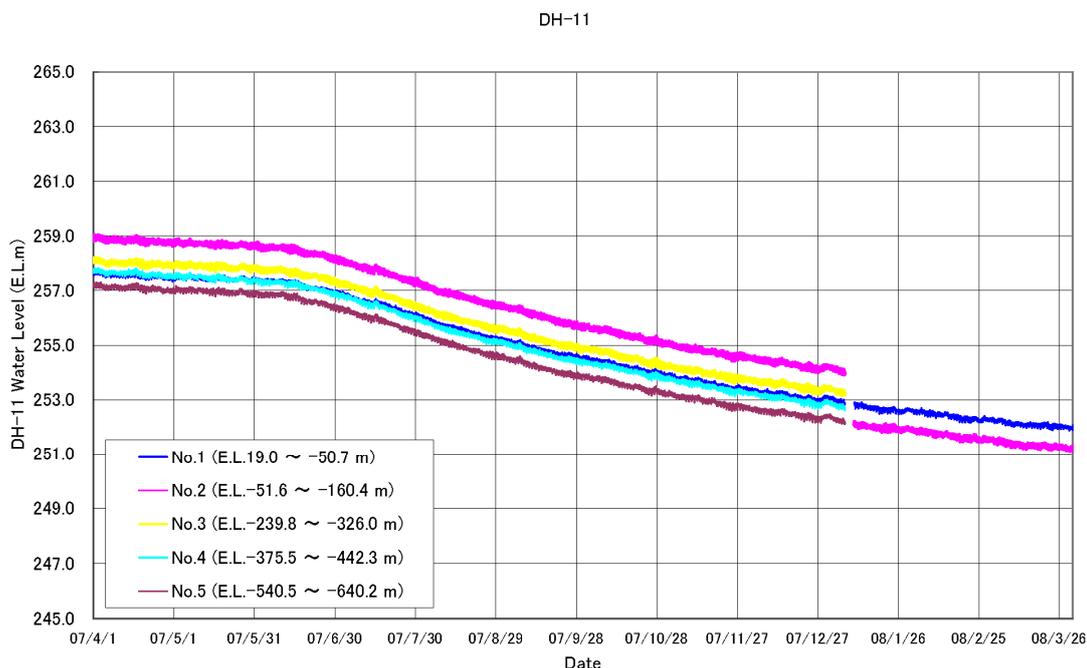


図 A-4 DH-11 号孔の間隙水圧変化
(観測区間は全て花崗岩)

DH-11 号孔では、メンテナンスの結果から、設置している水圧観測プローブ 5 本のうち 3 本で電気的なトラブルが生じており、継続的な使用が困難と判断された。そのため、メンテナンス以降(2008 年 1 月 9 日以降)、No.1 と No.2 区間のみで観測を行っている。その際、No.2 では、メンテナンス前後で約 1.5m の値のずれが生じているが、水圧観測プローブのセンサー出力値を比較した結果、前回の出力値の方がやや真値よりはずれており、今回の方が真値に近い結果が得られている。

DH-11 号孔においては、全体的なトレンドとして水位低下傾向が生じている。また、6 月中旬頃から水位低下傾向の変化がみられるが、原因は不明である。

A-3-3. 地震に対する水理応答

2007 年 4 月から 2008 年 3 月までに各地で発生した地震のうち、DH-2 号孔または DH-15 号孔で水理応答が認められた地震とその水理応答状況を表 A-1 に示す。なお、DH-11,13 号孔についてはデータ取得間隔が 30 分と長いため除外する。

表 A-1 2007 年 4 月～2008 年 3 月に発生した主な地震とその水理応答

名称	日	時	マグネ チュード	震源深さ (m)	瑞浪市 での震度	水位変動	
						DH-2	DH-15
三重県中部地震	2007/04/15	12:19	M5.4	16	2	上下微動	上下微動
新潟中越沖地震	2007/07/16	10:13	M6.8	17	2	上下微動	変化なし
ペルー地震	2007/08/16	08:40	Mw8.0	-	-	上下微動	変化なし
スマトラ地震	2007/09/12	20:10	Mw8.4	34	-	上下微動	変化なし

新潟中越沖地震において、DH-2 号孔では、地震発生とほぼ同時に水位の上下挙動が生じるとともに、地震前後で水位値にずれが生じた。また、わずかに水圧の変動傾向に変化が生じた(上昇傾向)可能性があるものの、確認された上昇傾向は、瑞浪超深地層研究所の立坑の掘削作業においても比較的頻繁に確認されているため、今回の地震による影響としては、明確である上下微動のみとした。

その他の地震においても幾つかの地震直後に水圧の上下動が確認されたものの、地震を境にした明確な水圧変動傾向の変化は確認されなかった。

【DH-2 号孔】

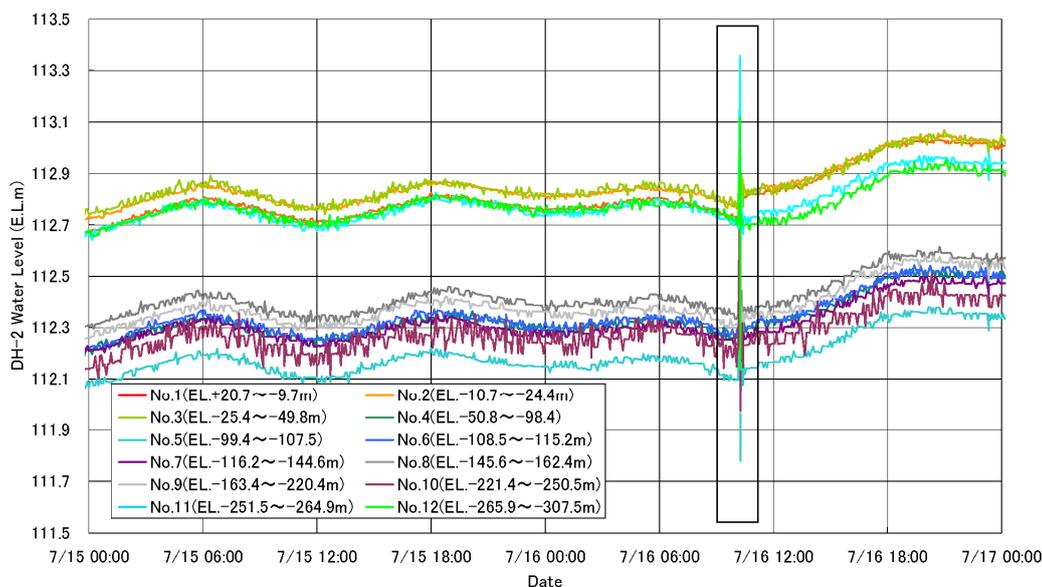


図 A-5 DH-2 号孔の水位変化
(観測区間は全て花崗岩)

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) とよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(e)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照度	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
放射線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で "radioactivity" と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70.205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎平方メートル	J/m ²	kg s ⁻³
比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電荷の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面積	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射線当量	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
放射線当量率	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨ	Y	10 ⁻¹	デ	d
10 ²¹	ゼ	Z	10 ⁻²	セ	c
10 ¹⁸	エク	E	10 ⁻³	ミ	m
10 ¹⁵	ペ	P	10 ⁻⁶	マイ	μ
10 ¹²	テ	T	10 ⁻⁹	ナ	n
10 ⁹	ギ	G	10 ⁻¹²	ピ	p
10 ⁶	メ	M	10 ⁻¹⁵	フェ	f
10 ³	キ	k	10 ⁻¹⁸	ア	a
10 ²	ヘ	h	10 ⁻²¹	ゼ	z
10 ¹	デ	da	10 ⁻²⁴	ヨ	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=1l=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =10 ⁻¹² cm ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1G cm ⁻² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁴ T
エルステッド (c)	Oe	1 Oe≐ (10 ³ /4π)A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≐」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー), 4.184J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

