

**幌延深地層研究計画
平成23年度調査研究成果報告**

平成24年7月

**日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター**

目 次

1. はじめに.....	1
2. 平成23年度の主な調査研究の進め方	2
3. 地層科学研究.....	6
3.1 地質環境調査技術開発	6
3.1.1 地質環境モデルに関する調査・解析技術の開発.....	6
3.1.2 調査技術・調査機器開発	19
3.2 深地層における工学的技術の基礎の開発	30
3.3 地質環境の長期安定性に関する研究	33
3.3.1 地質環境の長期的変遷に関する研究	33
3.3.2 地震研究	37
4. 地層処分研究開発.....	39
4.1 処分技術の信頼性向上	39
4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証	39
4.1.2 設計手法の適用性確認	45
4.2 安全評価手法の高度化	46
4.2.1 安全評価モデルの高度化	46
4.2.2 安全評価手法の適用性確認	48
5. 地下施設の建設.....	49
6. 環境モニタリング.....	51
6.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査.....	51
6.2 地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査	54
7. 安全確保の取組み.....	62
8. 開かれた研究.....	62
8.1 国内機関との研究協力	63
8.1.1 大学との研究協力	63
8.1.2 その他の機関との研究協力	65
8.2 国外機関との研究協力	66
参考資料.....	68

図目次

図 1	幌延深地層研究計画の全体スケジュール	2
図 2	平成 23 年度の調査研究のイメージ	4
図 3	研究用地における主な施設と観測装置の配置	4
図 4	ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所	5
図 5	地下施設周辺の地質構造モデル	7
図 6	粉末 X 線回折による分析結果	7
図 7	地層境界深度の確認位置	8
図 8	表層水理調査位置	9
図 9	調査流域周辺の地質	10
図 10	調査の数量と全水頭誤差の相関性	12
図 11	幌延地域を事例とした場合の実測値と解析値の誤差を 5m 以下にするための調査レイアウト案	13
図 12	立坑内で採取した地下水の塩分濃度の経時変化	14
図 13	立坑周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布	16
図 14	初期地圧測定の実施位置 (250m 調査坑道)	18
図 15	初期地圧測定の結果	18
図 16	水平面内における最大・最小主応力の深度分布	18
図 17	水平面内における最大主応力の方向	19
図 18	掘削影響試験のレイアウト (140m 調査坑道)	20
図 19	弾性波トモグラフィ調査の結果	21
図 20	間隙水圧・水分量と坑内気温・湿度の経時変化	22
図 21	物質移行試験装置の概念図	23
図 22	遊離ガスを試験区間から取り除くための試験手順	24
図 23	PB-V01 孔における地下水の間隙水圧の測定結果	26
図 24	HDB-7 孔における地下水の間隙水圧の測定結果	26
図 25	立坑掘削の進捗状況	26
図 26	東立坑の深度 140m 地点における間隙水圧の変化	27
図 27	傾斜量データ	29
図 28	三次元レーザースキャナによる岩盤壁面の形状計測	31
図 29	立坑壁面の割れ目分布と凹凸状況	32
図 30	岩盤の抜け落ちイメージ	33
図 31	データベースの設計思想 (案)	34
図 32	地形・地質構造の変遷モデル	36
図 33	解析結果の一例と解析の対象とした断面の位置	36
図 34	北海道北部で発生した地震の震源分布	38
図 35	地表と地下の地震時の加速度の波形の比較	39
図 36	HFSC を用いた吹付けコンクリートの施工試験範囲	40
図 37	採水装置のイメージ	42
図 38	緩衝材への注水量の時間変化 (平成 22 年 4 月 28 日～平成 23 年 9 月 25 日)	45
図 39	350m 調査坑道周辺の調査ボーリング	46
図 40	環境モニタリング調査位置	52
図 41	地下施設排水処理系統図	56

図 42	幌延深地層研究センター排水系統図	56
図 43	天塩川の水質モニタリング調査位置	56

表目次

表 1	地層境界深度	8
表 2	水収支の算出結果	10
表 3	水質分析結果	42
表 4	掘削土(ズリ)モニタリング調査結果（土壌溶出量：公定分析）	51
表 5	環境モニタリング調査実施内容	52
表 6	モニタリング調査項目と結果	53
表 7	確認された重要種（魚類）	54
表 8	水質調査の実施対象と主な分析項目	55
表 9	地下施設から天塩川への排水量	58
表 10	地下施設からの排水に係る水質調査結果	58
表 11	天塩川の水質調査結果	59
表 12	浄化槽排水の水質調査結果	60
表 13	掘削土(ズリ)置場周辺の地下水の水質調査結果	60
表 14	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	61

写真目次

写真 1	施工試験実施状況	41
写真 2	緩衝材定置試験設備の製作状況	43
写真 3	昇降装置の外観	43
写真 4	緩衝材の膨潤状況	44
写真 5	西立坑のやぐら設備設置状況	49
写真 6	掘削土(ズリ)置場の盛土および拡張整備状況	50
写真 7	安全パトロールの様子	62

1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）が、北海道幌延町で実施している幌延深地層研究計画は、平成17年10月の「原子力政策大綱^{*1}」に示された「深地層の研究施設」を活用した計画のひとつであり、堆積岩を対象に深地層の研究を行うものです。

「原子力政策大綱」においては、「日本原子力研究開発機構を中心とした研究開発機関は、深地層の研究施設等を活用して、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発、安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきである」と述べられています。幌延深地層研究計画では、ここで示された「深地層の科学的研究」については「地層科学研究」、また、「地層処分技術の信頼性向上」と「安全評価手法の高度化」については「地層処分研究開発」として研究開発を進めています。

また、文部科学省と経済産業省が公表した第2期（平成22年4月1日～平成27年3月31日）の「独立行政法人日本原子力研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標（中期目標）」^{*2}（以下、第2期中期目標）では、「幌延深地層研究計画に基づき、坑道掘削時の調査研究及び坑道を利用した調査研究を着実に進める。あわせて工学技術や安全評価に関する研究開発を実施」することが目標として掲げられています。

原子力機構では、第2期中期目標を受け、「独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画（中期計画）」^{*3}を策定し、高レベル放射性廃棄物の処分技術に関する研究開発について、「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の2つの領域において、他の研究開発機関と連携して研究開発を進め、地層処分の安全確保の考え方や評価に関わる様々な論拠を支える「知識ベース^{*4}」を充実させる」として

^{*1}：現在の原子力政策大綱は、平成17年10月に策定されたものです。平成22年11月に新たな大綱の策定を目指して「新大綱策定会議」が設置され、検討が開始されました。平成23年3月に東京電力株式会社福島第1原子力発電所における事故が発生したため一時中断しましたが、平成23年8月から検討が再開されています。

^{*2}：原子力機構は、原子力基本法第2条に規定する基本方針に基づき、我が国における原子力の研究、開発および利用を計画的に遂行するために原子力委員会が定める基本的考え方に則り、その業務を総合的、計画的かつ効率的に行うことが定められています。中期目標はこれを踏まえ、文部科学省と経済産業省が、独立行政法人通則法第29条の規定に基づき定めた目標です。

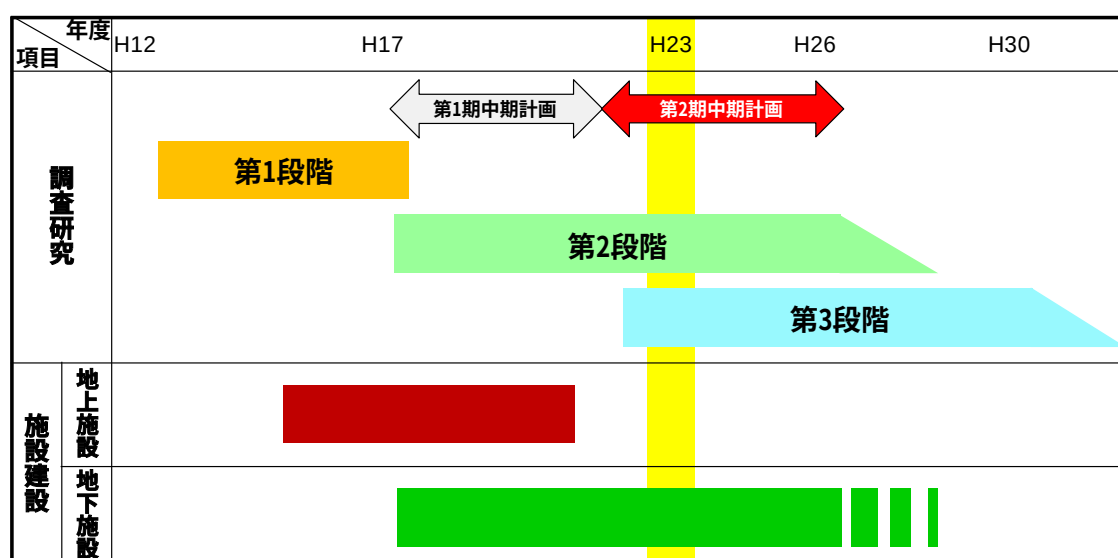
^{*3}：中期計画の期間は、中期目標と同じく平成22年4月1日～平成27年3月31日の5年間です。

^{*4}：個別の研究開発で得られた成果を、地層処分技術全体に関わる様々な論拠や国内外の知見とあわせて、適切に管理し、伝達・継承していくための基盤となるものです。

ています。幌延深地層研究計画においては、深地層の科学的研究として、「深地層環境の深度（地下350m程度）まで坑道を掘削しながら調査研究を実施し」、「地上からの精密調査の段階に必要な技術基盤を整備し、実施主体や安全規制機関に提供する」計画です。また、地層処分研究開発として、「深地層の研究施設等を活用して、実際の地質環境条件を考慮した現実的な処分概念の構築手法や総合的な安全評価手法を整備することとしています。さらに、「業務の合理化・効率化の観点から、幌延深地層研究計画に係わる研究坑道の整備等に民間活力の導入を図る」こととしており、平成22年度より施設整備、維持管理および研究支援からなるPFI契約^{*5}を締結して調査研究を進めています。

2. 平成23年度の主な調査研究の進め方

幌延深地層研究計画は、「地上からの調査研究段階（第1段階）」、「坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第2段階）」、「地下施設での調査研究段階（第3段階）」の3つの段階に分けて実施しています（図 1）。



- 第1段階：地上からの調査研究段階
 第2段階：坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階
 第3段階：地下施設での調査研究段階

図 1 幌延深地層研究計画の全体スケジュール

^{*5}：Private Finance Initiative（民間資金等活用事業）の略称で、公共施設などの建設、維持管理、運営などを民間の資金、経営能力、技術的能力を活用することで、国や地方公共団体などが直接実施するよりも効率的かつ効果的に事業を実施するための方策です。幌延深地層研究計画における、PFIの契約期間は平成23年1月31日から平成31年3月31日までです。

平成23年度は、「幌延深地層研究計画 平成23年度調査研究計画」⁽¹⁾にしたがって、調査研究および地下施設の建設を進めました。

調査研究は、これまでと同様に、「地層科学研究^{*6}」と「地層処分研究開発」を行いました。「地層科学研究」では、地質環境調査技術開発、深地層における工学的技術の基礎の開発、地質環境の長期安定性に関する研究、の3項目の研究課題を設定し、「地層処分研究開発」では、処分技術の信頼性向上、安全評価手法^{*7}の高度化、の2項目の研究課題を設定しています⁽²⁾。

地下施設の建設では、立坑については、東立坑および換気立坑を深度約350mまで掘削するとともに、西立坑は深度約50mまでの掘削を行い、地上のやぐら設備などを整備しました。調査坑道については、250m調査坑道の掘削を継続し、平成23年5月に西立坑の接続部を残し掘削がほぼ終了しました。また、350m調査坑道の掘削を平成24年3月に換気立坑側から開始しました。研究所設置地区周辺や天塩川において環境モニタリングを継続しました。

平成23年度の主な調査研究のイメージを図 2に、研究用地内の主な施設と観測装置の配置を図 3に示します。また、幌延町内で実施している調査研究に関わる主要なボーリング調査や観測地点などの位置を図 4に示します。

幌延深地層研究計画の成果は、原子力機構の東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所などでの成果と合わせて、一連の地層処分技術として、処分事業や安全規制に適宜反映していきます。そのため、国内外の研究機関との連携を図り、大学などの専門家の協力を得つつ、本計画を着実かつ効率的に進めます。また、研究開発業務の透明性・客観性を確保する観点から、研究計画から成果までの情報を積極的に公表し、特に研究成果については国内外の学会や学術誌などを通じて広く公開します。参考資料として、巻末に平成23年度の学会などへの発表実績を掲載しました。

^{*6}：幌延深地層研究計画では、原子力政策大綱で「深地層の科学的研究」とされている研究を「地層科学研究」と呼称しています。

^{*7}：地層処分システム全体、あるいはその個別の要素が有する機能について解析した結果を適切な基準と比較し、その性能や安全性について判断を行う手法のことです。

以下に、平成23年度に実施した主な調査研究の成果および地上施設の建設について報告します。

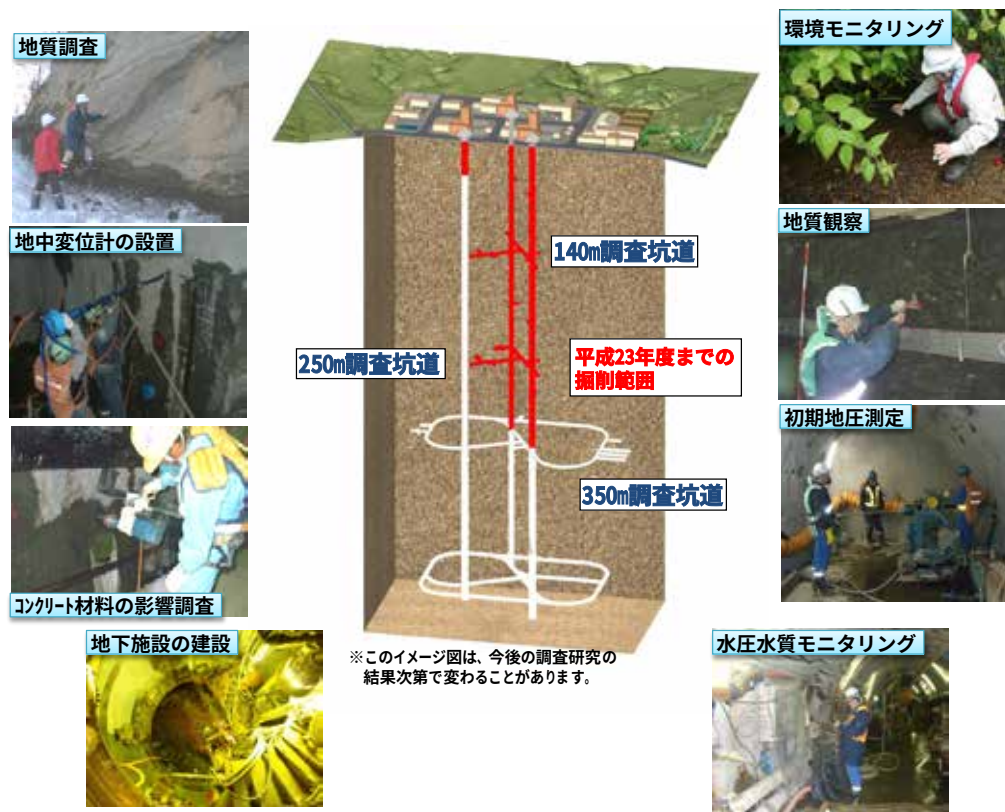


図 2 平成23年度の調査研究のイメージ

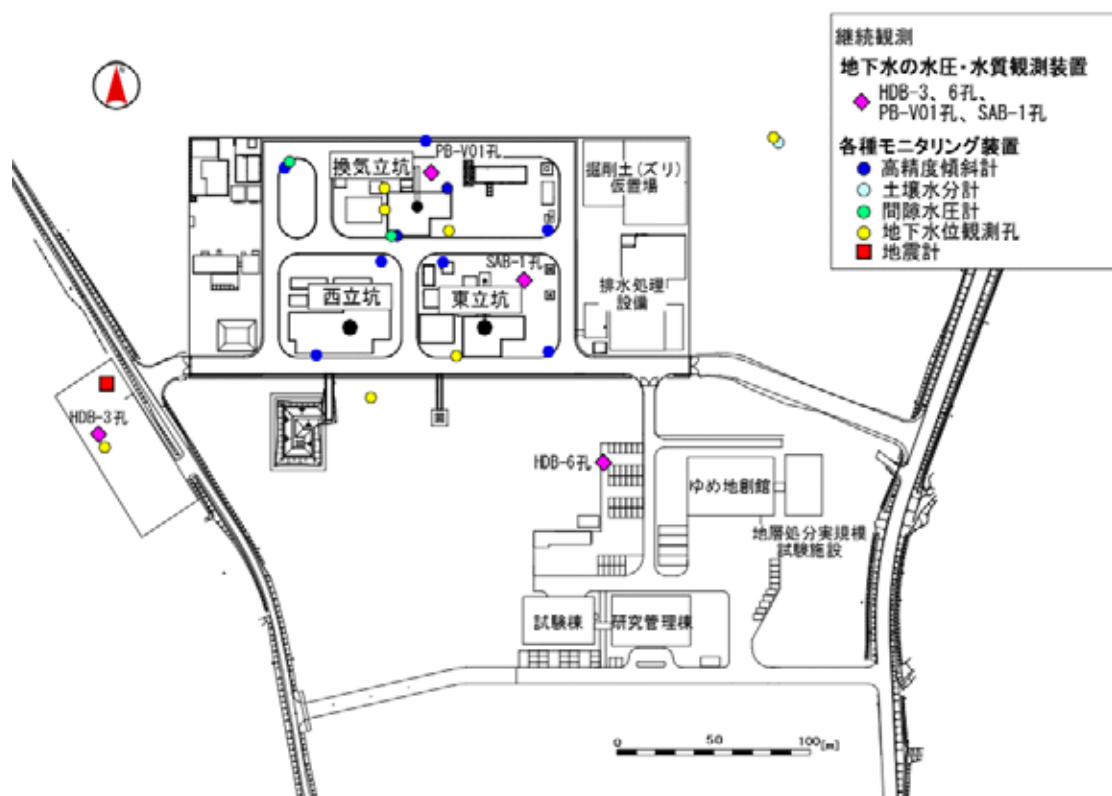


図 3 研究所周地における主な施設と観測装置の配置

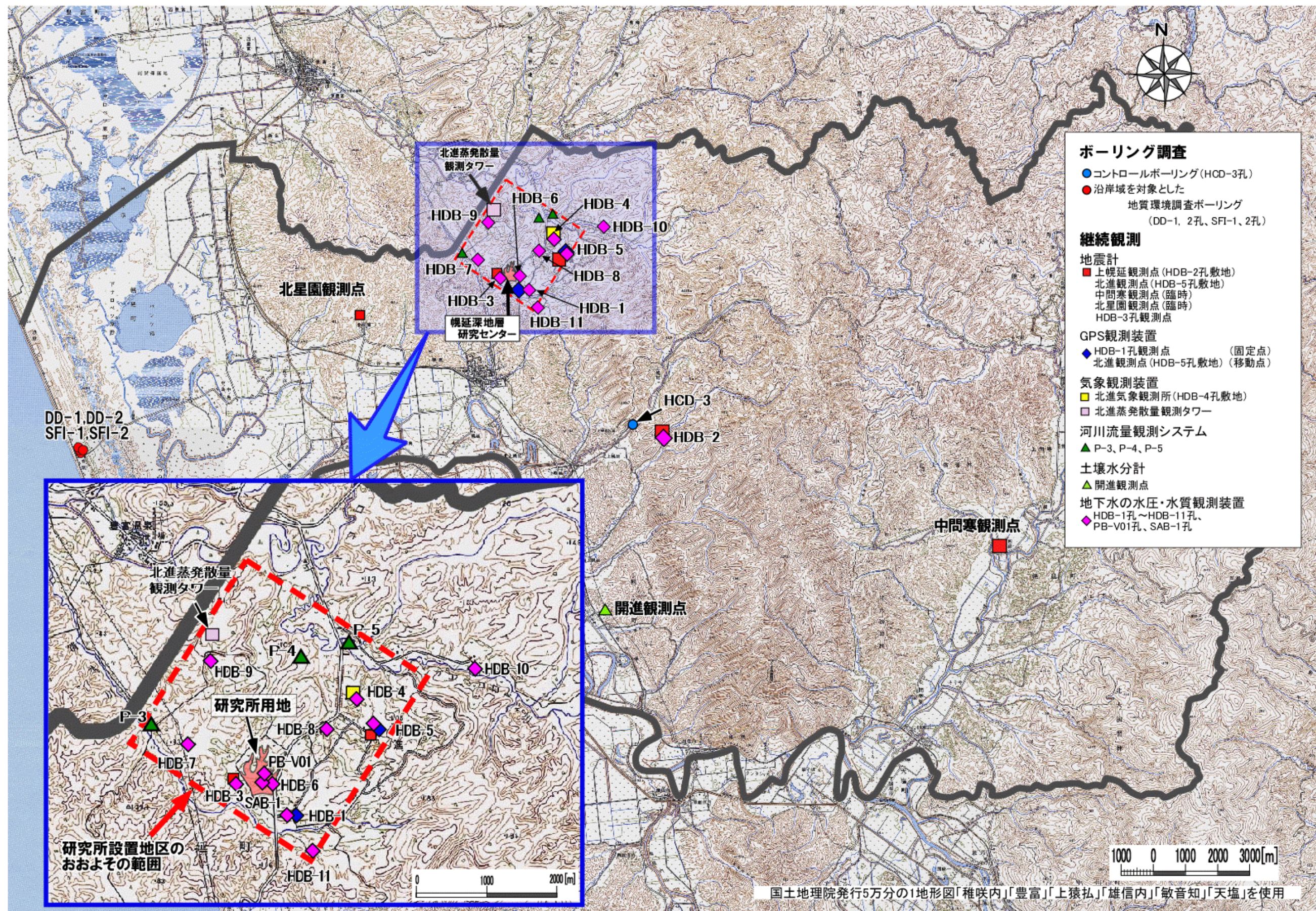


図 4 ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所

3. 地層科学研究

3.1 地質環境調査技術開発

3.1.1 地質環境モデルに関する調査・解析技術の開発

(1) 地質構造

第2段階では、地下施設およびその周辺での地質観察、および採取した岩石の顕微鏡観察や分析などを行っています。そして、これらの調査から得られる情報に基づいて、第1段階の調査結果に基づいて構築した地質構造モデル^{*8}の妥当性確認と更新を行い、詳細な地質構造モデルを構築します。

平成23年度は、地下施設近傍で確認および推定された地質・地質構造の分布を三次元的に可視化するとともに、坑道壁面や坑道からのボーリング調査により得られた岩石試料の分析を行い、地質構造モデルを更新しました（図 5）。

地下施設周辺には、珪藻質泥岩からなる^{こえとい}声問層と、珪質泥岩からなる^{わっかない}稚内層が分布しています。声問層にはオパールA^{*9}という鉱物が多く含まれているのに対して、稚内層にはオパールCTという鉱物が多く含まれています。この鉱物組成の違いを、粉末X線回折^{*10}という分析方法を用いて識別することにより、声問層と稚内層の地層境界が特定できます。図 6 に岩石の分析結果を示します。分析の結果、主に地上からの調査に基づいて予測した稚内層と声問層の地層の境界と、今回更新した地質構造モデルの地層の境界には、数m程度の違いしか認められませんでした。図 7 に地層境界深度の確認位置を、表 1に予測深度と確認した地層境界深度を示します。これらのことから、地上からの調査結果を基に作成した地質構造モデルは、地下施設近傍の地層分布を把握するために必要な情報量を有しており、地上からの調査による予測は、概ね妥当であることが確認できました。

*8：岩相や断層などの地質構造の分布や形状を表現したモデルです。

*9：オパールは珪酸(SiO₂)に水が配合した鉱物です。珪酸は珪質の堆積岩の主な構成鉱物で、他に石英などの鉱物を作ります。堆積物の埋没深度が増すにつれ、そして年代が古くなるにつれて、堆積物中の珪酸はオパール A からオパール CT を経て石英となります。

*10：鉱物の種類を特定するために用いられる分析手法です。粉末にした試料に X 線をあて、反射してくる X 線を測定すると、図 6 に示すように多くのピークを持った波形が観測されます。鉱物の種類に応じてピークの位置が決まっているので、測定した試料に含まれる鉱物の種類を特定することができます。

今後も、地下施設およびその周辺での地質観察や岩石の分析などを行い、地質構造モデルの妥当性を確認し、必要に応じて更新していきます。

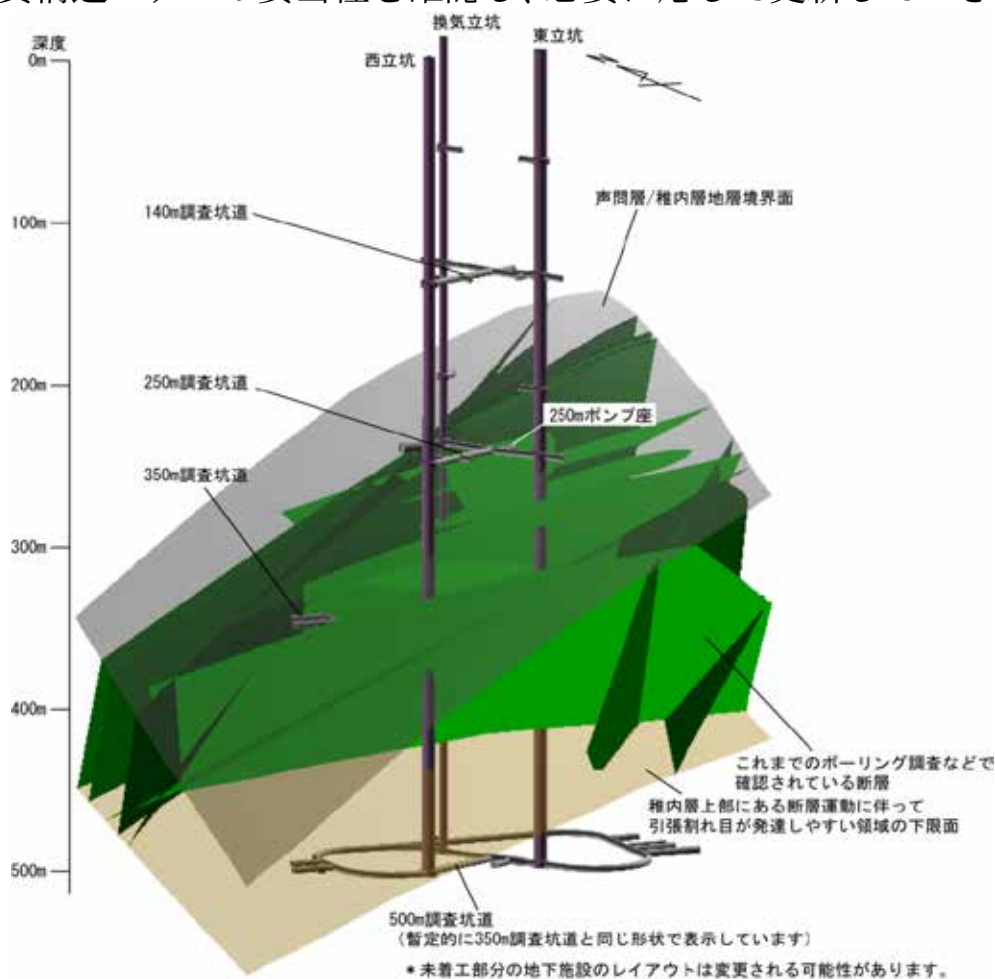
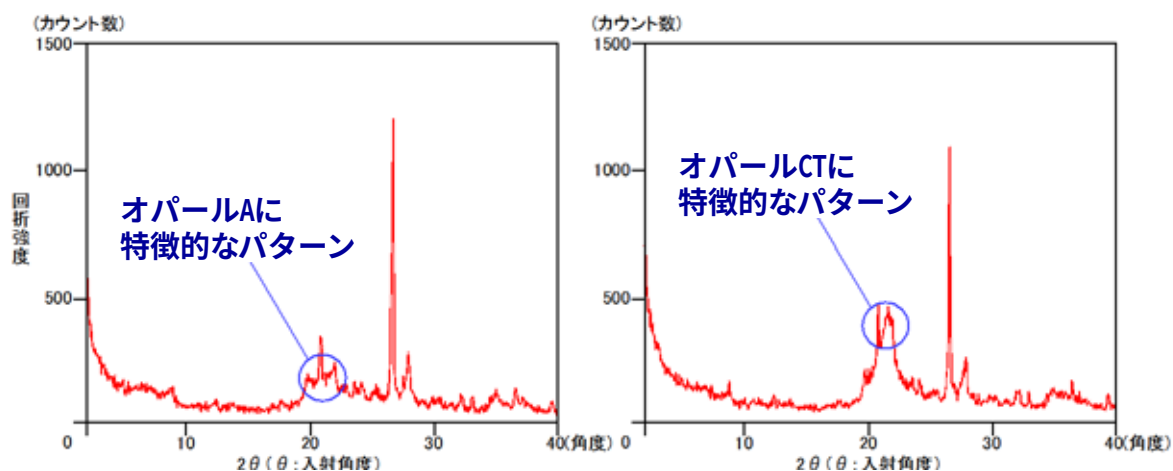


図 5 地下施設周辺の地質構造モデル

地層と主要な断層の三次元的な分布を、立坑近傍のボーリング孔および坑道壁面観察のデータから推定。



(a) 声問層（オパールAを多く含む試料） (b) 稚内層（オパールCTを多く含む試料）

図 6 粉末X線回折による分析結果

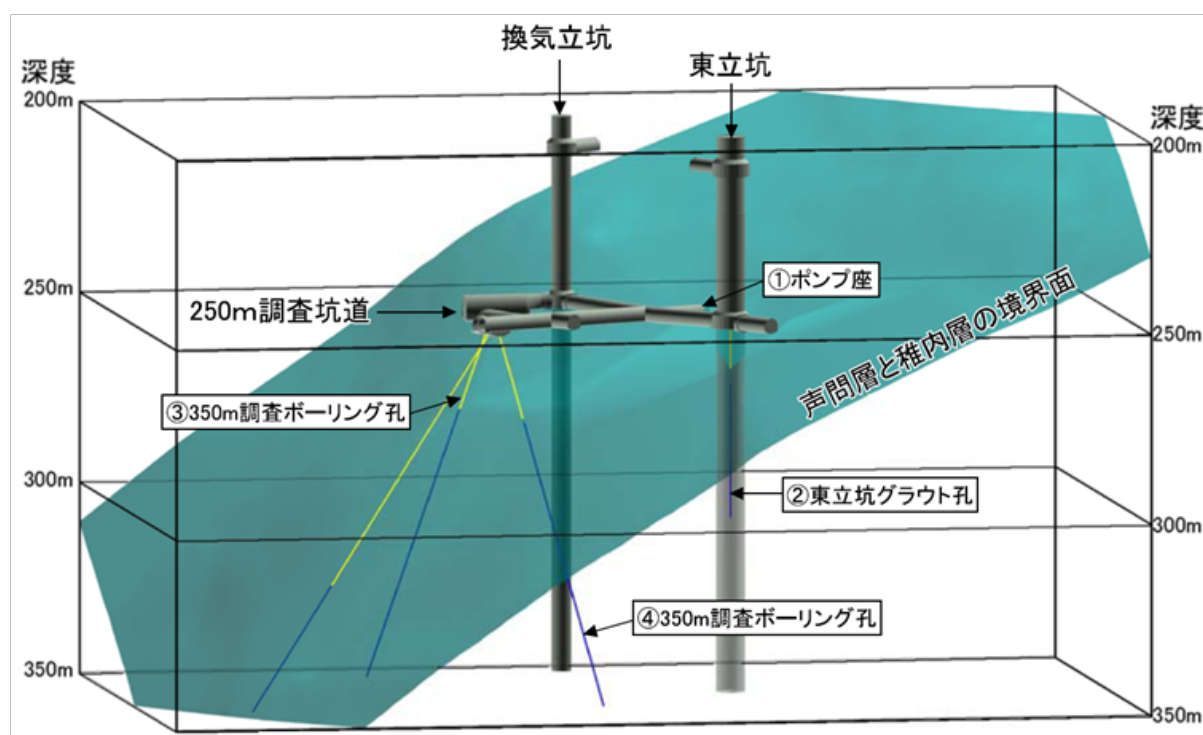


図 7 地層境界深度の確認位置

ボーリング孔の緑色の部分は声問層が確認された範囲を示しています。青い表示は稚内層を確認した範囲を示しています。

表 1 地層境界深度

確認位置	観察・分析種別	予測深度	確認深度
①	ポンプ座の底盤地質観察	GL-249m	GL-251m
②	東立坑グラウト孔のコアの分析結果	GL-260m	GL-261m
③	350m 調査ボーリング孔のコアの分析結果	GL-275m	GL-274m
④	350m 調査ボーリング孔のコアの分析結果	GL-276m	GL-275m

確認位置の数字は図 7 に対応しています。

(2) 岩盤の水理

第2段階では、表層水理調査や第1段階で掘削したボーリング孔での地下水位観測を継続するとともに、地下施設を利用した立坑周辺の岩盤の透水性などに関する調査を行っています。これらの調査から得られる情報に基づいて、第1段階の調査手法と予測結果の妥当性を確認するとともに、地下水の流れを把握するための調査手法の検討とその適用性の確認

を行っています。

平成23年度は、図 8に示す研究所周辺に設定した調査流域の気象観測や河川流量などの観測を継続するとともに、これまでの観測データを再評価して地下水涵養量（雨や雪などの降水が地下の岩盤にしみ込む量）を推定しました⁽³⁾。表 2に示した調査流域の水収支^{*11}からは、P-4流域とP-5流域の地下水涵養量がそれぞれ降水量の1.8%、4.5%とわずかであるのに対して、P-3流域では降水量の21.1%と比較的多いことが分かりました。また、図 9に示した流域内の地質分布と、これまでのボーリング調査などから得られている地層の透水性に関する情報によると、調査流域の主な涵養域はP-3流域の南側上流部で背斜構造を伴う稚内層の上部に加え、同じくP-3流域の西側上流部で向斜構造を伴う更別層の分布域と推定されました。これらの知見は第1段階で実施した比抵抗探査⁽⁴⁾や予察的な地下水の流れの解析の結果⁽⁵⁾と整合していることが確認されました。

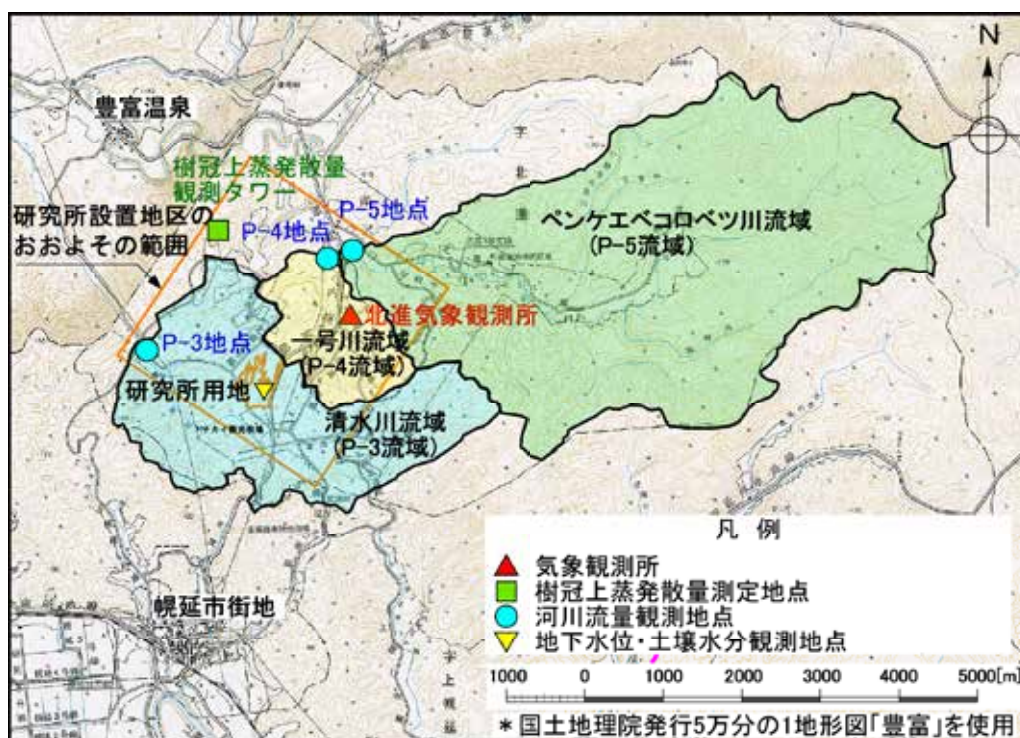


図 8 表層水理調査位置

*11：ある流域における一定期間の水の出入りの収支を表したものです。降水量が収入に相当し、河川水や地下水として流出する水量や、地面からの蒸発や植物からの蒸散により大気中に戻る水量（蒸発散量）が支出に相当します。水収支法ではこれらの水の収支が釣り合っていると仮定し、観測を行っている降水量、蒸発散量および河川流出量から地下水涵養量（地下岩盤層への降水の浸透量）を降水量 - （蒸発散量 + 河川流出量） = 地下水涵養量、として算出します。

表 2 水収支の算出結果

(平成16年12月～平成21年11月の観測結果に基づく推定結果)

流域	降水量	蒸発散量	河川流出高	地下水涵養量
P-3	1,537	446 (29.0%)	768 (49.9%)	324 (21.1%)
P-4	1,505	387 (25.7%)	1,090 (72.4%)	28 (1.8%)
P-5	1,597	470 (29.4%)	1,055 (66.1%)	72 (4.5%)
全流域	1,575	458 (29.0%)	986 (62.6%)	131 (8.3%)

単位(mm/年)、下段()は降水量に対する蒸発散量、河川流出高および地下水涵養量の割合を表しています。

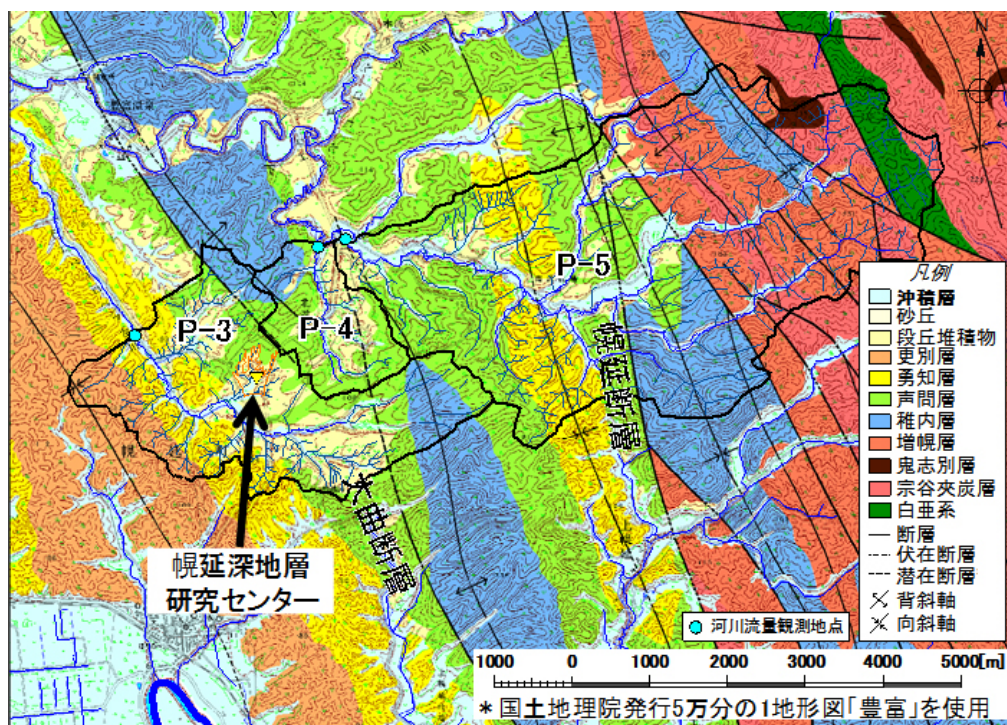


図 9 調査流域周辺の地質

また、第1段階の調査手法と数値解析による予測結果の妥当性を確認するため、数値解析で予測した地下水の水圧（全水頭^{*12}：以下、予測値）分布と、ボーリング孔で測定された実際の全水頭（以下、実測値）分布の誤差と、ボーリング孔の数に着目し、調査の進展により新たに得られ

*12：水の持つエネルギーを基準面からの水柱の高さに置き換えたものです。水の流れる速度が非常に遅い地下水では、運動エネルギーは無視できるほど小さいため、水が持つエネルギーは圧力エネルギーと位置エネルギーを考えれば良く、これらを水柱の高さに置き換えたものをそれぞれ圧力水頭、位置水頭と呼びます。圧力水頭と位置水頭を合わせたものを全水頭（あるいは単に水頭）と呼び、全水頭は長さの単位であるメートルで表します。

た調査データが、どの程度誤差を小さくするのに効果があったかについての評価を行いました。加えて、ボーリング孔の配置にも着目し、各ボーリング孔の中心から2km四方の範囲内に存在するボーリング孔の数（ボーリング調査の密度）が、予測値と実測値の誤差に与える影響についての評価を行いました。

上記の評価を行うことでボーリングによる水理調査の効果的な調査順序、組み合わせ、得られるデータの量と質などが得られるものと期待されます。そこで、これまでに実施してきた幌延地域を対象とした地下水の流れの解析結果について、上記の評価手法を適用した結果、

- ① HDB-1孔およびHDB-2孔のボーリング調査結果のみを基にした第1段階初期のモデルを使った解析では、予測値と実測値の全水頭の誤差は約26mであること、
- ② 調査の進展によりボーリング調査の数が増加するに従って誤差は小さくなり、HDB-1孔からHDB-11孔までの調査結果を基にした第1段階の最も後期のモデルを使った解析では、予測値と実測値の誤差は2～3m程度まで小さくなること、
- ③ 第1段階の最も後期のモデルに、第2段階で実施した新たなボーリング孔（PB-V01孔およびSAB-1孔）による調査結果を追加したモデルを使った解析では、予測値と実測値の誤差はわずかに減少するにとどまること、

などが分かりました（図 10）。

これらの検討から、現在の調査解析技術では、幌延地域においては、全水頭は2～3m程度の誤差で予測することが可能であること、この程度の誤差で予測するためには、2km四方の範囲に5本以上のボーリング孔による調査が必要であること、ただし、それ以上のボーリング調査を実施しても予測値と実測値の誤差の減少に与える影響は小さいことなどが分かりました。

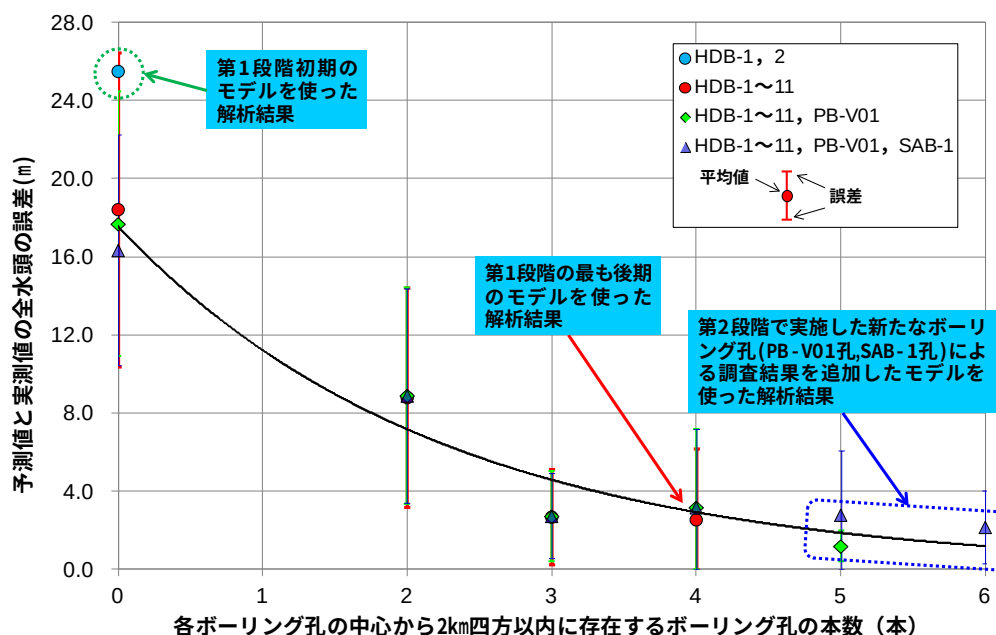


図 10 調査の数量と全水頭誤差の相関性

次に、上記の手法を反射法地震探査^{*13}の調査測線からボーリング孔の中心までの距離と第1段階の最も後期のモデルを使った解析で得られた予測値と実測値の全水頭の誤差の関係について適用し、評価を行いました。その結果、調査測線とボーリング孔中心までの距離が200m以内のボーリング孔（HDB-1孔～4孔、HDB-6孔～8孔およびHDB-11孔）の全水頭の誤差は相対的に小さく、調査測線とボーリング孔中心までの距離が300m以上のボーリング孔（HDB-5孔、HDB-9孔およびHDB-10孔）の誤差が相対的に大きくなる傾向があり、全水頭の誤差が5m以下となるのに必要な条件は、離間距離が200m以内であることが分かりました。一方で、誤差が相対的に大きいボーリング孔(HDB-5孔、HDB-9孔およびHDB-10孔)は大曲断層に隣接していることから、断層の空間分布や水理的な特徴に関する理解が十分ではない可能性を示唆するものと考えられます。

以上の検討結果に基づくと、モデル化・解析の対象とする岩盤が幌延地域と同様な水理的な特徴（水の通りやすさなど）を持ち、幌延地域と同等の規模の断層が存在するような場所では、図 11に示すような調査のレイアウトとすることで、上記の条件を満足でき、より小さい誤差で予測を行うことが可能になると考えられます。

*13：地上で人工的に起こした振動が地下に伝わり、地層の境目などで反射した振動を地上に置いた受振器でとらえ、「振動が地上に戻るまでの時間」や、「振動の弱まり方」などから地下の様子を調べる方法です。

今後は、国内外の幌延地域とは異なる特徴の岩盤における解析事例について、本検討と同様の手法で解析結果を整理・評価し、それらの評価結果と本検討における評価結果の比較を通じて、評価手法の汎用性や一般化に関する検討を進めていきます。

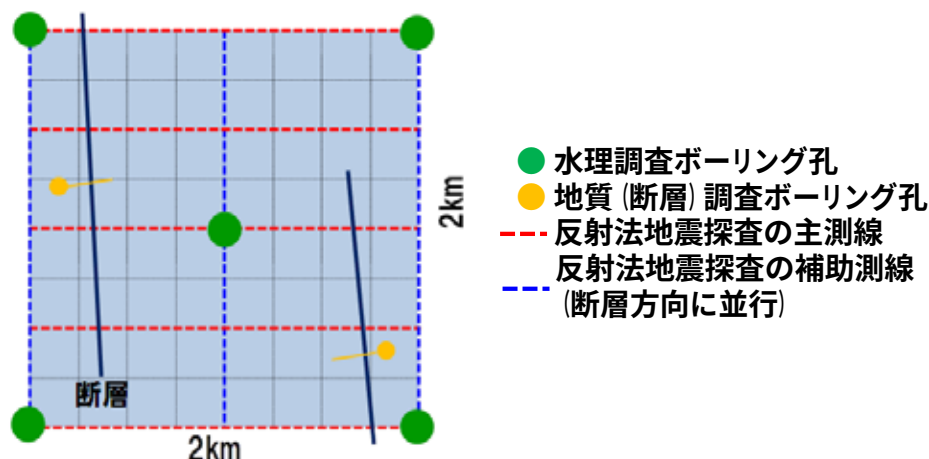


図 11 幌延地域を事例とした場合の実測値と解析値の誤差を 5m 以下にするための調査レイアウト案

(3) 地下水の地球化学

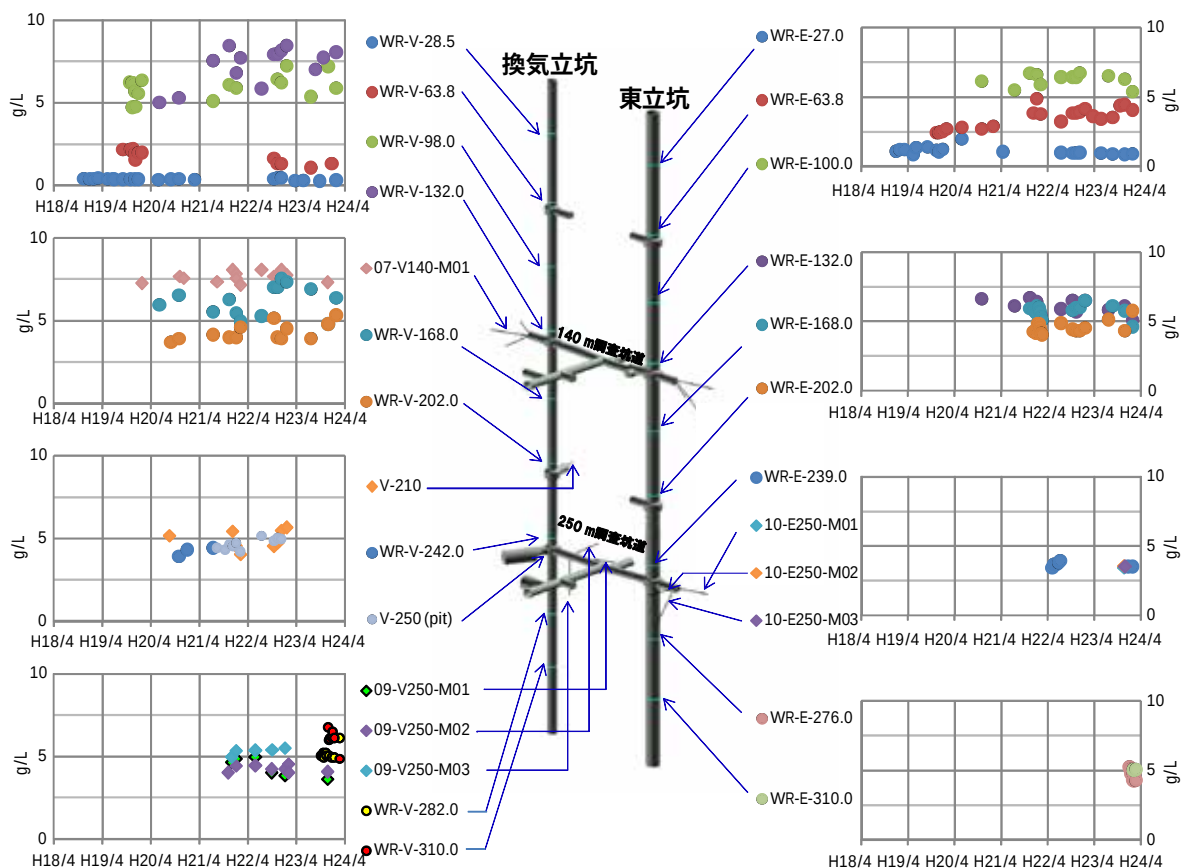
第2段階では、第1段階の調査結果に基づいて推定した地下施設周辺における地下水の水質分布の妥当性を確認するとともに、地下施設の建設に伴う周辺の地球化学環境の変化を把握するための調査解析技術の構築を行っています。このため、坑道内において地下水のpHや電気伝導度^{*14}、酸化還元電位^{*15}などを連続観測するための装置を開発し、その適用性を確認するとともに、坑道近傍で採取した地下水の水質分析を実施し、その変化について評価を行っています。

平成23年度は、平成22年度に引き続き、換気立坑および東立坑壁面に設置した集水リング^{*16}や、坑道内のボーリング孔から採取した地下水の水質の観測を継続しました。図 12に集水リングおよび坑道内で掘削したボーリング孔から採取した地下水の塩分濃度の経時変化を示します。集水リングの一部の区間（WR-V-132.0、WR-V-202.0およびWR-E-63.8）では

*14：電気の通しやすさを表す値で、電気伝導度が高い（電気を通しやすい）ほど地下水に溶けているイオンの量が多いことを表します。

*15：地下水の酸化還元状態を表します。酸化還元電位が低い地下水ほど、含まれる酸素が少なく還元状態であることを表します。

*16：立坑内に湧水する地下水を回収・採取するために、立坑壁面に 30～40m 毎に設置されている設備です。



“V”および“E”はそれぞれ“換気立坑”と“東立坑”を、数字は深度(GL-m)を表しています。凡例の○は集水リング、◇は坑内から掘削したボーリング孔を用いて採取した地下水のデータを表しています。なお、この図では西立坑を示していません。

図 12 立坑内で採取した地下水の塩分濃度の経時変化

塩分濃度の上昇が観測されており、地下施設の西側あるいは換気立坑の深度140m付近などに分布する塩分濃度の高い地下水が流入している可能性が考えられました。一方、地下水の塩分濃度が低下する区間（WR-E-100.0、WR-E-132.0およびWR-E-168.0）も確認されており、地下施設の東側に分布している比較的塩分濃度の低い地下水が引き込まれている可能性が考えられました。立坑周辺における地下水水質の変化については、今後、周辺の地下水の流れの解析とあわせて評価を進めていく予定です。

また、立坑掘削による立坑周辺のpHおよび酸化還元状態の変化を詳細に把握するために、坑道から掘削したボーリング孔を用いて、実際の地下環境の間隙水圧を保持した状態でpH、酸化還元電位を連続して観測しています。その結果、坑道壁面から離れた区間（坑道からの距離が16.3～25.2m、31.2～46.0mおよび57.0～62.9mの3区間）においては、pHは約6.5～7.0、酸化還元電位は約-240～-220mVの範囲であり、立坑掘削の影響

響により間隙水圧が低下している領域であっても、平成21年度から値がほとんど変化していないことが明らかになりました。一方、坑道からの距離が近い観測区間（坑道から3.0～4.0mの区間）では、間隙水圧（実測値：約0.2～0.5MPa）の低下によって炭酸ガスが遊離した影響により、坑道壁面から離れた観測区間よりもやや高いpH（約7.5）が確認されました。しかし、酸化還元電位は観測初期と同じく還元性の値を示しており、140m調査坑道と同じく250m調査坑道の近傍においても還元状態が維持されていることが明らかになりました。この理由として、観測対象である堆積岩は、割れ目などの連結性が乏しく地下水が移動しにくいために水質変化が生じるほど湧水量が多くないこと、また堆積岩中に還元剤となりうる鉱物や有機物、酸化還元反応を促進する微生物が豊富に含まれており、岩盤自体が還元状態を維持する緩衝能力（化学的な変化が生じても元の状態に回復しようとする能力）を十分に有していることなどが考えられます。

また、第1段階の調査結果に基づいて推定した地下施設周辺における地下水の水質分布の妥当性を確認するために、地下水の水質分析結果に基づいて、立坑掘削開始前から平成23年度までにおける地下施設周辺の地下水の塩分濃度の空間分布図を作成し、その経時変化を考察しました。図 13に掘削開始前から平成23年度までのデータに基づく塩分濃度の空間分布図を示します。掘削開始前の塩分濃度の空間分布（図 13(a)）と立坑内で得られた実測値（図 13(b)）はほぼ同様であり、第1段階の調査結果に基づいて推測した塩分濃度の分布に関わる地球化学モデルは妥当であることを確認できました。また、換気立坑の掘削深度が透水性の高い稚内層上部付近に達して湧水量が増加した後（図 13(c)、(d)）と湧水量が増加する前を比較すると、東立坑周辺の塩分濃度がやや上昇する傾向が確認されています。ただし、その変動幅は立坑掘削開始からの約5年間の平均で約0.8g/Lであり、塩分濃度の著しい変化は起こっていません。この結果は、立坑掘削に伴う周辺水質の変化に関する事前の予測解析結果⁽⁶⁾とほぼ一致しており、予測のために実施した解析の方法とパラメータの設定が適切であったことを確認することができました。また、第1段

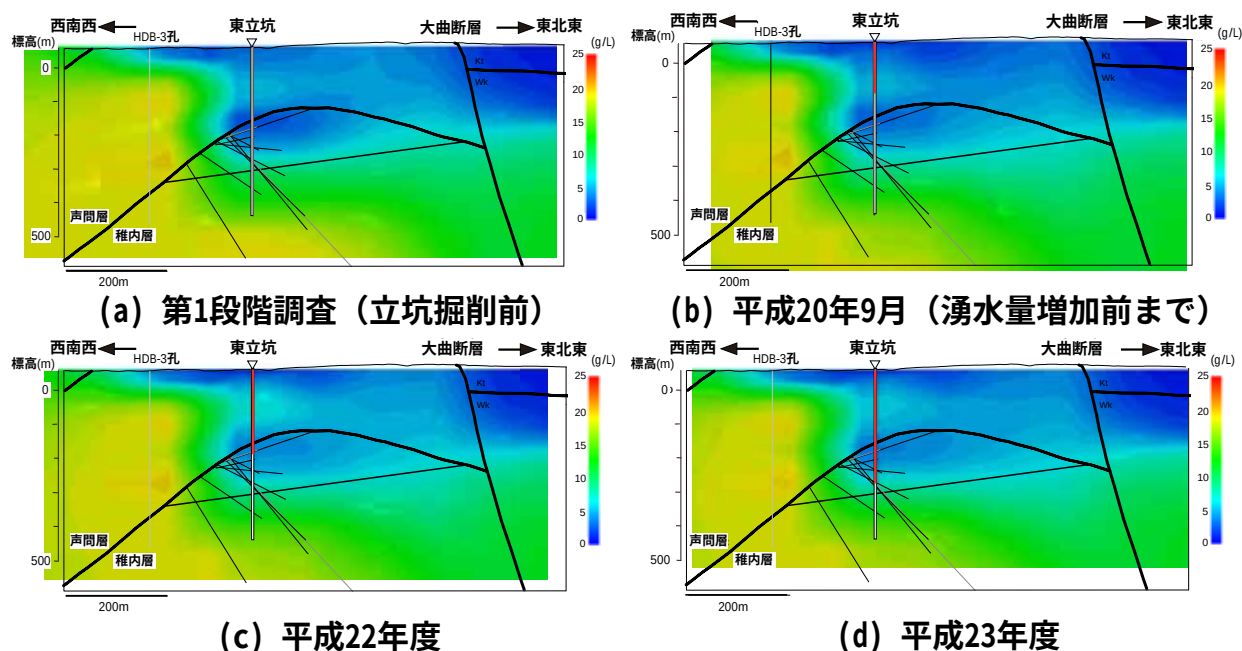


図 13 立坑周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布
(立坑の赤い部分は掘削深度を表しています。)

階の調査結果に基づいて作成した地下施設周辺の塩分濃度の空間分布は、地上からの電気探査により取得した比抵抗特性の分布の傾向と概ね一致していることから、幌延地域のように地下水の塩分濃度が比較的高い地域の場合には、比抵抗特性調査の結果が地下水の塩分濃度の空間分布を概略的に予測する上で有効であることも示されました。

今後も坑道周辺における地下水の水質観測を継続して行い、水質変化の過程について、坑道周辺の地質や地下水の流れ方も踏まえて調査や解析を行っていきます。また、今後実施する調査の結果に基づいて、継続的に地下水の地球化学モデル^{*17}を更新するとともに、立坑掘削に伴い生じる脱ガスによる不飽和領域の形成やpHの上昇に伴う鉱物の変化についても調査や観測、解析を実施する予定です。

(4) 岩盤力学

第2段階では、第1段階にて構築した岩盤力学モデル^{*18}の妥当性を評価するために、地下施設において初期地圧測定を実施しています。

平成23年度は、平成21年度に実施した250m換気側調査坑道での測定に

*17：地下水の水質が地下環境でどのように分布しているのかを表現したモデルです。

*18：割れ目などの性質を含めた岩盤の強度・変形などに関する特性を表現したモデルです。

引き続き、東側第1ボーリング横坑と西側第1ボーリング横坑の2箇所では初期地圧測定を実施しました（図 14）。これらの初期地圧測定では、方向の異なる3本のボーリング孔を掘削し、水圧破碎法^{*19}により初期地圧を三次元的に測定しました。

図 15にこれまで実施した140m調査坑道および250m調査坑道での初期地圧測定の結果を示します。図 15(a)より、140m調査坑道で実施した2つの地点における3つの主応力（●：最大主応力、▲：中間主応力、■：最小主応力）の方向と大きさは、概ね一致する結果となりました。また、第1段階における初期地圧測定では、主応力の1つを鉛直方向であると仮定しましたが、140m調査坑道での調査結果から、この仮定の妥当性が確認されました。一方、図 15(b)より250m調査坑道での調査結果では、各地点ともに各主応力の方向および大きさともにバラつきが認められました。最も下向きを示す主応力は、鉛直方向から最大で40°程度傾いていることが確認されました。図 16に、初期地圧の水平面内における最大主応力（ s_H ）と最小主応力（ s_h ）の深度分布を示します。同図には、第1段階の調査結果から予測される深度分布（ $s_H=1.3 \times s_v$ 、 $s_h=0.9 \times s_v$ ）も併せて示します。図 16より、第2段階の調査で得られた水平面内最大主応力は、予測した値と比較して約0.4～0.9倍、水平面内最小主応力は約0.5～0.6倍となる結果が得られました。また、図 17に、水平面内の最大主応力の方向の深度分布を示します。同図より、深度140mおよび250mの水平面内の最大主応力の方向は、東西方向から約30°回転する結果が得られました。

地下施設の設計では、第1段階で構築した岩盤力学モデルを用いて、地下環境での初期地圧の大きさと方向を予測し、その予測を元に調査坑道における支保工^{*20}と坑道周辺岩盤の安定性を計算しました。140m調査坑道および250m調査坑道から得られた結果では、設計時の支保工で坑道の安全性は確保されていますが、初期地圧が設計時より小さな値であったことから、今後は350m調査坑道での調査も含めて、第1段階での予測との比較について検討していく予定です。

*19：ボーリング孔内のある区間をパッカーで仕切り、同区間内に高水圧を作用させて岩盤に人工的なき裂を発生させ、その時のき裂開口圧やき裂方位などを調べ、これらの結果から初期地圧を求める方法です。

*20：地下空間の安定を保つために設ける、ロックボルト、鉄骨、コンクリートの壁などの構造物です。



図 14 初期地圧測定の実施位置（250m調査坑道）

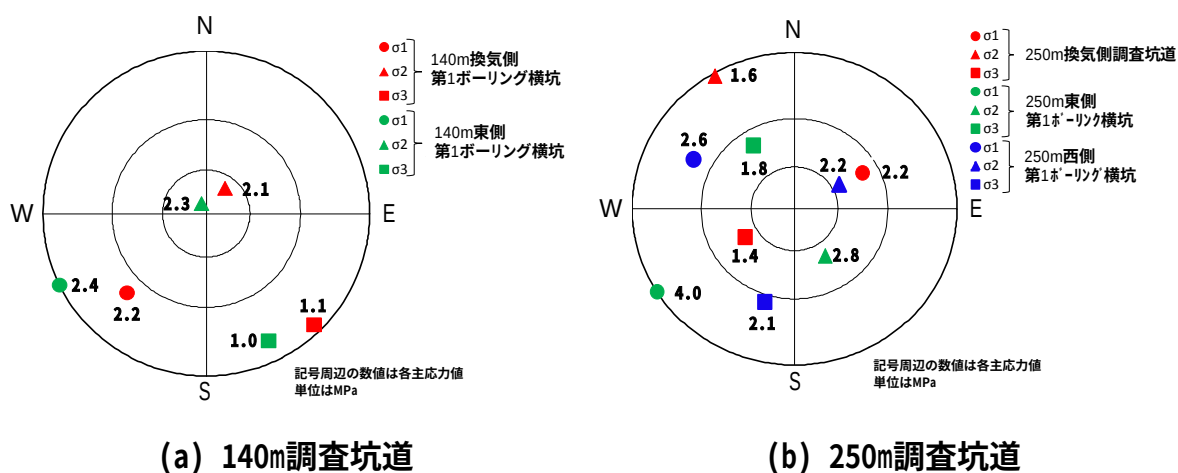


図 15 初期地圧測定の結果
(下半球投影図^{*21})

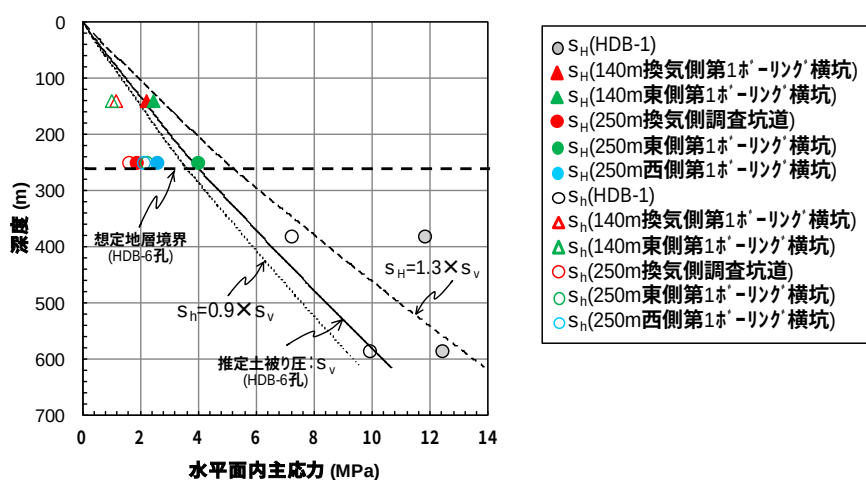


図 16 水平面内における最大・最小主応力の深度分布

*21：球面上にある点を球面の天頂からみて、その球の赤道面上にその点を投影したものです。

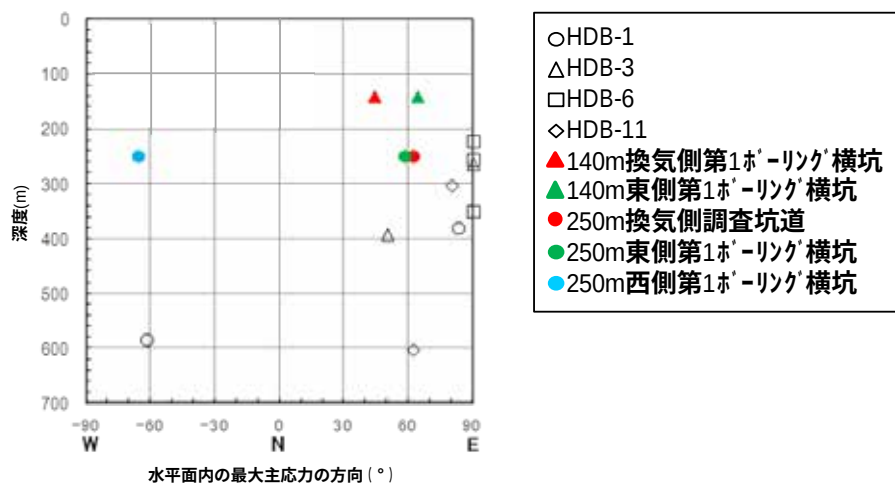


図 17 水平面内における最大主応力の方向

3.1.2 調査技術・調査機器開発

(1) 坑道内における地質環境データの取得に必要な調査技術開発や調査機器の開発・改良

地下施設におけるモニタリング技術開発では、坑道周辺岩盤の力学特性、地下水流動に関わる水理特性、地球化学特性に関する調査技術の開発を行っています。

主に140m調査坑道で実施している掘削影響試験では、坑道周辺における掘削影響領域の長期挙動を把握するため、坑道掘削時に実施した弾性波トモグラフィ調査^{*22}などの物理探査（一部は電力中央研究所^{*23}（以下、電中研）との共同研究として実施）、透水試験、水分量計測、間隙水圧計測、岩盤の変位計測や支保工にかかる応力の計測などを継続して実施しています。図 18に掘削影響試験のレイアウトを示します。

掘削影響試験のうち、弾性波トモグラフィ調査の結果を図 19に示します。坑道掘削時には1m掘削ごとに、坑道掘削後には約50日おきに調査を繰り返し行っています。図 19における700日後までの弾性波速度の変化を示した図は、調査坑道の掘削前の試験結果を基準値として、基準値からの弾性波速度の変化率を示したものです。調査の結果、坑道壁面近傍

*22：岩盤内の決められた領域の周囲に受振器と発振器を設置し、色々な測線の弾性波（人工的に発生させた微小な地震波）の速度を計測することにより、領域内の岩盤の変質などを確認する調査です。

*23：財団法人電力中央研究所は、電力技術の専門研究機関として設立されました。電力技術の研究として、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発を実施しています。

においては坑道の掘削が終了した後も、弾性波速度の変化する部分（遅くなる部分）がわずかながら拡大していることが分かりました。なお、弾性波トモグラフィ調査が長期に渡ってきたため、弾性波計測の測線の組み合わせを固定したままでの測定が困難となってきました。このため、751日以降は新たな測線の組み合わせを設定し、調査を実施しています。今後も調査を継続し、坑道周辺岩盤の状態変化のモニタリング技術としての適用性を確認していきます。

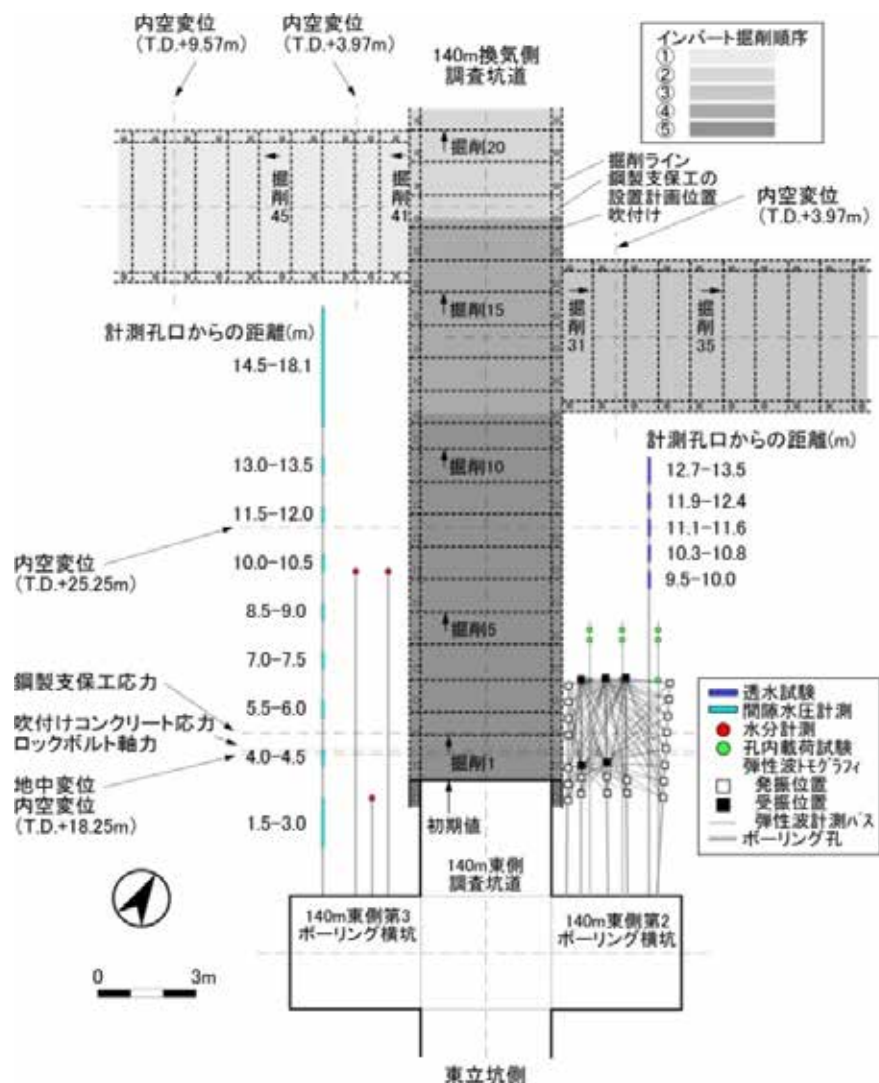


図 18 掘削影響試験のレイアウト(140m 調査坑道)

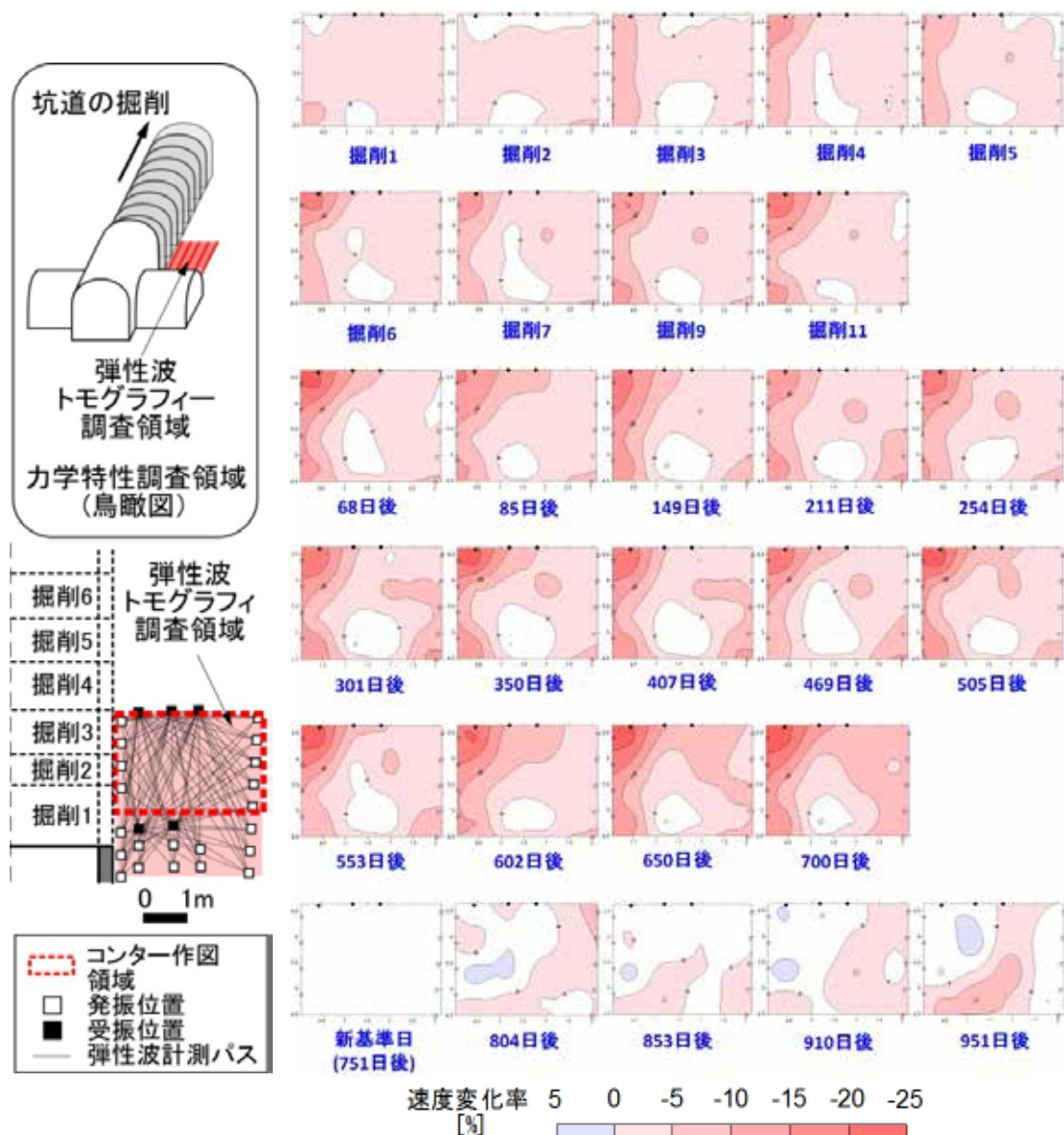


図 19 弾性波トモグラフィ調査の結果

図 20に間隙水圧および水分量のモニタリングデータを、坑内気温および湿度のデータとあわせて示します。間隙水圧、水分量とも調査坑道の掘削開始とともに大きく低下していますが、掘削完了後の間隙水圧は緩やかに低下する傾向を示し、現在は安定した状態にあります。水分量は掘削完了後の平成21年9月頃より再び増加に転じ、その後は1年周期の変動が認められます。これは坑内の気温と湿度が冬期に低く、夏期に高いという、周期的な季節変動と同期（気温・湿度が低い時期に水分量が増加）していると考えられます。湿度の低下により坑道が乾燥すると、坑壁奥側からの水分移動を生じさせる可能性があります。水分量計測装置の計測部分に温度に依存する性質がある可能性も考えられます。この

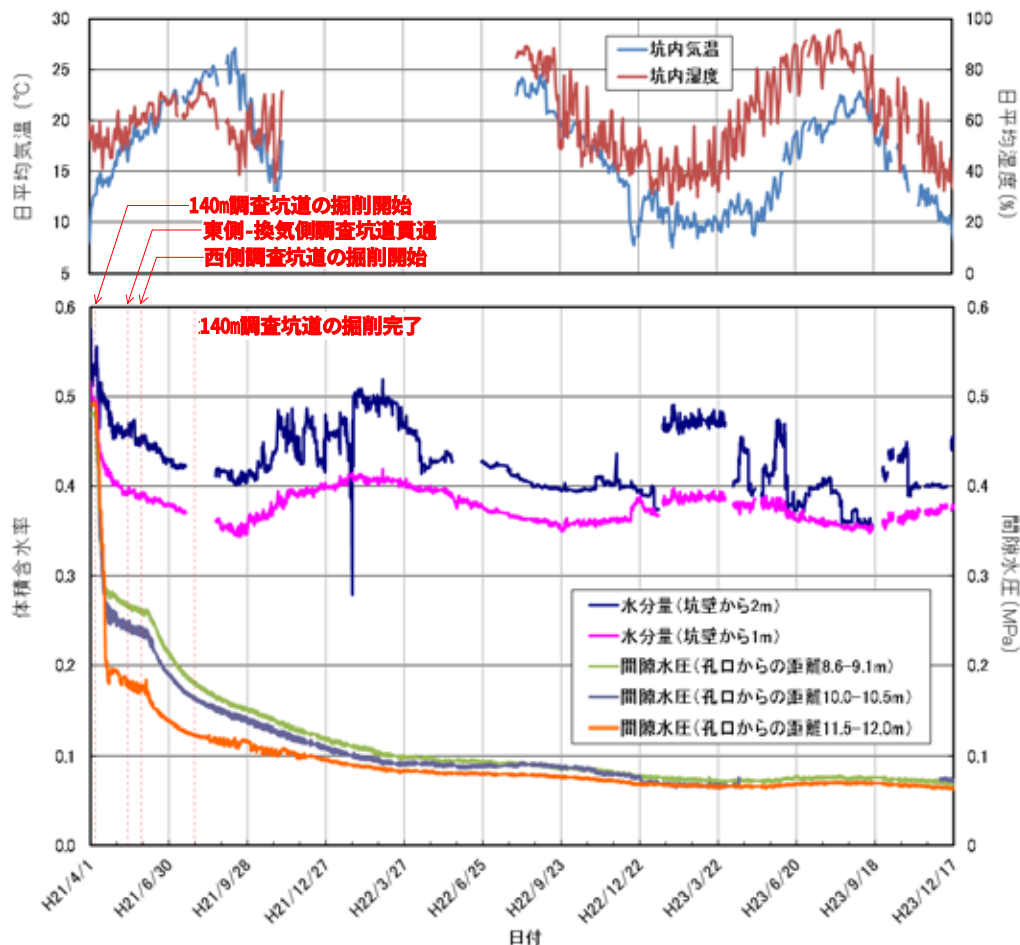


図 20 間隙水圧・水分量と坑内気温・湿度の経時変化

ため、今後もこれらのモニタリングを継続し、この周期的な変動の要因を検討していきます。

また、岩盤の化学的な緩衝能力を評価するために、酸化還元に関するデータを測定するための試験装置の開発を行い、140m調査坑道および250m調査坑道において試験を実施するとともに、評価手法について検討しました。今後は、酸化還元反応に関わるパラメータのデータ取得方法などの検討を進めていきます。

さらに、平成22年度までに140m調査坑道に設置した地下水循環試験装置を用いて、地下水中における放射性核種の挙動を予測するための技術を構築することを目的として、天然に存在する微量元素のうち放射性核種と似た挙動をすると考えられている元素（アナログ元素）の挙動を把握するための試験を実施しました。平成23年度は、地下水中での元素の状態を調べるために、地下水の状態を変化させずにろ過を試み、地下水を空気に触れないように保持した状態で、通過できる粒子のサイ

ズを変えた数種類のろ紙を用いてろ過することができました。また、各ろ液の分析結果では、主要成分（mg/L程度の濃度をもつ元素）に違いがないことを確認することができました。今後はアナログ元素の分析を行い、アナログ元素がどのようなサイズの粒子と同じ挙動をするか確認するための試験を行う予定です。

坑道周辺岩盤の割れ目を対象とした物質の移動特性に関する調査を行うための技術開発として、平成23年度は、亀裂性堆積岩・塩水系地下水・遊離ガス発生環境におけるトレーサー^{*24}試験に適用可能な試験装置および試験手法を検討し、その適用性を確認するために250m調査坑道において試験を実施しました。

試験装置の開発においては、既存の孔間水理試験装置にトレーサーを注入・回収する機能や、試験区間内で発生する遊離ガスを排除する機能を付加しました（図 21）。また、試験手法の構築においては、試験を実施する際の現場環境における制約条件と期待される成果との関連を評価

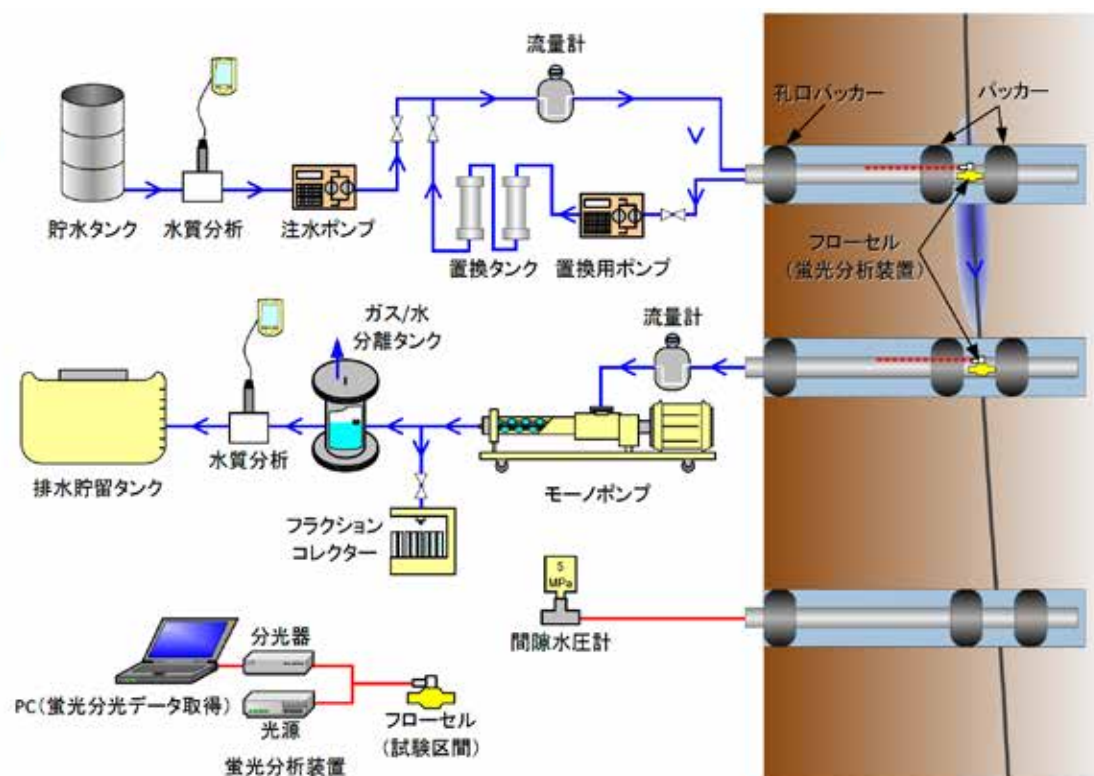


図 21 物質移行試験装置の概念図

*24：地下水の流れの方向や流れる時間などを調べるために、地下水に目印として混ぜる染料やその他の薬品を指します。食塩が代表的なトレーサーとなりますが、調べたい地下水の化学成分が食塩に満ちている場合にはヨウ化カリウムなど、多種のトレーサーがあります。幌延深地層研究計画では放射性同位体をトレーサーとして使用することはありません。

するとともに、ボーリング孔の掘削位置と方向の選定からトレーサー試験を実施するまでの流れや方法を整理しました。その結果に基づいて、試験前にボーリング孔内に存在する遊離ガスを試験区間から排除する試験手順や排除するための装置を導入するとともに、試験中に遊離ガスを発生させない試験方法を採用しました（図 22）。

さらに、ここで開発した試験装置と試験手法の適用性を確認するために、250m調査坑道において物質移行試験（孔間トレーサー試験）を実施しました。試験では、ウラニン^{*25}、重水素や、非放射性の元素（ヨウ素、セシウム、ストロンチウム、ユーロピウムなど）^{*26}をトレーサーとして使用しました。試験対象区間で発生した遊離ガスを排除する試験手順を適用した際のデータの品質や、注入・回収したトレーサーの濃度変化の結果、試験条件を変えて複数回実施した試験の結果などから、亀裂性堆積岩・塩水系地下水・遊離ガス発生環境における原位置試験^{*27}において、試験装置が有効に機能することを実証し、実施した試験手法が適切であることを確認しました。

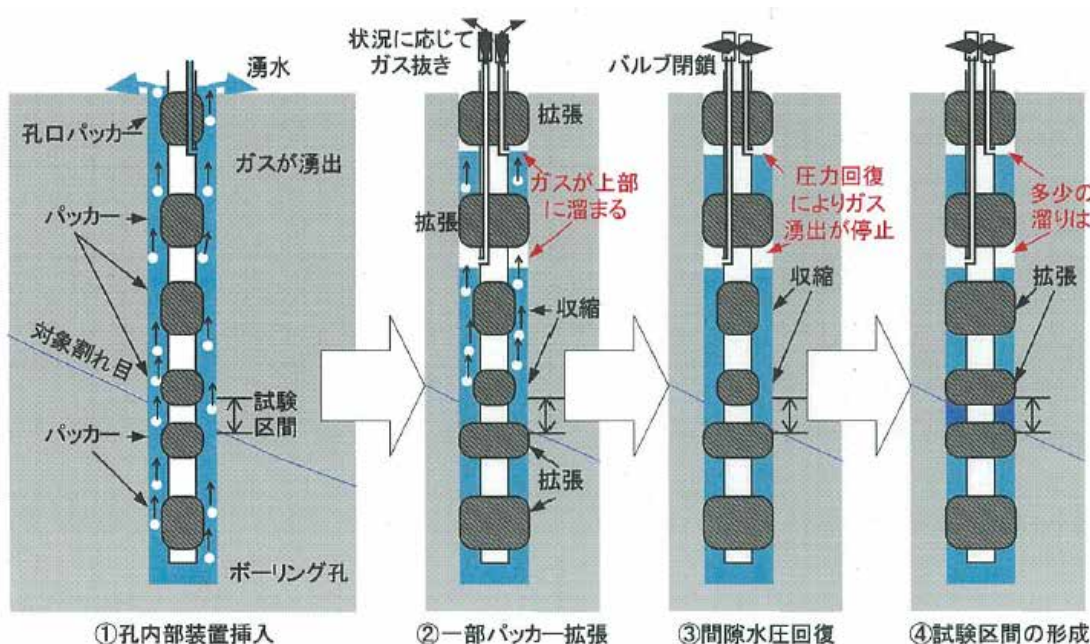


図 22 遊離ガスを試験区間から取り除くための試験手順

*25：フルオレセインナトリウム、黄色 202 号などとも呼ばれる物質で、一般的な蛍光染料として入浴剤にも用いられています。

*26：元素には放射性元素と非放射性元素に分けられます。例えば、ヨウ素(元素記号：I)では I-127 が非放射性、I-129、I-131 などが放射性であり、セシウム（元素記号：Cs）では Cs-133 が非放射性、Cs-134、Cs-137 などが放射性です。

*27：試料を採取して行う室内試験に対して、実際の地下環境下で行う試験を「原位置試験」と呼びます。

今後は、トレーサー濃度の分析精度をより向上させるなど、構築した装置の改良点についての検証を引き続き行うとともに、350m調査坑道において計画している物質移行試験に装置を適用していきます。またその試験では、ここで構築した方法や試験手順を適用していく予定です。

(2) 坑道掘削に伴う坑道周辺環境の変化に関する調査技術開発

第2段階では、地下施設の建設が施設周辺の地下水の水圧や水質に与える影響を観測する技術の整備、岩盤の水理モデル^{*28}や地下水の地球化学モデルの構築、構築したモデルや解析結果の妥当性を確認するためのデータの取得を目的として技術開発を行っています。

平成23年度は、HDB-1～11孔およびPB-V01孔（図 3および図 4参照）に設置した地下水の間隙水圧・水質の長期モニタリング装置による観測を継続しました。このほか、原子力安全基盤機構^{*29}、産業技術総合研究所^{*30}（以下、産総研）との共同研究として、平成20年度に東立坑近傍に掘削したSAB-1孔（図 3参照）においても地下水の間隙水圧・水質モニタリングを継続しました。図 23にPB-V01孔、図 24にHDB-7孔における地下水の間隙水圧の測定結果を示します。また、立坑掘削の進捗状況を図 25に示します。地下施設に近いPB-V01孔では、立坑の掘削作業が中断している間に実施した湧水抑制対策（グラウト施工）に伴う間隙水圧の変化がGL-234.01～-299.51m、GL-301.01～-355.51mおよびGL-357.01～-370.51mの区間で観測されたほか、換気立坑が断層を貫通したことによる影響が、GL-234.01～-299.51mおよびGL-301.01～-355.51mの区間の間隙水圧の変化として確認されています。これにより、第1段階で予測した断層の連続性が確認できました。

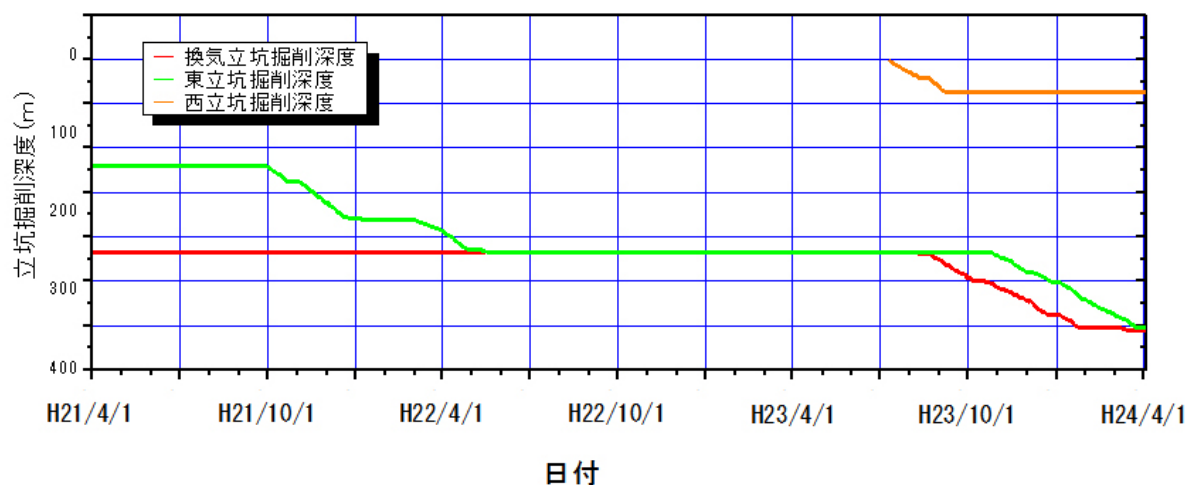
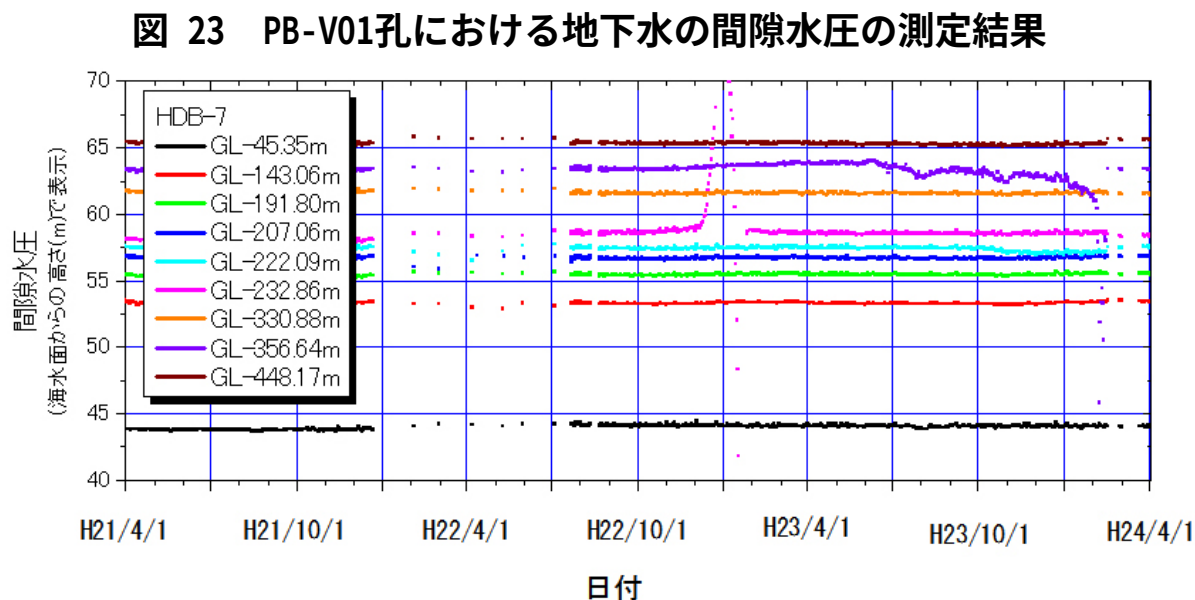
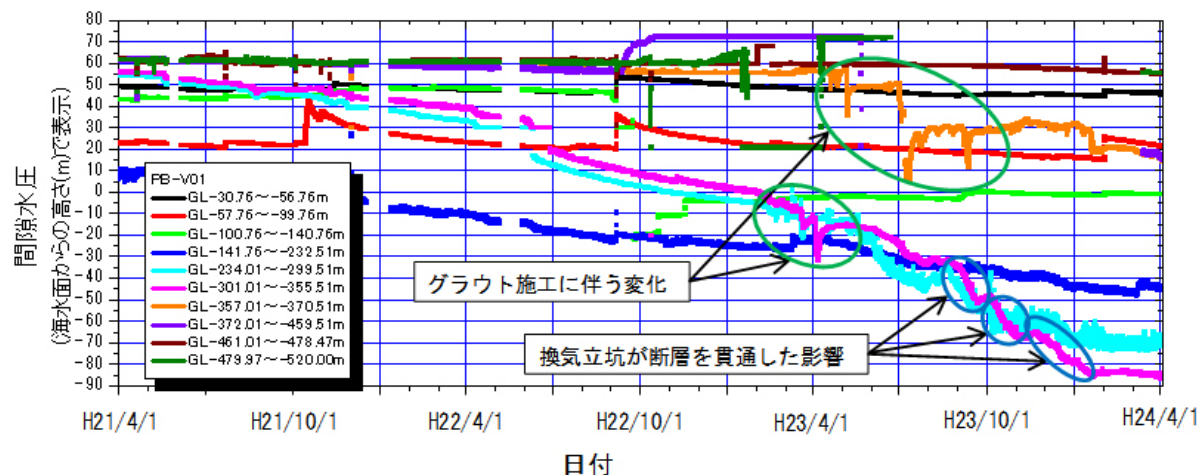
一方、地下施設から離れたHDB-7孔では、観測装置の故障により、GL-356.64m区間の間隙水圧が低下しましたが、修理後は故障発生前の値

^{*28}：地質構造の分布や形状に合わせて透水係数などの水理学的なデータを与えて、岩盤の水理特性を二次元的または三次元的に表現したモデルです。

^{*29}：独立行政法人原子力安全基盤機構は、平成15年に設立され、規制行政庁である経済産業省原子力安全・保安院とともに、原子力の安全確保に関する専門的・基盤的な業務を実施する機関です。具体的には、原子力発電所および核燃料サイクル関連施設に関する検査、防災対策、核燃料物質の安全輸送、放射性物質の処理処分、安全確保に関する国内外調査・試験・研究並びに核物質防護などの業務を行っています。

^{*30}：独立行政法人産業技術総合研究所は、産業技術の広い分野における様々な技術開発を総合的に行っている研究組織です。研究分野は「環境・エネルギー」、「地質」などの6分野に大別されます。

と同等になっていることから、立坑の掘削に伴うと考えられる間隙水圧の変化は観測されていません。



地球化学特性に関わるモニタリング技術については、平成21年度から、140m調査坑道から掘削したボーリング孔（掘削長100m）に、地下水の間隙水圧と水質（pH、酸化還元電位、溶存酸素、電気伝導度および水温）の同時連続観測が可能なモニタリング装置を設置し、適用試験を開始しています。平成23年度は、平成22年度に実施したモニタリング装置改良後の適用性確認を行いました。

各モニタリング区間の間隙水圧観測結果を図 26に示します。全ての観測区間（5区間）において、坑道からの距離に応じて緩やかに間隙水圧が低下する傾向が確認されました。しかしながら、水質モニタリングの観測値は、観測を開始した初期値と比較してほとんど変化しておらず間隙水圧の低下の影響を受けている領域においても、化学的变化が小さいことが示されました。

今後も、地下施設建設が周辺の地下水環境に与える影響を評価するためのデータを蓄積するとともに、観測技術の改良を進めていく予定です。

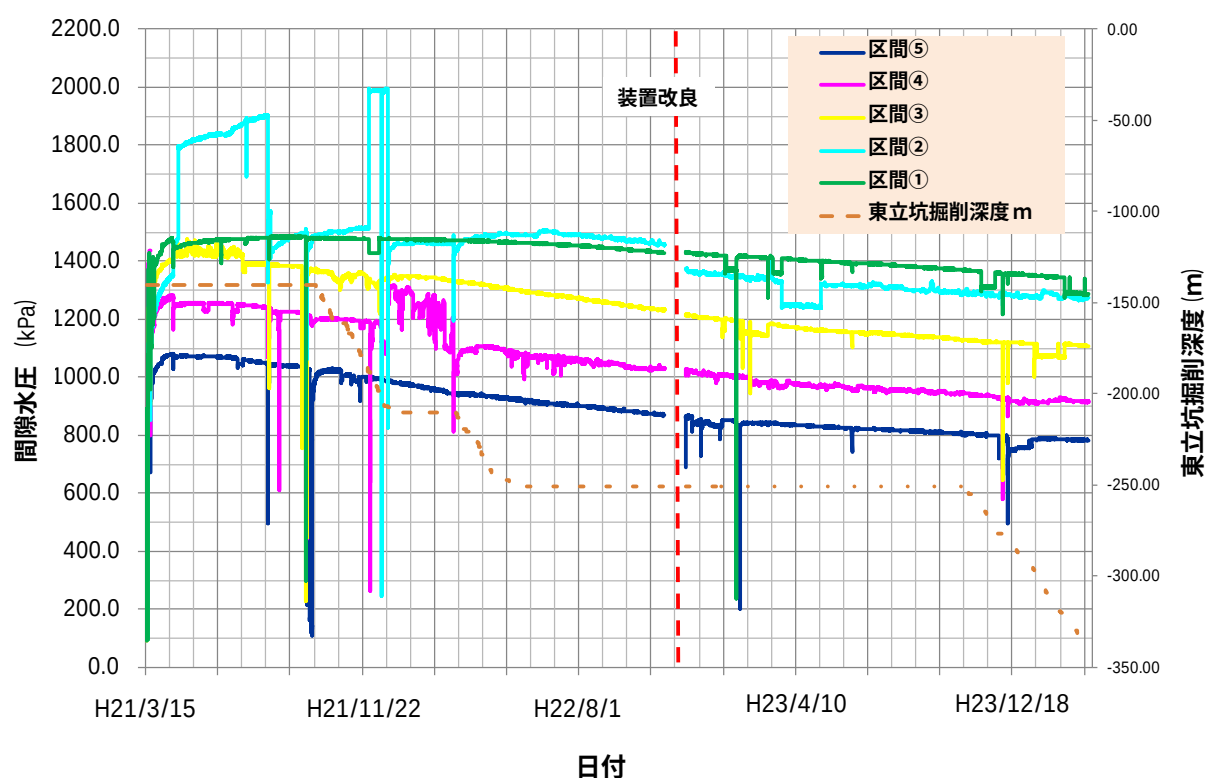


図 26 東立坑の深度140m地点における間隙水圧の変化

地表から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の開発を目的として、立坑の周辺に9台の高精度傾斜計^{*31}を配置し、坑道掘削に伴う地表付近の岩盤の傾斜の変化を計測しています。平成23年度の主要な掘削工事は、換気立坑および東立坑の掘削（深度約250m～約350m）、西立坑の掘削（地表～深度約50m）、250m調査坑道の一部の掘削であり、それらの影響が確認されました。

換気立坑の近傍のPIN2、東立坑の近傍のPIN8、西立坑の近傍のPIN1の各傾斜量を図 27に示します。平成23年度に得られた傾斜データの全般的な傾向として、平成22年度までの結果と同様に、掘削が進行する立坑の近傍の傾斜量が増大していることを確認しました。特に、換気および東立坑の深度250m以深の掘削によって、それぞれの立坑周辺において傾斜量の増加が認められ、地下深部の坑道の掘削に伴う岩盤や地下水の挙動が地表に設置した高精度傾斜計によって観測できることを確認しました。

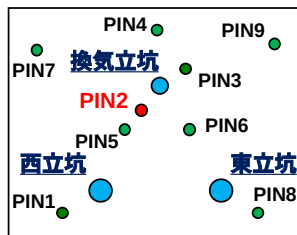
今後も傾斜量の観測を継続し、高精度傾斜計による地下深部の岩盤挙動のモニタリング技術の開発を進めていきます。

(3) コントロールボーリング技術の開発

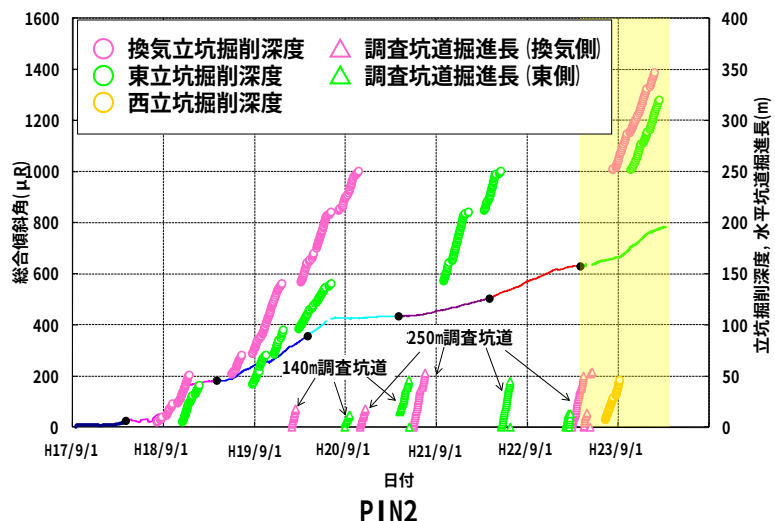
平成22年度に引き続き、電中研との共同研究により、ボーリング孔の角度や方向を制御しながら掘削するコントロールボーリング技術の適用性の確認を行いました。平成22年度までに、上幌延地区において掘削技術や試験技術の確認を行いながら掘削長約950mまで掘削しました。

平成23年度は、掘削長1,000mまでの区間について水平の角度で、左右に掘削方向を制御する試験掘削を行いました⁽⁷⁾。今後、コントロールボーリング孔における様々な観測、モニタリング技術を確立する予定です。

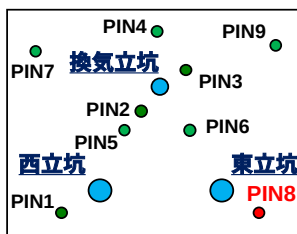
^{*31}：通常の傾斜計が測定できる角度は 3,600 分の 1° 程度であるのに対し、約 1 億分の 6° の傾斜量を計測することができる分解能の非常に高い傾斜計です。



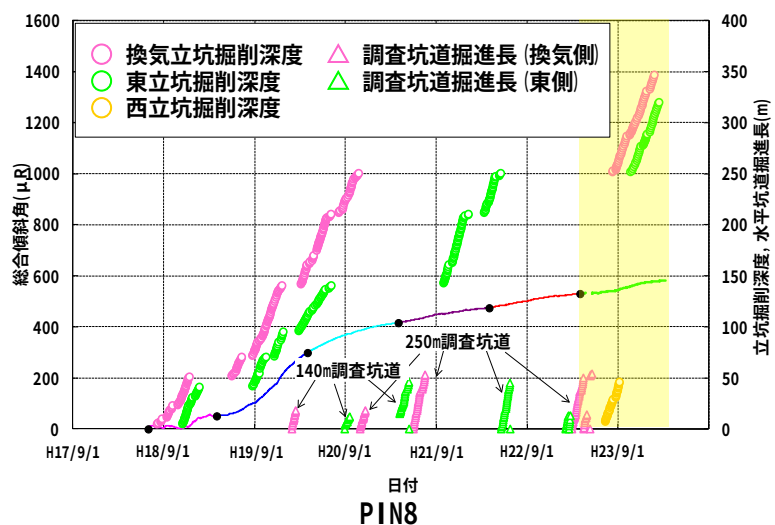
高精度傾斜計の配置



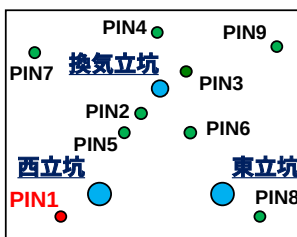
PIN2



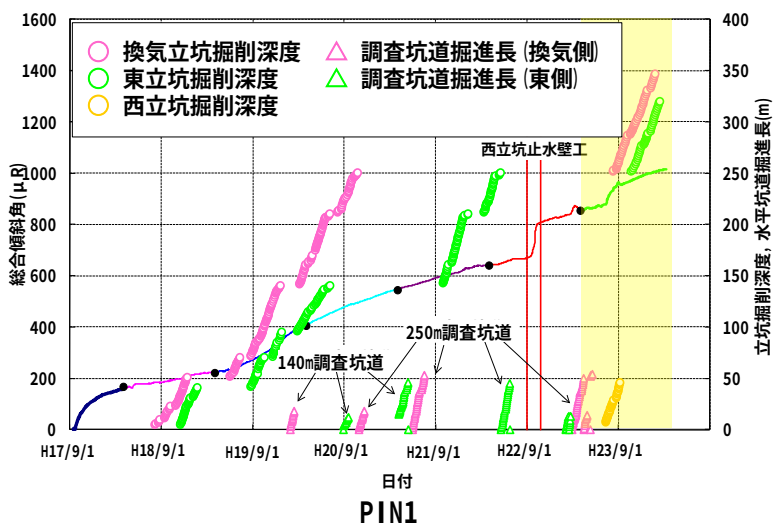
高精度傾斜計の配置



PIN8



高精度傾斜計の配置



PIN1

図 27 傾斜量データ

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

(4) 塩水と淡水が混在する場における地下水流動などに関する調査技術開発

産総研、電中研との共同研究により、塩水と淡水が混在する場における地下水流動や水質形成などに関する調査解析技術の開発を継続して実施しました。

平成23年度は、幌延町の沿岸域の海域を対象として実施した物理探査（海域電磁探査）の結果に基づき、浅海域の地下水の塩分濃度分布に関わる解析技術の検討を継続しました。その結果、浅海域の地下浅部に塩分濃度の低い地下水が分布していることが推定されました。この結果は、今後、長期的な海水準変動に伴う地下水の分布状態の変化を理解するための解析技術の検証に利用していきます。

3.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

平成23年度は、250m調査坑道と換気立坑、東立坑の掘削を進めながら、コンクリート応力や坑道周辺岩盤の変位などを計測し、地下施設設計と計測技術の妥当性の確認ならびに更新を行いました。また、地下施設の耐震設計技術を評価するための調査として、250m調査坑道およびHDB-3孔敷地に地震計を設置し、計測を開始しました。

一般的に、岩盤に坑道を掘削した際の岩盤壁面には凹凸ができます。この凹凸は、坑道を掘削した際に、もともと岩盤中に存在する割れ目や掘削によってできる割れ目がつながることによって生じます。割れ目の分布状況によっては、坑道掘削後に坑道壁面から岩のかたまりが抜け落ちることもあります。このような坑道の岩盤壁面の凹凸の発生を抑えることは、掘削のための安全な作業環境を確保すること、坑道の壁面を平滑にするために余分なコンクリートを使わずにすむこと、抜け落ちそうな岩盤を取り除くための時間を減らすこと、などにつながります。また、地層処分の観点からは、周囲の岩盤の損傷の範囲を制限し、岩盤の持つ物質の移動を遅らせる能力を維持することにつながります。坑道の岩盤壁面の凹凸の発生を抑えるための支保構造を検討するために、深度250m以深の坑道の掘削では、坑道掘削後の岩盤壁面の凹凸の状態とその原因を調べています。これまでは、観察者が描いた岩盤壁面のスケッチを基

にその形状を分析していましたが、それに加えて立坑中心から岩盤までの距離を細かく短時間に計測できる三次元レーザースキャナを導入しました（図 28）。

計測の一例として、換気立坑の深度250.5m～300mにおける岩盤壁面のスケッチおよび三次元レーザースキャナによる計測結果を図 29に示します。岩盤壁面の凹凸状況を示す図（図 29(b)）は、立坑の設計で見込んでいる設計掘削線（図 30：換気立坑の場合、立坑中心から2.65mの線です。）から岩盤壁面までの距離を示しています。図 29(b)に示すように、南北方向にて、岩盤の抜け落ちが多く発生しました（窪みのように見える寒色系の部分）。南北方向は岩盤内に圧力が集中する方向（初期地圧の水平面内の最小主応力方向）と概ね一致し、岩盤が破壊しやすい条件であるため、抜け落ちが多く発生したと考えられます。また、抜け落ちの程度は、断層などの割れ目が分布する深度で大きくなる傾向にあることが分かりました。これらの結果を踏まえて、東立坑の施工では、南北方向にロックボルトを追加するなどして、掘削に伴う岩盤壁面の抜け落ちを抑制することとしました。その効果を検証するため、東立坑においても換気立坑と同様の計測を行っています。

今後も地下施設の建設を進めながら、コンクリート応力や坑道周辺岩盤の変位などを計測し、坑道の安定性を評価し、得られた結果に基づいて地下施設設計と計測計画の妥当性の確認ならびに更新を行っていきます。

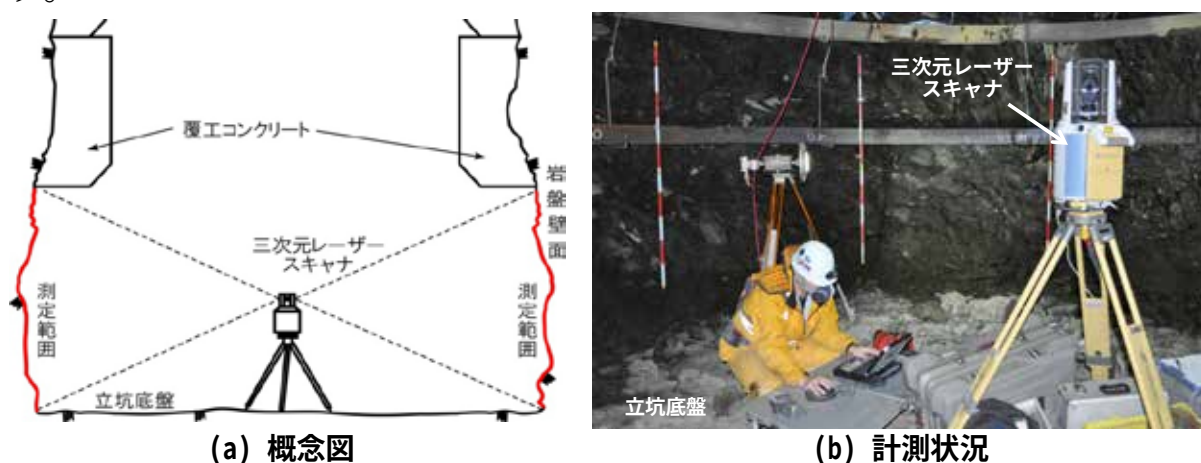


図 28 三次元レーザースキャナによる岩盤壁面の形状計測

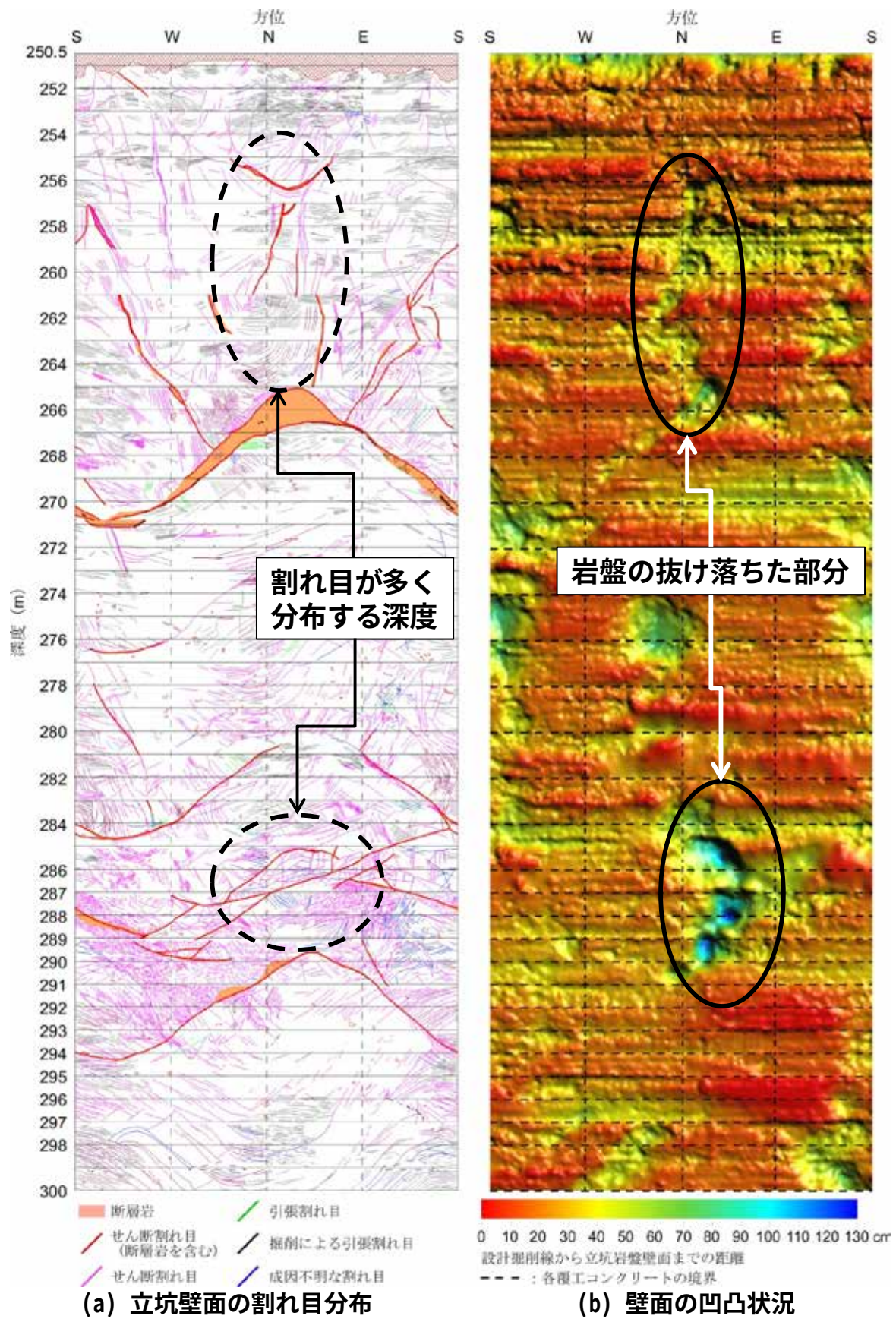


図 29 立坑壁面の割れ目分布と凹凸状況
 (換気立坑深度250.5m~300m)⁽⁸⁾

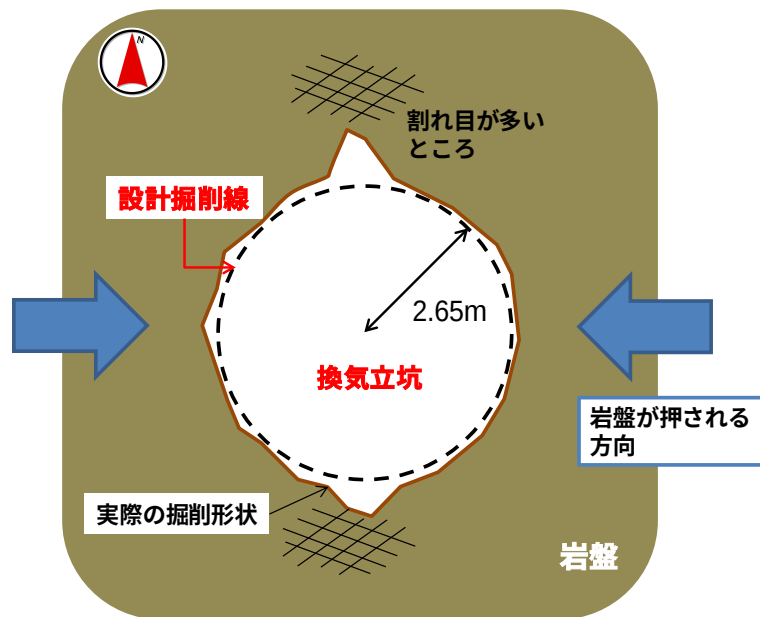


図 30 岩盤の抜け落ちイメージ

3.3 地質環境の長期安定性に関する研究

3.3.1 地質環境の長期的変遷に関する研究

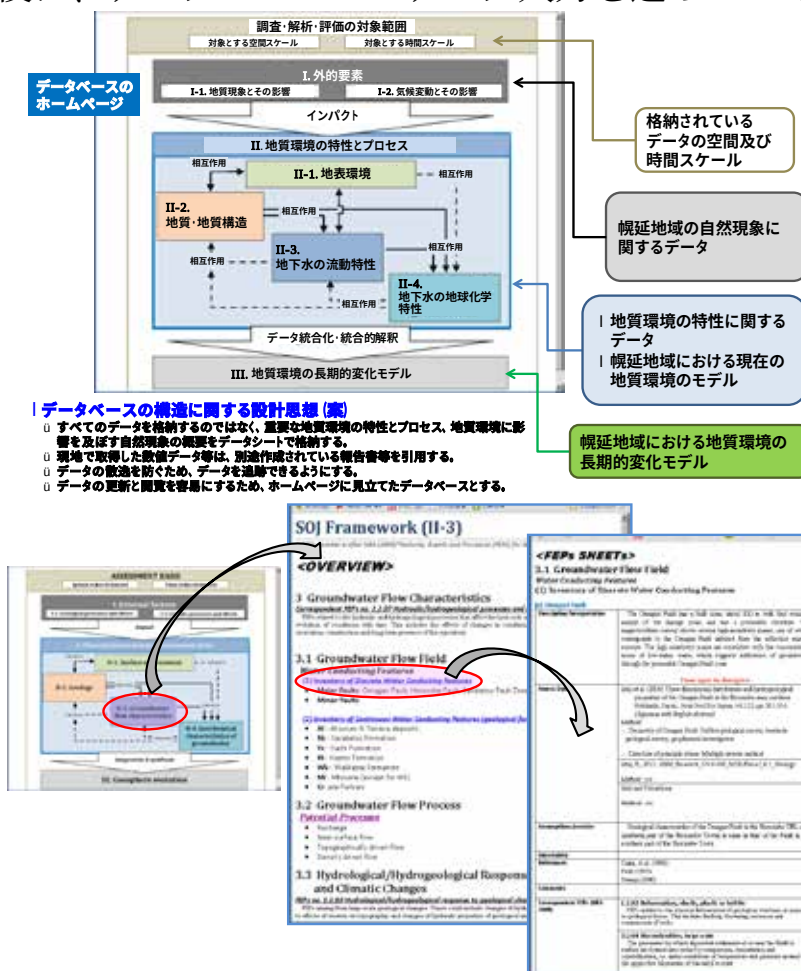
地殻変動や気候変動などの自然現象に関する調査手法と、地下水の流れを調査・解析する手法を組み合わせ、自然現象に伴う地質環境の長期的な変化を予測するための調査・解析手法の開発を進めています。

(1) 地形・地質構造と古環境の変遷

平成22年度までに、取得したデータに基づいて幌延地域の地下水の流れや水質に変化を及ぼしてきたと考えられる過去260万年間にわたる隆起・沈降などの地殻変動や気候・海水準の変動に関するデータを整理し、いつ、どのような地殻変動や気候変動が生じていたのかをまとめた編年表を作成しました。また、新たなデータが得られた場合には、そのデータに基づいてモデルを更新していきます。モデル作成では、異なる品質を持つ様々な種類の大量のデータが利用されるため、モデルを更新し地質環境の理解を深めていくためには、利用される大量のデータのうち、どのデータがどのように解釈され、モデルのどの部分に利用されているかといった「データの追跡性」とともに、「データそのものの品質」を明らかにすることが重要です。

そこで、平成23年度は、これまでに取得したデータのうち、地質環境

の長期的変化モデルを作成する際に利用されているデータを整理・格納するためのデータベースについて、国外機関であるNagra^{*32}と協働し検討しました。検討したデータベースの構造は、地層処分にとって重要な地質環境の特性とその地質環境に影響を及ぼす可能性のある自然現象の国際的なリスト⁽⁹⁾などを参照し作成しました（図 31）。このデータベースでは、取得したデータはデータ集や報告書、論文をそのまま引用し、モデルを作成する際にどのようなデータがどのように解釈されているかという点を明らかにすることとしました。また、データの更新と閲覧を容易にするために、ホームページに見立てたデータベースにすることとしました。今後は、データベースへのデータ入力を進めていく予定です。



上図：全体設計、下図：データベースのトップページ（下図左端）をホームページのようにクリックすると、データシート（下図の右端）が開く。

※国外機関と協働して作成しているため、現在のところ使用言語は英語としています。

図 31 データベースの設計思想（案）

^{*32}：Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste)：放射性廃棄物管理協同組合はスイスにおける放射性廃棄物の地層処分の実施機関です。

(2) 地質環境の長期的変化モデル

平成22年度までに、地形・地質構造の変遷や気候変動などの自然現象に伴う地下水の流れの長期的な変化を予測する手法の構築を目的として、隆起・沈降や気候・海水準変動などの自然現象による影響を考慮しつつ地下水の流れの解析を行うための手法(以下、SMS ; Sequential Modeling System)を整備してきました^{(10)、(11)}。この手法では、まず地形・地質構造の形状を表現した初期モデルを作成し、この初期モデルを出発点として、地形・地質構造の形状をある時間間隔（タイム・ステップ）で変化させつつ、海水準や涵養量などを解析する際に設定する条件を連続的に変化させて地下水の流れの解析を行います。

平成23年度は、地層の変形の前後において地層の体積が変化しないことを仮定して、幌延地域における過去の地形と地質構造を復元し、復元した地形・地質構造に対してSMSを適用することにより、地下水の流れと塩分濃度の時間変化を解析しました。

具体的には、幌延地域で得られている地形・地質構造およびそれらの長期的な変遷に関するデータ^{(12)、(13)}を用いて、現在と同様の地殻変動が開始する前と考えられている約220万年前の地形・地質構造の形状を復元し、初期モデルを構築しました。次に、本地域の沿岸域において陸地が形成されていたと推定される約130万年前から現在までの期間を対象として、約130万年前から現在の本地域の地殻変動を踏まえ、タイム・ステップに応じて初期モデルを単純に東西方向に圧縮することで、複数の時期における地形・地質構造の二次元モデル（地形・地質構造の変遷モデル）を作成しました（図 32）。

作成した複数の時期の地形・地質構造の二次元モデルに基づいて、地下水の流れやすさの空間分布を表現した水理地質構造モデルを作成し、SMSを用いて地下水の流れと塩分濃度の長期的な変遷を解析しました。この解析では、海水準の変動（気候の変動）と地下水涵養量の変動を連動させて、温暖期に年間100mm、最寒冷期で年間0mmと設定しました。また、モデル化・解析の対象は東西方向で海域を含む100km程度とし、深さ方向は数kmから10km程度としました。解析結果の一例とモデル化・解析の対象とした断面の位置を図 33に示します。

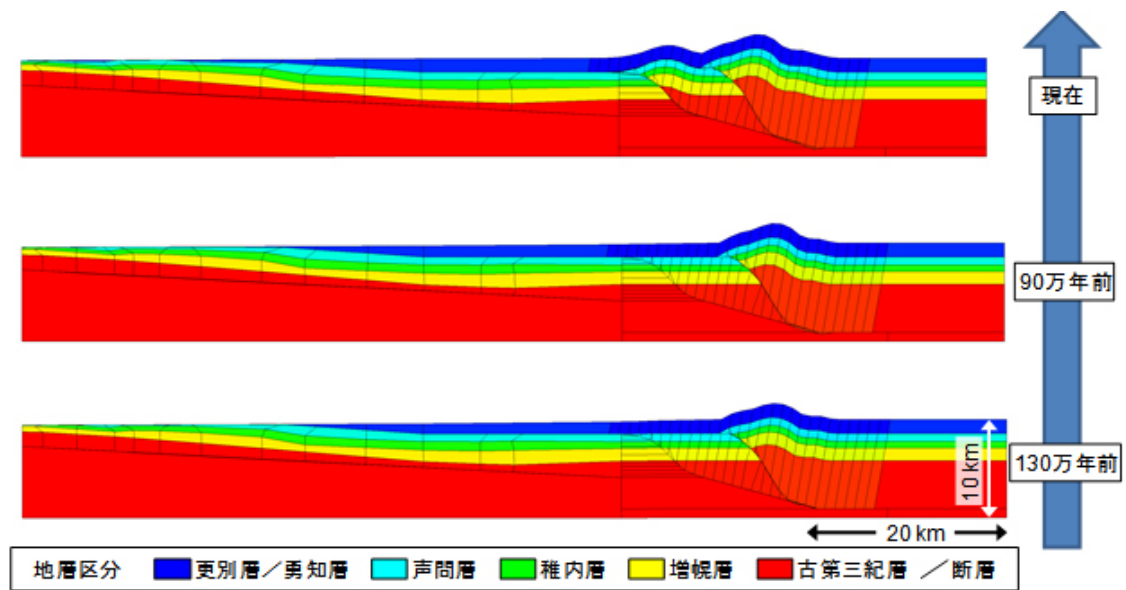
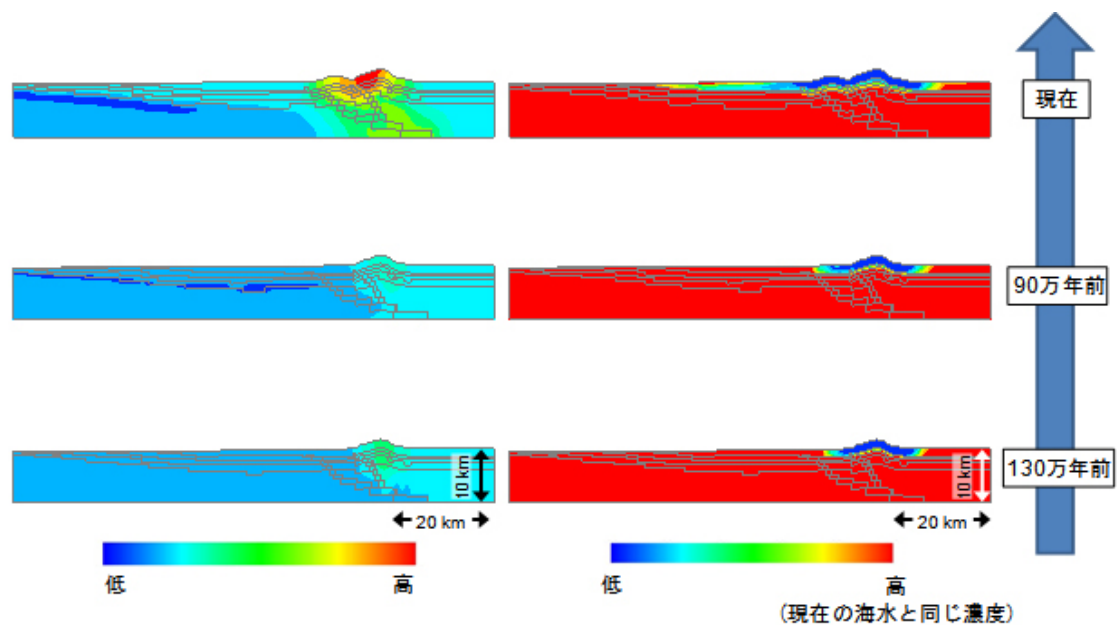
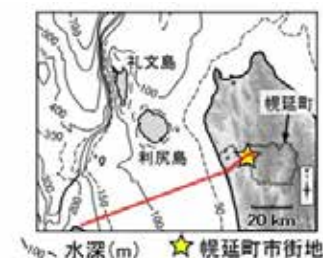


図 32 地形・地質構造の変遷モデル



(a) 解析結果の一例



赤線は(a)の地形・地質構造の断面を示しています。

国土地理院刊行の数値地図50mメッシュ（標高）日本-I(2001)を使用

(b) 解析の対象とした断面の位置

図 33 解析結果の一例と解析の対象とした断面の位置

これらの結果から、SMSを用いることにより、幌延地域で取得した地形・地質構造のデータを利用して地形・地質構造の変遷モデルが構築できること、海水準および地下水涵養量の変動を考慮した地下水の流れと塩分濃度の解析が可能であることを確認できました。

今後は、地下施設や幌延沿岸域で取得するデータを利用して、本手法による解析結果の確からしさを検討していくとともに、堆積岩が分布する沿岸域を対象として地質環境の長期的変遷を予測する観点での、本手法の適用性の確認を進めていく予定です。

3.3.2 地震研究

地震研究では、地震観測を継続するとともに、地表および地下施設で取得する地質環境データを組み合わせ、地震活動・断層運動が地質環境に与える影響について検討を進めています。

平成23年度は、幌延町内に設置している地震観測点ならびにGPS観測点（図 4参照）での連続観測を継続し、取得した観測データを用いて地震の震源位置を決定しました。また、地震により地表と地下がどのように揺れるのかについて、地表と地下に設置した地震計の観測データを比較し、地下の揺れは地表よりも小さいことを確認しました。

(1) 地震分布

平成22年10月1日から平成23年9月30日までの1年間について、幌延地域周辺で発生した地震を対象として解析を行い、それらの震源の位置を決定しました。この解析には、原子力機構の観測点で取得した地震観測データに加えて、気象庁や防災科学技術研究所などの研究機関が取得した観測データ^{*33}も利用しました。その解析の結果を図 34に示します。

ほとんどの地震は、地震の規模を示すマグニチュードが3よりも小さい地震でした。また、これらの地震の震源位置は、これまでに観測された地震⁽¹⁴⁾などと同様の分布を示しており、平成23年3月11日に東北地方太平

^{*33}：本解析には、気象庁、防災科学技術研究所、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、産業技術総合研究所地質調査総合研究センター、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市および海洋科学技術センターのデータを気象庁・文部科学省が処理した“気象庁一元化処理検測値データ”を利用しました。

洋沖地震がありました。平成22年10月1日から平成23年9月30日までの1年間は、これまでと同じような場所で地震が発生していると考えられます。

以上の様に、幌延地域周辺で発生する地震の震源分布については、ほぼ把握できたことから、今後は観測点を縮小していく予定です。

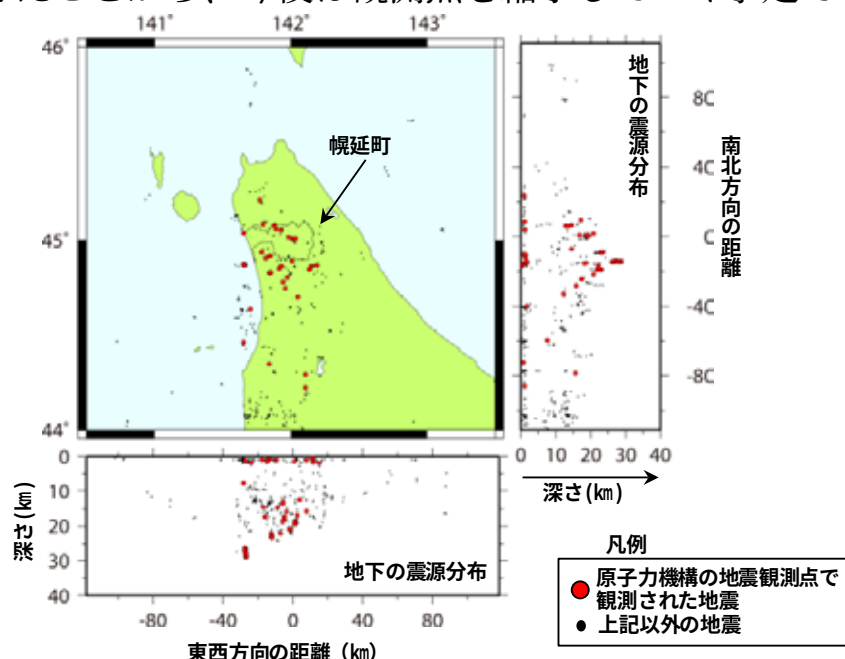


図 34 北海道北部で発生した地震の震源分布
(期間：平成22年10月1日～平成23年9月30日)

(2) 地表と地下の揺れの比較

幌延町内に配置した地震観測点（図 4参照）のうち、HDB-2孔敷地にある上幌延観測点では、地表と地下約140mの2つの異なる深さに地震計を設置しています。地震の時の大地の揺れ方について、この観測点の地表と地下で観測された地震の波形を比較しました。図 35は平成23年8月12日に北海道北部で発生したマグニチュード3.9の地震で観測された加速度の波形です。図 35は、南北、東西および上下方向の3方向で地表と地下の揺れを示しており、いずれの方向の地震波形でも地下の揺れは地表より小さいことがわかります。地下での地震による揺れが地表に比べて小さいことは、一般的に知られており、例えば、硬い岩石である花崗岩が分布する岩手県釜石の地下坑道を利用した地震観測では、地震による揺れの大きさは、地下百数十m以深で地表の揺れの1/2～1/3程度になると

いう研究例があります⁽¹⁵⁾。平成23年度までの結果より、堆積岩が分布する幌延地域においても同様であることを確認することができました。

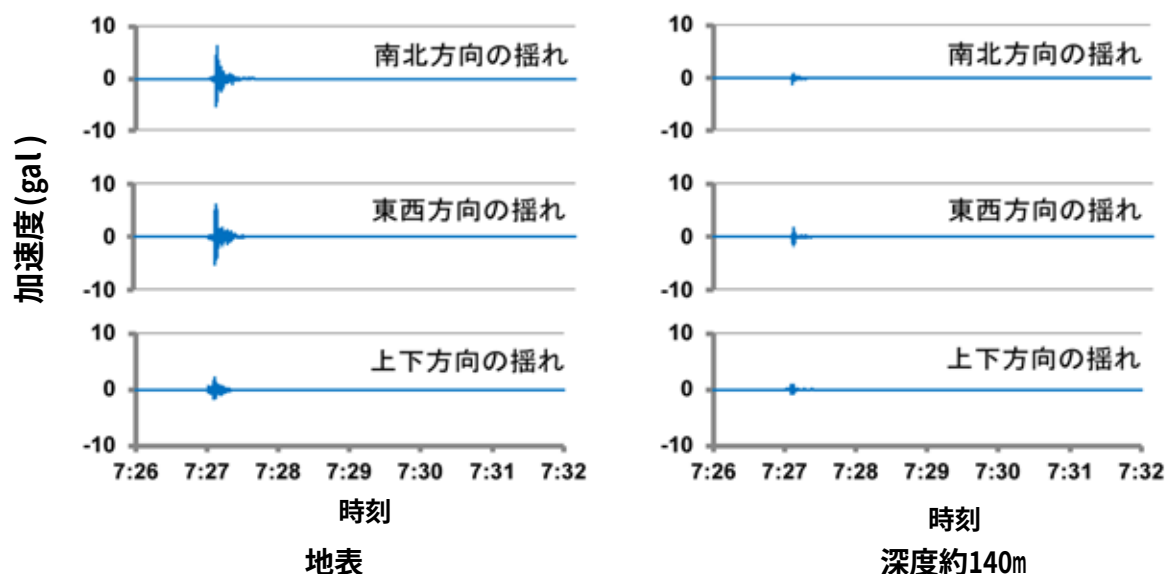


図 35 地表と地下の地震時の加速度の波形の比較

4. 地層処分研究開発

4.1 処分技術の信頼性向上

4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証

平成23年度は、低アルカリ性コンクリート材料に関する施工試験や周辺環境への影響調査、緩衝材の定置試験設備の設計・製作などを実施しました。

(1) 低アルカリ性コンクリートの吹付け施工性の確認

地下施設の建設に、支保工の材料としてセメント系材料であるコンクリートを使用した場合、コンクリートと接触した部分の間隙水のpHが12以上の高アルカリ性となります。この高アルカリ性の間隙水が、緩衝材（ベントナイト^{*34}）や坑道周辺の岩盤を変質させ、人工バリア^{*35}や天然バリアの性能に影響を与える可能性があります。この影響を緩和するため

*34：ベントナイトは粘土鉱物のスメクタイトと石英などの鉱物から構成され、地層処分における人工バリアシステムに用いる緩衝材の候補材料です。

*35：ガラス固化体、オーバーパックおよび緩衝材からなる地層処分システムの構成要素のことで、高レベル放射性廃棄物が人間の生活環境に影響を及ぼさないようにする障壁として、人工的に形成するものです。

に通常のセメントに比べて間隙水のpHが低くなるセメント（以下、HFSC^{*36}）の開発を平成13年度から継続しており、地上での配合検討や模擬トンネルへの吹付け試験を実施してきました。平成21年度には140m調査坑道において地下環境での施工性を確認するとともに、平成22年度からは4.1.1(2)で述べる坑道周辺の岩盤や地下水への影響調査を開始しています。

平成23年度は、平成22年度に引き続き、250m調査坑道の一部でHFSCの吹付けコンクリートを施工し、施工中においても設計基準強度を満たすこと⁽¹⁶⁾や、施工性について確認しました。図 36に250m調査坑道における施工試験範囲を、写真 1に施工試験の実施状況を示します。今後は350m調査坑道においても同様の施工試験を実施する計画です。

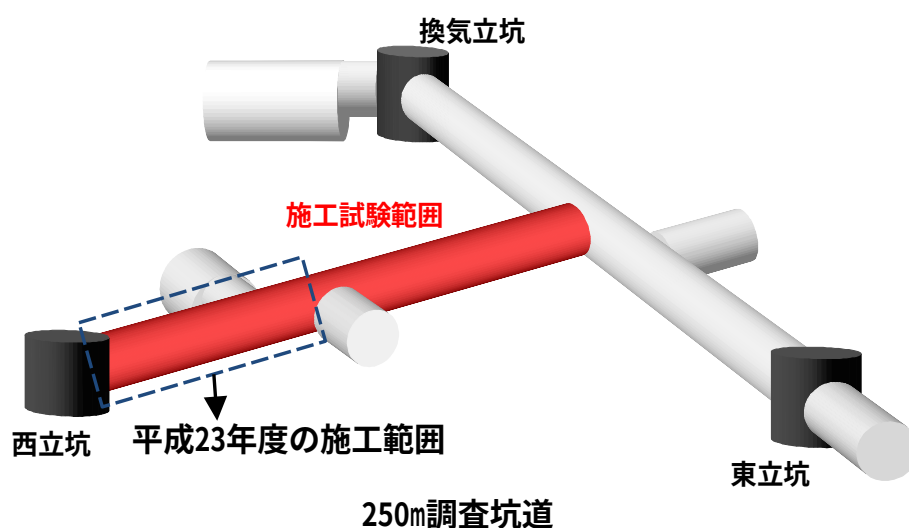


図 36 HFSCを用いた吹付けコンクリートの施工試験範囲

^{*36} : Highly Fly-ash contained Silicafume Cement の略で通常のセメントに、地殻に最も多く含まれる物質のひとつである石英を含む物質を、多量に加えて組成を変えることで間隙水の pH を低下させたセメントのことです。



写真 1 施工試験実施状況

(2) 低アルカリ性コンクリート材料の周辺岩盤への影響調査

HFSCを用いた吹付けコンクリートが、坑道周辺の岩盤および地下水に与える影響を調査するため、140m調査坑道の坑道壁面から、施工後約21ヵ月を経過した平成22年3月に、コンクリートおよび岩石のコアを採取し分析を実施しました。その結果、坑道周辺の岩盤中の鉱物にはほとんど変化がないことが分かりました。一方、HFSCを用いた吹付けコンクリートは、平成22年度に実施した試験結果（施工後約3ヵ月）よりも約10倍水を通しにくくなっていることが分かりました。これは、通常のコンクリート材料で施工した部分の試験結果と比べると、約100倍水を通しにくいという結果でした。

また、140m調査坑道に平成21年度に設置した採水装置（図 37）から、坑道付近の地下水を採取して分析しました。表 3にHFSCを用いた吹付けコンクリートの施工範囲から採水した地下水の分析結果を示します。平成22年度に同じ区間から採取した地下水の分析結果と140m調査坑道から掘削されたボーリング孔（07-V140-M01孔：図 12参照）から採取した地下水の分析結果を併せて示します。今回の測定結果からは、施工後約21ヵ月では、坑道付近の地下水の水質は吹付けコンクリートからの距離に関わらず、ほとんど影響を受けていないことが分かりました。今後も、継続して分析を実施し低アルカリ性コンクリート材料が坑道付近の地下水に与える影響について調査を行います。

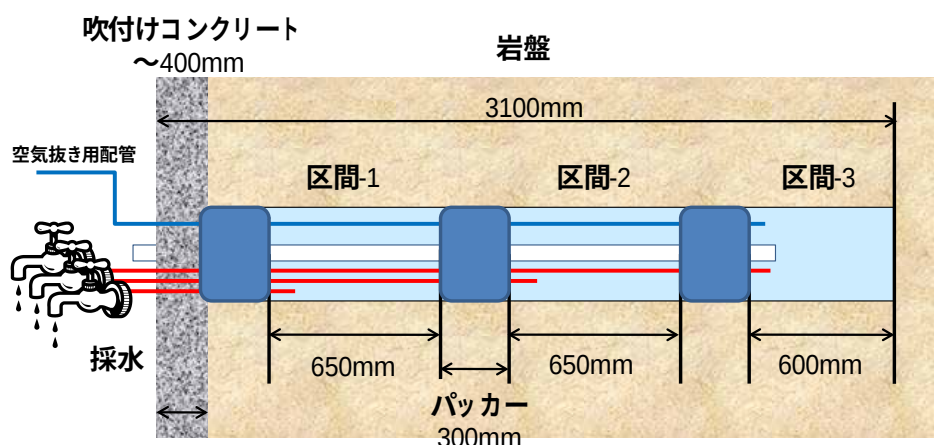


図 37 採水装置のイメージ

表 3 水質分析結果

		HFSC (140m調査坑道)						07-V140 -M-01
測定項目	単位	区間-1		区間-2		区間-3		
		施工後 3ヵ月	施工後 21ヵ月	施工後 3ヵ月	施工後 21ヵ月	施工後 3ヵ月	施工後 21ヵ月	
pH	-	7.3	7.3	7.5	7.3			7.4
水温	℃	15.8	23.0	15.8	23.5			17.5
電気伝導率	mS/m	1,110	1,140	1,120	1,140			1,300
ナトリウム	mg/L	2,440	2,410	2,480	2,390	湧水量不足のため 採水できず		3,300
カリウム		95.1	94.4	98.0	86.0			100
カルシウム		56.6	56.9	55.2	58.5			87
シリカ		56	58	61	58			29
アンモニウムイオン			116	125	110	122		
塩化物イオン		2,520	2,580	2,510	2,510			4,000

(3) 緩衝材の定置試験・人工バリア長期挙動試験

平成22年度に引き続き、原子力環境整備促進・資金管理センター^{*37}との共同研究として、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業である地層処分実規模設備整備事業における操業技術や人工バリアの長期挙動について、実物大での試験設備について検討し、一部の設備を製作しました。

具体的には、緩衝材定置試験設備のうち、豎置きの処分孔に緩衝材（ベ

^{*37}：公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センターは、放射性廃棄物処理処分の専門研究機関として発足しました。現在は、原子力発電環境整備機構(NUMO)を通して積み立てられる最終処分積立金の管理などを行う資金管理業務も実施しています。

ントナイトブロック）を定置するための昇降装置（テレスコピック）を製作しました。写真 2に緩衝材定置試験設備の製作状況を、写真 3に昇降装置の外観を示します。



写真 2 緩衝材定置試験設備の製作状況

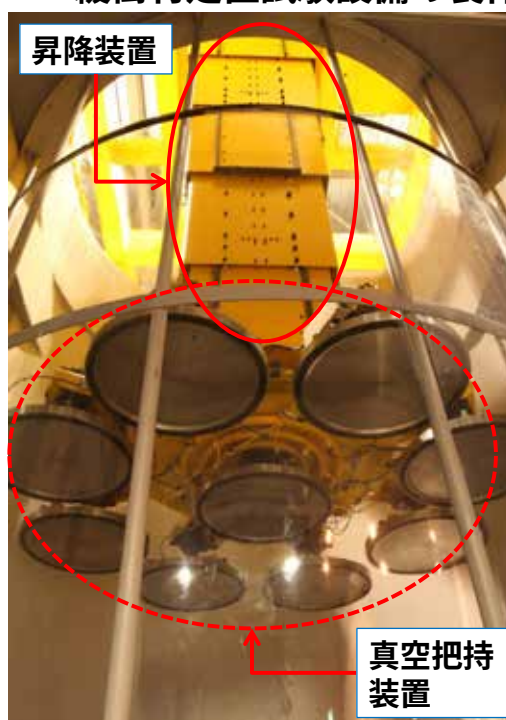
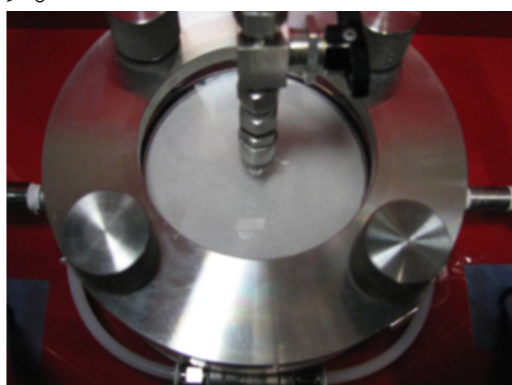


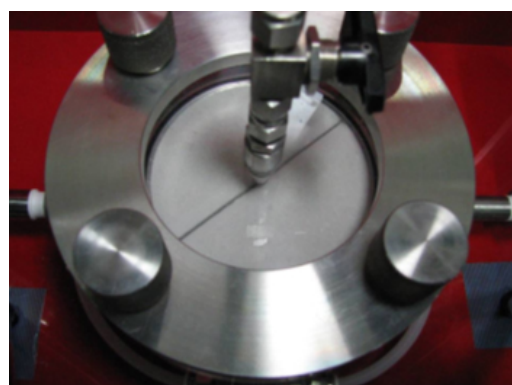
写真 3 昇降装置の外観

また、緩衝材への水の浸潤試験を継続し、水の注入量のデータを取得しました。写真 4に水の注入開始前と、試験終了時の緩衝材の状況を示します。緩衝材にあらかじめ1mmの隙間を設けた「隙間有り」の供試体の

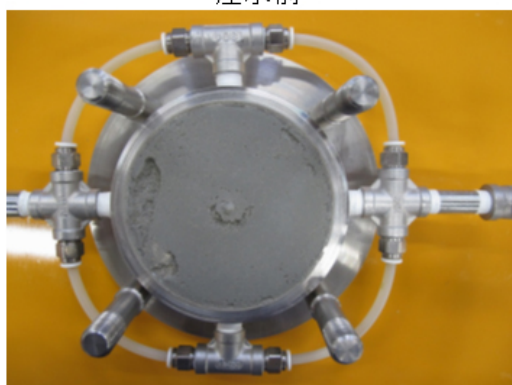
場合、緩衝材が膨潤することで隙間が閉じていることが分かります。緩衝材にしみ込んだ水の量は、試験を開始してから100日を超えるとほぼ一定になり、水がしみ込まなくなっていることが分かりました（図 38）。このデータを基に、緩衝材の半径方向の水のしみこみ方について解析を実施した結果、水が緩衝材中を拡がっていく速さが $2.0 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ と求められました^{(17)、(18)}。平成24年3月から、「隙間有り」の供試体を用いて、隙間の閉塞状況と含水比の分布の把握を目的に同様の試験を開始しています。



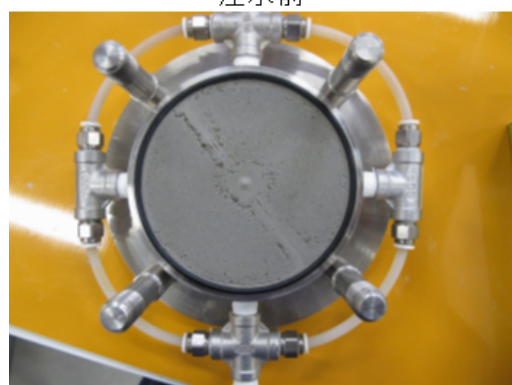
注水前



注水前



試験終了時
(a)隙間無し



試験終了時
(b)隙間有り

写真 4 緩衝材の膨潤状況

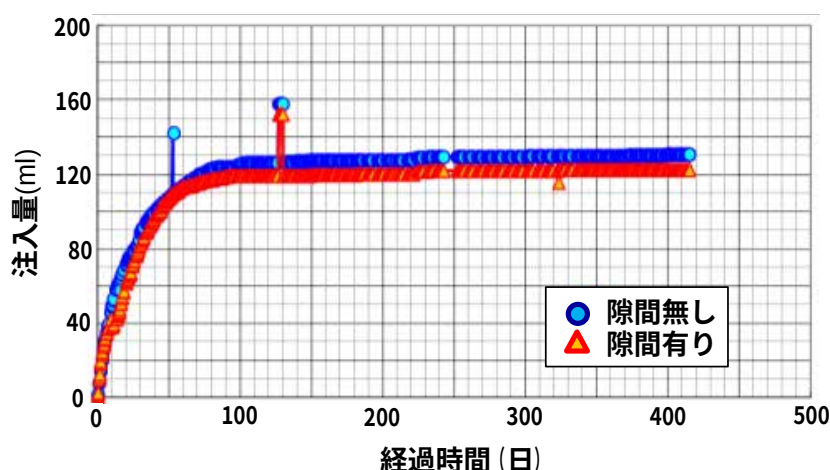


図 38 緩衝材への注水量の時間変化(平成22年4月28日～平成23年9月25日)

4.1.2 設計手法の適用性確認

地下施設で実施する、人工バリアに関する試験や坑道閉鎖試験などでは、緩衝材（ベントナイト）やオーバーパック^{*38}材料を用いる予定です。しかし、それら人工バリアの材料は幌延地域に見られるような塩水系地下水に対しては、淡水系地下水と異なる挙動を示すことが知られています。

このため、第2段階ではベントナイトや炭素鋼などの金属材料の特性に関して、塩水系地下水やセメントの影響に対して不足しているデータの取得を継続しています。また、塩水系地下水の環境で生じる反応についての理解や、一般化された個別のモデルの開発などを継続するとともに、それらを複合させた人工バリアとその周辺岩盤の長期的な挙動に関する研究を、東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所と協力して実施しています。さらに、第1段階および坑道掘削に伴い得られる地質環境データ、人工バリア材料の特性や挙動に関するデータを用いて、第1段階で検討した人工バリアや地下施設などの設計手法を原位置試験の仕様検討に適用します。

平成23年度は、オーバーパック材料の腐食特性や第3段階で実施する人工バリア性能試験などの原位置試験の詳細な計画について検討しました。

オーバーパック材料の腐食特性については、候補材料である炭素鋼に

^{*38}：人工バリアの構成要素のひとつです。ガラス固化体を包み込み、ガラス固化体に地下水が接触することを防止し、地圧などの外力からガラス固化体を保護する容器のことを言います。候補材料は炭素鋼などの金属です。

対するセメントの影響を考慮した高アルカリ性の塩水系地下水を用いた腐食試験や、代替材料であるチタンに対してHDB-6孔の地下水を用いた腐食試験を継続しました。その結果、セメントにより塩水系地下水がアルカリ性に変化した場合であっても局部的な腐食や応力腐食割れ^{*39}は発生しにくいことがわかりました。また、原位置試験の詳細計画の検討として、人工バリア性能試験で用いられる埋め戻し材料の仕様や施工方法に関する検討を行いました。

今後は原位置試験の実施に向けて、それぞれの試験の詳細な計画の検討を継続します。

4.2 安全評価手法の高度化

4.2.1 安全評価モデルの高度化

平成23年度は、350m調査坑道で実施予定の物質移行試験に関わる検討を開始しました。具体的には、安全評価モデルの高度化のための原位置物質移行試験において対象となる、350m調査坑道周辺の地質環境特性（水理地質構造、割れ目帯分布など）の把握を目的とした調査ボーリング(図39)を実施しました。250m西側第1ボーリング横坑から斜め下方向に孔長140m程度のボーリング孔を3孔掘削し、コア観察、物理・流体検層、比抵抗

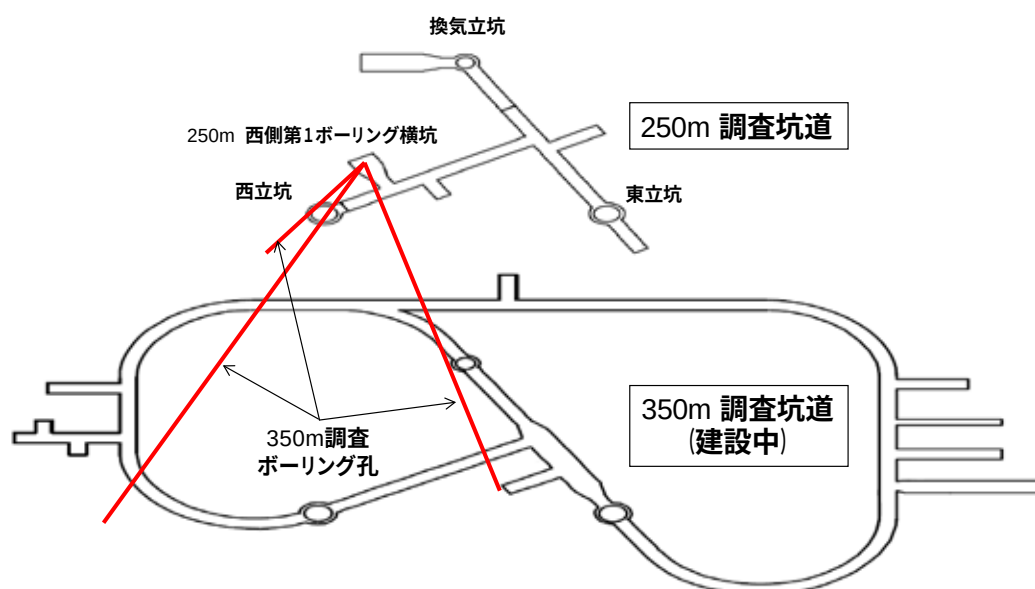


図 39 350m調査坑道周辺の調査ボーリング

^{*39}: 金属材料に力が加わった状態で腐食する環境に置かれたとき、急速に亀裂が発生、成長して割れる現象です。

抗トモグラフィ調査を行いました。引き続き、弾性波・音響トモグラフィ調査、単孔水理試験などを行う予定です。これらの情報を基に、安全評価のために取得すべきデータに応じた試験方法の選択、試験実施箇所の選定を行います。

また、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業で平成19年度より実施している処分システム化学影響評価に関する研究として、岩石や緩衝材中での物質の拡散^{*40}特性や収着^{*41}特性のほか、物質移行に及ぼす微生物および有機物などの影響に関する検討を継続しました。

拡散特性や収着特性については、従来の健岩部の試験に加えて、割れ目部に対するデータ取得手法を検討しました。これまでの試験に用いてきたHDB-6孔の深度500m～600mの範囲から割れ目を含んだコアを採取し、拡散試験、収着試験および化学組成分析などを行いました。収着試験の結果、安全評価を行う際に重要な元素であるニッケルとユーロピウムの収着分配係数^{*42}は割れ目部と健岩部で有意な差のあることが分かりました。今後は他の元素についても評価する予定です。

収着・拡散特性に及ぼす微生物の影響については、岩石の亀裂表面を覆っているバイオフィーム^{*43}が核種の収着能力に与える影響について検討しました。予備調査として、定量的な実験のためのバイオフィーム形成方法の確立と、バイオフィームを用いた収着・拡散試験を実施しました。140m調査坑道で採取した地下水から、*Pseudomonas*属^{ジュードモナス}^{*44}の微生物を単離し、この細菌から作成したバイオフィームを用いて収着・拡散実験を行った結果、このバイオフィームが大きな収着能力を持つことが分かりました。

収着・拡散特性に及ぼす有機物の影響については、平成22年度に引き続き有機錯体^{*45}形成についてのモデルとデータベースの構築、ならびに有機錯体の収着・拡散解析手法の開発を進めています。核種－有機物－

*40：岩盤などの中を元素が、濃度の高い方から低い方へ移動していく現象です。

*41：地下水中にある元素が、岩盤などに取り込まれる現象です。

*42：岩盤中と地下水中における元素の濃度比で表され、元素の岩盤への取り込みやすさを表す係数です。

*43：菌膜（きんまく）とも呼ばれ、微生物が群集を形成したものです。身近な例としては、歯垢、台所や排水溝のヌメリなどがあります。

*44：微生物の一属です。標準株 *Pseudomonas aeruginosa* ^{ジュードモナス エルジノーサ} は緑膿菌とも呼ばれ、バイオフィーム形成能が高いことが知られています。

*45：有機物と金属元素から形成される化合物の総称です。

岩の三者間での収着モデル開発では、ユーロピウム－腐植物質^{*46}－堆積岩の間の収着分配について検討を行いました。ユーロピウム腐植物質錯体に堆積岩を加えた場合と、腐植物質と堆積岩が収着平衡にある系にユーロピウムを添加した場合を比較すると、ユーロピウムの見かけの分配係数がほぼ同じになることが分かりました。このことは、ユーロピウムと腐植物質の錯形成反応には、瞬時・可逆性が成立することを示しており、ユーロピウム－腐植物質－堆積岩の三者間の反応のモデル化の見通しが得られました。

4.2.2 安全評価手法の適用性確認

安全評価では、将来の地質環境の変遷を想定し、適切なシナリオ^{*47}に基づいてモデル化・解析を行うことが重要です。そのために必要な地質環境の調査から評価にいたる方法論の整理を目的として、幌延地域で取得した具体的な地質環境情報に基づき、安全評価手法の適用性確認を進めています。

平成23年度は、地質環境の調査から評価にいたる方法論の構築およびその方法論の適用性を確認するための地質環境データの取得を目的として、350m調査坑道で実施する予定の物質移行試験について、試験対象とする地質環境や試験場所の選定を含めた具体的な原位置試験計画の立案に着手しました。また、平成22年度までに実施した地下水流動解析および簡易的な物質移行解析に基づいて、これまでに取得した各種地質環境データとこれらの解析結果との整合性を確認するための評価方法の整理を開始しました。

表層部から地下深部までを対象とした地質環境モデルの構築および地下水流動、物質移行評価に関する研究については、モデル化・解析・評価の方法論の整備を平成22年度に引き続き行いました。

*46：植物が枯死したあとに、土壌中や地下水中で分解されてできる有機物の総称です。抽出方法によって、フルボ酸とフミン酸に分離されます。

*47：放射性廃棄物が人間環境に及ぼす影響を評価する観点から、処分後の長期間について地層処分システムの状態を変化させる可能性のある一連の現象を想定し、これらを組み合わせて地層処分システムの長期挙動を想定したものです。

5. 地下施設の建設

平成23年度は、平成22年度から導入した民間活力（PFI）による地下施設（立坑および調査坑道）の建設を継続しました。立坑については、東立坑および換気立坑の深度約350mまでの掘削を行い、西立坑はやぐら設備の基礎となる坑口上部工^{*48}を整備した後、深度約50mまでの掘削を行い、やぐら設備（写真 5）、スcaffolding^{*49}および巻上機を設置しました。また、調査坑道については、250m調査坑道の掘削を継続し、平成23年5月に西立坑の接続部を残し掘削がほぼ終了しました。350m調査坑道の掘削は平成24年3月に換気立坑側から開始しました。



写真 5 西立坑のやぐら設備設置状況

立坑および調査坑道の掘削に際しては、350m調査坑道の一部と東立坑および換気立坑の深度250m以深を対象として、湧水を抑制するためにグラウト工事を行いました。また、当建設地点では、可燃性ガスが地下水中に溶存していることが確認されているため、作業の安全を確保するために、切羽（掘削箇所では岩盤が露出している部分）では防爆仕様機器の使用やガス濃度測定などの可燃性ガス対策を行いながら掘削を進めました。

^{*48}：坑口上部工は、立坑出入口部にあたる鉄筋コンクリート構造物のことです。この設備は、立坑を本格的に掘削するためのやぐら設備の基礎を兼用する部分にもあたります。

^{*49}：立坑工事に使用される作業足場のことです。

また、坑道掘削に伴い発生する掘削土(ズリ)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の掘削土(ズリ)置場（写真6）に保管しています。平成23年度は、坑道掘削の進捗による掘削土(ズリ)の増量に備え、掘削土(ズリ)置場の拡張工事を実施しました。

坑道掘削に伴い発生する掘削土(ズリ)は、建設現場における簡易分析^{*50}や公的機関による詳細な分析（以下、公定分析）を定期的の実施し、適切な管理のもと掘削土(ズリ)置場へ搬入しています。掘削土(ズリ)に係るモニタリングの公定分析の結果を表 4に示します。分析結果から、ホウ素、ヒ素、セレン、カドミウムおよび鉛の5項目については自然由来（岩石に元から含まれているため）により溶出量基準値以上の値となっていますが、いずれも掘削土(ズリ)置場に保管可能な第2溶出量基準値以下でした。

また、掘削に伴い発生する坑道からの排水^{*51}および掘削土(ズリ)置場からの浸出水については、排水処理設備にて処理した後に排水管路を経由して天塩川に放流しています。なお、地下施設からの排水の水質については、6.2に分析項目と結果を示します。



写真 6 掘削土(ズリ)置場の盛土および拡張整備状況

^{*50}：対象とする元素の大体の濃度を把握するために、現場で簡単に実施できる方法を使った分析のことです。

^{*51}：「排水」とは、地下施設工事掘削に伴って発生する水とし、「湧水」とは、坑道内に自然に発生する水のことを指します。

表 4 掘削土(ズリ)モニタリング調査結果（土壌溶出量：公定分析）

分析項目	単位	換気立坑	東立坑	西立坑	参考値 (土壌汚染対策法)	
					溶出量 基準値	第2溶出量 基準値
ホウ素	mg/L	3.2～5.8	3.6～5.1	0.1～6.3	1	30
ヒ素		0.011～0.048	0.029～0.047	0.004～0.010	0.01	0.3
フッ素		<0.08～0.11	<0.08～0.10	<0.08～0.15	0.8	24
セレン		0.006～0.017	0.013～0.024	0.006～0.015	0.01	0.3
カドミウム		<0.001	<0.001	<0.001～0.10	0.01	0.3
鉛		<0.001～0.002	<0.001～0.002	0.005～0.014	0.01	0.3
シアン		不検出 (<0.1)	不検出 (<0.1)	不検出 (<0.1)	不検出	1
六価クロム		<0.005	<0.005	<0.005	0.05	1.5
水銀		<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	0.005
アルキル水銀		不検出 (<0.0005)	不検出 (<0.0005)	不検出 (<0.0005)	不検出	不検出

平成23年4月から平成24年3月までの試料採取における調査分析結果を記載しています。

6. 環境モニタリング

6.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査

研究所設置地区を対象とした環境モニタリング調査については、幌延深地層研究センターの造成工事着手前（平成14年度）から継続して実施しています。調査位置を図 40に示します。

調査項目は、これまでと同様、地下施設工事により発生する可能性のある「騒音」、「振動」、変化する可能性のある「水質」、水質・水量などの変化により影響を受ける可能性がある工事範囲下流域の「魚類」、「植物」です。

また、平成15年度の調査において環境保全措置として移植を行ったハイドジョウツナギ（イネ科の希少植物）については、移植が成功したこと、また、新たな生育先が確認されたことから、移植後の調査は平成22年度で終了しました。

調査の実施時期、調査方法を表 5に示します。これら調査のうち、水質、魚類および植物の調査計画および調査結果については、有識者からの助言をもとに評価しています。モニタリングの調査項目と結果を表 6

にまとめて示します。

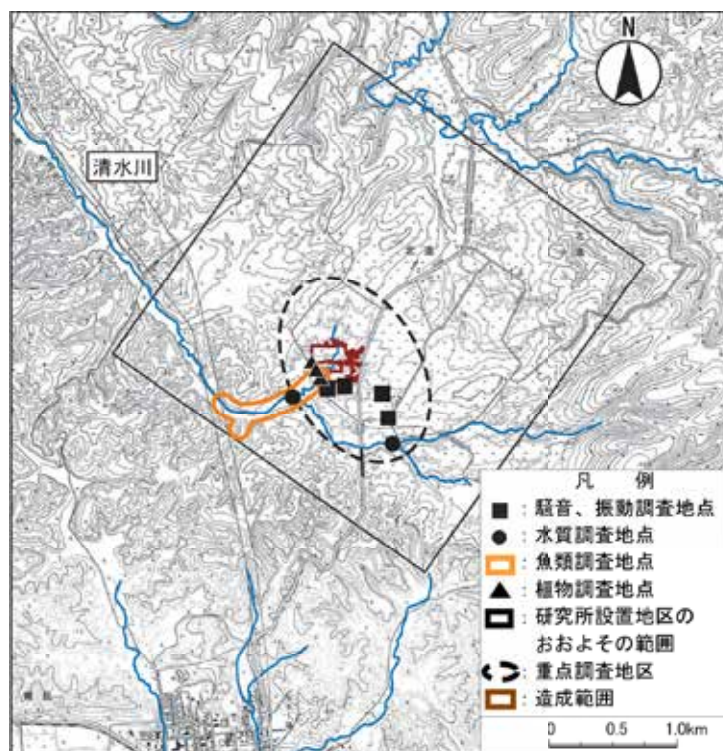


図 40 環境モニタリング調査位置

表 5 環境モニタリング調査実施内容

調査項目	調査実施日				調査方法
	春季	夏季	秋季	冬季	
騒音	H23 6/1、2	H23 8/31、9/1	H23 10/31、 11/1	H24 2/2、3	「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」に定める測定方法 「振動規制法施行規則」に定める測定方法
振動					
水質 (清水川)	H23 6/1	H23 9/1	H23 11/1	H24 2/2、3	「水質汚濁に係る環境基準について」に基づく測定方法
魚類	H23 6/1	H23 8/31、9/1	H23 10/11、12	—	目視観察・採捕調査
植物群落		H23 8/31	H23 10/12	—	コドラート調査 ^{*52}

*52：1m×1m 程度の調査区（コドラート）を設定し、調査区内の植物の生育状況（種類、占有面積、生育密度など）を詳細に把握し、毎年度の調査によって、変化の状況を確認する方法です。

表 6 モニタリング調査項目と結果

調査項目	調査結果
騒音	等価騒音レベルは、昼間は39～60デシベル、夜間は32～51デシベルでした。なお、夏季調査日は、風がやや強く草木の揺れる音の影響が大きかったため、全体的に高い値でした。(工事着手前：昼間39～53デシベル、夜間30未満～37デシベル)
振動	昼間は30デシベル未満～37デシベル、夜間は30デシベル未満でした。(工事着手前：昼間30未満～33デシベル、夜間30未満～30デシベル)
水質 (清水川)	清水川の水質については、工事の影響と見られる変化はありません。
魚類	春季、夏季および秋季調査で6科7種を確認しました。 重要種については、スナヤツメ、ヤマメ(サクラマス)、エゾウグイ、エゾトミヨ、ハナカジカの5種を確認しました。
植物	植物群落は、平成22年度とほぼ同様な種構成が確認され、大きな変化はみられません。

騒音・振動および清水川の水質については、平成23年度に東立坑の掘削と250m水平坑道の掘削工事を実施しましたが、いずれも工事の影響は認められませんでした。

魚類については、これまでと較べて大きな変化がみられず、6科7種が確認されました。法指定種や環境省のレッドリストなどで絶滅のおそれのある魚類を抽出したものを重要種として表 7に示します。確認された重要種は、スナヤツメ、ヤマメ(サクラマス)、エゾウグイ、エゾトミヨ、ハナカジカの計5種でした。

植物については、造成工事などの着手前と比較して主要種の生育状況に変化は認められませんでした。

表 7 確認された重要種（魚類）

目	科	種	選定根拠*1							
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ヤツメウナギ	ヤツメウナギ	スナヤツメ*2			VU	VU		希		
サケ	サケ	ヤマメ (サクラマス)				NT*3	N*4	減*5		
コイ	コイ	エゾウグイ					N			
トゲウオ	トゲウオ	エゾトミヨ			NT	NT	R			○
カサゴ	カジカ	ハナカジカ					N			

*1：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）に基づく野生動植物種
- ③：「改定・日本の絶滅のおそれのある野生生物－レッドデータブック－4 汽水・淡水魚類」（環境省2003年）の記載種
VU：絶滅危惧Ⅱ類 NT：準絶滅危惧
- ④：「汽水・淡水魚類のレッドリストの見直しについて」（環境省2007年）の記載種
VU：絶滅危惧Ⅱ類 NT：準絶滅危惧
- ⑤：「北海道の希少野生生物 北海道レッドデータブック2001」（北海道 平成13年）の記載種
R：希少種 N：留意種
- ⑥：「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
希：希少種 減：減少種
- ⑦：「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
- ⑧：「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
- ：調査対象種

*2：④では「スナヤツメ北方種」として記載されている

*3、4：ヤマメが対象

*5：サクラマスが対象

6.2 地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査

地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査として、地下施設からの排水、排水処理設備で処理した処理済排水の放流先である天塩川放流口の河川水のほか、研究所用地からの生活排水について環境への影響を把握するための水質調査を平成22年度に引き続き実施しました。水質調査の実施対象と主な分析項目を表 8に示します。また、地下施設からの排水の処理系統図を図 41に、幌延深地層研究センター全体の排水系統図を図 42に、天塩川の水質モニタリング調査位置を図 43に示します。

分析項目については、水質汚濁防止法の排水基準や北るもい漁業協同組合との協定に基づいていますが、分析項目が多いため本報告書では主な分析項目のみ掲載しました。分析はすべて公定分析であり、分析結果

の詳細については、幌延深地層研究センターのホームページ^{*53}で公開しています。また、ホームページでは毎日のホウ素およびアンモニア性窒素の簡易分析結果および毎週の処理済排水の現地分析^{*54}結果についても公開しており、これに伴ってホームページの記載内容などを更新しています。

表 8 水質調査の実施対象と主な分析項目

水質調査実施対象		調査頻度	主な分析項目 ^{*1}
地下施設からの排水	立坑の原水	1 回/月	カドミウム、ヒ素、セレン、フッ素、ホウ素、pH、浮遊物質(SS)、塩化物イオン
	掘削土（ズリ）置場浸出水調整池の原水		
	揚水設備における処理済排水		
天塩川放流口の河川水（B1:放流口、B2:上流 1km、B3:下流 1km）			ホウ素、全窒素、全アンモニア、pH、浮遊物質(SS)
研究所用地からの排水	研究管理棟浄化槽排水	1 回/2 週	全窒素、全リン、pH、BOD、浮遊物質質量(SS)、大腸菌群数、透視度
	地下施設建設現場事務所浄化槽排水		
環境への影響を把握するための水質調査	掘削土(ズリ)置場周辺の地下水(A1～A4)	4 回/年	カドミウム、ヒ素、セレン、フッ素、ホウ素、pH、浮遊物質(SS)、塩化物イオン
	掘削土(ズリ)置場近傍の清水川(A5)	1 回/月	
	掘削土(ズリ)置場雨水調整池(A6)		
	研究所地下流の清水川(A7)		

^{*1}: 水質汚濁防止法および北るもい漁業協同組合との協定書などにより「主な分析項目」以外の分析項目については、調査頻度を変えて実施している項目もあります。

^{*53}: <http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/suishitsu.html>

^{*54}: 排水処理設備において処理水を採取し、敷地内にある分析室で実施している、JIS 又は JIS に準拠した分析のことです。

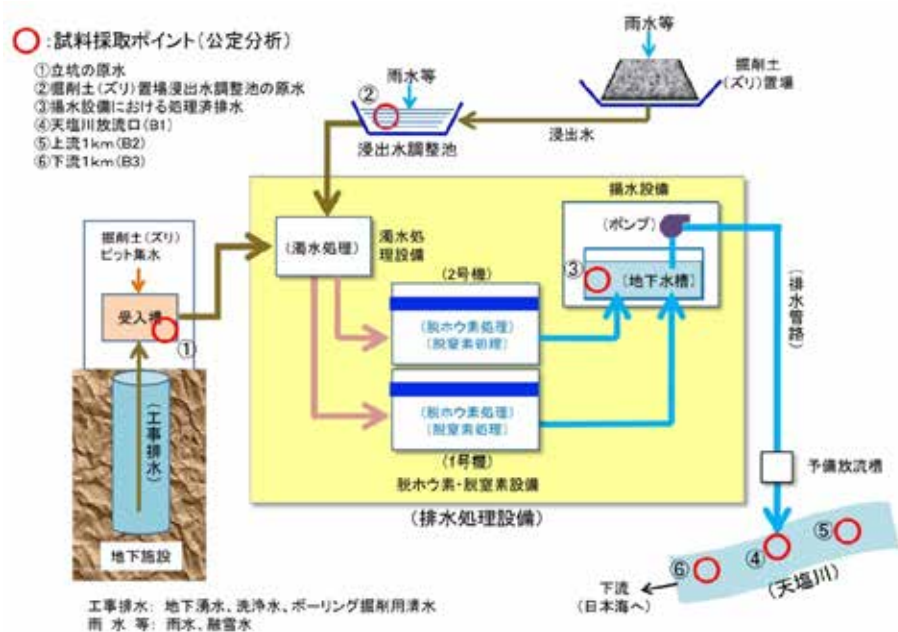


図 41 地下施設排水処理系統図

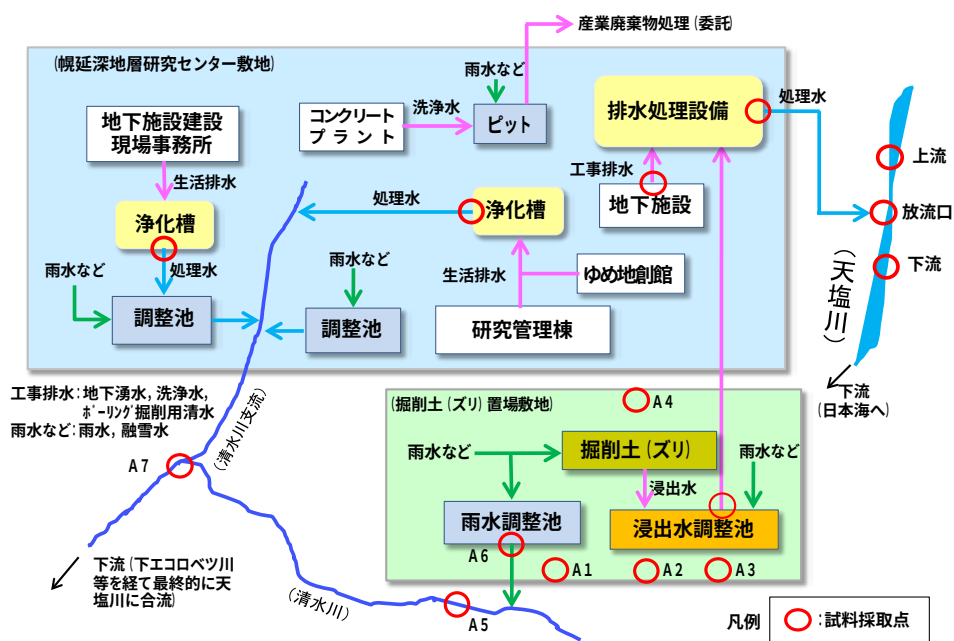


図 42 幌延深地層研究センター排水系統図



※採水は、各地点において、表層、中層および深層の3層で行っています。

図 43 天塩川の水質モニタリング調査位置

平成23年度における処理済排水の天塩川への排水量を表 9に示します。排水量の多い9月から11月は、平成22年度と比べると約2倍程度に増加しており、その原因は降雨による増水と思われます。

地下施設からの排水の水質調査結果を表 10に示します。「立坑の原水」のホウ素が高い値を示していますが、これは自然由来によるもので排水処理後の「揚水設備における処理済排水」は排水基準値以下となっています。

天塩川の水質調査結果を表 11に示します。4月から5月および10月の浮遊物質量が協定値を超えていますが、地下施設からの排水は協定値を超えていないことや、上流においても同様の値であることから4月から5月は融雪期における増水、10月は降雨の影響による増水が原因と考えられます。

研究所用地からの生活排水である浄化槽排水の水質調査結果を表 12に示します。研究管理棟および地下施設建設現場事務所ともすべて北るもい漁業協同組合との協定値を満足していました。

掘削土(ズリ)置場周辺の地下水の水質調査結果を表 13に示します。過去の結果と比較しても大きな変化が確認されないことから、環境への影響はないものと考えられます。

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を表 14に示します。これらについても、過去の結果と比較しても大きな変化が確認されないことから、清水川への影響はないものと考えられます。

なお、2月および3月のA6地点については、凍結のため試料は採取できませんでした。

表 9 地下施設から天塩川への排水量

月	排水量 (m ³)	日最大排水量 ^{*1} (m ³)	日平均排水量 ^{*2} (m ³)
平成23年4月	6,863	362	228.8
5月	6,160	382	198.7
6月	5,695	347	189.8
7月	7,858	428	253.5
8月	5,923	416	191.1
9月	10,846	684	361.5
10月	10,961	597	353.6
11月	10,991	601	366.4
12月	8,485	430	273.7
平成24年1月	8,223	544	265.3
2月	7,131	441	245.9
3月	8,508	532	274.5
平成23年度	合計：97,644	日最大：684	日平均：266.9

*1：北るもい漁協との協定では最大 750m³/日

*2：排水量を月の日数で除した値

表 10 地下施設からの排水に係る水質調査結果

分析項目 ^{*1}	単位	採水地点 ^{*2}			参考値 (水質汚濁防止法 排水基準)
		立坑の原水	掘削土(ズリ)置場浸 出水調整池の原水	揚水設備における 処理済排水	
カドミウム	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
ヒ素		<0.01~0.01	<0.01~0.01	<0.01	0.1
セレン		<0.01	<0.01~0.01	<0.01	0.1
フッ素		<0.8	<0.8	<0.8	8
ホウ素		54~79	1.6~5.9	0.3~1.0	10
pH	—	8.1~8.4	7.1~8.1	7.2~7.9	5.8~8.6
浮遊物質	mg/L	26~330	11~52	<1	200 (日間平均 150)
塩化物イオン		2,500~3,300	46~250	1,200~3,400	—

*1：分析項目は、表 8 に示した「主要な分析項目」のみを抜粋

*2：採水地点は図 41 参照

表 11 天塩川の水質調査結果

分析項目 ^{*1}	採水 地点 ^{*2}		平成18年6月～11月 (放流前)	平成18年12月 ～平成23年3月 (放流後)	平成23年								平成24年			北るもい漁業協同組合 協定値		
					4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月		3月	
ホウ素 (mg/L)	B1	表層	<0.02～3.35	<0.01～4.6	0.02	0.02	0.01	0.02	0.13	0.05	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	5	
		中層			0.02	0.01	0.01	0.02	0.67	0.14	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02		
		深層			0.02	0.02	0.01	0.02	4.9	4.5	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02		
	B2	表層			0.01	0.01	0.01	0.02	0.09	0.08	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01		
		中層			0.01	0.01	0.01	0.02	0.73	1.2	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02		
		深層			0.01	0.01	0.01	0.02	5.0	4.6	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02		
	B3	表層			0.01	0.01	0.01	0.02	0.16	0.06	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02		
		中層			0.01	0.01	0.01	0.02	0.47	1.3	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01		
		深層			0.01	0.01	0.01	0.02	2.7	4.5	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01		
全窒素 (mg/L)	B1	表層	0.37～1.50	0.11～6.5	1.7	0.71	0.46	0.49	0.25	0.35	1.0	0.50	0.84	0.75	0.69	0.58	20	
		中層			2.1	0.70	0.43	0.49	0.28	0.35	1.0	0.50	0.86	0.79	0.60	0.64		
		深層			2.0	0.70	0.43	0.47	0.26	0.87	1.0	0.51	0.83	0.76	0.61	0.60		
	B2	表層			1.8	0.67	0.43	0.50	0.27	0.38	1.0	0.50	0.85	0.82	0.65	0.57		
		中層			2.0	0.69	0.41	0.53	0.29	0.53	1.1	0.49	0.87	0.83	0.58	0.59		
		深層			2.1	0.69	0.41	0.48	0.23	0.92	1.1	0.51	0.86	0.87	0.65	0.60		
	B3	表層			1.9	0.67	0.41	0.45	0.25	0.35	1.0	0.50	0.83	0.81	0.60	0.59		
		中層			2.0	0.67	0.41	0.47	0.26	0.54	1.0	0.54	0.84	0.81	0.59	0.57		
		深層			2.0	0.70	0.41	0.48	0.26	0.69	1.0	0.51	0.85	0.79	0.58	0.57		
全アンモニア (mg/L)	B1	表層	<0.01～0.35	<0.05～0.96	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	0.07	<0.05	2 ^{*3}	
		中層			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	0.06		<0.05
		深層			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	0.06		<0.05
	B2	表層			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	0.09		<0.05
		中層			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.14	0.06		0.05
		深層			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	0.10		<0.05
	B3	表層			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.13	0.06		<0.05
		中層			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.17	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.13	0.06		<0.05
		深層			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.10	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.13	0.07		<0.05
pH	B1	表層	7.0～7.6	6.8～7.9	6.9	6.9	7.2	7.0	7.2	7.2	7.0	7.2	7.3	6.7	7.6	6.8	5.8～8.6	
		中層			6.9	7.0	7.2	7.0	7.5	7.2	7.1	7.2	7.3	6.8	7.3	6.8		
		深層			6.9	7.0	7.2	6.9	8.0	7.0	7.1	7.2	7.2	6.9	7.4	6.8		
	B2	表層			6.9	6.8	7.2	7.2	7.5	7.3	7.0	7.1	7.2	7.0	7.6	7.0		
		中層			6.9	6.8	7.3	7.2	7.6	7.1	7.0	7.1	7.2	6.9	7.5	6.9		
		深層			6.9	6.9	7.2	7.2	8.0	7.0	7.0	7.1	7.2	6.9	7.5	6.9		
	B3	表層			6.9	6.8	7.2	7.0	7.5	7.3	7.0	7.1	7.2	6.7	7.5	7.0		
		中層			6.9	6.8	7.2	7.0	7.5	7.1	7.0	7.1	7.2	6.7	7.5	6.9		
		深層			6.9	6.8	7.2	7.0	8.0	7.0	7.0	7.1	7.2	6.8	7.5	6.9		
浮遊物質量 (mg/L)	B1	表層	3～86	<1～320	260	140	7	3	1	4	77	4	5	<1	<1	<1	20	
		中層			390	110	9	3	2	2	96	4	6	<1	<1	<1		
		深層			400	130	9	3	6	7	86	4	5	<1	<1	<1		
	B2	表層			340	120	9	2	1	3	80	3	5	<1	<1	<1		
		中層			360	120	12	3	2	4	73	4	5	<1	<1	<1		
		深層			460	140	12	3	3	9	70	5	4	<1	<1	<1		
	B3	表層			420	120	9	3	1	2	90	4	4	<1	<1	1		
		中層			460	130	10	3	2	5	96	4	4	<1	<1	<1		
		深層			650	140	11	6	3	5	110	4	4	<1	<1	<1		

*1：分析項目は、表 8に示した「主要な分析項目」のみを抜粋

*2：採水地点は図 43参照

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

表 12 浄化槽排水の水質調査結果

主な調査項目	単位	研究管理棟	地下施設現場事務所	協定値
pH	—	5.9～7.0	7.3～7.9	5.8～8.6
生物化学的酸素要求量(BOD)	mg/L	6.3～17	<2.0～9.2	20
浮遊物質(SS)	mg/L	1.7～6.1	<2.0～4.0	20
全窒素	mg/L	10～37	3.0～19	60
全リン	mg/L	1.4～3.8	0.7～3.0	8
透視度	cm	30	30	30
大腸菌群数	個/ml	0～30	0～1,100	3,000

採水地点は図 42参照。

表 13 掘削土(ズリ)置場周辺の地下水の水質調査結果

分析項目 ^{*1}	採水地点 ^{*2}	平成18年6月 ～平成19年4月 掘削土(ズリ) 搬入前	平成19年5月 ～平成23年3月 掘削土(ズリ) 搬入後	平成23年			平成24年
				5月	8月	11月	2月
カドミウム (mg/L)	A1	<0.001～0.004	<0.001～0.009	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A2			0.002	<0.001	<0.001	<0.001
	A3			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A4			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ヒ素 (mg/L)	A1	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A2			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
セレン (mg/L)	A1	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	0.005
	A2			<0.002	<0.002	0.003	0.002
	A3			<0.002	0.002	0.005	0.003
	A4			<0.002	<0.002	0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A1	<0.1～0.4	<0.1～0.3	0.2	0.3	<0.1	0.4
	A2			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A3			<0.1	0.2	<0.1	<0.1
	A4			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A1	<0.02～50.7	<0.02～63.0	12	62	16	61
	A2			0.65	5.4	1.5	4.1
	A3			14	26	22	33
	A4			0.04	0.06	0.03	0.13
pH	A1	4.6～7.3	4.2～7.2	6.8	7.0	6.7	7.0
	A2			5.2	6.0	5.6	5.9
	A3			6.8	6.9	6.8	6.9
	A4			5.4	5.4	5.4	5.5
塩化物イオン (mg/L)	A1	9.7～2,910	9.3～2,930	370	3,400	1,100	3,200
	A2			46	340	140	150
	A3			620	1,100	1,300	1,300
	A4			12	12	13	13

*1：分析項目は、表 8に示した「主要な分析項目」のみを抜粋

*2：採水地点は図 42参照

表 14 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 ^{*1}	採水地点 ^{*2}	平成18年6月～平成19年4月掘削土(ズリ)搬入前	平成19年5月～平成23年3月掘削土(ズリ)搬入後	平成23年									平成24年		
				4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
カドミウム (mg/L)	A5	<0.001～0.001	<0.001～0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A6			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—*3	—*3
	A7			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ヒ素 (mg/L)	A5	<0.005～0.011	<0.005～0.015	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A6			<0.005	<0.005	<0.005	0.005	0.010	<0.005	<0.005	0.006	<0.005	<0.005	—*3	—*3
	A7			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
セレン (mg/L)	A5	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A6			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.003	<0.002	<0.002	—*3	—*3
	A7			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A5	<0.1～0.7	<0.1～1.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A6			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	—*3	—*3
	A7			<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A5	<0.02～0.3	0.02～0.44	0.05	0.07	0.15	0.24	0.21	0.36	0.05	0.07	0.07	0.19	0.29	0.28
	A6			0.02	0.04	0.03	0.15	0.14	0.21	0.22	0.11	0.18	0.19	—*3	—*3
	A7			0.05	0.07	0.18	0.25	0.26	0.35	0.06	0.08	0.09	0.27	0.30	0.27
pH	A5	5.8～7.4	5.7～8.1	6.5	6.8	7.4	6.8	6.7	7.3	6.5	7.0	6.8	6.8	7.2	7.3
	A6			7.3	7.4	7.6	7.3	7.8	8.3	6.7	7.1	6.4	6.3	—*3	—*3
	A7			6.5	6.8	7.3	7.4	7.2	7.4	6.8	6.9	6.7	6.7	6.9	7.0
浮遊物質 量 (mg/L)	A5	1～173	<1～500	7	3	6	<1	3	4	4	2	1	1	4	3
	A6			100	3	12	11	14	4	3	3	35	100	—*3	—*3
	A7			3	3	2	3	17	5	7	19	3	3	1	4
塩化物イオン (mg/L)	A5	5.1～30.5	5.8～269	19	15	32	43	17	70	16	25	16	17	46	66
	A6			11	11	11	14	11	18	15	18	18	24	—*3	—*3
	A7			19	16	31	37	22	56	14	23	17	22	40	51

*1：分析項目は、表 8に示した「主な分析項目」から抜粋

*2：採水地点は図 42参照

*3：採水地点が凍結のため試料は未採取

7. 安全確保の取組み

安全確保の取組みとして、請負作業や共同研究作業については、計画段階から作業担当課などが安全対策の妥当性を確認するとともに、必要に応じて改善するように指導を行いました。

そのほか、所長や保安管理課などによるパトロールなど、定期的な安全パトロールを実施し、継続的に現場の安全確認や改善などを指導しています。

さらに、新規配属者や請負作業または共同研究作業の責任者などに対する安全教育の実施や、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参加した安全行事にも積極的に取り組み、安全意識の高揚に努めています。



写真 7 安全パトロールの様子

8. 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、以下に示す研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、そのほかにも広く関連する国内外の研究機関や専門家の参加を得て進めています。平成23年度の主な研究協力の結果は以下のとおりです。

8.1 国内機関との研究協力

8.1.1 大学との研究協力

北海道大学

地質環境調査のうち、地上で行う地質調査を対象として調査のコツやノウハウ、得られたデータの品質を確保するための留意点といった専門的な知識を抽出し、それらを調査の手順に沿って整理したフローダイアグラムを作成しました。

静岡大学

地下深部に生息する微生物の種類や性質を把握することを目的として、140m調査坑道付近の地下水を採取し、微生物種の増殖・死滅過程を理解するための培養試験を行いました。その結果、実際の地下深部における、これらの微生物の活性（増殖速度など）に関わる基礎的知見を得ることができました。

東京都市大学

地層中での微量元素の移動の仕方を理解するため、140m調査坑道から得られた声問層の岩石を対象として、微量元素濃度の分析を行い、地質構造や岩石、鉱物の種類ごとに、微量元素の分布状態を確認しました。また、地下水中に含まれる微量元素が岩石中にどのように取り込まれるのか理解するため、微量元素を含む地下水を岩石に通水し、微量元素濃度の変化を観察する試験を行いました。今後、通水した岩石の分析を行うことにより、微量元素と岩石の反応状態について調べていく予定です。

岡山大学など

光ファイバーを用いた水分計測技術の開発について、研究協力を継続しました。平成23年度は、光ファイバーを利用したセンサーの試作と改良を進めるとともに、幌延町内での現地測定を継続して積雪期を含む土中水分量の季節変動データを取得しました。また、現地で測定された土中水分量の変化から降雨浸透量の試算を行い、土中の水分計測手法としての適用性を検討しました。

広島大学

岩盤中に存在するヨウ素、セレンの分布に関わる共同研究を行いました。Spring-8を用いたX線吸収微細構造法(XAFS法)、X線吸収端近傍構造法(XANES法)分析により、声問層、稚内層堆積以降のヨウ素の化学形や分布状態の変化が明らかになりました。また、岩石中の二次鉱物のセレンの化学種(セレン酸や亜セレン酸、有機セレンなど)を分離検出する方法を確立し、その分析を行うことで鉱物から地下水の化学条件を推測する手法の検討を行いました。

新潟大学

地形および地質発達モデル構築に関する調査・解析手法を対象として、大学専門家への聞き取り調査などにより、調査計画の立案からモデル構築に至るまでの作業全体の流れを示した作業フローを作成するとともに、隆起速度を算出する際に実施される調査・解析を対象として、得られたデータや解析結果の確からしさを分析しました。

京都大学

地質発達モデル構築に関する調査・解析のうち、室内実験およびシミュレーションにより地質構造の発達過程を推定する手法を対象として、大学専門家への聞き取りにより実験やシミュレーションを行う際のコツやノウハウといった専門知識を抽出し、作業手順のフローを作成しました。

東北大学、京都大学

微量元素と地下水中のコロイド^{*55}・有機物、微生物との相互反応を理解するために、孔の大きさの異なるろ紙を用いて地下水中のコロイド粒子をろ過し、ろ液とろ紙上のコロイド粒子の分析手法の検討を行いました。その結果、粘土鉱物やシリカ成分のコロイド粒子が確認されました。

^{*55} : 10,000分の1~1,000,000分の1mm程度の極微細な粒子が、液体・気体・固体などの中に分散している状態のことです。

8.1.2 その他の機関との研究協力

幌延地圏環境研究所^{*56}

「財団法人北海道科学技術総合振興センターとの地層の研究に関する研究協力協定」に基づき、両機関の試験設備を利用した研究協力の一環として、140mおよび250m調査坑道において岩石、地下水を採取し、その微生物特性、化学特性の分析を行いました。

電力中央研究所

地質・地下水環境特性評価に関する共同研究を継続しました。平成23年度は、上幌延地区においてコントロールボーリングを掘削長1,000mまで掘削し、ほぼ水平の角度でのコントロールボーリング技術を確認しました。これまでの掘削で、コントロールボーリングの掘削技術はほぼ確立できました。地下施設においては、坑道掘削に伴う周辺岩盤の力学、地球化学特性への影響を把握するための調査（比抵抗トモグラフィや音響トモグラフィ、地下水の採水・分析など）を、140mおよび250m調査坑道から掘削したボーリング孔を用いて継続して行いました。今後、坑道の掘削に伴う地質環境特性の経時変化のデータを蓄積していきます。

北海道立総合研究機構 地質研究所^{*57}

幌延深地層研究計画で得られた地形データに基づいて、幌延地域のよに著しく寒冷な地域における地形の発達過程を検討しました。

原子力安全基盤機構、産業技術総合研究所

安全評価手法の適用性に関する研究を共同で実施しました。平成23年度は、研究所用地内の東立坑近傍のボーリング孔（SAB-1孔）に設置した地下水モニタリング装置を用いて、水圧と水質の長期観測を行い、地下水モデルの確からしさを評価するためのデータを整備しました。その結

^{*56}：幌延地圏環境研究所は、財団法人北海道科学技術総合振興センターが設置した研究所であり、国の補助を受けて、幌延深地層研究センターの施設や設備を活用した地下空間利用を中心とする研究を実施しています。

^{*57}：地方独立行政法人 北海道立総合研究機構は、6つの研究本部から構成され、地質研究所はそのうちの環境・地質研究本部に属します。地質分野の先駆をなす研究機構の一研究所として、道民生活の安全・安心の確保と、地下資源の安定的確保や環境負荷の軽減などの産業・経済の持続的発展に資する調査研究活動と成果の普及に取り組んでいます。

果、東立坑・換気立坑の掘削工事やグラウト工事に関連した水圧変動が観測され、周辺に分布する断層の水理学的連結性の一部が明らかとなりました。

産業技術総合研究所

経済産業省資源エネルギー庁が進める沿岸域塩淡水境界・断層評価技術に関するプロジェクトについて、共同研究を実施しました。

塩水と淡水が混在する場における地下水や断層の評価技術について、幌延町の沿岸域において電磁探査を行い、地層や地下水の水質分布に関する調査を実施しました。その結果、浜里地区の浅海域の海底下に淡水系地下水が分布していると推測されました。これらの成果を基に、沿岸域における物理探査やボーリング調査、解析の実施手順、方法を整理しました。

原子力環境整備促進・資金管理センター

経済産業省資源エネルギー庁が進める地層処分実規模設備の整備に関するプロジェクトについて共同研究を実施しました。このプロジェクトは、地層処分概念とその工学的な実現性や人工バリアの長期挙動を実感・体感できる地上設備と、深地層研究施設を活用した地下設備を整備し、人工バリアの搬送・定置に関わる操業技術や長期挙動などの工学技術に関する研究を行うものです。

平成23年度は、4.1.1(3)でも述べたように、平成22年度に引き続き、「地層処分実規模試験施設」において実物大のオーバーパックと人工バリアシステムとともに、整備途上の緩衝材定置試験設備を展示しました。緩衝材定置試験設備の整備として、昇降装置を製作・設置しました。また、緩衝材中に水がしみ込んでいく過程を観察できる装置を用いた浸潤試験の結果について、水が緩衝材にしみ込んでいく過程を解析しました。

8.2 国外機関との研究協力 Nagra（スイス）

沿岸域を含む幌延地域を対象に、過去から現在までの地下水の流れと水質の形成過程の復元研究を協働で実施しました。平成23年度は、地下

水の流れやすさに影響を及ぼす因子に関して、データの質や量、確からしさの整理を行い、地下水の流れについて正確かつ能率的に解析するための条件を導き出しました。

モンテリ・プロジェクト^{*58}

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「鉄材量の腐植に関する原位置試験」に参加しています。平成23年度は、モンテリ岩盤研究所の調査坑道内に掘削したボーリング孔での原位置試験を継続しました。

これらの手法や原位置での試験に関する情報などは、幌延深地層研究計画における坑道内での調査研究に反映していきます。

上記のほか、ANDRA^{*59}（フランス）などと地質環境調査技術および地下施設における調査手法や原位置試験などについて情報交換を行いました。

^{*58}: 堆積岩を対象とした地層処分研究に関する国際共同研究です。平成22年3月現在、原子力機構を含め8ヶ国から14機関が参加し、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。

^{*59} Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (National radioactive waste management agency)：放射性廃棄物管理公社は、フランスにおける放射性廃棄物処分の実施機関であり、低中レベルの放射性廃棄物処分場を操業するとともに、高レベル放射性廃棄物および長寿命の中レベル放射性廃棄物処分に関する研究開発の中核機関でもあり、堆積岩を対象に深地層の研究施設計画を進めています。

引用文献

- (1) 中山雅, 澤田純之, 杉田裕 (編) (2011): “幌延深地層研究計画 平成 23 年度調査研究計画”, JAEA-Review 2011-021.
- (2) 核燃料サイクル開発機構(2005): “平成 16 年度研究開発評価 (中間評価) 報告書 評価課題「幌延深地層研究計画」”, JNC TN1440 2005-002, 参考資料 4, pp.18-23.
- (3) 山本陽一, 前川恵輔, 横田秀晴, 山崎雅則(2011): “幌延深地層研究計画における表層水理調査流域の水文諸量の空間分布および地下水涵養量の推定—2004 年 12 月～2009 年 11 月—”, JAEA-Research 2011-042.
- (4) 石井英一, 安江健一, 田中竹延, 津久井朗太, 松尾公一, 杉山和稔, 松尾重明(2006): “北海道北部, 幌延地域における大曲断層の三次元分布と水理特性”, 地質学雑誌, Vol.112, No.5, pp.301-304.
- (5) 操上広志(2007): “幌延深地層研究計画における地下水流動解析—平成 17 年度までの調査結果を踏まえた再解析—”, JAEA-Research 2007-036.
- (6) Yamamoto, H., Kunimaru, T., Kurikami, H., Shimo, M., Xu, T. (2006): “Long-term simulation of ambient groundwater chemistry at Horonobe underground research laboratory, Japan. - Application of coupled hydro-geochemical model-“, GEOPROC2006, 2nd International Conference on Coupled Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical Processes in Geosystems and Engineering, Nanjing, China, pp.382-387.
- (7) 電力中央研究所(2011): “地層処分技術調査等委託費 地層処分共通技術調査: ボーリング技術高度化開発”.
- (8) 津坂仁和, 稲垣大介, 常盤哲也, 横田秀晴, 名合牧人, 松原誠, 重廣道子: “A study on an observational construction management in the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of the World Tunnel Congress 2012 (in press).
- (9) OECD/NEA (2000): “Features, Events, and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of radioactive waste: an international database”, OECD/NEA.
- (10) 今井久, 山下亮, 塩崎功, 浦野和彦, 笠博義, 丸山能生, 新里忠史, 前川恵輔(2009): “地下水流動に対する地質環境の長期変遷の影響に関する研究”, JAEA-Research 2009-001.
- (11) 山下亮, 塩崎功, 大山卓也, 新里忠史, 前川恵輔, 今井久(2011): “地質環境の長期変遷を考慮した地下水流動解析による塩淡分布の検討”, 日本地下水学会 2011 年秋季講演会.
- (12) 新里忠史, 舟木泰智, 安江健一(2007): “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降の古地理と地質構造発達史”, 地質学雑誌, 第 113 巻, 補遺, pp.119-135.
- (13) Tokiwa, T., Asamori, K., Niizato, T., Nohara, T., Matsuura, Y. and Kosaka, K. (2010): “An Attempt to Evaluate Horizontal Crustal Movement by Geodetic and Geological Approach in the Horonobe Area, Northern Hokkaido, Japan”, Proceedings of The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), ICEM2010-40189, pp.407-413.
- (14) 中山雅, 佐野満昭, 真田祐幸, 杉田裕 (編) (2010): “幌延深地層研究計画平成 21 年度調査研究成果報告”, JAEA-Review 2010-039.
- (15) Shimizu, I., Osawa, H., Seo, T., Yasuike, S. and Sasaki, S. (1996):

“ Earthquake-related ground motion and groundwater pressure change at the Kamaishi Mine”, Eng. Geol., 43, pp.107-118.

- (16) 中山雅, 澤田純之, 杉田裕 (編) (2011): “ 幌延深地層研究計画平成 22 年度調査研究成果報告 ”, JAEA-Review 2011-033.
- (17) 原子力環境整備促進・資金管理センター(2012): “平成 23 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 地層処分実規模設備整備事業 報告書”.
- (18) 中司昇, 佐藤治夫, 棚井憲治, 杉田裕, 中山雅, 澤田純之, 新沼寛明, 朝野英一, 斉藤雅彦, 吉野修, 塚原成樹, 菱岡宗介(2012): “地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究-平成 23 年度成果報告- (共同研究) ”, JAEA-Research (印刷中).

参考資料

(平成 23 年度外部発表)

*著者アルファベット順に記載

- 鏡顕正, 天野健治, 小池克明, 鶴田忠彦, 松岡稔幸(2011): “多変量解析を用いたボーリング孔での断層の区間判定と岩盤区分; 瑞浪超深地層研究所における深層ボーリング孔での事例”, 情報地質, Vol.22, No.4, pp.171-188, 2011 年 12 月.
- 青木和弘, 佐藤治夫, 新里忠史, 天野健治, 田中真悟, 野原壯, 岩月輝希, 村上裕晃, 杉田裕, 中山雅, 阿部寛信, 中司昇(2012): “東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壌中深度方向の分布状況に関する調査研究,1; 調査研究の概要”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
- 道家涼介, 安江健一, 中安昭夫, 新里忠史, 田中竹延(2011): “既存情報に基づく日本列島における活断層の活動開始時期の整理とそれにかかわる不確実性の評価”, 日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会, 2011 年 9 月.
- 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 中安昭夫(2011): “Technical know-how for the investigation and modeling of topographical evolution for site characterization”, Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 2011 年 9 月.
- 藤田朝雄, 杉田裕, 戸井田克(2011): “Experimental studies on penetration of pulverized clay-based grout”, Journal of Energy and Power Engineering, Vol.5, No.5, pp.419-427, 2011 年 5 月.
- 萩原健司, 小池真史, 関谷美智, 板橋秀治, 大原正嗣(2011): “立坑ショートステップ工法における 1 覆工長の検討”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011/09.
- 板橋秀治, 関谷美智, 佐高裕之, 島田智浩, 加藤欣也(2011): “土壌溶出試験のろ過時間短縮に関する検討”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月.
- 石井英一, 真田祐幸, 舟木泰智, 杉田裕, 操上広志(2011): “The Relationships among brittleness, deformation behavior, and transport properties in mudstones; An Example from the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan”, Journal of Geophysical Research, Vol.116, B09, B09206 1-15, 2011 年 10 月.
- 石井英一, 真田祐幸, 岩月輝希, 杉田裕, 操上広志(2011): “Mechanical strength of the transition zone at the boundary between opal-A and opal-CT zones in siliceous rocks”, Engineering Geology, Vol.122, pp.215-221, 2011 年 9 月.
- 石井英一(2012): “Microstructure and origin of faults in siliceous mudstone at the Horonobe Underground Research Laboratory site, Japan”, Journal of Structural Geology, Vol.34, pp.20-29, 2012 年 1 月.
- 伊藤剛志, 佐々木祥人, 天野由記, 岩月輝希, 吉川英樹(2012): “PHREEQC による酸化還元状態変化に関する微生物影響解析手法の開発,1; 微生物影響解析手法の適用性検討”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
- 岩月輝希, 本多照幸, 村上裕晃(2011): “堆積岩中の重要な水理地質構造にかかわる地球化学的考察; 微量元素濃度を指標としたナチュラルアナログ”, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月.
- 岩月輝希, 天野由記, 村上裕晃, 南條功, 青木和弘, 佐々木祥人, 吉川英樹(2011): “The Analysis of hydrochemical buffering process at Horonobe Underground Research Laboratory, Japan”, 13th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (MIGRATION 2011), 2011 年 9 月.
- 加藤智子, 牧野仁史, 竹内真司, 宮原要, 前川恵輔, 山口正秋, 飯島和毅, 天野健治, 三枝

- 博光, 澤田淳, 板津透, 新里忠史, 尾上博則, 佐藤治夫(2011): “福島原発事故における環境修復に向けた取り組み, 1; 地層処分技術の活用の枠組み”, 日本原子力学会バックエンド部会第 27 回バックエンド夏期セミナー, 2011 年 8 月.
- 小池真史, 井尻裕二, 稲垣大介, 津坂仁和(2011): “ショートステップ工法による立坑掘削時の支保応力に関する一考察”, 土木学会第 66 回年次学術講演会(平成 23 年度), pp.149-150, 2011 年 9 月.
- 小池真史, 井尻裕二, 稲垣大介, 津坂仁和(2011): “ショートステップ工法による立坑掘削時の支保応力に関する一考察”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月.
- 小松満, 西垣誠, 瀬尾昭治, 戸井田克, 田岸宏孝, 竹延千良, 山本陽一(2011): “原位置土中水分計測による浅地層における降雨浸透量の評価方法”, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2011 発表論文集(CD-ROM), pp.17-26, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2011, 2011 年 11 月.
- 國丸貴紀, 松崎達二, 竹内竜史(2011): “Technical know-how of selection process for the Horonobe Underground Research Laboratory area and site”, Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 2011 年 9 月.
- 操上広志, 新里忠史, 安江健一(2011): “A Study on time frame definition and reference evolution of the geological system for the safety assessment; Case study on the Horonobe URL site”, Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-19), 2011 年 10 月.
- 操上広志(2011): “地層処分の安全評価における混合型有限要素法の適用性の検討”, 日本地下水学会 2011 年春季講演会講演要旨, pp.28-33, 日本地下水学会 2011 年春季講演会, 2011 年 5 月.
- 榊永幸介, 天野健治, 國丸貴紀(2011): “ボーリング掘削におけるトラブル事例の分析; 岐阜県東濃地区における深層ボーリング孔での崩壊事例を対象とした取り組み”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月.
- 宮川和也, 天野由記, 南條功, 村上裕晃, 藪内聡, 横田秀晴, 岩月輝希(2011): “幌延深地層研究所における地下施設の建設に伴う深部地下水の地球化学特性変化”, 2011 年度日本地球化学会年会, 2011 年 9 月.
- 宮川和也, 野原壯, 山崎雅則, 常盤哲也(2011): “東北地方太平洋沖地震に伴う北海道北部地下水観測井における地下水位変化”, 日本地震学会 2011 年秋季大会, 2011 年 10 月.
- 宮澤大輔, 真田祐幸, 木山保, 杉田裕, 石島洋二(2011): “幌延地域に分布する珪質岩を対象とした間隙弾性パラメータの取得と室内試験法の提案”, Journal of MMIJ, Vol.127, No.3, 132-138, 2012 年 2 月.
- 村上裕晃, 天野由記, 國分陽子, 岩月輝希(2011): “北海道幌延町における ^{14}C を用いた堆積岩中の地下水の滞留時間推定の試み”, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月.
- 中務真志, 山田泰広, 常盤哲也(2011): “アナログモデル実験による北海道幌延地域の隆起評価”, 日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会, 2011 年 9 月.
- 新里忠史, 道家涼介, 安江健一, 中安昭夫(2011): “地質環境調査で利用される専門知識の表出化; 地形・地質発達モデルの事例”, 日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会, 2011 年 9 月.
- 新里忠史, 今井久, 前川恵輔, 安江健一, 操上広志, 塩崎功, 山下亮(2011): “Development of a methodology for the characterisation of long-term geosphere evolution, 1; Impacts of natural events and processes on the geosphere evolution of coastal setting,

- in the case of Horonobe area”, Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-19) (CD-ROM), 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-19), 2011 年 10 月.
- 新里忠史, 佐藤治夫, 天野健治, 野原壯, 岩月輝希, 青木和弘, 田中真悟, 村上裕晃, 杉田裕, 中山雅, 阿部寛信, 中司昇(2012): “東京電力福島第 1 原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壌中深度方向の分布状況に関する調査研究, 2; 調査地域の地形及び調査地点の選定並びに深度方向の土壌分布”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
- 納多勝, 山本修一, 志村友行, 佐藤伸, 棚井憲治, 藤田朝雄(2011): “ガス移行挙動に関する原位置試験計画の検討, 1; 試験体規模の検討”, 日本原子力学会 2011 年秋の大会, 2011 年 9 月.
- 太田久仁雄, 國丸貴紀, 天野健治, Alexander, W. R.(2011): “Development of quality management system for site characterisation programmes; Experience in Japan”, Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 2011 年 9 月..
- 太田久仁雄, 天野健治, 新里忠史, Lanyon, B., Alexander, W. R.(2011): “Development of comprehensive techniques for coastal site characterisation; Integrated palaeohydrogeological approach for development of site evolution models”, Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011) 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 2011 年 9 月.
- 三枝博光, 新里忠史, 安江健一, 尾上博則, 道家涼介(2011): “Technical know-how of site descriptive modeling for site characterization”, Proceedings of 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2011), 2011 年 9 月.
- 佐々木祥人, 浅野貴博, 天野由記, 佐藤智文, 岩月輝希, 吉川英樹(2011): “Study of deep subsurface microbial community under changing redox conditions using quantitative method”, Goldschmidt 2011, 2011 年 8 月.
- 佐藤治夫, 天野健治, 新里忠史, 田中真悟, 野原壯, 岩月輝希, 村上裕晃, 杉田裕, 中山雅, 阿部寛信, 青木和弘, 中司昇(2012): “東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壌中深度方向の分布状況に関する調査研究, 4; 深度方向の放射性物質の濃度分布と沈着量の推定”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
- 佐藤治夫, 杉田裕, 中山雅(2011): “Status of the Horonobe Underground Research Laboratory Project, Hokkaido, Japan, and future plan”, Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-19) (CD-ROM), 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-19), 2011 年 10 月.
- 佐藤伸, 山本修一, 納多勝, 志村友行, 藤田朝雄, 棚井憲治(2011): “ガス移行挙動に関する原位置試験計画の検討, 2; 再冠水時及びガス移行時における試験体への力学影響”, 日本原子力学会 2011 年秋の大会, 2011 年 9 月.
- 鈴木浩一, 吉村公孝, 杉田裕, 安藤誠, 東宏幸(2011): “二粒子モデルを用いた弾性波速度と電気伝導度との組合せ解釈; 横須賀及び幌延堆積軟岩地点での検層データへの適用例”, 物理探査学会第 124 回(平成 23 年度春季)学術講演会, 2011 年 5 月.
- 田中真悟, 佐藤治夫, 新里忠史, 天野健治, 野原壯, 岩月輝希, 村上裕晃, 杉田裕, 中山雅, 阿部寛信, 青木和弘, 中司昇, 知場一訓, 小崎完, 佐藤正知(2012): “東京電力福島第 1 原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の土壌中深度方向の分布状況に関する

- 調査研究,3; 土壌に対する Cs 及び I の収着分配係数”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
- 東郷洋子, 高橋嘉夫, 天野由記, 松崎浩之, 村松康行, 岩月輝希(2011): “表層土壌圏及び地下岩石圏でのヨウ素の挙動解明”, 2011 年度日本地球化学会年会, 2011 年 9 月.
- 常盤哲也, 新里忠史, 天野健治, 赤嶺辰之介, 田邊謹也, 中務真志, 山田泰広(2011): “アナログモデル実験による地質構造発達過程の三次元モデル化に関する知識の分析・整理-幌延地域の事例-”, 日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会, 2011 年 9 月.
- 常盤哲也, 津坂仁和, 石井英一, 真田祐幸, 富永英治, 羽出山吉裕, 舟木泰智(2011): “Influence of a fault system on rock mass response to shaft excavation in soft sedimentary rock, Horonobe area, northern Japan”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.48, No.5, pp.773-781, 2011 年 7 月.
- 鳥潟一文, 本多照幸, 岩月輝希, 村上裕晃(2012): “幌延地域における堆積岩中の元素の存在形態”, 第 36 回フィッション・トラック研究会, 2012 年 1 月.
- 津坂仁和, 稲垣大介, 名合牧人, 松原誠(2012): “堆積軟岩における大深度立坑掘削に伴う壁面崩落現象”, 地下空間シンポジウム論文・講演集, 第 17 巻, pp.155-162, 2012 年 1 月.
- 津坂仁和, 稲垣大介, 小池真史, 井尻裕二, 羽出山吉裕(2011): “A study on mechanical behaviors of concrete lining and rock caused by shaft sinking at the Horonobe Underground Research Laboratory”, *Proceedings of the 12th Congress of International Society for Rock Mechanics*, pp.305-308, 2011 年 10 月.
- 津坂仁和, 稲垣大介, 小池真史, 井尻裕二, 羽出山吉裕(2011): “A Study on mechanical behaviors of concrete lining and rock caused by shaft sinking at the Horonobe Underground Research Laboratory”, *Harmonising Rock Engineering and the Environment*, pp.305-308, 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics (ISRM 2011), 2011 年 10 月.
- 上田貴宏, 五十嵐敏文, 洞秀幸, 佐高裕之, 島田智浩(2011): “珪藻質泥岩から溶出する窒素成分の挙動とその影響因子”, 平成 23 年度資源・素材学会北海道支部総会及び春季講演会, 2011 年 6 月.
- 上田貴宏, 五十嵐敏文, 洞秀幸, 佐高裕之, 島田智浩(2011): “珪藻質泥岩における窒素成分の溶出挙動に及ぼす影響因子”, 平成 23 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2011 年 9 月.
- 上原真一, 嶋本利彦, 松本拓真, 新里忠史, 岡崎啓史, 高橋美紀(2011): “地下深部における新第三紀泥質軟岩中の亀裂の透水特性一室内試験による推定”, *Journal of MMIJ*, Vol.127, No.3 pp.139-144, 2012 年 2 月.
- 藪内聡, 國丸貴紀, 岸敦康, 小松満(2011): “水平坑道の掘削に伴う坑道周辺の間隙水圧・岩盤水分量モニタリング; 幌延深地層研究所 140m 調査坑道での測定”, *土木学会論文集, C*, Vol.67, No.4, pp.464-473, 2011 年 11 月.
- 山本陽一, 横田秀晴(2011): “ライシメータによる北海道幌延調査流域の蒸発散量測定”, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会講演概要集(DVD-ROM), pp.385-386, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月.
- 山本祐平, 高橋嘉夫, 酒見泰, 水野崇, 天野健治, 濱克宏, 清水洋(2011): “Behavior of rare earth elements during chemical alteration of deep granitic rocks at Tono, Central Japan”, *Goldschmidt 2011*, 2011 年 8 月.
- 山下亮, 塩崎功, 大山卓也, 新里忠史, 前川恵輔, 今井久(2011): “地質環境の長期変遷を考慮した地下水流動解析による塩淡分布の検討”, 日本地下水学会 2011 年秋季講演会講演要旨, 日本地下水学会 2011 年秋季講演会, 2011 年 10 月.
- 安江健一, 道家涼介, 丹羽正和, 谷川晋一, 中安昭夫, 新里忠史, 浅森浩一, 石丸恒存, 梅田浩司(2011): “Spatial variations in the onset times of active faultings in Japan”,

- American Geophysical Union 2011 Fall Meeting, 2011 年 12 月.
- 吉川英樹, 佐々木祥人, 伊藤剛志, 天野由記, 岩月輝希(2012): “ PHREEQC による酸化還元状態変化に関する微生物影響解析手法の開発,2; 微生物増殖パラメータデータベース化の検討 ”, 日本原子力学会 2012 年春の年会, 2012 年 3 月.
- 横田秀晴, 山本陽一, 前川恵輔(2011): “ 北海道幌延地域における地下水位と地質構造に基づく浅部地下水流動に関する検討 ”, 地下水学会誌, Vol.53, No.2, pp.193-206, 2011 年 5 月.
- 湯口貴史, 天野健治, 鶴田忠彦, 檀原徹, 西山忠男(2011): “ Thermochronology and the three-dimensional cooling pattern of a granitic pluton; An Example from the Toki granite, Central Japan”, Contributions to Mineralogy and Petrology, Vol.162, No.5, pp.1063-1077, 2011 年 11 月.