

図 86 350m調査坑道から得られた岩石試料（稚内層）中の微生物分布
 左図は、実体顕微鏡写真の上に、蛍光顕微鏡写真を重ね合わせたもので、右図は、左図の蛍光顕微鏡写真部を拡大したものになります。蛍光顕微鏡写真で黄緑色が強い部分ほど、微生物が密集していることを示しています。

地下環境には多くの微生物が存在しており、幌延の地下環境にも他の環境と同様に様々な種類の微生物が豊富に存在しています。これまでに地下施設の建設に伴う坑道周辺の地球化学環境の変化と微生物代謝活性^{*49}の関連性を調査するため、微生物の現存量や群集組成の変化をモニタリングしています。令和2年度は、令和元年度に引き続き、140m、250mおよび350m調査坑道から掘削されたボーリング孔（08-E140-C01孔、07-V140-M03孔、09-V250-M02孔および13-350-C01孔）から採取した地下水試料を対象として、顕微鏡観察や遺伝子解析^{*50}を行いました。その結果、令和元年度に引き続き、坑道壁面周辺と坑道から離れた領域では微生物種の群集構成が異なり、いずれの領域においても優占種^{*51}は未だかつて培養されたことのない未知微生物が非常に高い割合で優占していることが確認されました（図 87）。遺伝子解析の結果から、これらの菌は地下水中の炭酸ガス、メタンガス、水素ガスや鉄を利用して増殖する種であることが推察されました。また、これまでのモニタリング結果と同様に、

*49：微生物が生きるために周辺環境から有機物や無機物を取り込んで化学反応を行ったり、物質を生成したりする活動の程度のことです。

*50：環境中に存在する遺伝子を解析することにより、環境中の微生物の種類や特定の性質を調べることです。

*51：生物群集である種の量が特に多く、その群集を特徴付けていることです。

*Betaproteobacteria*や*Gammaproteobacteria*などのやや酸化還元電位の高い環境でも生息可能な微生物に近縁な種の割合が増加していることが明らかになってきました。さらに、バイオフィルムを形成する種として知られるCandidatus Altiaarchaealesに属する古細菌に近縁な未知微生物は、これまでは坑道壁面近傍のみで確認されておりましたが、令和2年度の解析結果から坑道壁面から離れた領域で増加する傾向が確認され、坑道周辺の酸化還元状態やpHなどの化学条件が徐々に変化していることが示唆されました。これらの優占種の地下環境中での働きや不均一な微生物種の分布が物質の移動反応に及ぼす影響について、今後も調査を継続し、坑道周辺の地球化学環境と微生物代謝活性の関連性を調査するための技術開発を進める予定です。

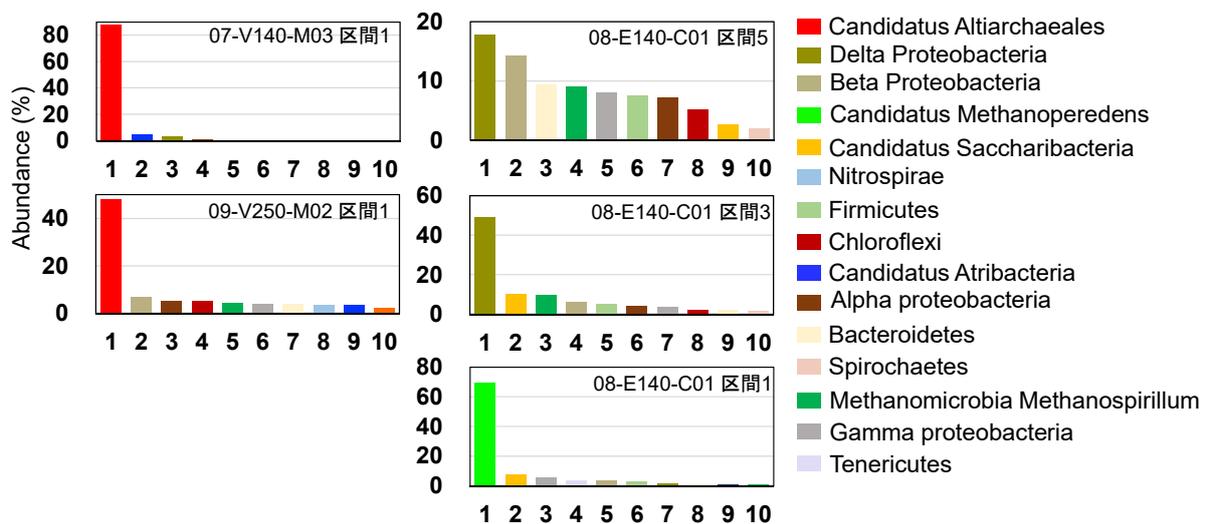


図 87 遺伝子解析結果に基づく各採水区間における地下水中の微生物種の存在割合

令和2年度以降の必須の課題の一つである「物質移行試験」に関して、これまでに確立した物質移行特性評価手法の適用化/高度化が求められています。物質移行特性評価手法の高度化のためには、溶存形態が複雑な元素の収着特性を考慮した物質移行解析が必要になります。これらの元素の収着特性については、個別の反応を考慮した室内試験が多数実施されており、今後は、深部地下環境における複雑な反応系の中で、どのような収着反応が支配的であるか評価し、原位置における物質移行試験のデ

一タ解釈に活用していく必要があります。

そのため、溶存形態が複雑な元素の深部地下環境中における収着特性を明らかにすることを目的として、堆積岩中の微量元素の化学形態や濃集挙動に関する分析を実施しました。令和2年度は、様々な化学反応が収着に寄与すると考えられ、室内試験が多数実施されているセレン (Se) に着目した分析を実施しました。堆積岩試料を薄片加工し、数十 μm スケールにて $\mu\text{-XRF}$ 法^{*52}による元素のマッピング分析および $\mu\text{-XAFS}$ 法^{*53}によるセレンの化学形態分析を行った結果、セレンは鉄 (Fe) や硫黄 (S) のカウントが高い部分にスポット的に存在し、パイライト (FeS_2) に濃集している可能性が示唆されました (図 88)。セレン濃集部におけるセレンの化学形態 (価数) は、0価または-1価であり、動きにくい化学形態として保持されていることが明らかになりました (図 89)。また、令和元年度に適用した手法を改良し、低酸素雰囲気下で実施した逐次抽出試験^{*54}の結果から、声問層・稚内層の試料ともにパイライトやフェロセライト (FeSe_2) のような還元的な鉄鉱物中への分配が多くマッピング分析と同様の結果が得られました (図 90)。一方で、パイライトやフェロセライトへの分配率については声問層の試料と稚内層の試料で異なる傾向が示されました。この違いについて明らかにするために、セレンの結合状態に関する解析や収着固相の生成メカニズムに関する分析を実施することで、より詳細なセレンの収着メカニズムについて明らかにし、室内試験の結果と比較していく予定です。

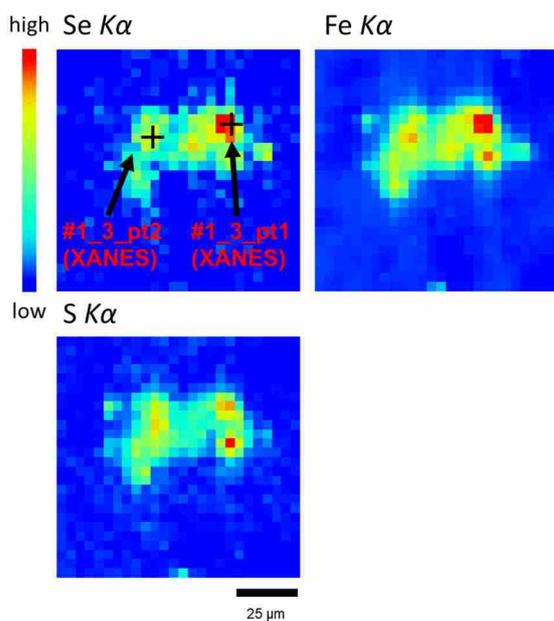
このような微量元素の化学形態に関する詳細な分析手法については、セレンと化学的特性の類似した元素のみならず、他の溶存形態が複雑な収着特性を持つ元素 (ニッケル : Ni、コバルト : Co、ユウロピウム : Eu など) にも適応することができるため、これまでの物質移行試験において得られた結果を評価する際に有用な手法です。物質移行特性評価手法の高度化のため、今後も継続して溶存形態が複雑な元素の収着特性に関する評価手法の開発を進めていく予定です。

*52 : ビーム径が数 μm の X 線を分析試料に照射し、発生する蛍光 X 線をエネルギーによって分光することで、分析点に含有されている元素の種類を調べる分析手法です。

*53 : ビーム径が数 μm の X 線を分析試料に照射し、X 線が吸収されたスペクトルを解析することで、元素の化学形態や結合状態について明らかにする分析手法です。

*54 : 岩石試料に対して複数の溶液を連続的に反応させることで、岩石中の重金属元素を化学的特性に基づいて抽出する試験手法です。

SAB2-5b-2 Map #1_3



SAB2-5b-2 Map #1_6

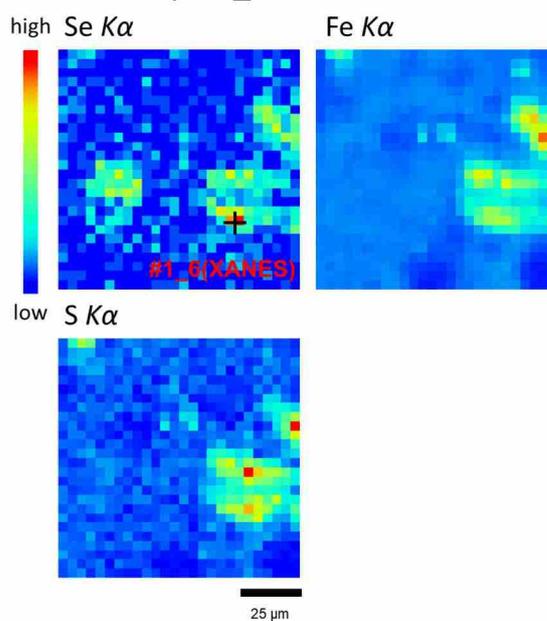


図 88 微小領域におけるセレン(Se)、鉄(Fe)、硫黄(S)のマッピング分析結果

SAB2-5b-2 XANES

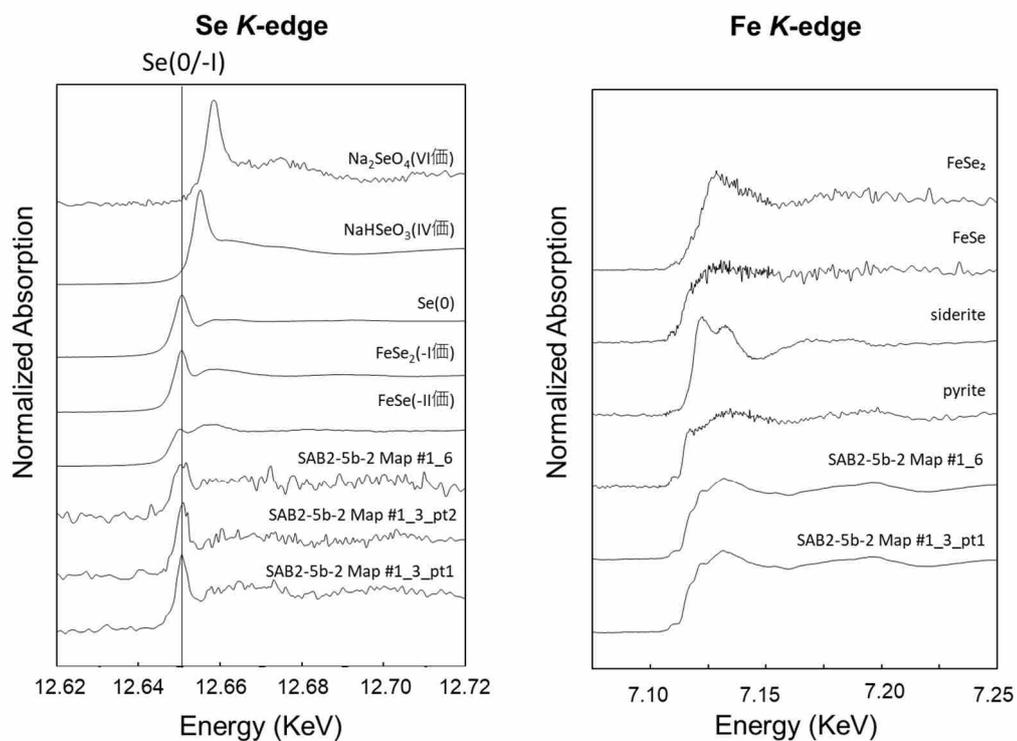


図 89 セレン濃集部に対するセレン(Se)および鉄(Fe)の化学形態に関する分析結果

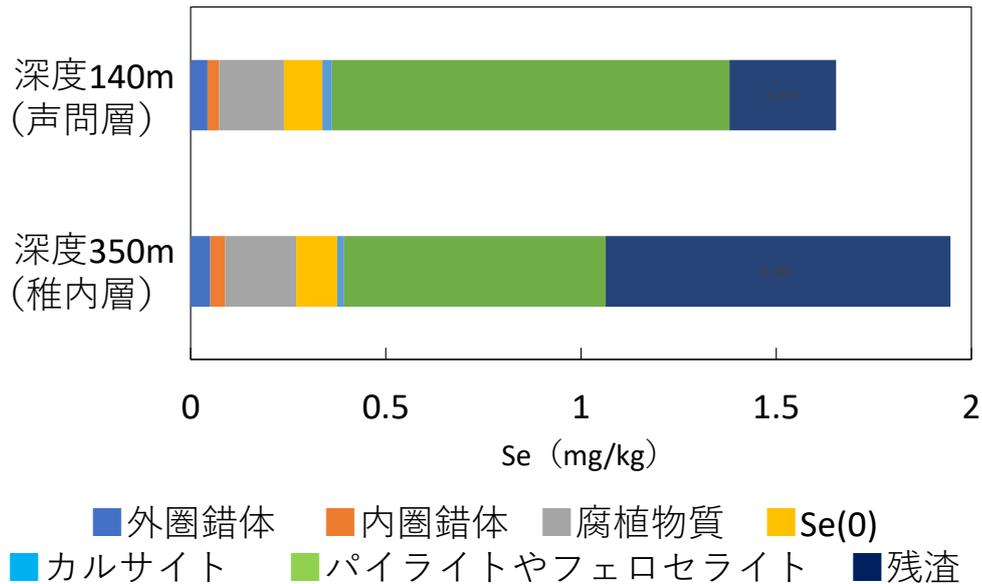


図 90 各抽出ステップにて抽出されたセレン(Se)の量

(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を用いて、岩盤変位の長期モニタリング性能を検証しています。計測結果の妥当性を検証するため、隣接する位置に、既に技術が確立されている電気式地中変位計を設置しています(図 91)。また、同時に支保工の安定性も確認するため、電気式の鋼製支保工応力計を設置しています(図 92)。地中変位計および鋼製支保工応力計の設置位置を図 93に示します。

地中変位計の計測結果を図 94および図 95に示します。光ファイバー式変位計は、10年程度は計測値が逸脱せず、安定した計測値が得られていますが、電気式変位計は設置後3年程度で計測値が逸脱しはじめ、現時点では正常な計測ができなくなっています。これは、岩盤中の地下水がセンサー部に浸透することにより絶縁抵抗不良を起こすためと考えられます。また、光ファイバー式変位計の測定結果は、電気式地中変位計の計測値が逸脱するまでは、同様の傾向を示したことから、測定値の妥当性が検証できました。

次に、鋼製支保工応力計の計測結果を参照すると、季節変動と考えられる10 MPa程度の応力変化が計測されているものの、大きな計測値の逸脱はなく、安定した計測データが得られています(図 96)。このことから、長期的に岩盤や支保工のモニタリングを行う上では、地中の計測では光

ファイバー式に優位性がありますが、鋼製支保工など、地下水が浸潤しないような構造物内では、電気式でも問題ないことが分かります。

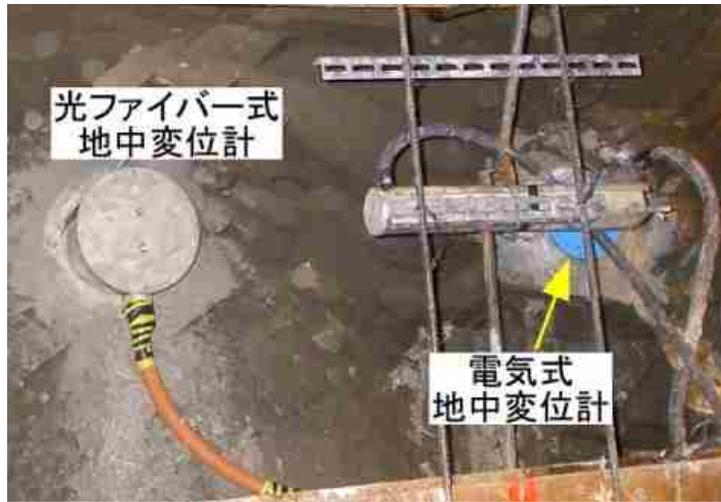


図 91 地中変位計設置状況



図 92 鋼製支保工応力計設置例

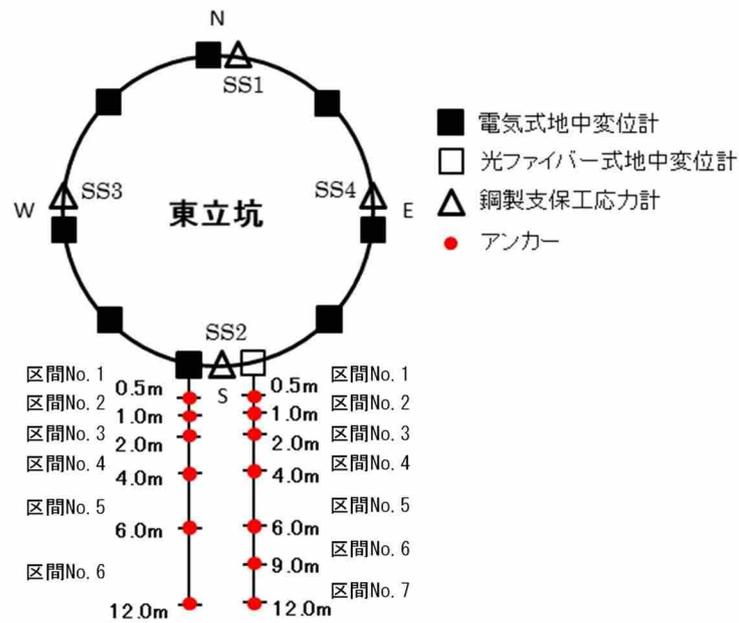


図 93 計測器設置位置図

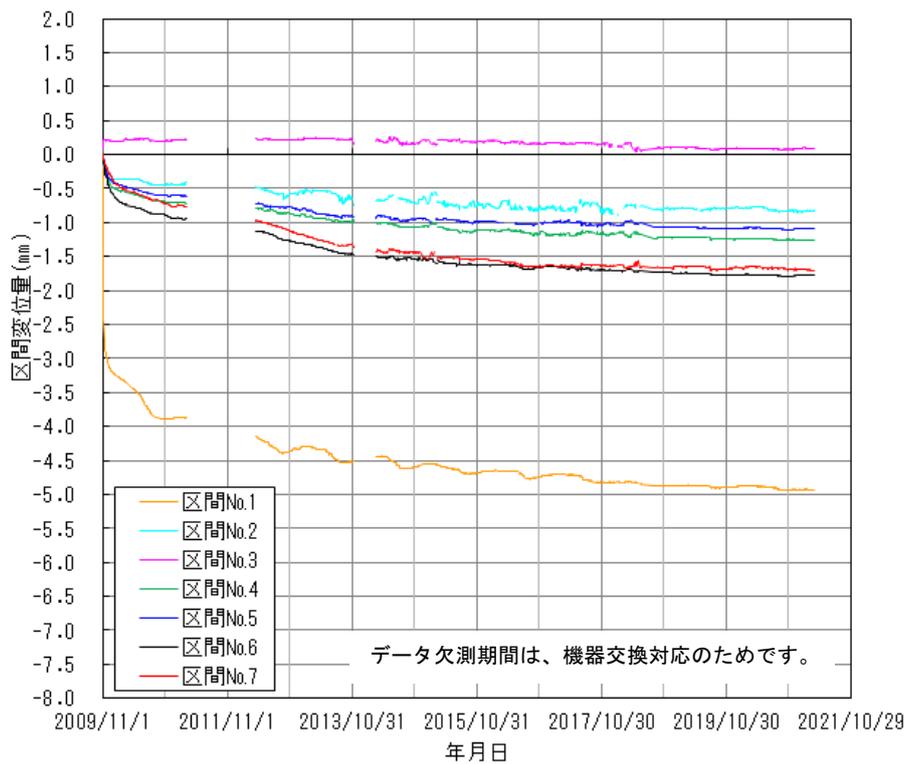


図 94 光ファイバー式地中変位計の計測結果

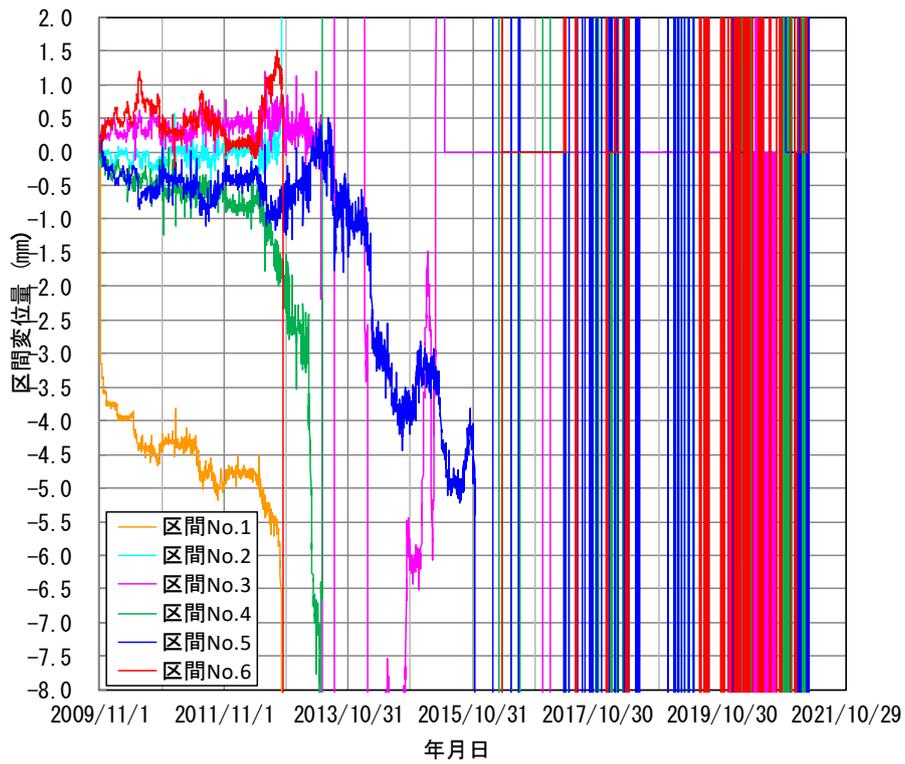


図 95 電気式地中変位計の計測結果

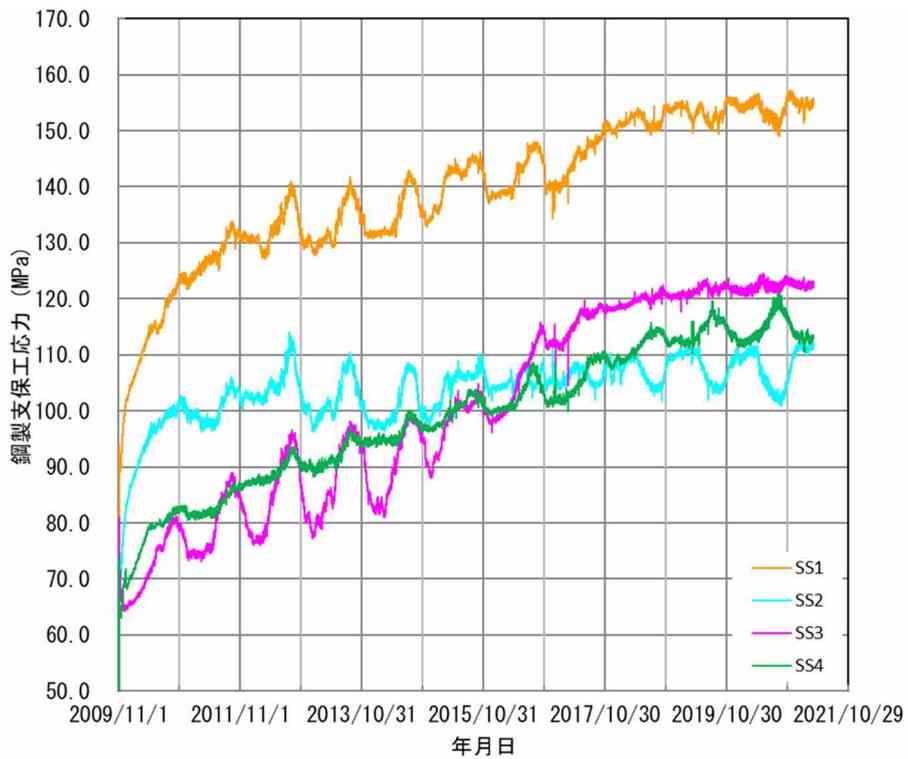


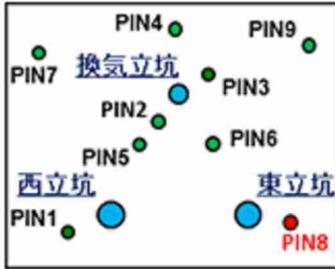
図 96 鋼製支保工応力計の計測結果

(4) 坑道掘削の影響に関する調査技術の開発

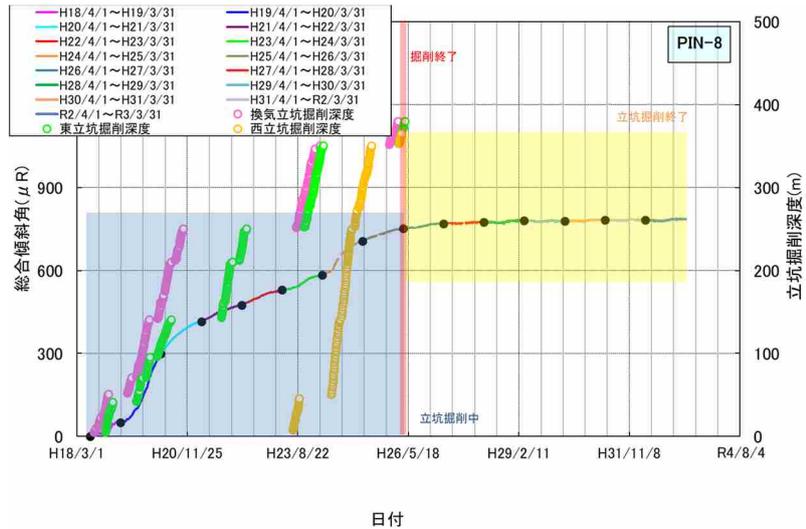
地表面から坑道掘削時の地下深部の岩盤や地下水の挙動をモニタリングする技術を確立することを目的として、立坑の周辺（換気立坑から半径100 m以内）に9台、東立坑の深度140 mの接続部付近に1台、立坑周辺から1 km程度離れたHDB-8孔近傍に1台の高精度傾斜計^{*55}を配置し、坑道掘削に伴う地表付近における岩盤の傾斜の変化を計測しています。令和2年度も、過年度までと同様の方法⁽²⁹⁾で計測データ（直交する2方向での傾斜角度の時系列データ）に含まれるノイズ成分を除去した後、計測した傾斜データと坑道掘削時の工程との対比を行いました。令和2年度は坑道掘削工事はなく、得られた傾斜データの全体的な傾向として、傾斜量の変化は少ないことが確認されました。坑道掘削の影響を示すため、東立坑近傍にあるPIN8の傾斜量と傾斜方向および西立坑から北東方向へ約1 km離れたHDB-8孔近傍のPIN10の傾斜量を図 97に示します。PIN8では坑道掘削時に顕著な傾斜が計測されました。傾斜方向は、掘削を実施した東立坑および西立坑の方向でした。また、掘削が終了した後は、傾斜変化はほぼありませんでした（図 97(a)、(b)）。一方、PIN10（図 97(c)）では、坑道掘削中および掘削終了後も、地表の傾斜はほとんど観測されませんでした。

これまでの計測データにより、立坑の周辺の高精度傾斜計では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。今後も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検討していきます。

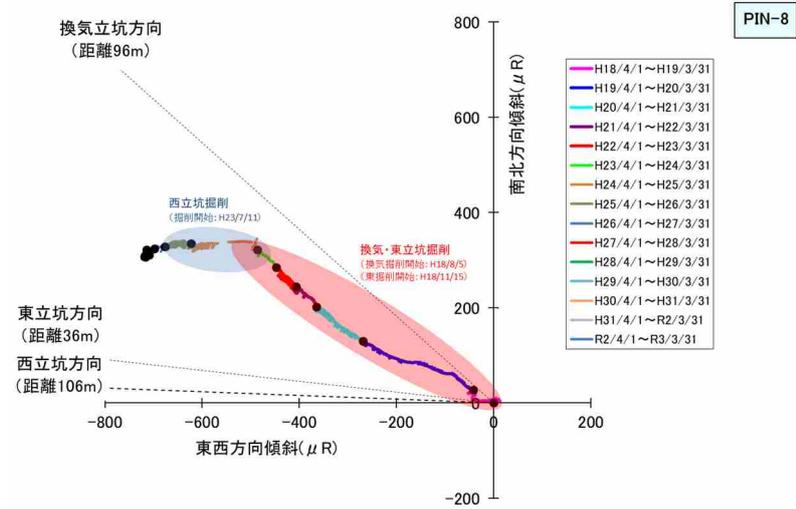
*55：通常の傾斜計が計測できる角度は約3,600分の1度であるのに対し、約1億分の6度の傾斜量を計測することができる非常に計測精度の高い傾斜計です。



高精度傾斜計の配置



(a) PIN8 (傾斜量)

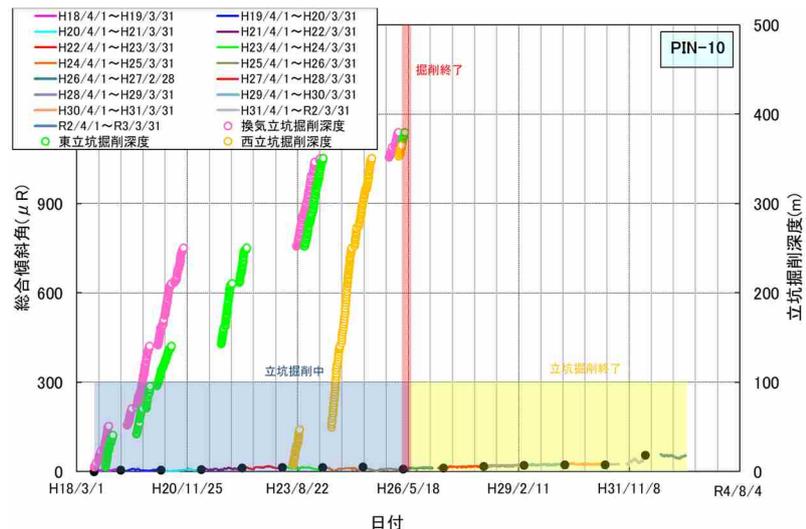


(b) PIN8 (傾斜方向)



高精度傾斜計の配置

国土地理院発行5万分の1地形図を使用



(c) PIN10 (傾斜量)

図 97 傾斜計データの一例

グラフの縦軸の単位 μR (マイクロラジアン)は角度の単位で、 $1,000 \mu R$ が約 0.06° に相当します。

(5) 地震観測

施設設計の妥当性検証の一環として、地下施設内の4台の地震計と地表の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2年4月1日から令和3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 98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5回発生しました(表 8)。図 99に令和3年2月6日午前4時10分ごろに発生した地震の地下施設の観測記録を示します。地下では、地上に比べて揺れが小さいことが分かります。

地震に伴う地質環境特性の変化に関わるデータ取得のため、上幌延観測点(HDB-2)と350m調査坑道での地震観測を継続します。

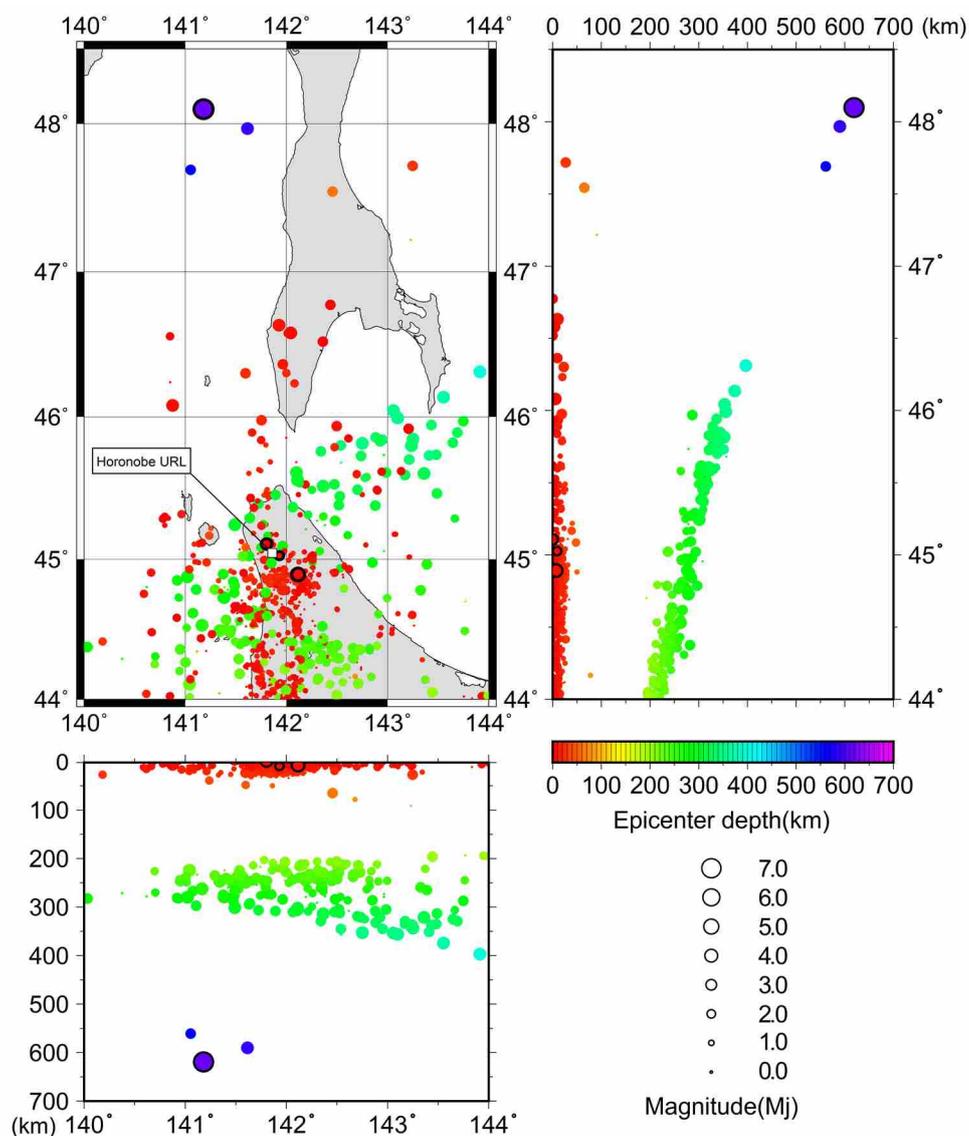
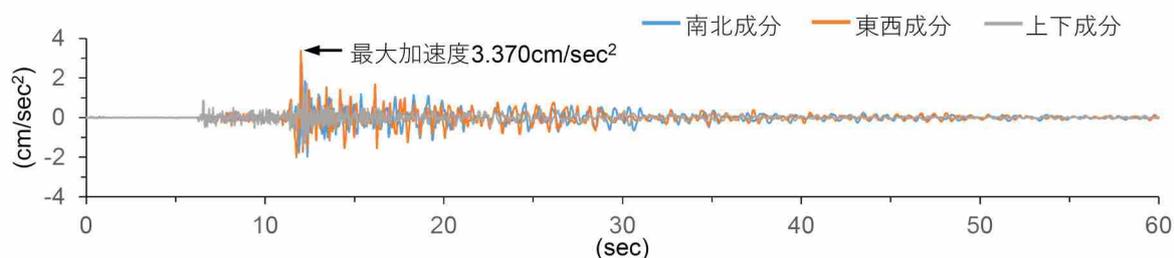


図 98 幌延深地層研究センター周辺の震央分布

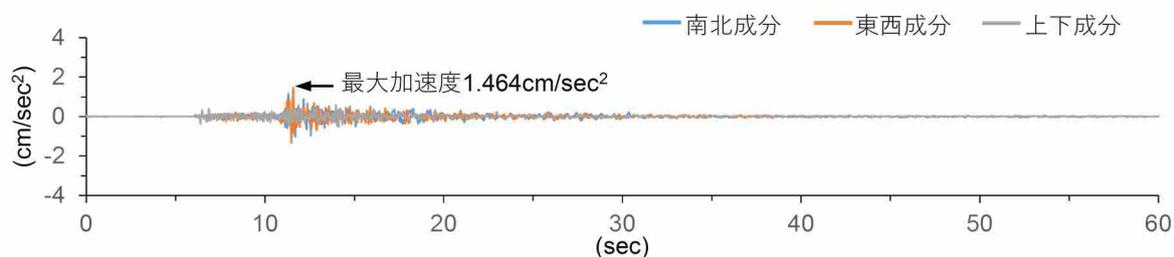
表 8 幌延町宮園で観測された震度1以上の地震

地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	Mj ^{*56}	震度	
						幌延町宮園	最大震度
2021/2/6 4:10:01	上川地方北部	44° 53.6' N	142° 06.8' E	2 km	3.9	2	3
2020/2/6 4:02:4	上川地方北部	44° 53.5' N	142° 07.0' E	7 km	3.5	1	2
2020/12/1 7:54:33	サハリン西方沖	48° 05.8' N	141° 10.8' E	619 km	6.7	2	3
2020/8/27 17:36:34	宗谷地方北部	45° 01.5' N	141° 55.8' E	9 km	1.7	1	1
2020/4/1 4:39:34	宗谷地方北部	45° 06.4' N	141° 48.2' E	0 km	2.6	2	2

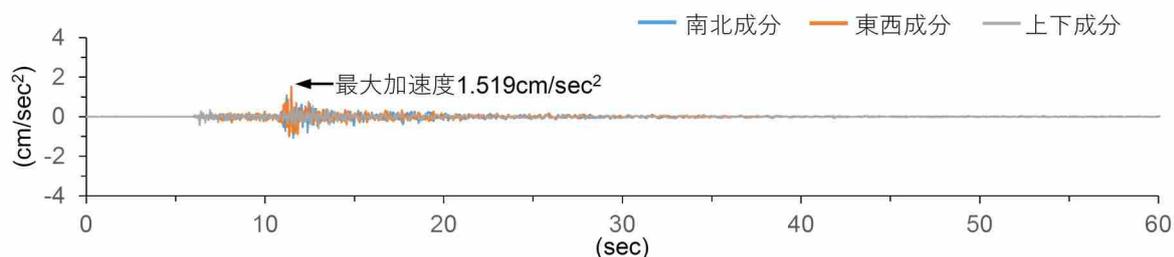
これらの地震の震央は図 98に黒丸で示しています。



(a) 地表部の地震計の記録



(b) 地下施設 250m調査坑道地震計の記録



(c) 地下施設 350m調査坑道地震計の記録

図 99 地下施設の地震観測記録の例（令和3年2月6日午前4時10分ごろ発生した地震）

地下施設の地震観測結果は幌延深地層研究センターのホームページに掲載しています。

*56：気象庁マグニチュード（地震の規模を表す数値）です。

8. 地下施設の管理

8.1 地下施設の整備

令和2年度は、試験坑道1において、人工バリア性能確認試験の解体調査のための試験施工（4.1参照）で使用するプラグおよび試験体の設置を行いました（図 100）。

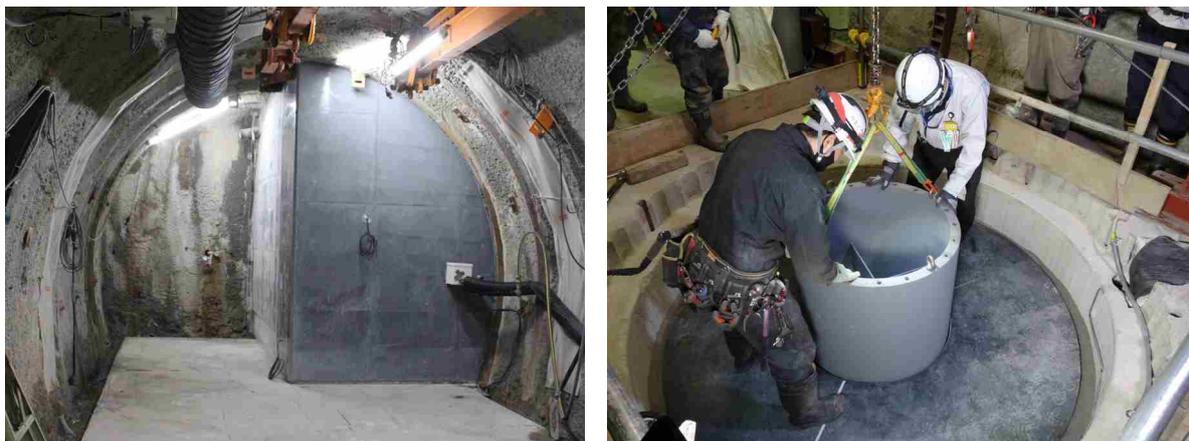


図 100 地下施設の整備状況

8.2 地下施設の維持管理

令和元年度に引き続き維持管理業務として、地下施設の機械設備や電気設備の運転・保守および設備の更新（東立坑櫓設備）などを行い、地下施設の安全確保に努めました（図 101）。



図 101 設備の点検および更新状況

8.3 掘削土（ズリ）の管理

地下施設の建設により発生した掘削土（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、対象となる物質が土壤汚染対策法に定める範囲内であることを確認するため、掘削土（ズリ）について建設現場における簡易分析と公的機関による詳細な分析（以下、公定分析）を実施し、同法に準じた適切な管理のもと掘削土（ズリ）置場へ搬入し、保管しています（図 102）。

掘削土（ズリ）置場は、土壤汚染対策法の遮水工封じ込め型に準じた二重遮水シート構造（図 103）となっています。



図 102 掘削土（ズリ）置場

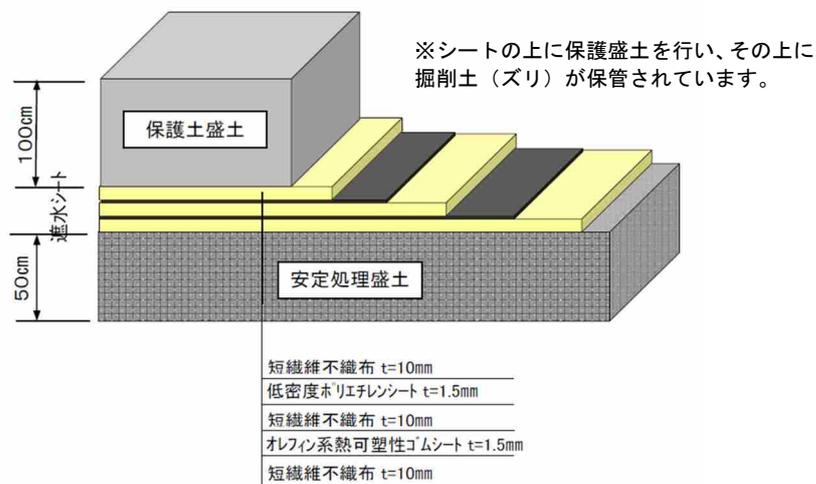


図 103 二重遮水シートの構造

8.4 排水の管理

地下施設からの排水と掘削土（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 104）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した後、排水管路を通じて天塩川へ放流しています。

地下施設からの排水の公定分析結果については、9.1(2)に示します。



(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 104 排水処理設備

9. 環境調査

令和元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。

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 105に示します。

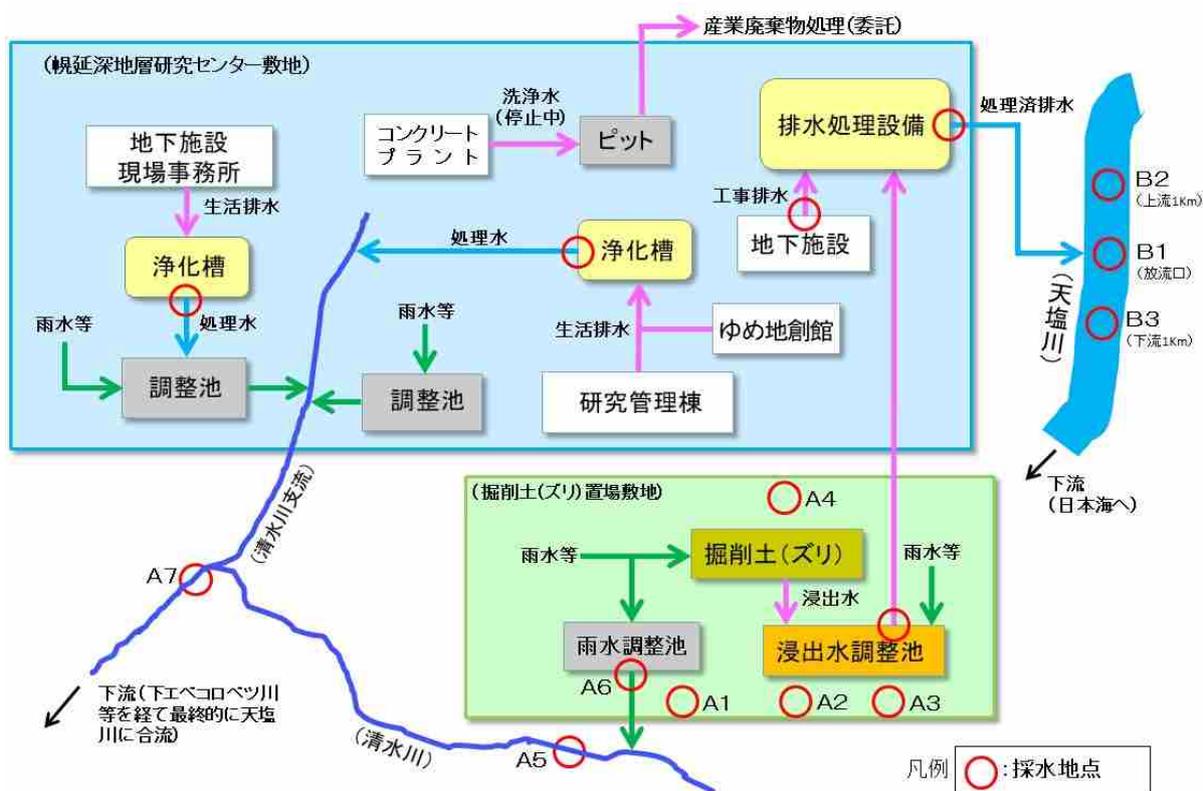


図 105 排水系統と各水質調査の採水地点

(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