

図 64 HDB-6 孔の水圧観測結果（平成 31 年 4 月～令和 6 年 3 月）
水圧データが途切れている期間は、センサーの不具合によるデータの欠測期間です。

(2) 地下水と岩石の地球化学

地下施設の建設に伴う坑道周辺の地下水の水質の時間的な変化を把握することを目的として、坑道内で採取した地下水の pH や電気伝導度*、酸化還元電位などの物理化学パラメータを測定するとともに、採取した地下水の水質を分析しています。

令和 5 年度は、令和 4 年度に引き続き、地下施設の 3 本の立坑に設置された声問層および稚内層に位置する集水リング*や 140m、250m および 350m 調査坑道から掘削されたボーリング孔などから採取した地下水の溶存成分を分析しました。また、試験坑道 4（図 2 参照）にて実施している人工バリア性能確認試験で使用した注水試料と試験坑道 4 の壁面からわずかに染み出している地下水も分析しました。図 65 に集水リングとボーリング孔の位置を、図 66 に一例として 350m 調査坑道から掘削したボーリング孔の塩化物イオン濃度の分析結果を示します。

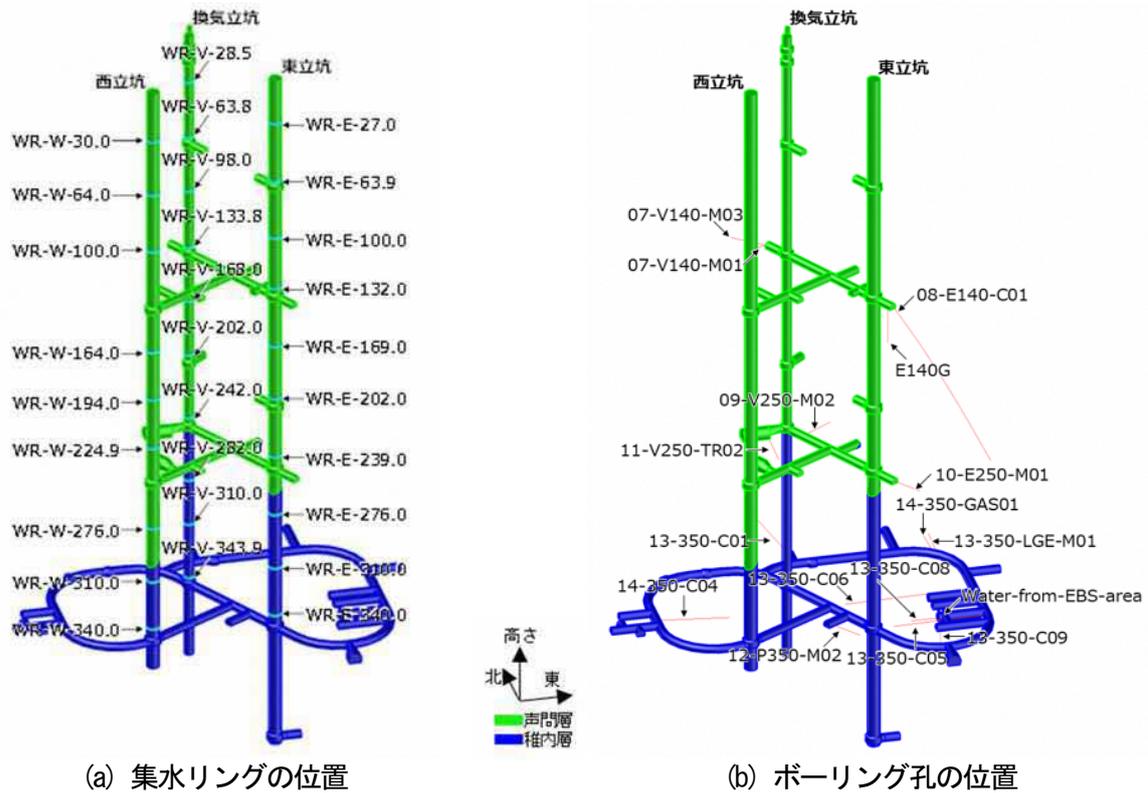


図 65 地下水の採取箇所

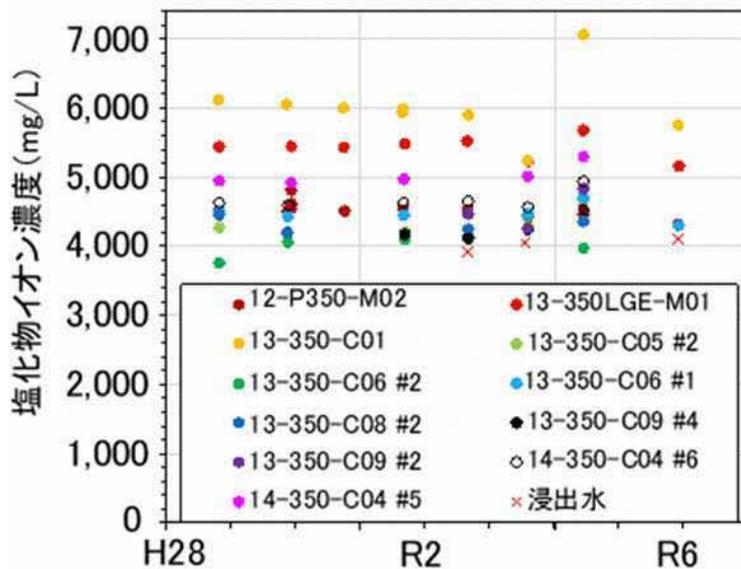


図 66 地下水の塩化物イオン濃度の経時変化の一例

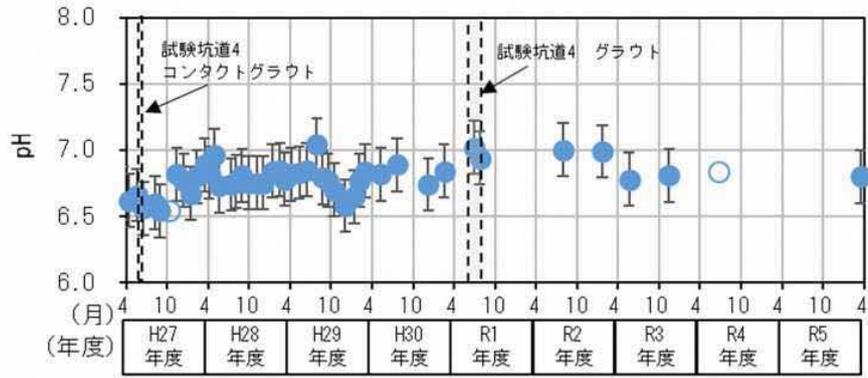
350m 調査坑道のボーリング孔に関しては、試験坑道 1 (図 2 参照) に位置する 13-350-C01 孔の地下水の塩化物イオン濃度が令和 3 年と令和 4 年に大きな増減があったものの、令和 5 年度には令和 2 年度より前に示していた濃度に近い値を示しました。試験坑道 1 では、令和 3 年度に人工バリアやプラグ、

埋め戻し部の解体工事を行った^⑧ことから、この工事による何らかの影響で水質変化が生じたものの、令和5年度にはその影響が小さくなった可能性があります。一方で、350m 調査坑道に位置する他のボーリング孔は、観測開始（平成24年度～平成26年度）から令和5年度まで塩化物イオン濃度の大きな変化は認められていません。

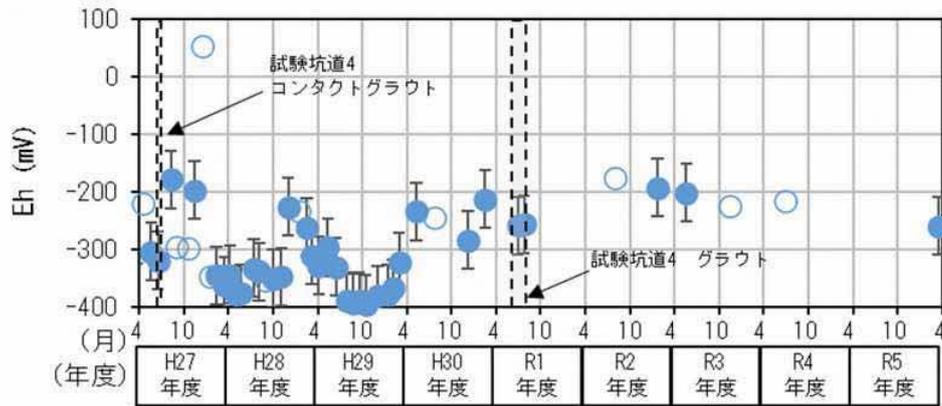
350m 調査坑道に設置した水圧・水質モニタリング装置を用いたモニタリングを、令和5年度も継続しました。装置の設置箇所を図67に示します。試験坑道掘削後の経時変化の把握や観測装置の長期的な性能確認の一環として、13-350-C05孔、13-350-C06孔、13-350-C07孔、13-350-C08孔および13-350-C09孔（以下、C05、C06、C07、C08およびC09）の5孔を用い、水圧・水質モニタリングを継続しました。C08における水圧モニタリングの結果を図68に示します。試験坑道4では、平成26年度に人工バリア性能確認試験における坑道の一部を埋め戻すとともにコンクリートプラグを設置し、平成27年度にコンクリートプラグ外周の岩盤に放射状にグラウトを注入しました（コンタクトグラウト）。坑道の埋め戻し部分を冠水させるため、平成27年1月から試験孔底および埋め戻し範囲の坑道外周に注水を開始しており、急激な注水による緩衝材の流出現象^{*}などを避けるために、段階的に注水量を増加させています。これに伴い、埋め戻し範囲に位置するC07、C08およびC09のうち、C08（水平孔）およびC09（鉛直下方孔）の最浅部である区間4（試験坑道4に最も近い区間）において水圧が上昇する傾向が確認されています。C08の区間4では、注水量を大幅に増加させた平成28年11月と令和元年12月には、0.05 MPa程度の水圧の上昇が確認されています。一方で、令和2年7月に、注水量を減少させた際には、同区間において、0.05 MPa程度の水圧の減少が確認されています。令和5年度は、4月から5月および8月から9月にかけて人工バリア内への注水圧を一時的に低下させており、同期間において区間4の水圧の変化が確認されました。

試験坑道の掘削後、水圧の低下に伴い地下水中の溶存ガスが遊離した影響により、水質モニタリングの継続可能な箇所は限定されつつあります。図 69 に一例として、C08 の区間 2 における pH および酸化還元電位 (Eh) の観測結果を示します。C08 では、地下水の pH は 7 程度 (図 69(a))、酸化還元電位は $-300\text{ mV} \sim -200\text{ mV}$ 程度でした (図 69(b))。これらの結果は、これまでの測定値と概ね同様の傾向を示しており⁽⁴⁶⁾、試験坑道 4 周辺に分布する地下水の水質には顕著な変化は生じていません。なお、一部のデータで電極の劣化や表面への汚れ・気泡の付着、遊離ガスによる地下水循環の停止などの影響が示唆されました。これらのデータは、「信頼性が劣る可能性のあるデータ」として示しています (図 69 の○)。信頼性の高いデータを取得するために必要な観測装置の定期的なメンテナンスも継続して行いました。

これらのデータは、令和 2 年度以降の必須の課題のひとつである「人工バリア性能確認試験」における熱－水理－力学－化学連成挙動の解析で、人工バリアの外側境界条件となる周辺岩盤中の水圧や水質条件の設定に反映されます。今後も水圧・水質モニタリングを継続し、地下水の水質分布や水質の時間的な変化を評価していきます。



(a) pH



(b) 酸化還元電位

図 69 C08 の区間 2 における水質モニタリング結果

白抜きのデータ (○) は信頼性が劣る可能性のあるデータを示しています。

(3) 岩盤力学

平成 21 年度に東立坑の深度 160 m に設置した光ファイバー式地中変位計により、岩盤変位の長期モニタリング性能を検証しています。また、幌延の長期的な支保工の変形挙動の確認にあたっては、電気式のセンサーも十分活用できることが分かっていることから⁽⁴⁷⁾、光ファイバー式地中変位計設置箇所付近に設置した電気式の鋼製支保工応力計による計測データも活用しています。それぞれの計測器の設置レイアウトを図 70 に示します。

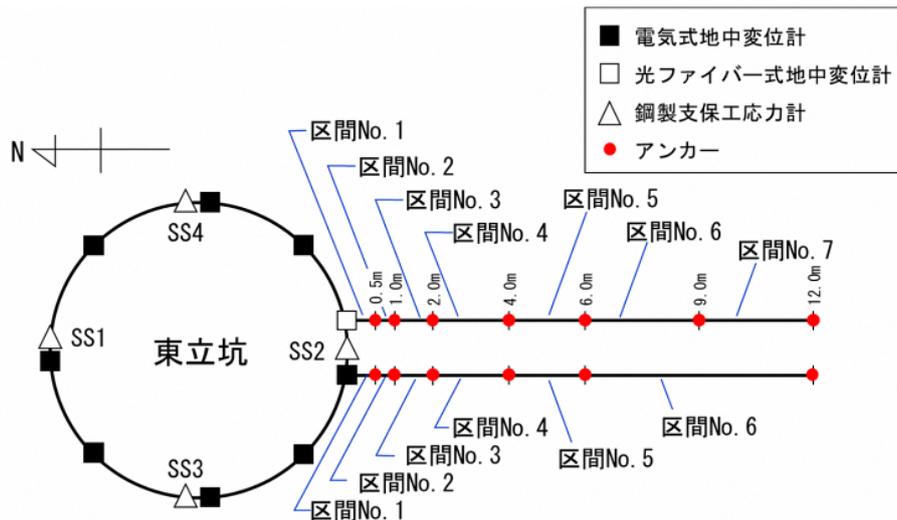


図 70 計測器設置位置図

地中変位の計測結果を図 71 に示します。計測器設置後約 15 年間の変位は、立坑壁面に最も近い区間 No. 1 で約 5.0 mm 縮む挙動を示しており、他の区間に比べて変位量が大きいことが分かります。また、区間 No. 3 を除き変位量は小さいものの、縮む挙動を示しており、平成 27 年度以降の変位は収束傾向にあることが分かります。このことから、立坑掘削後は、約 5 年間かけて徐々に圧縮方向に岩盤が 1 mm 程度変形した後、変位が収束していくことが分かります。図 72 に示す鋼製支保工応力計では、北側に位置する SS1 において約 155 MPa の値を示しており、他の計測点に比べ応力が大きいことが分かります。しかし、既存の支保工以上に追加の工学的対策を施すほどの応力状態には達していません。なお、掘削後も SS2 の観測点を除き、全計測点で時間とともに応力がわずかに増大する傾向にあります。

今後もデータの蓄積を進め、立坑掘削による周辺岩盤および支保工の長期的な変形挙動をモニタリングするとともに、装置の健全性の確認を継続し、計測手法の信頼性を高めていく予定です。

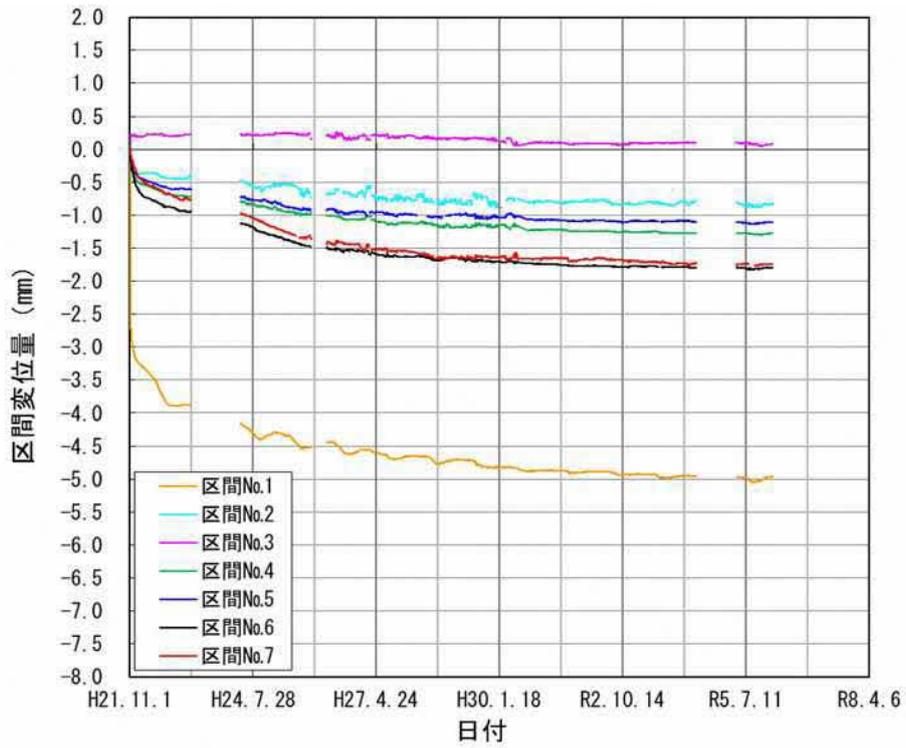


図 71 光ファイバー式地中変位計による計測結果

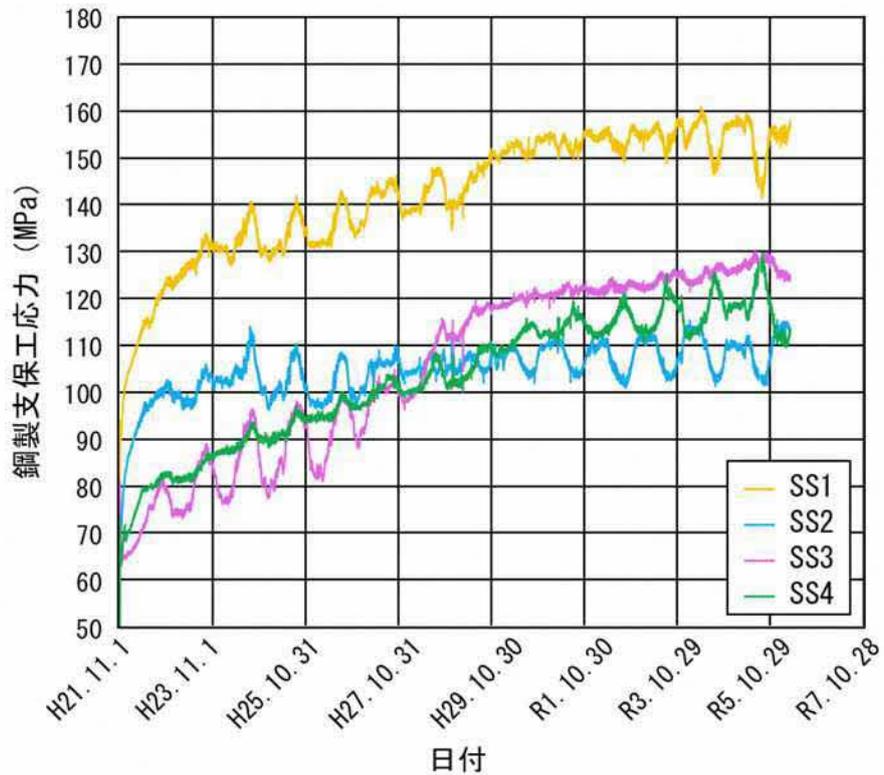


図 72 鋼製支保工応力計の計測結果

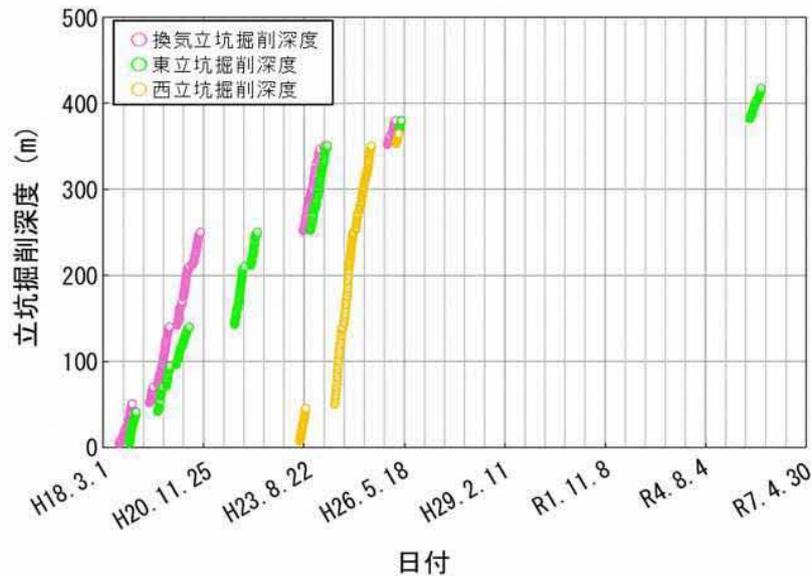
(4) 坑道掘削の影響に関する調査技術の開発

地表面から坑道掘削時の地下深部の岩盤や地下水の挙動をモニタリングする技術を確立することを目的として、立坑の周辺（換気立坑から半径100 m以内）に9台（図 3 参照）、東立坑の深度140 mの接続部付近に1台、立坑周辺から1 km程度離れたHDB-8孔近傍（図 4 参照）に1台の高精度傾斜計を配置し、坑道掘削に伴う地表付近における岩盤の傾斜の変化を計測しています。令和5年度も、過年度までと同様の方法⁽⁴⁸⁾で計測データ（直交する2方向での傾斜角度の時系列データ）に含まれるノイズ成分を除去した後、計測した傾斜データと坑道掘削時の工程との対比を行いました。

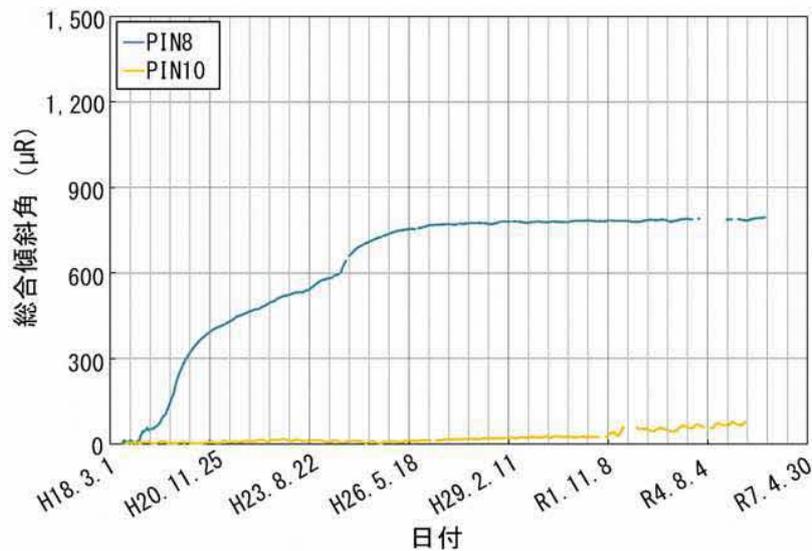
令和5年度は、350m調査坑道の拡張および深度500 mに向けた掘削工事が再開されましたが、全体的な傾向として、傾斜量は深度350 mまでの掘削時と比較してほとんど変化していないことが確認されました。立坑の掘削工程およびPIN8（東立坑近傍）、PIN10（HDB-8孔近傍）の傾斜量を図 73 に示します。

図 73(b)から、PIN8では、令和4年度までの坑道掘削を行っていない維持管理期間に傾斜変化はほぼありませんでした。一方、PIN10では、坑道掘削の有無に関わらず過去から現在に至るまで地表の傾斜はほとんど観測されていません。

これまでの計測データにより、掘削地点の近傍にある高精度傾斜計によって地下深部の坑道の掘削に伴う地表付近での微小な傾斜量やその傾斜方向が検知できることを確認しました。また、立坑から遠い場所や立坑の掘削深度が深くなると地表面近くの傾斜がほぼ生じない傾向も捉えられました。今後引き続き傾斜量および傾斜方向のモニタリングを継続するとともに、地下深部の岩盤の挙動との関係性を詳細に検討していきます。



(a) 立坑の掘削工程



(b) PIN8 および PIN10 の傾斜量

縦軸の単位 μR (マイクロラジアン) は角度の単位で、1,000 μR が約 0.06° に相当します。

図 73 立坑の掘削工程と傾斜量の比較

(5) 地震観測

地下施設内の 4 台の地震計および地表の 1 台の地震計で地震観測を実施しています。気象庁一元化震源データより作成した令和 5 年 4 月 1 日から令和 6 年 3 月 31 日までの幌延深地層研究センター周辺の震央分布を図 74 に示します。この期間中、気象庁の発表では、幌延町宮園で震度 1 以上の地震は 6 回発生しました (表 4)。これらの地震は、全て宗谷地方北部を震源とする地震であり、幌延町では最大震度 2 を記録しました。図 75 にこれらの地震の震央を示し、地震の地下施設での観測波形を図 76 に示します。地震の波形データ

からは、地表に比べて地下では揺れ（震度）が小さくなっていることが分かります。

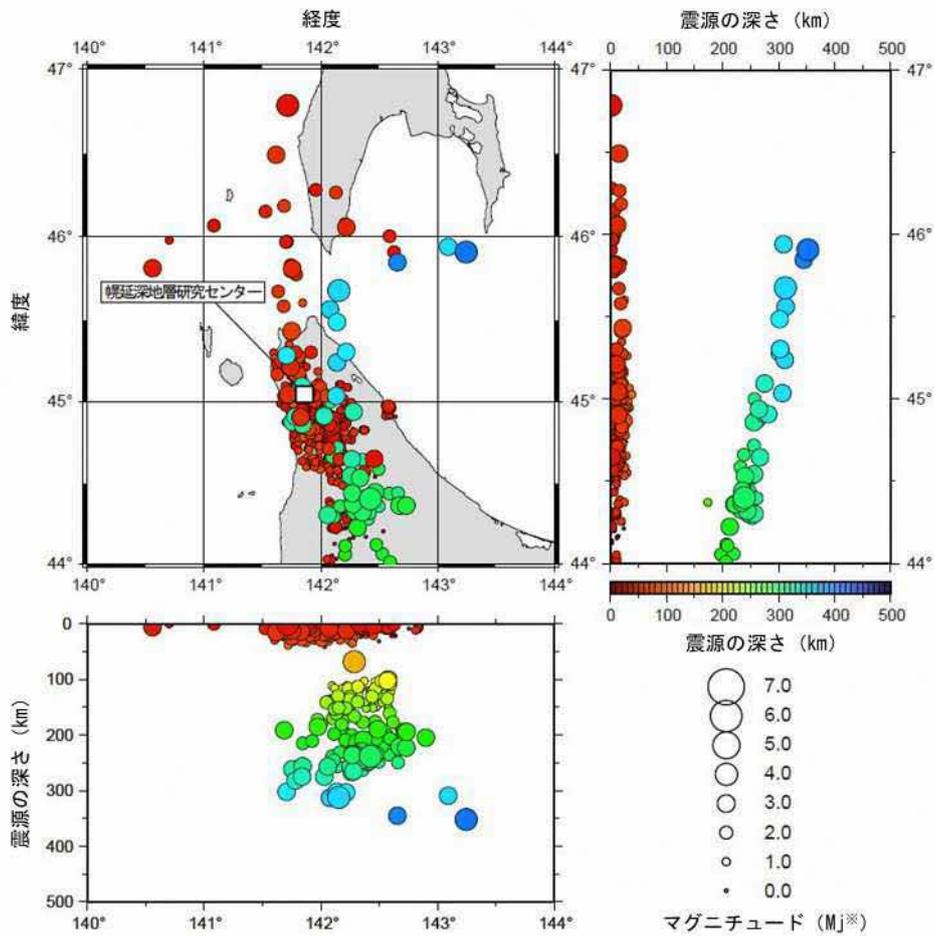


図 74 幌延深地層研究センター周辺で起きた地震の震央分布
作図には GMT (Generic Mapping Tools) を使用しました。

表 4 幌延町宮園で観測された震度 1 以上の地震

地震の発生日時		震央地名	緯度	経度	深さ (km)	Mj	震度	
日付	時刻						幌延町宮園	最大震度
令和 5 年 8 月 12 日	23:30:28.1	宗谷地方北部	45° 03.3' N	141° 52.4' E	0	3.0	2	2
令和 5 年 8 月 13 日	09:38:24.2	宗谷地方北部	45° 03.2' N	141° 52.5' E	0	2.6	2	2
令和 5 年 8 月 24 日	10:59:44.1	宗谷地方北部	45° 02.8' N	141° 52.3' E	0	1.6	1	1
令和 5 年 11 月 5 日	07:15:47.5	宗谷地方北部	45° 00.0' N	141° 52.0' E	9	2.0	1	1
令和 6 年 1 月 11 日	17:31:47.7	宗谷地方北部	45° 02.2' N	141° 56.5' E	12	2.4	2	2
令和 6 年 1 月 16 日	20:13:49.3	宗谷地方北部	45° 02.6' N	141° 43.2' E	13	2.6	1	1

気象庁震度データベース検索より

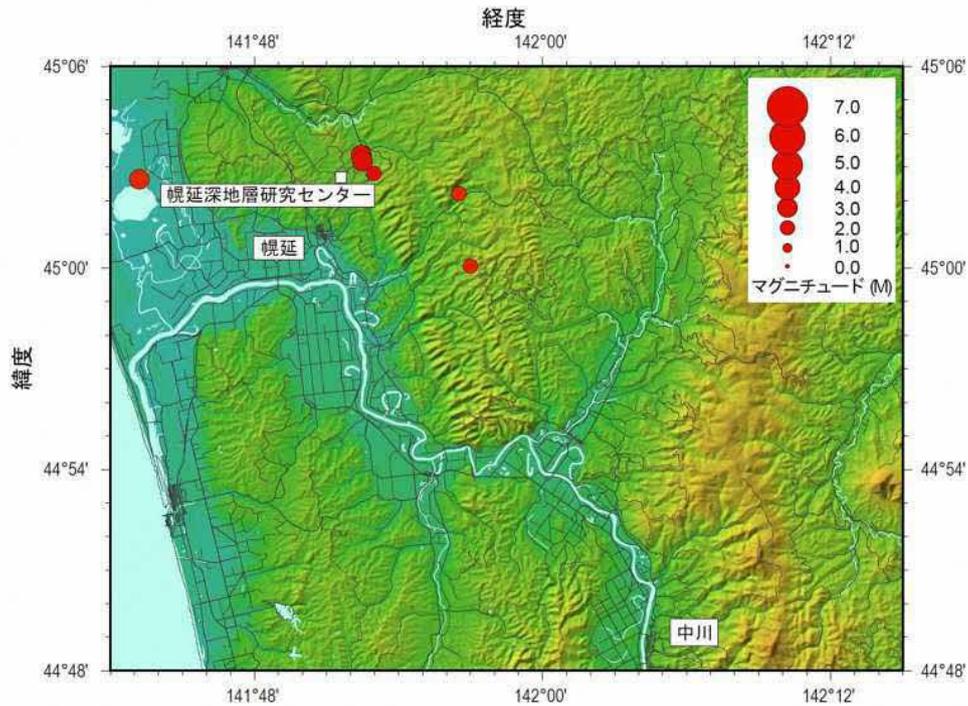


図 75 幌延町宮園で震度 1 以上を観測した地震の震央図

令和 5 年 4 月 1 日から令和 6 年 3 月 31 日までに発生した宗谷地方北部（幌延深地層研究センター周辺）の震央を示します。作図には GMT および地理院地図の識別標高図を使用しました。

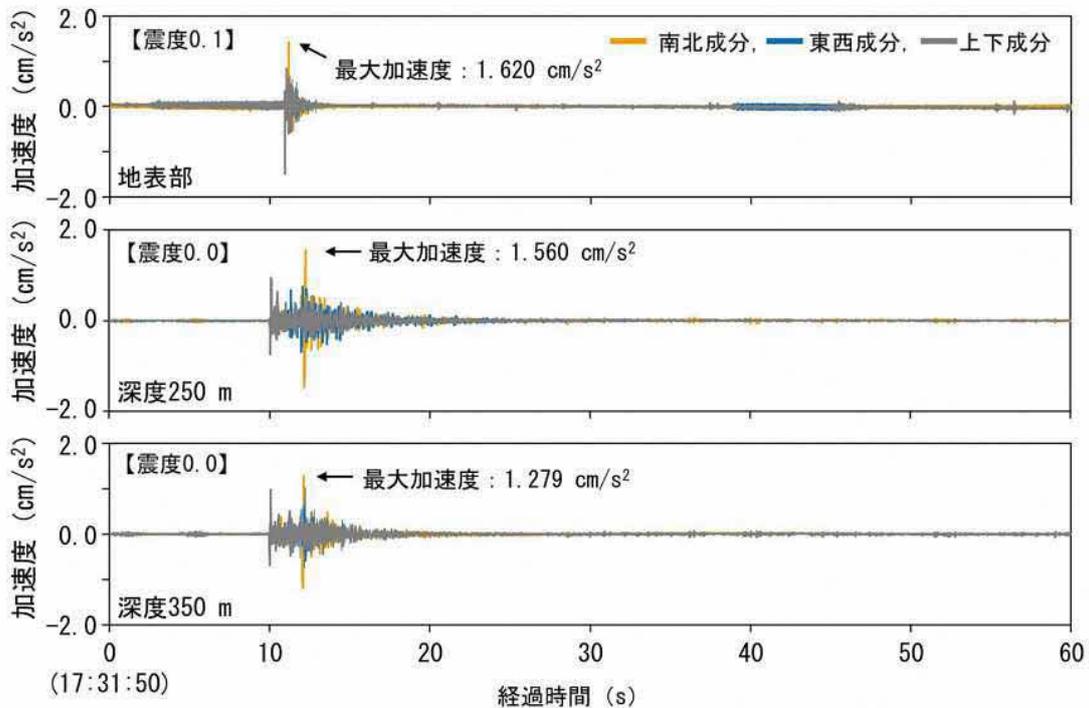


図 76 地表および地下施設で観測された地震の波形の例

令和 6 年 1 月 11 日 17:31:50 から 60 秒間の観測波形を示します。図中に記載の震度は気象庁の計測深度算出法により算出しました。

8. 地下施設の建設・維持管理

(1) 地下施設の整備

令和5年度は、PFI^{*}契約による地下施設整備を再開し、表5に示すとおり、350m調査坑道の掘削、立坑の湧水対策および掘削を実施しました。350m調査坑道については、試験坑道6から掘削を開始し、試験坑道7、350m東立坑側第1ボーリング横坑と順次掘削を行い（図2参照）、予定した総延長66mの坑道整備を令和6年1月に完了しました。図77に試験坑道6（坑道延長25m）の整備完了の状況を示します。立坑については、掘削前に湧水を抑制するための湧水抑制対策を実施した後、排気管延長などの掘削準備を行い、深度500mに向け、東立坑および換気立坑の掘削に着手しました（図78）。令和6年3月31日現在の立坑の掘削深度は、東立坑で深度424m、換気立坑で深度393mです。なお、換気立坑の湧水抑制対策における先行ボーリング調査の結果、湧水や岩盤の割れ目などが新たに確認されたことから、全体工程の更新を行い（令和5年8月公表）、湧水抑制対策による改良範囲を拡充しました。更新後の工程については、改良範囲の拡充が必要となった換気立坑に替わり、東立坑から掘削を開始することとし、併せて施工方法などの見直しを行うことで、今後の工程への影響が最小限となるようにしました。また、東立坑掘削において、覆工コンクリートの打設高さを2mで計画しましたが、落石などに対する予防処置として1mごとにしたため、当初の工程から遅れが生じていますが、今後の工程での調整が可能であることから、施設整備の完了時期に影響は生じない予定です。

掘削に際しては、可燃性ガスに考慮し、作業の安全を確保するため、切羽（掘削箇所では岩盤が露出している部分）での防爆仕様機器の使用やガス濃度測定などの対策を徹底して工事を進めています。

表 5 地下施設整備の実績工程表（令和 5 年度）

	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
350m調査坑道	準備 掘削			仕上
換気立坑	湧水抑制対策			準備 掘削
東立坑	湧水抑制対策		準備 掘削	
西立坑				湧水抑制対策

■ 当初の工程（令和5年4月）、■ 更新後の工程（令和5年8月公表）、■ 実績



図 77 350m 調査坑道整備完了状況（試験坑道 6）



図 78 東立坑の掘削状況

(2) 地下施設の維持管理

令和 5 年度は、地下施設の維持管理として、櫓設備や電気設備などの運転・点検保守および排水処理設備（濁水処理設備など）の更新を行いました（図 79）。

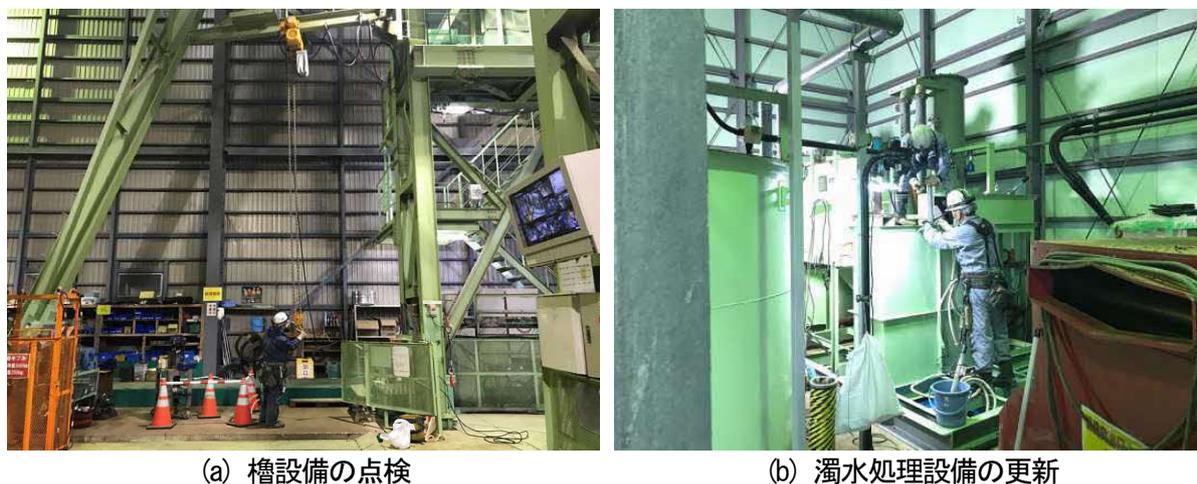


図 79 地下施設の維持管理状況

(3) 掘削土（ズリ）の管理

坑道の掘削により発生する掘削土（ズリ）には、重金属などが含まれていますが、自然由来であることから土壤汚染対策法の適用外となっています。しかし、幌延深地層研究センターでは、周辺環境の保全に万全を期すため、土壤汚染対策法に準拠した管理を行っています。具体的には、掘削土（ズリ）の土壤溶出量が土壤汚染対策法に定める第 2 溶出量基準値を超過していないことを確認（9.2 参照）した後、同法の遮水工封じ込め型に準じた二重遮水シート*構造（図 80）とした掘削土（ズリ）置場に搬入し、保管しています。

また、令和 5 年度は、掘削再開に伴う掘削土（ズリ）の増加に備え、搬入用道路の造成工事を併せて実施しました（図 81）。

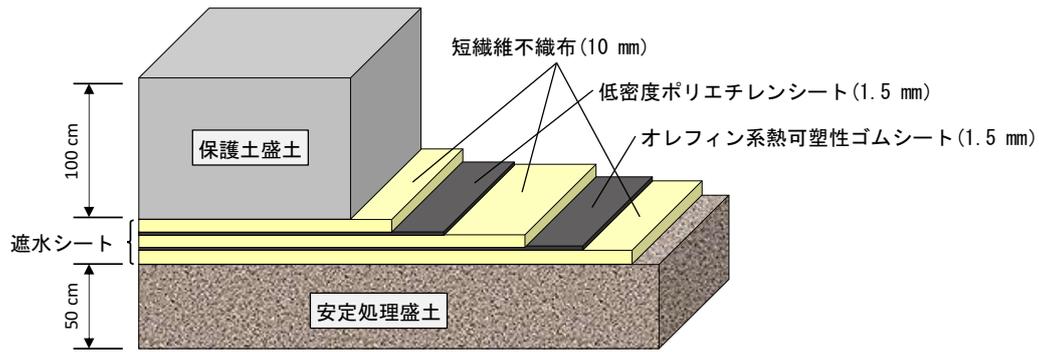


図 80 二重遮水シートの構造

遮水シートの上に保護土盛土を行い、その上に掘削土（ズリ）が保管されています。



図 81 掘削土（ズリ）置場搬入用道路の造成工事の様子

(4) 排水の管理

地下施設からの排出水と掘削土（ズリ）置場に設置している浸出水調整池の浸出水については、硝酸性窒素処理設備、濁水処理設備、脱ホウ素設備、脱窒素設備および揚水設備から構成される排水処理設備（図 82）で処理を行っています。処理済排水は、排水基準値を超過していないことを確認（9.1(2)参照）した後、排水管路を通じて天塩川へ放流しています。



(a) 硝酸性窒素処理設備



(b) 濁水処理設備



(c) 脱ホウ素設備(1号機)



(d) 脱ホウ素設備(2号機)



(e) 脱窒素設備



(f) 揚水設備

図 82 排水処理設備

9. 環境調査

令和4年度に引き続き地下施設からの排水などの水質調査および研究所用地周辺の環境影響調査を実施しました。

また、地下施設整備の再開に伴い、掘削土（ズリ）の土壌溶出量調査を実施しました。

9.1 排水量および水質調査結果

排水処理設備から天塩川へ放流している排水量について監視を行うとともに、排水処理前後の水質、天塩川の水質、浄化槽排水の水質について、調査を行っています。また、掘削土（ズリ）置場の周辺環境への影響を監視するため、清水川および掘削土（ズリ）置場周辺の地下水についても水質調査を行っています。

なお、水質の分析については、公的な分析資格を持つ民間の会社に委託しています。本調査の対象となっている排水系統と各水質調査の採水地点を図83に示します。

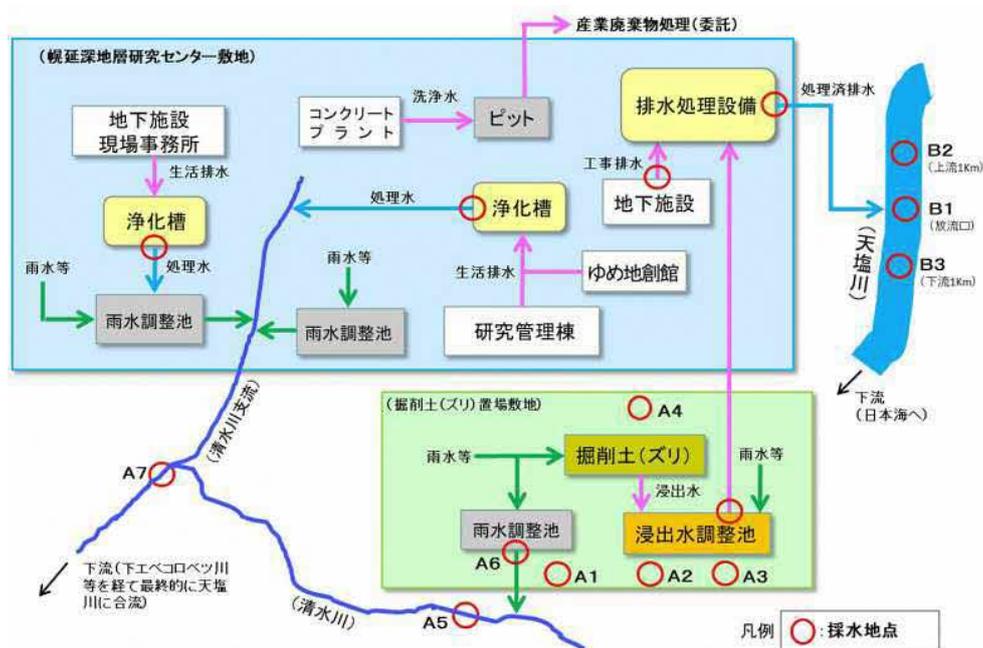


図 83 排水系統と各水質調査の採水地点

(1) 天塩川への排水量

地下施設からの排水および掘削土（ズリ）置場の浸出水は、排水処理設

備において処理を行った後、排水管路を通じて天塩川に放流しています。

令和5年度における天塩川への排水量は表6に示すとおりです。合計排水量は、掘削工事再開に伴う工事用水の増加や降雨などの影響により、63,060 m³と前年度同時期(51,262 m³)の約123%でした。日最大排水量は、降雨により増水した掘削土(ズリ)置場の浸出水を多く処理した8月の502 m³が最大値となりましたが、観測期間を通じて北るもい漁業協同組合との協定値(750 m³/日)を満足しています。また、月排水量および日平均排水量についても8月が最大であり、月排水量が7,150 m³、日平均排水量が230.6 m³でした。

表6 天塩川への排水量

年月	月排水量 (m ³)	日最大排水量 (m ³) 注1	日平均排水量 (m ³) 注2
令和5年4月	5,058	278	168.6
令和5年5月	3,992	248	128.8
令和5年6月	4,403	250	146.8
令和5年7月	5,181	349	167.1
令和5年8月	7,150	502	230.6
令和5年9月	6,692	361	223.1
令和5年10月	6,287	323	202.8
令和5年11月	5,910	375	197.0
令和5年12月	5,175	371	166.9
令和6年1月	3,899	345	125.8
令和6年2月	4,470	302	154.1
令和6年3月	4,843	304	156.2
合計	63,060	—	—
最大値	7,150 (8月)	502 (8月)	230.6 (8月)

注1：北るもい漁業協同組合との協定値は750 m³/日です。

注2：月排水量を各月の日数で除した値を示しています。

(2) 地下施設からの排水の水質調査結果

地下施設から排出される「立坑の原水」および「掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水」については、図84に示すとおり、濁水処理、脱ホウ素処理、脱窒素処理(アンモニア性窒素)を行った後、「揚水設備における処理済排水」として排水管路を通じて天塩川に放流しています。また、「掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水」については、貯留時に硝化菌の働きによ

って生成される硝酸性窒素についても処理を行っています。これらの排水については、排水処理の前と後で定期的（原則1回/月）に水質調査を実施しています。

令和5年度における水質調査結果は、表7に示すとおりで、排水基準を超える処理済排水はありませんでした。また、「立坑の原水」における浮遊物質量が、過去最大となりましたが、掘削工事再開に伴う濁水の発生によるものであり、濁水処理設備において適切に処理が行われています。なお、「掘削土（ズリ）置場浸出水調整池の原水」については、これまでの調査結果と同等でした。

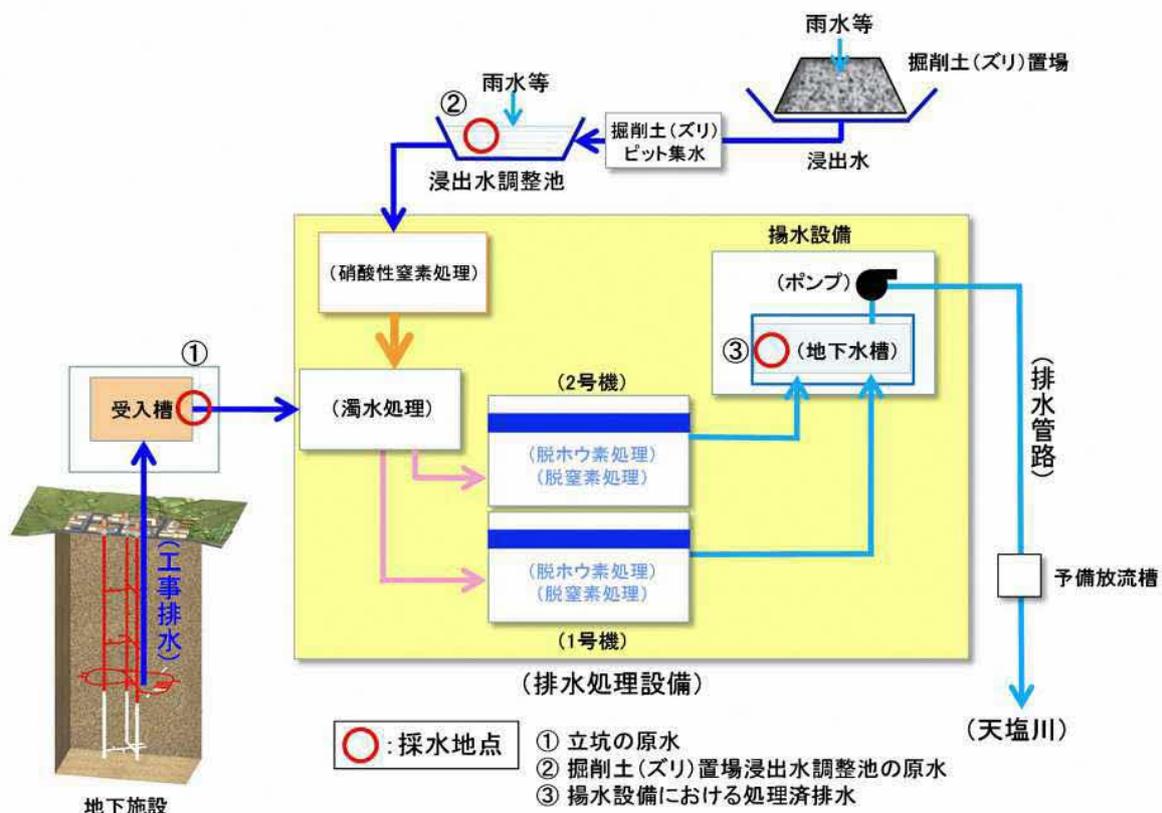


図 84 地下施設からの排水処理フローと水質調査の採水地点

表 7 地下施設からの排水に係る水質調査結果

分析項目 ^{注1}	採水地点 ^{注2}	過年度	令和4年度	令和5年度	(参考値) 水質汚濁防止法 排水基準
		平成18年12月 ～令和4年3月	令和4年4月 ～令和5年3月	令和5年4月 ～令和6年3月	
カドミウム ^{注3} (mg/L)	立坑の原水	<0.01	<0.003	<0.003	0.03
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.01	<0.003	<0.003~0.003	
	揚水設備における処理済排水	<0.01	<0.003	<0.003	
ヒ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.01~0.08	<0.01	<0.01~0.08	0.1
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.01~0.02	<0.01	<0.01	
	揚水設備における処理済排水	<0.01~0.02	<0.01	<0.01	
セレン (mg/L)	立坑の原水	<0.01~0.02	<0.01	<0.01~0.01	0.1
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.01~0.04	<0.01~0.01	<0.01~0.02	
	揚水設備における処理済排水	<0.01	<0.01	<0.01~0.01	
フッ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.8~3.5	<0.8	<0.8~2.2	8
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.8	<0.8	<0.8	
	揚水設備における処理済排水	<0.8~1.6	<0.8	<0.8	
ホウ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.1~160	65~81	33~84	10
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.1~37	2.3~5.8	2.0~6.3	
	揚水設備における処理済排水	<0.1~3.0	<0.1~0.8	<0.1~0.5	
全窒素 (mg/L)	立坑の原水	0.41~117	55~71	48~80	120 (日間平均 60)
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	3.0~150	19~33	19~50	
	揚水設備における処理済排水	0.60~48	10~21	14~36	
全アンモニア (mg/L)	立坑の原水	0.12~110	38~60	22~63	—
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	0.12~22	0.14~1.1	0.11~1.3	
	揚水設備における処理済排水	<0.05~6.8	<0.05	<0.05	
pH	立坑の原水	7.5~9.5	8.1~8.3	8.1~8.8	5.8~8.6
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	6.7~8.7	7.3~8.3	7.2~7.9	
	揚水設備における処理済排水	6.9~8.6	7.4~8.0	6.7~7.8	
浮遊物質 質量 (mg/L)	立坑の原水	4~580	3~78	430~6,400	200 (日間平均 150)
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	1~170	3~6	3~10	
	揚水設備における処理済排水	<1~9	<1	<1~1	
塩化物イオン (mg/L)	立坑の原水	20~4,300	2,900~3,700	1,700~4,000	—
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	10~1,500	60~170	48~170	
	揚水設備における処理済排水	38~4,700	1,700~3,100	1,200~2,800	

注1：主な分析項目を抜粋しています。

注2：採水地点を図 84 に示します。

注3：カドミウムの定量下限値について、令和4年度より排水基準の1/10 (<0.003 mg/L) に見直しました。

(3) 天塩川の水質調査結果

地下施設からの排水の放流先である天塩川の採水地点（図 85）において、定期的（原則1回/月）に採水し（図 86）、水質調査を実施しています。

令和5年度における調査結果は、表 8 に示すとおりです。浮遊物質量について、北るもい漁業協同組合との協定値（20 mg/L）を超過した時期（4月、5月）がありましたが、同日に採取した揚水設備における処理済排水の浮遊物質量は低い値（<1 mg/L）であり、放流口の上流側（B2）でも同程度の高い値を示していたことから、地下施設からの排水の影響ではなく、融雪や降雨などの自然的な要因によるものと考えられます。その他の調査項目については、協定値の範囲内であり、天塩川の水質に影響を与えていないものと判断しています。



図 85 天塩川の採水地点

地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工し、採水地点などを追記しています。



(a) 採水試料



(b) 採水状況

図 86 天塩川での採水状況（令和5年4月5日）

表 8 天塩川の水質調査結果

分析項目 ^{注1}	採水地点 ^{注2}		過年度		令和5年度	北るもい 漁業協同組合 協定値
			放流前 平成18年6月 ～平成18年11月	放流後 平成18年12月 ～令和5年3月	令和5年4月 ～令和6年3月	
ホウ素 (mg/L)	B1	表層	<0.02~0.04	<0.01~0.35	0.01~0.08	5
		中層	—	<0.01~3.5	0.01~0.95	
		深層	<0.02~3.35	<0.01~4.9	0.01~4.5	
	B2	表層	<0.02~0.04	<0.01~0.27	0.01~0.03	
		中層	—	<0.01~3.7	0.01~1.1	
		深層	<0.02~3.28	<0.01~5.0	0.01~4.4	
	B3	表層	<0.02~0.07	<0.01~0.28	0.01~0.10	
		中層	—	<0.01~2.5	0.01~0.95	
		深層	<0.02~1.03	<0.01~5.0	0.01~3.8	
全窒素 (mg/L)	B1	表層	0.37~1.06	0.11~2.2	0.32~1.7	20
		中層	—	0.15~2.2	0.31~1.4	
		深層	0.42~1.50	0.15~6.5	0.30~0.78	
	B2	表層	0.37~1.14	0.14~2.2	0.32~1.8	
		中層	—	0.15~2.3	0.33~1.5	
		深層	0.4~1.16	0.16~2.3	0.31~0.78	
	B3	表層	0.4~1.31	0.16~2.2	0.30~1.7	
		中層	—	0.11~2.3	0.32~1.4	
		深層	0.49~1.24	0.16~2.3	0.32~0.76	
全アンモニア (mg/L)	B1	表層	—	<0.05~0.83	<0.05~0.08	2 ^{注3}
		中層	—	<0.05~0.92	<0.05~0.08	
		深層	—	<0.05~0.85	<0.05~0.07	
	B2	表層	<0.01~0.13	<0.05~0.89	<0.05~0.09	
		中層	—	<0.05~0.76	<0.05~0.09	
		深層	0.01~0.35	<0.05~0.85	<0.05~0.08	
	B3	表層	0.01~0.21	<0.05~0.89	<0.05~0.09	
		中層	—	<0.05~0.90	<0.05~0.09	
		深層	0.02~0.17	<0.05~0.96	<0.05~0.09	
pH	B1	表層	7.1~7.4	6.3~7.8	7.0~7.6	5.8~8.6
		中層	—	6.3~7.8	6.9~7.5	
		深層	7.0~7.6	6.5~8.0	6.8~7.7	
	B2	表層	7.1~7.4	6.3~7.9	6.9~7.6	
		中層	—	6.4~7.9	6.9~7.6	
		深層	7.2~7.6	6.5~8.0	6.9~7.7	
	B3	表層	7.0~7.6	6.6~7.9	7.0~7.7	
		中層	—	6.6~7.7	7.0~7.4	
		深層	7.1~7.4	6.6~8.1	7.0~7.7	
浮遊物質量 (mg/L)	B1	表層	3~34	<1~360	<1~110	20
		中層	—	<1~390	<1~110	
		深層	6~86	<1~400	<1~110	
	B2	表層	3~36	<1~390	1~110	
		中層	—	<1~400	<1~110	
		深層	5~47	<1~460	<1~120	
	B3	表層	3~35	<1~420	<1~110	
		中層	—	<1~460	<1~130	
		深層	5~49	<1~650	<1~130	

注1：主な分析項目を抜粋しています。

注2：採水地点を図85に示します。表層：水面下0.1m付近、中層：塩水層と淡水層の間もしくは1/2深度、深層：川床上1m付近、です。

注3：北るもい漁業協同組合との確認により、B3地点（放流口下流1km）の値としています。

(4) 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

地下施設の建設により発生した掘削土（ズリ）は、二重に遮水された掘削土（ズリ）置場で管理していますが（8. (3)参照）、遮水された外側となる掘削土（ズリ）置場周辺への影響を監視するため、図 87 に示す採水地点において、観測用のボーリング孔から地下水を定期的（原則 4 回/年）に採水し（図 88）、水質調査を実施しています。

令和 5 年度における調査結果は、表 9 に示すとおり、これまでの調査結果と同等であり、掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないものと判断しています。

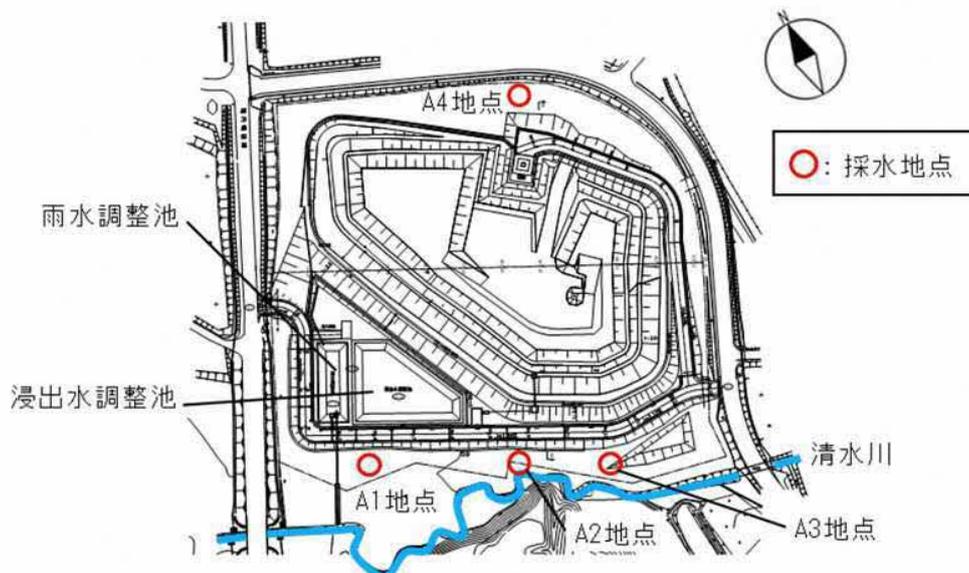


図 87 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水地点



(a) 採水状況（令和5年5月8日）



(b) 採水状況（令和5年7月31日）

図 88 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水状況

表 9 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

分析項目 ^{注1}	採水地点 ^{注2}	過年度		令和5年度			
		掘削土（ズリ） 搬入前 平成18年6月 ～平成19年4月	掘削土（ズリ） 搬入後 平成19年5月 ～令和5年2月	令和5年			令和6年
				5月	8月	11月	2月
カドミウム ^{注3} (mg/L)	A1	<0.001～0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
	A2	<0.001～0.004	<0.0003～0.002	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
	A3	<0.001～0.003	<0.0003～0.009	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
	A4	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
鉛 (mg/L)	A1	<0.005～0.171	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A2	<0.005～0.006	<0.005～0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4	<0.005～0.022	<0.005～0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
ヒ素 (mg/L)	A1	<0.005	<0.005～0.012	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A2	<0.005	<0.005～0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
セレン (mg/L)	A1	<0.002	<0.002～0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A2	<0.002	<0.002～0.003	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A3	<0.002	<0.002～0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A4	<0.002	<0.002～0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A1	<0.1～0.3	<0.1～0.4	<0.1	<0.1	0.2	0.2
	A2	<0.1～0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A3	<0.1～0.2	<0.1～0.3	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
	A4	<0.1	<0.1～0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A1	19.8～50.7	0.40～63.0	20	7.1	18	18
	A2	1.29～43.5	0.43～37.0	20	8.3	26	18
	A3	12.5～34.0	0.18～41.8	11	4.0	8.6	11
	A4	<0.02～0.06	<0.02～0.47	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
pH	A1	6.9～7.2	6.1～7.9	6.6	6.8	6.6	6.5
	A2	4.6～6.3	3.7～6.9	6.7	6.9	6.9	6.9
	A3	6.8～7.3	4.2～7.4	6.6	6.7	6.5	6.7
	A4	5.4～6.6	5.0～6.7	5.1	5.2	5.2	5.1
塩化物イオン (mg/L)	A1	1,810～2,760	79～3,400	1,200	1,700	1,200	1,000
	A2	147～2,910	23～2,200	1,000	1,500	1,400	1,400
	A3	631～1,550	26～1,700	470	610	450	680
	A4	9.7～11.9	8.4～17.0	12	10	9.8	10

注1：主な分析項目を抜粋しています。

注2：採水地点を図87に示します。

注3：カドミウムの定量下限値について、令和4年度より環境基準の1/10（<0.0003 mg/L）に見直しました。

(5) 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

掘削土（ズリ）置場雨水調整池による清水川への影響がないことを確認するため、図89に示す清水川の上流（A5）と下流（A7）の2地点および掘削土

(ズリ) 置場雨水調整池 (A6) において、定期的 (原則 1 回/月) に採水を行い (図 90)、水質調査を実施しています。

令和 5 年度における調査結果は、表 10 に示すとおりです。清水川上流 (A5) の浮遊物質量が、これまでに比べて高い値 (9 月:130 mg/L) でしたが、同日における掘削土 (ズリ) 置場雨水調整池 (A6) の値は 18 mg/L であり、降雨などの自然要因と考えられます。その他の調査項目については、これまでの調査結果の範囲内であり、掘削土 (ズリ) 置場が周辺環境に影響を与えていないものと判断しています。



図 89 清水川および掘削土 (ズリ) 置場雨水調整池の採水地点



(a) 採水状況 (令和 5 年 4 月 4 日)



(b) 採水状況 (令和 5 年 5 月 9 日)

図 90 清水川および掘削土 (ズリ) 置場雨水調整池の採水状況

表 10 清水川および掘削土(ズリ)置場雨水調整池の水質調査結果

分析項目 ^{注1}	採水地点 ^{注2}	過年度		令和5年度
		掘削土(ズリ)搬入前 平成18年6月 ～平成19年4月	掘削土(ズリ)搬入後 平成19年5月 ～令和5年3月	令和5年4月 ～令和6年3月
カドミウム ^{注3} (mg/L)	A5	<0.001	<0.001	<0.0003
	A6	<0.001～0.001	<0.0003～0.002	<0.0003
	A7	<0.001	<0.001	<0.0003
鉛 (mg/L)	A5	<0.005	<0.005	<0.005
	A6	<0.005	<0.005～0.007	<0.005
	A7	<0.005	<0.005～0.008	<0.005
ヒ素 (mg/L)	A5	<0.005	<0.005～0.006	<0.005
	A6	<0.005～0.011	<0.005～0.015	<0.005
	A7	<0.005	<0.005～0.009	<0.005
セレン (mg/L)	A5	<0.002	<0.002～0.002	<0.002
	A6	<0.002	<0.002～0.003	<0.002
	A7	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A5	<0.1～0.1	<0.1～0.2	<0.1～0.2
	A6	<0.1～0.7	<0.1～1.1	<0.1～0.2
	A7	<0.1	<0.1～0.3	<0.1～0.1
ホウ素 (mg/L)	A5	0.03～0.25	<0.02～0.56	0.03～0.38
	A6	<0.02～0.09	<0.02～0.64	0.02～0.41
	A7	0.03～0.30	<0.02～0.55	0.04～0.38
pH	A5	6.4～7.1	6.0～7.9	6.0～7.4
	A6	5.8～7.4	5.7～9.1	6.6～8.9
	A7	6.5～7.0	6.1～7.8	6.3～7.3
浮遊物質 (mg/L)	A5	1～20	<1～66	1～130
	A6	12～173	<1～500	<1～38
	A7	1～11	<1～270	1～100
塩化物イオン (mg/L)	A5	14.4～30.5	7.2～70	10～43
	A6	5.1～24.7	1.3～269	3.6～29
	A7	15.6～28.7	8.1～100	9.8～40

注1：主な分析項目を抜粋しています。

注2：採水地点を図 89 に示します。

注3：カドミウムの定量下限値について、令和4年度より環境基準の1/10 (<0.0003 mg/L) に見直しました。

(6) 浄化槽排水の水質調査結果

研究所用地から排出される生活排水による環境への影響を監視するため、研究管理棟および地下施設現場事務所の浄化槽排水について、定期的（原則1回/4週）に水質調査を実施しています。

令和5年度における水質調査結果は、表 11 に示すとおり、全ての項目において協定値の範囲内でした。

表 11 浄化槽排水の水質調査結果

分析項目	採水地点	過年度	令和5年度	北るもい 漁業協同組合 協定値
		平成18年12月 ～令和5年3月	令和5年4月 ～令和6年3月	
pH	研究管理棟	5.9～7.7	6.2～7.4	5.8～8.6
	地下施設現場事務所	6.8～8.0	7.5～7.9	
生物化学的 酸素要求量 (mg/L)	研究管理棟	<0.5～17	0.7～11	20
	地下施設現場事務所	<0.2～28	0.8～11	
浮遊物質 量 (mg/L)	研究管理棟	<1～10	<1～7	20
	地下施設現場事務所	<0.5～8	<1～7	
全窒素 (mg/L)	研究管理棟	6.6～52	8.7～42	60
	地下施設現場事務所	0.2～45	0.3～7.8	
全リン (mg/L)	研究管理棟	0.5～5.0	0.8～3.7	8
	地下施設現場事務所	<0.1～7.8	<0.1～0.7	
透視度 (cm)	研究管理棟	30	30	30
	地下施設現場事務所	30	30	
大腸菌群数 (個/mL)	研究管理棟	0～1,400	0	3,000
	地下施設現場事務所	0～2,100	0～1,000	

9.2 掘削土（ズリ）の土壌溶出量調査結果

地下施設工事により発生する掘削土（ズリ）は、自然由来であることから土壌汚染対策法の適用外となっていますが、周辺環境の保全に万全を期すため、同法に準拠した管理を行っています。具体的には、対象となる物質の土壌溶出量が土壌汚染対策法の範囲内であることを確認するため、定期的に分析を行っています。

令和5年度に掘削を行った東立坑の分析結果は、表12に示すとおりであり、全ての項目において、土壌汚染対策法の第2溶出量基準値以下でした。

表 12 掘削土（ズリ）の土壤溶出量調査結果

分析項目	立坑	平成 18 年 3 月 ～ 平成 26 年 5 月	令和 5 年度 ^{注1} (東立坑)	参考値 ^{注2} (土壤汚染対策法)	
				溶出量 基準値	第2溶出量 基準値
ホウ素 (mg/L)	換気立坑	0.1～10	—	1	30
	東立坑	<0.1～10	4.4		
	西立坑	0.1～12	—		
ヒ素 (mg/L)	換気立坑	0.005～0.067	—	0.01	0.3
	東立坑	<0.001～0.058	0.045		
	西立坑	0.004～0.055	—		
フッ素 (mg/L)	換気立坑	<0.08～0.41	—	0.8	24
	東立坑	<0.08～0.19	0.18		
	西立坑	<0.08～0.38	—		
セレン (mg/L)	換気立坑	0.004～0.031	—	0.01	0.3
	東立坑	<0.001～0.027	0.011		
	西立坑	0.004～0.027	—		
カドミウム ^{注3} (mg/L)	換気立坑	<0.001	—	0.003	0.09
	東立坑	<0.001	<0.0003		
	西立坑	<0.001～0.10	—		
鉛 (mg/L)	換気立坑	<0.001～0.006	—	0.01	0.3
	東立坑	<0.001～0.007	0.001		
	西立坑	0.002～0.014	—		
シアン (mg/L)	換気立坑	<0.1	—	検出され ないこと	1
	東立坑	<0.1	<0.1		
	西立坑	<0.1	—		
六価クロム (mg/L)	換気立坑	<0.005	—	0.05	1.5
	東立坑	<0.005	<0.05		
	西立坑	<0.005	—		
水銀 (mg/L)	換気立坑	<0.0005	—	0.0005	0.005
	東立坑	<0.0005	<0.0005		
	西立坑	<0.0005	—		
アルキル 水銀(mg/L)	換気立坑	<0.0005	—	検出され ないこと	検出され ないこと
	東立坑	<0.0005	<0.0005		
	西立坑	<0.0005	—		

注1：令和5年度については掘削工事を行った東立坑の掘削土（ズリ）について実施しました。

注2：土壤汚染対策法の基準値であり、溶出量基準値を超え、第2溶出量基準値以下のものが、同法に定められた遮水型などの方法で保管が可能（第2溶出量基準値を超えたものは別途処理が必要）となります。

注3：カドミウムの溶出量基準値および第2溶出量基準値は令和2年に改定されました（溶出量基準値0.01 mg/L → 0.003 mg/L、第2溶出量基準値0.3 mg/L → 0.09 mg/L）。これに伴い、カドミウムの定量下限値を、溶出量基準値の1/10 (<0.0003 mg/L)に見直しました。

9.3 研究所用地周辺の環境影響調査結果

研究所用地周辺の環境影響調査として、図 91 に示す地点にて清水川の水質および生息魚類を対象に調査を実施しています。

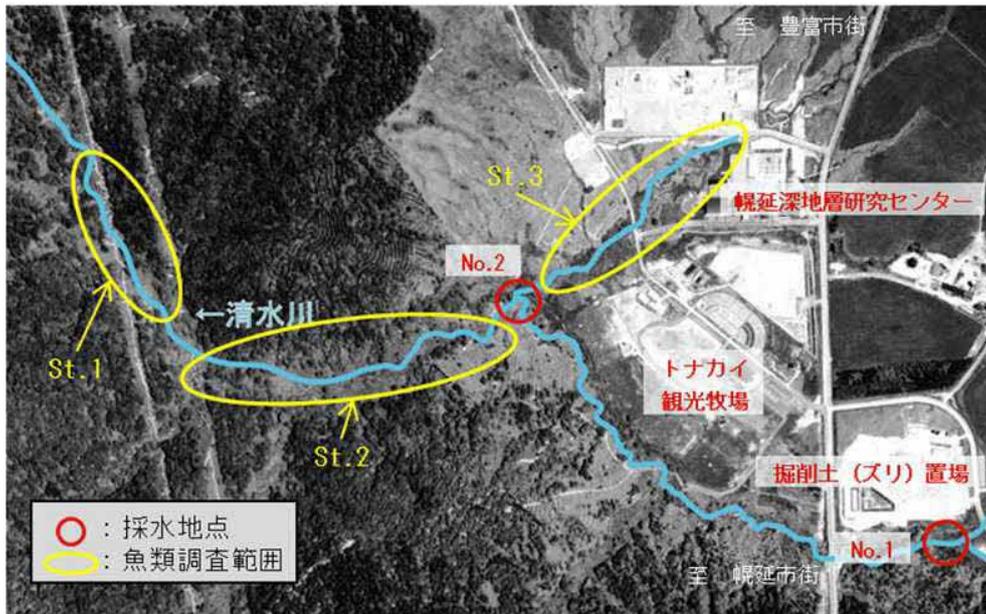


図 91 環境調査実施場所

(1) 清水川の水質調査結果

清水川の2地点(図91のNo.1、No.2)において、定期的(原則4回/年)に採水を行い(図92)、水質調査を実施しています。本調査は、清水川および掘削土(ズリ)置場雨水調整池の水質調査結果と別に、「水質汚濁に係る環境基準」に準拠して実施しているものです。

令和5年度における調査結果は、表13に示すとおりです。9月の浮遊物質について、これまでに比べて高い値(No.1:80 mg/L、No.2:110 mg/L)となりましたが、降雨などの自然要因と考えられます。



図 92 清水川からの採水状況(令和5年6月1日)

表 13 清水川の水質調査結果

分析項目 ^{注1}	採水地点 ^{注2}	過年度	令和5年度			
		平成14年8月 ～令和5年2月	令和5年			令和6年
			6月	9月	11月	2月
pH	No. 1	6.3～7.9	7.8	6.0	7.2	7.3
	No. 2	6.4～7.7	7.3	6.2	7.2	7.1
生物化学的酸素要求量 (mg/L)	No. 1	<0.5～62	1.5	1.8	1.2	0.8
	No. 2	<0.5～10	6.1	5.3	4.9	4.1
浮遊物質 (mg/L)	No. 1	1～70	3	80	3	3
	No. 2	<1～69	2	110	5	5
溶存酸素量 (mg/L)	No. 1	5.8～13.9	8.7	7.0	10.2	12.6
	No. 2	5.3～12.5	5.7	7.1	8.1	9.8

注1：主な分析項目を抜粋しています。

注2：採水地点を図 91 に示します。

(2) 魚類の調査結果

清水川において、定期的（原則 3 回/年（春・夏・秋））に生息魚類の調査を行っています（図 93）。調査は、図 91 に示す St. 1、St. 2、St. 3 の 3 箇所で行っています。

令和 5 年度における調査結果は、これまでと大きな変化は認められませんでした。重要種としては、表 14 に示すとおり、スナヤツメ北方種、ヤチウグイ、エゾウグイ、エゾホトケドジョウ、サクラマス（ヤマメ）、エゾトミヨ、ハナカジカの 7 種が確認されました。



(a) 採捕状況



(b) 採捕魚類の一例

図 93 生息魚類調査（令和 5 年 8 月 31 日）

表 14 確認された重要種（魚類）

目	科	種	選定根拠 ^注						
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
ヤツメウナギ	ヤツメウナギ	スナヤツメ北方種			VU		希		
コイ	コイ	ヤチウグイ			NT	Nt			
		エゾウグイ				N			
	フクドジョウ	エゾホトケドジョウ			EN	En			
サケ	サケ	サクラマス（ヤマメ）			NT	N	減		
トゲウオ	トゲウオ	エゾトミヨ			VU	Nt			○
カサゴ	カジカ	ハナカジカ				N			

注：重要種の選定根拠

- ① 「文化財保護法」（昭和 25 年法律第 214 号）に基づく天然記念物および特別天然記念物
 - ② 「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」（平成 4 年法律第 75 号）に基づく野生動物種
 - ③ 「環境省レッドリスト 2020【汽水・淡水魚類】」（環境省 2020 年）の記載種
EN：絶滅危惧 IB 類、VU：絶滅危惧 II 類、NT：準絶滅危惧
 - ④ 「北海道レッドリスト【魚類編（淡水・汽水）】改訂版（2018 年）」（北海道平成 30 年）の記載種
En：絶滅危惧 IB 類、Nt：準絶滅危惧、N：留意
 - ⑤ 「日本の希少な野生水生生物に関するデータブック（水産庁編）」（日本水産資源保護協会 1998 年）の記載種
 - ⑥ 「緑の国勢調査－自然環境保全調査報告書－」（環境庁昭和 51 年）に基づく選定種
 - ⑦ 「第 2 回自然環境保全基礎調査報告書（緑の国勢調査）」（環境庁昭和 57 年）に基づく選定種
- ：調査対象

10. 安全確保の取り組み

安全確保の取り組みとして、直営作業、請負作業、共同研究作業においては、作業の計画段階からリスクアセスメント評価を実施し、安全対策の妥当性の確認や改善に努めました。

その他、所長や保安・建設課などによる定期的な安全パトロールを実施し、現場の安全確認や改善などに努めました（図 94）。

さらに、新規配属者や請負作業・共同研究作業の責任者などに対して安全教育を実施した他、全国安全週間などの機会を捉えて、従業員のみならず請負企業も含めた安全行事に積極的に取り組むなど、安全意識の高揚に努めました（図 95）。



図 94 安全パトロールの状況（令和5年6月16日）



図 95 安全行事の実施（安全大会：令和5年7月3日）

11. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、国内外の大学・研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、広く関連する専門家の参加を得て進めています。令和 5 年度に実施した主な研究協力は以下のとおりです。

11.1 国内機関との研究協力

北海道科学大学

坑道壁面における地質観察の効率化を目的として、人工知能による画像処理技術を適用して坑道壁面画像から地質情報を取得する方法について検討しました。令和 4 年度には、過年度に換気立坑で取得した坑道壁面画像（写真）と壁面観察による割れ目スケッチを用いて、坑道壁面の画像から割れ目スケッチを生成する方法として pix2pix⁽⁴⁹⁾ の適用を試み、その問題点を整理しました。令和 5 年度は、坑道壁面画像から割れ目スケッチへの生成精度を向上させるために、その問題点を踏まえて学習データを拡充・改良しました。その結果、坑道壁面で観察される小断層やトレース長の長い割れ目について、スケッチの生成精度を向上させることができました。一方、坑道壁面画像だけから、トレース長の短い割れ目も含め、すべての割れ目のスケッチを生成することには限界があることも分かりました。今後は学習データの改良だけでなく、坑道壁面画像以外のデータの活用も視野に、スケッチの生成精度の向上のための検討を継続します。

東京大学

地下水中に存在する天然有機物は、放射性核種と結合することで、その移行挙動を大きく変えることが分かっています。表層環境の天然有機物については、金属イオンとの結合に関するモデルが提案されていますが、地層処分
の安全評価においては、深部地下環境の天然有機物と核種との結合反応を評価し、表層環境の天然有機物と比較することで、両者の類似点や相違点を理解することが必要になります。そこで、天然有機物の蛍光が金属イオンと結合することで消光されることに着目し、天然有機物が核種移行に与える影響に関する研究を実施しています。堆積岩系の深部地下水の中の天然有機物を対

象として、3 価アクチノイドのアナログ元素であるユウロピウム (Eu) を添加する消光実験を行ってきており、令和 5 年度はこれまでの成果を取りまとめました。得られた実験結果を用いた多変量解析により、Eu は浅部地下水に見られる陸性腐植物質の特徴を示す溶存有機物と高い親和性を示す一方で、深部の化石海水中に見られる海洋性腐植物質の特徴を示す溶存有機物とは低い親和性を示すことが分かりました^(14, 50, 51)。さらに高分解能質量分析計を用いて、地下水から抽出された天然有機物の質量分布を取得し、これまでに得られた Eu との結合性の知見と合わせて、結合反応に寄与する天然有機物の分子的特徴を明らかにすることに取り組みました⁽⁵²⁾。

また、非常にゆっくりとした地下水の流動を考える場合には、割れ目のみでなく健岩部も水みちとして重要になる可能性があります。健岩部における地下水の移動は、岩盤中の物質移行に対する遅延効果が大きいいため、健岩部の寄与を評価する手法の開発が重要となります。そこで、岩石中において生きた微生物が存在する箇所は、わずかながらも地下水を介した物質移行が進行する場所であると考えられることに着目し、微生物を指標とした岩盤中の水みちの評価手法の開発に取り組んでいます。令和 3 年度から令和 4 年度にかけて地上から深度 500 m までボーリング孔を掘削する際に、粒径約 1 μm 以下の蛍光染料を掘削水に添加することで、コア試料に対する掘削水の汚染評価に取り組んできました^(34, 38)。令和 5 年度は、深度約 500 m から採取した、肉眼では割れ目の認められない稚内層のコア試料に対して、これまでに整備した薄片試料の作製方法や顕微鏡による自動連続観察手法、赤外顕微鏡による微生物存在度の判定手法などの岩石試料中の微生物分布の一連の観察手法を適用しました。その結果、掘削水による汚染はコア試料の微小亀裂部表面からコア試料内部に向かって約 6 mm の深さまでしか及んでおらず、観察のためのコア試料の切断箇所などの微小亀裂以外の箇所には掘削水による汚染は認められませんでした。このことから、掘削水により汚染されていないコア試料内部に認められた微小亀裂内に分布する微生物は、地下深部の原位置に存在する微生物であると判断されます。

名古屋大学

炭酸カルシウムを主成分とするコンクリーション化^{*}による、水みちとなる割れ目や透水性空隙の自己シーリングに関する研究を行いました。この研究は、新たに開発したカルシウムイオン (Ca^{2+}) を放出する樹脂 (コンクリーション化剤) を岩盤中に充填し、コンクリーション化剤や坑道周辺に施工されたコンクリートから放出される Ca^{2+} と、地下水中の Ca^{2+} および重炭酸イオン (HCO_3^-) との反応により形成される炭酸カルシウムが、水みちとなる割れ目や透水性空隙を閉塞するプロセスについて調査・解析を行います。このような、自然環境下での自発的コンクリーション化現象は、坑道周辺の水みちに対する長期的なバリア機能を有すると期待されます。

令和 5 年度は、掘削損傷領域ならびに水みち割れ目となる断層帯を対象とした原位置試験について、コンクリーション化剤を充填したボーリング孔の周辺岩盤における透水係数の測定を継続しました。その結果、周辺岩盤の透水係数は令和 4 年度よりも低下し、 10^{-7} m/s 程度の値を示すことが確認されました。

さらに、コンクリーション化剤にアルカリ性成分を放出する機能を持たせ、強酸性化を示す幌延の掘削土 (ズリ) と混ぜ合わせることで、掘削土 (ズリ) の中性化と透水性の低下を同時に達成する手法の開発にも取り組んでいます。中性化の機能を持たせたコンクリーション化剤と掘削土 (ズリ) の混合物を充填した容器に通水する室内試験を令和 4 年度に引き続いて実施しました。また、コンクリーション化剤と掘削土 (ズリ) の混合物を地下施設から掘削した既存のボーリング孔内に設置し、地下水の pH や混合物の元素分布などの変化を観測する原位置試験に着手しました。

京都大学

水質形成機能のモデル構築および数値解析に関する共同研究を実施しました。高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全性を確保するためのひとつの要件として、長期的に地下水流動が緩慢であることを示すために、水理学的な指標のみではなく、化学的な指標から地下水水質の形成プロセスを把握し、それに基づいた地下水流動状態の理解が試みられています。幌延町には海成堆積岩が広く分布し、地下深部には海水が変質した化石海水が分布し

ています。本研究では、地層の堆積時の圧密排水による間隙水の上方移動や鉱物の相変化といった堆積過程を模擬した一次元のモデリングにより、地下水の塩化物イオン濃度と酸素同位体比および水素同位体比の時空間変化を推定することで、本地域に分布する化石海水の水質形成メカニズムについて検討してきました。令和 5 年度は、これまでの成果を取りまとめ学術雑誌に発表しました⁽⁵³⁾。本地域の化石海水の水質は、地層の埋没に伴う温度上昇により生じる生物起源シリカや粘土鉱物の脱水反応による塩濃度の希釈や、圧密排水による間隙水の上方移動により形成されたものであることが分かりました。このことは、本地域の地下深部に分布する地下水が、海水と比較して塩濃度の低い場合であっても、天水浸透により希釈されたものではなく、地層の埋没時に取り込まれた海水が変質して形成された化石海水であることを示しており、地層の隆起以降はほとんど地下水が動いていないことを示す結果になります。

京都大学、東北大学

高レベル放射性廃棄物に含まれる長半減期核種であるマイナーアクチノイド*は天然には存在しないため、堆積岩地域の地下深部におけるマイナーアクチノイドの挙動の理解をするためには、マイナーアクチノイドと挙動が似ているランタノイド*の挙動を調べるのが有効になります。本研究ではこれまでに、ランタノイドであるランタン、サマリウム、ユウロピウム、ホルミウムなど微量元素の地下水試料への添加試験を行ってきました。令和 5 年度は、原位置物質移行試験の結果に対して、マイナーアクチノイド元素と地下深部の岩石、地下水試料を用いた室内拡散試験の結果を組み合わせることで地下環境での核種移行を明らかにすることをねらいとした室内拡散試験に取り組みました。岩石試料には既存のボーリングから得られた稚内層のコア試料を用い、溶液試料には幌延の深部地下水組成を模擬して調製した試料溶液を用いました。本試験の初年度である令和 5 年度は、重水やリチウムといった比較的単純な化学挙動を取る物質の拡散試験を実施しました。これらの結果を積み重ね、次年度以降の室内試験ではランタノイドに加え、原位置試験では使用できないウラン、トリウム、ネプツニウム、アメリシウムなどのアクチノイドを用いて、還元雰囲気における堆積岩中のアクチノイドの拡散

挙動に対する地下水のイオン強度や pH、有機物濃度、溶存炭酸濃度の影響を明らかにすることに取り組みます。

幌延地圏環境研究所

両機関の試験設備を活用した研究協力として、堆積岩の地下深部の微生物の生態系の把握および地下施設の建設に伴う微生物生態系への影響などの調査を目的として、地下施設を利用して微生物に関するデータを取得してきました。令和 5 年度は、250m 調査坑道の既存ボーリング孔から採取した地下水試料から新規微生物を単離し、その特徴付けを行いました。単離した新規微生物はグルコース（ブドウ糖）を炭素源として水素を生成することが分かりました。この結果から、地下水中に存在するメタン生成古細菌は、新規微生物が生成した水素もしくは低分子有機物を用いてメタンを生成している可能性が分かりました^(54, 55)。また、2 回の研究交流会を実施し、深度 350 m とは異なる深度 500 m の岩盤における微生物特性や力学特性などの情報を得ることに両機関が協力していくことについて議論しました。

産業技術総合研究所

海陸連続三次元地質環境モデルの妥当性の検証に向けたデータ取得手法の高度化を目的として、令和 4 年度に引き続き、海上からの物理探査と、調査孔を用いた地下温度測定を行いました。海上からの物理探査については令和 4 年度の実績に基づき探査手法を見直した上で、幌延町沿岸部の浅海域において令和 4 年度と同じ測線を中心に調査を実施しました。その結果、探査に用いる音波（弾性波）の発振源を調整することで、より深い領域である海底下約 1,000 m までの地下構造を把握することができました。これにより、これまで探査が困難であった浅海域の地下構造のより詳細な情報を入手できることが確認できました。また、深部の地下水流動解析結果の検証データを取得するために、浜里地区に設置されている調査孔の深度 350 m までの地下温度を測定しました。その結果、本測定により得られた地下温度プロファイルから、当該地域の地下深部の地下水の流れが非常に遅いことを確認することができました。この結果は、地下水流動解析の結果と整合しており、解析結果が妥当であることを確認できました。

電力中央研究所

地下施設の掘削時に、周辺地質環境の初期状態と掘削に伴う変化を観測し、地下施設の建設に関わる影響領域の空間分布とその経時変化、変化のプロセスを把握・評価するための技術は、地下構造物の短期・長期的な安全性を検討する上で重要であることから、その技術の高度化を図ることを目的として、継続的に共同研究を実施しています。

岩盤中の割れ目の発生やその分布の広がり測定する手法のひとつとして、岩盤中で発生し地下水に溶け込んだラドン^{*}の濃度を測定する手法があります。この手法の堆積岩への適用性を確認することを目的として、令和5年度は、立坑掘削時に採取した試料を用いて、岩盤中のラドンの濃度を測定するための室内試験の準備を行いました。

また、地下環境に存在する微生物の中には、鉄の酸化や還元反応を行う種が確認されており、これらの微生物は人工バリアのひとつであるオーバーパック（候補材料：炭素鋼）の腐食に影響を及ぼす可能性があります。そこで、微生物腐食の影響を定量的に評価するために、地下施設で掘削したボーリング孔を利用して、地下環境における緩衝材中の微生物活性や金属腐食影響を把握する試験を行います。令和5年度は、250m調査坑道から掘削されたボーリング孔内に設置した圧縮ベントナイトおよび炭素鋼片の試験体の一部を回収し、炭素鋼片の腐食やベントナイト中の微生物特性について分析を行いました。地下環境で12か月間反応させた結果、圧縮ベントナイトの乾燥密度が 1.0 g/cm^3 の場合には炭素鋼片の重量の減少が最も大きく、乾燥密度 1.4 g/cm^3 以上では腐食が抑制されていることが確認できました。また、腐食速度は時間とともに低下する傾向があることが示唆されました。今後も引き続き腐食影響試験を継続し、ベントナイト中の微生物活性や炭素鋼の腐食挙動について検討を行います。

地層科学研究所

深度500 mにおける坑道掘削時の岩盤の安定性や掘削損傷領域の予測のための基盤情報を整理することを目的として研究を進めています。令和5年度は、350m調査坑道の掘削時に計測した坑道の変形（内空変位）のデータを用いて、地下施設を含む広域的な初期地圧の状態を逆解析的に推定しました。

推定結果は、地上からの調査により推定された地圧状態に整合的でした。この成果を、500m 調査坑道掘削前の応力状態の予測の更新や、地下施設の設計時に推定した初期地圧の信頼性向上に資する情報として整理しました。

原子力規制庁（原子力機構 安全研究センターが実施する共同研究への協力）

地下坑道掘削後の湧水量の自然低下速度について、350m 調査坑道沿いの流量計測結果を基に、岩盤中の割れ目の水理学的連結性を考慮した自然低下速度のシミュレーションが長期的な湧水量の自然低下速度の予測手法として適用可能か検証しました。その結果、掘削から 10 年が経過した現在の自然低下速度は、シミュレーション結果の値と同程度またはそれ以上であることが分かりました。

大林組

東立坑の深度 370 m 付近の掘削損傷領域の長期的なモニタリングのために、光ファイバー式の AE*センサーを用いて、岩盤の微小変形や間隙水圧の変化を計測しています。令和 5 年度は、東立坑の深度 380 m 以深の掘削に伴う変化の有無について観測を行いました。深度 370 m 付近の立坑周辺の掘削損傷領域の拡大は生じていないことが分かりました。

深田地質研究所、東京大学（原子力機構 東濃地科学センターが実施する共同研究への協力）

断層の地表分布位置および物質移動経路に関する情報を取得する調査手法として、地表地質調査や物理探査に加えてガス濃度に関する情報を取得する調査手法があります。断層の地表部において微量なガスの湧出が見られることがあり、この湧出ガスを検出することにより、断層分布に関する情報が得られます。近年、ガス濃度測定技術の大幅な向上により、従来の測定技術では検出することができなかった小さな変化まで迅速に検出することが可能になっています。本研究では、地表から特定することが困難な伏在断層や地下水の水みちの検出精度の向上を目的として、新たなガス濃度測定技術の適用性の検討を行っています。

令和 5 年度は、高精度メタン測定装置を用いて、これまでに高濃度メタン

ガスが検出された背斜軸上などの検出箇所における再現性を確認しました。また、地中レーダー探査と呼ばれる簡易な物理探査により、高濃度メタンガスが検出された地点における地下の地層の構造を明らかにすることで、背斜軸上でも限定された箇所でのみ高濃度メタンガスが検出されるメカニズムを検討しました。本研究は、日本学術振興会の運営する科学研究費助成事業、基盤研究(C)「高分解能ガス濃度マッピングによる亀裂・断層を移行する流体の新しい調査手法の構築」の助成を受けて実施しています。

11.2 国外機関との研究協力

幌延国際共同プロジェクト (Horonobe International Project : HIP)

幌延国際共同プロジェクト (HIP) は、先進的な安全評価技術や工学技術に関わる研究開発成果の最大化を目的に、国内外の機関で協力しながら研究開発を進めるものです。

HIP では、令和 10 年度末までを限度として、令和 2 年度以降の必須の課題のうち、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認および処分概念オプションの実証に関わる以下の 3 つのタスクを設定しました。

タスク A : 物質移行試験

タスク B : 処分技術の実証と体系化

タスク C : 実規模の人工バリアシステム解体試験

令和 5 年 7 月 21 日に、協定書の内容に基本合意していた国内外の 11 機関全ての署名が確認されました。令和 6 年 3 月 31 日現在の参加機関とその参加タスクを表 15 に示します。

令和 5 年度は、管理委員会やタスク会合において参加機関との議論を行い、原位置試験、室内試験や解析の実施計画を検討するとともに、研究の進捗状況について確認、議論しました。また、参加機関が原位置試験の状況を把握するために、幌延深地層研究センターで現地会合を実施しました。なお、令和 5 年度に実施した成果と参加機関との協力の概要は下記のとおりです。

令和 6 年 3 月 6 日に実施した第 2 回管理委員会では、これらのタスクの成果を報告し、令和 5 年 4 月の第 1 回管理委員会で承認された計画に基づいて適切に研究が進められたことが承認されました。

表 15 HIP 参加機関

参加機関（令和6年3月31日現在）	参加タスク		
	A	B	C
連邦放射性廃棄物機関（BGE、ドイツ） ^{*16}	○	○	○
英国地質調査所（BGS、英国） ^{*17}	○	○	○
電力中央研究所（CRIEPI、日本）	○	—	○
オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO、オーストラリア） ^{*18}	○	○	○
工業技術研究院（ITRI、台湾） ^{*19}	○	—	—
日本原子力研究開発機構（JAEA、日本）	○	○	○
韓国原子力研究所（KAERI、韓国） ^{*20}	○	○	○
原子力発電環境整備機構（NUMO、日本）	○	○	○
原子力テクノロジー国営会社（RATEN、ルーマニア） ^{*21}	○	—	—
原子力環境整備促進・資金管理センター（RMMC、日本）	—	○	○
国営放射性廃棄物会社（SERAW、ブルガリア） ^{*22}	○	○	○

タスク A：物質移行試験

250m 西立坑側第 1 ボーリング横坑（図 2 参照）で実施する、声間層に見られるせん断性の割れ目を対象とした物質移行試験の基本計画や試験実施場所の地質特性などの既存情報を整理しました。それを踏まえ、物質移行試験に使用するトレーサーの選定や、水理試験の計画について検討し、水理地質構造に関する情報を取得しました。また、物質移行試験の解析環境整備のために、過去の物質移行試験結果の解析に着手しました。さらに、試験実施場所から採取した岩石を用いた室内試験に向けて、試料の共有や室内試験の準備

*16：連邦放射性廃棄物機関：BGE (Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH) は、ドイツの連邦政府所有の組織であり、連邦政府の委託により放射性廃棄物の最終処分事業の実施主体として、高レベル放射性廃棄物処分場に係る三段階のサイト選定に加えて、建設および操業を行います。この他に、コンラッドおよびモルスレーベンの非発熱性放射性廃棄物処分場やゴアレーベン鉱山に係る業務も実施しています。

*17：英国地質調査所：BGS (British Geological Survey) は、英国政府の研究機関で、公共の利益に焦点を当てつつ、地球上で生じる様々なプロセスなどに関する地球科学的研究に加え、客観的な地球科学的データや情報の社会への提供などの活動を行っています。

*18：オーストラリア連邦科学産業研究機構：CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) は、オーストラリアにおける産業支援、社会利益促進、国家的・国際的責任の遂行に貢献するための科学研究を目的として設立された国立機関であり、研究者トレーニング、研究成果出版、技術移転、科学技術に関する情報普及などを行っています。

*19：工業技術研究院：ITRI (Industrial Technology Research Institute) は、台湾における応用研究と技術サービスを行う非営利の研究開発機関です。日本の様々な企業、大学と複数の国際共同研究などを行っています。

*20：韓国原子力研究所：KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) は、政府出資の韓国で唯一の原子力分野全般に係る研究機関で、学際的な原子力研究開発を通じて、原子力の学術的進歩、エネルギー開発・利用の推進を目指しています。この一環として、使用済燃料の直接処分を対象とした輸送・貯蔵に係る技術開発や地下研究坑道を利用した研究開発などを進めています。

*21：原子力テクノロジー国営会社：RATEN (Regia Autonomă Tehnologii pentru Energia Nucleară) は、ルーマニアの原子力エネルギー分野の研究開発の調整および原子力エネルギー計画の科学的・技術的支援を行う国有企業の研究機関で、放射性廃棄物管理を含む原子力分野の幅広い研究開発を行っています。

*22：国営放射性廃棄物会社：SERAW (State Enterprise Radioactive Waste) は、放射性廃棄物管理施設の運営や廃止措置を含む、放射性廃棄物の処理、保管、処分に関わるブルガリアの国立機関です。

を行いました。

タスク B：処分技術の実証と体系化

500m 調査坑道において想定される割れ目や断層の分布や坑道掘削時の湧水量、掘削損傷領域の発達状況を予測に資するために、既存の調査結果や関連文献の情報収集、整理を行うとともに、湧水量や掘削損傷領域の予測解析に向けた準備を行いました。また、試験坑道 6 (図 2 参照) において予定されている止水プラグの設置に先立ち、掘削損傷領域の発達状況や透水性の把握のための調査を実施するとともに、埋め戻し材の材料仕様選定に向けた室内試験を実施しました。

タスク C：実規模の人工バリアシステム解体試験

人工バリア性能確認試験のデータ取得を継続するとともに、取得したデータなどを基に解体試験の詳細化に向けた議論を実施しました。

DECOVALEX (DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments)

国際共同研究 DECOVALEX は、地層処分環境における熱－水理－力学－化学連成現象の理解および評価モデルの検証を目的に実施されています。令和 2 年度からは DECOVALEX-2023 (令和 2 年度～令和 5 年度) が実施されており、このフェーズではタスクのひとつとして、人工バリア性能確認試験を対象とした共同解析を実施しています。

モンテリ・プロジェクト^{*23} (スイス)

国際共同研究のモンテリ・プロジェクトで実施されている各種試験のうち、原子力機構は「オパリナス粘土^{*}の摩擦特性に関する室内試験」に参加してきましたが、当該試験が終了したことおよびその成果を活用した断層の動きの評価技術を整備できたこと⁽³¹⁾から、令和 5 年 6 月のフェーズの切り替え時をもって、モンテリ・プロジェクトへの参加を終了しました。

^{*23}：堆積岩を対象とした地層処分研究に関する国際的な原位置試験プロジェクトです。スイスのモンテリ・トンネル内において地層処分に関連する各種の原位置試験が実施されています。

クレイクラブ (Clay Club) ^{*24}

クレイクラブでは各国の参加機関との情報交換を通じて、国外における堆積岩類を対象とした調査研究や技術開発などに係る最新の情報を取得しました。

*24 : Clay Clubは、OECD/NEA（経済協力開発機構/原子力機関）の放射性廃棄物管理委員会の下に置かれたプロジェクトのひとつです。地層処分の実施・規制・研究機関を中心とした組織であり、様々な粘土質媒体の特性の比較や粘土の物性や挙動および地下施設で実施される試験に関する技術的かつ科学的情報の交換、さらには、サイト特性調査技術の詳細な評価を実施しています。