

幌延深地層研究計画
平成 22 年度調査研究成果報告

平成 23 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

本資料に関するお問い合わせは、下記へお願いいたします。

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター 地域交流課
〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432-2
TEL : 01632-5-2022
FAX : 01632-5-2488

目 次

1. はじめに	1
2. 平成22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 地質環境データの取得	6
(1) 地質構造	6
(2) 岩盤の水理	8
(3) 地下水の地球化学	12
(4) 岩盤力学	14
3.1.2 地上からの調査・解析手法の妥当性確認と地質環境モデルの構築	17
(1) 地質構造モデル	17
(2) 岩盤の水理モデル	19
(3) 地下水の地球化学モデル	20
(4) 岩盤力学モデル	22
3.1.3 調査技術・調査機器開発	24
(1) 坑道周辺の地質環境特性調査技術の開発	24
(2) コントロールボーリング技術の開発	27
(3) 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	27
3.2 地質環境モニタリング技術開発	29
3.2.1 地上におけるモニタリング技術開発	29
(1) ボーリング孔を用いたモニタリング技術開発	29
(2) 地下施設の建設に伴う表層の変位観測技術開発	30
(3) 遠隔監視システムの開発	32
3.2.2 地下施設におけるモニタリング技術開発	34
3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発	40
3.4 地質環境の長期安定性に関する研究	44
3.4.1 地質環境の長期的変遷に関する研究	44
(1) 地形・地質構造と古環境の変遷	44
(2) 地質環境の長期的変化モデル	49
3.4.2 地震研究	52
(1) 地震分布と地質構造の関連性	52
(2) 地震時の地下水の流れの変化	53

4. 地層処分研究開発	56
4.1 処分技術の信頼性向上	56
4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証	56
(1) 低アルカリ性コンクリートの吹付け施工性の確認	56
(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	58
(3) 緩衝材の定置試験・人工バリア長期挙動試験	60
4.1.2 設計手法の適用性確認	61
4.2 安全評価手法の高度化	62
4.2.1 安全評価モデルの高度化	62
4.2.2 安全評価手法の適用性確認	63
5. 地下施設の建設	67
6. 環境モニタリング	69
6.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査	69
6.2 地下施設の建設に伴うモニタリング調査	72
7. 安全確保への取組み	80
8. 開かれた研究	80
8.1 国内機関との研究協力	80
8.1.1 大学との研究協力	80
8.1.2 その他の機関との研究協力	83
8.2 国外機関との研究協力	85
引用文献	87
参考資料	91

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	研究所用地における主な施設と観測装置の配置	4
図 3	ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所	5
図 4	地下施設における壁面観察データの三次元可視化の例	7
図 5	割れ目の状態の例 (250m ポンプ座の底盤)	8
図 6	表層水理調査位置	8
図 7	ライシメータの概要図	10
図 8	時間蒸発散量の変化	10
図 9	P-3 流域の地下水涵養量の変化	11
図 10	250m 調査坑道における湧水割れ目のイメージと切羽写真	11
図 11	立坑内で採取した地下水中の pH の経時変化	12
図 12	立坑内で採取した地下水中の塩化物イオン濃度の経時変化	13
図 13	初期地圧測定実施位置図	15
図 14	98 面体に成型した定方位の供試体	15
図 15	弾性波速度方位分布の下半球投影図	16
図 16	主応力分布の下半球投影図	17
図 17	地下施設周辺の地質構造モデル	18
図 18	深度 250m 水平面において予測された地質構造モデルと地下施設形状	18
図 19	地下施設の建設に伴う湧水量の予測と実測値の比較例	20
図 20	立坑周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布	21
図 21	坑道掘削の予測解析の対象領域	23
図 22	坑道掘削の予測解析モデル	23
図 23	予測解析結果に基づく内空変位の比較	23
図 24	250m 調査坑道平面図および調査ボーリング孔位置	24
図 25	透水試験および間隙水圧測定区間	25
図 26	透水試験結果	25
図 27	間隙水圧測定結果 (区間 E)	26
図 28	還元環境回復能力に関わる調査試験装置の一例 (250m 調査坑道)	26
図 29	浜里地区周辺における地下水の水質分布 ^{(12)、(13)}	28
図 30	沿岸域を対象とした地下水流動解析手順	28
図 31	PB-V01 孔における地下水の間隙水圧の測定結果	29
図 32	HDB-7 孔における地下水の間隙水圧の測定結果	30
図 33	傾斜データの一例	31
図 34	地表傾斜の計算のために作成したモデル	32
図 35	計算結果の一例 (傾斜計の配置は図 33 を参照)	32
図 36	スタック期間による伝達関数誤差の変化図 (HDB-5 観測点)	33
図 37	掘削影響試験のレイアウト (140m 調査坑道)	35
図 38	弾性波トモグラフィ調査の結果 (水平坑道掘削影響試験)	35
図 39	間隙水圧・水分量の経時変化	36
図 40	水分量・坑内温度の経時変化	37
図 41	地中変位計の設置状況 (設置当時)	38
図 42	地中変位計の計測結果	38

図 43	間隙水圧・水質モニタリング装置改良の概要	39
図 44	装置改良後の間隙水圧の変化	40
図 45	三次元逐次掘削解析のステップ	41
図 46	覆工コンクリートの円周方向の応力分布	41
図 47	応力計の配置	42
図 48	覆工コンクリートの円周方向応力の解析結果と計測結果	42
図 49	断面内の最大・最小円周方向応力発生箇所	43
図 50	幌延町北進地区とその周辺における地形区分図	45
図 51	SMS3D における地下水流動解析の手順	50
図 52	地形変化の初期設定（左）と SMS3D による地形変化の出力例（右）	51
図 53	地下水流動解析の結果（例）	51
図 54	北海道北部地域で発生した地震の震源分布と地質構造	53
図 55	平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の震央と幌延で観測された地震波形	54
図 56	平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の発生前後における地下水の間隙水圧のモニタリングデータ	55
図 57	HFSC を用いた吹付けコンクリートの原位置施工試験	58
図 58	採水装置のイメージ	59
図 59	緩衝材定置試験装置製作状況	60
図 60	把持試験の様子	61
図 61	主な天然現象、プロセスおよび安全機能の時間フレーム	65
図 62	三次元割れ目ネットワークモデル（左）と地下水流動解析により得られた全水頭分布（右）	66
図 63	250m 調査坑道貫通の状況	67
図 64	掘削土(ズリ)置場の盛土および拡張整備状況	68
図 65	環境モニタリング調査位置	70
図 66	地下施設排水処理系統図	73
図 67	幌延深地層研究センター排水系統図	74
図 68	天塩川の水質モニタリング調査位置	74

表 目 次

表 1	幌延地域における過去約 260 万年間の気候および地質現象の編年表	48
表 2	HFSC 吹付けコンクリートの配合	57
表 3	材齢 28 日での圧縮強度の比較	58
表 4	水質分析結果	59
表 5	掘削土(ズリ)モニタリング調査結果 (土壌溶出量：公定分析)	69
表 6	環境モニタリング調査実施内容	70
表 7	モニタリング調査項目と結果	71
表 8	確認された重要種 (魚類)	72
表 9	水質調査の実施対象と主要な分析項目	73
表 10	地下施設から天塩川への排水量	75
表 11	地下施設からの排水に係る水質調査結果	76
表 12	天塩川の水質調査結果	77
表 13	浄化槽排水の水質調査結果	78
表 14	掘削土(ズリ)置場周辺の地下水の水質調査結果	78
表 15	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	79

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」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）」^{*1}（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）」^{*2}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^{*3}」を充実させることとしています。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、

*1：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。

*2：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。

*3：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。

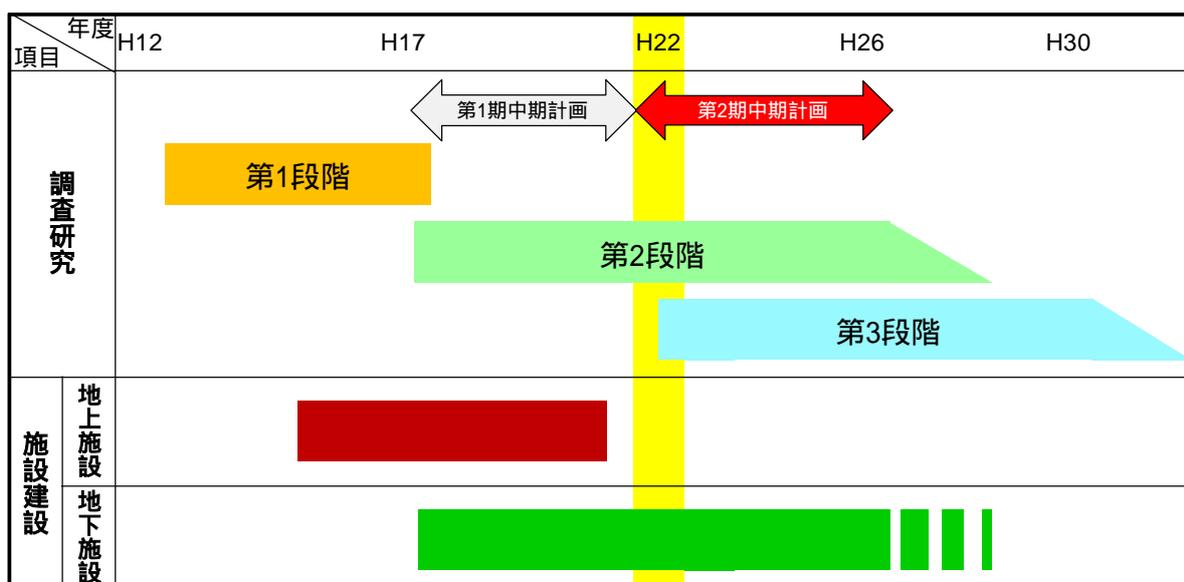
「深地層環境の深度（地下350m程度）まで坑道を掘削しながら調査研究を実施し」、「地上からの精密調査の段階に必要な技術基盤を整備し、実施主体や安全規制機関に提供する」計画です。また、地層処分研究開発として、「深地層の研究施設等を活用して、実際の地質環境条件を考慮した現実的な処分概念の構築手法や総合的な安全評価手法を整備することとしています。さらに、「業務の合理化・効率化の観点から、幌延深地層研究計画に係わる研究坑道の整備等に民間活力の導入を図る」こととしています。

2. 平成22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）。

平成22年度は、「幌延深地層研究計画 平成22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」と「地層処分研究開発」に区分して行いました。具体的には、「地層科学研究」では、地質環境調査技術開発、地質環境モニタリング技術開発、深地層における工学



- 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

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4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、東立坑の深度約250mまでの掘削に引き続き、250m調査坑道のうち、東立坑と換気立坑を結ぶ坑道を掘削し、平成22年6月に貫通しました。また、西立坑掘削の準備工として表層部分の止水壁工事を行いました。さらに、民間活力の導入として、施設整備、維持管理および研究支援に対して、長期にわたるPFI契約^{*4}を締結し、平成23年2月より250m調査坑道の掘削を再開するとともに、西立坑の掘削を開始しました。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。

研究所用地内の主な施設と観測装置の配置を図 2に、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 3に示します。

幌延深地層研究計画の成果は、原子力機構における他の研究開発拠点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22年度の学会などへの発表実績を掲載しました。

以下に、平成22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。

*4：PFIは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22年1月31日から平成31年3月31日までです。

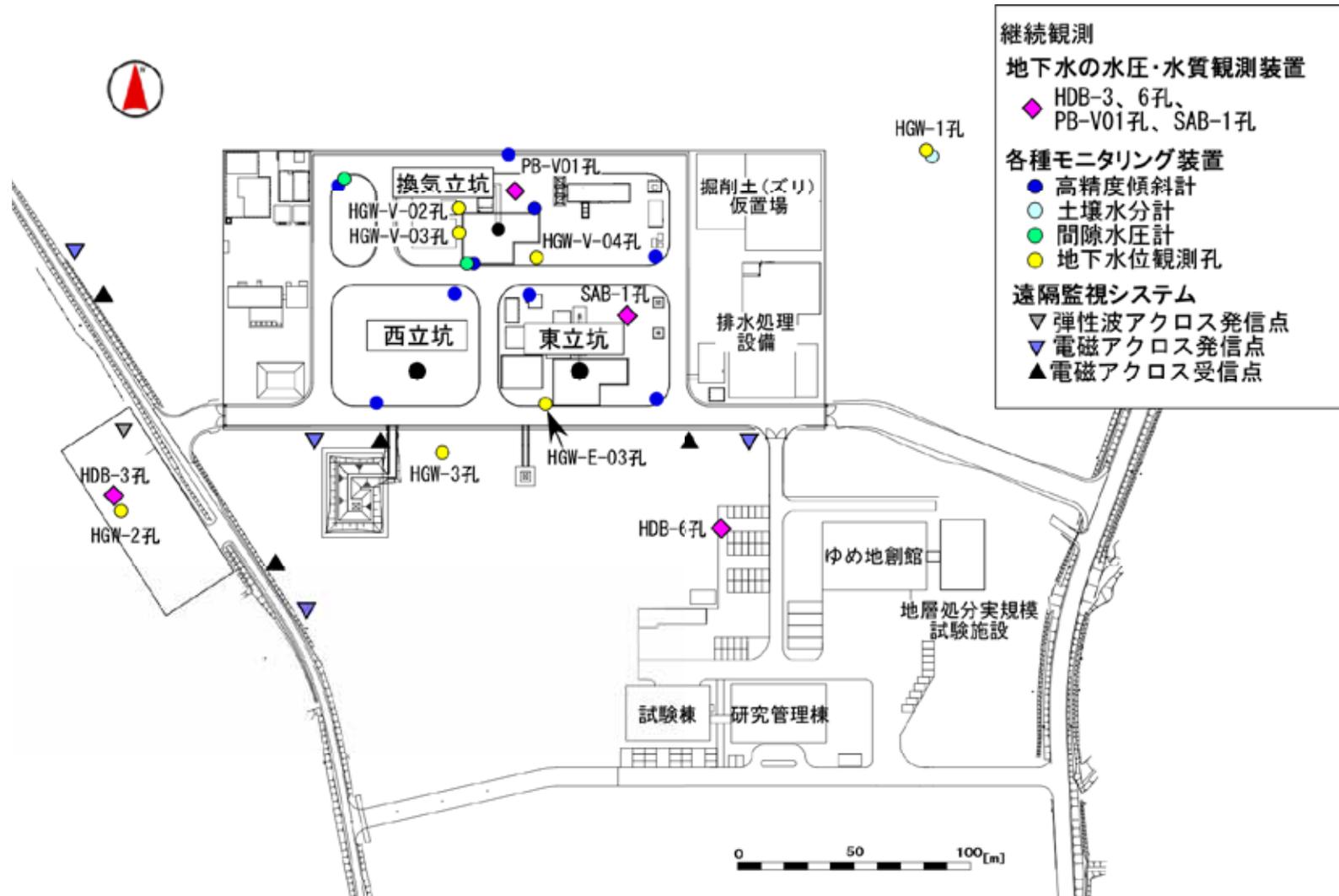


図 2 研究用地における主な施設と観測装置の配置

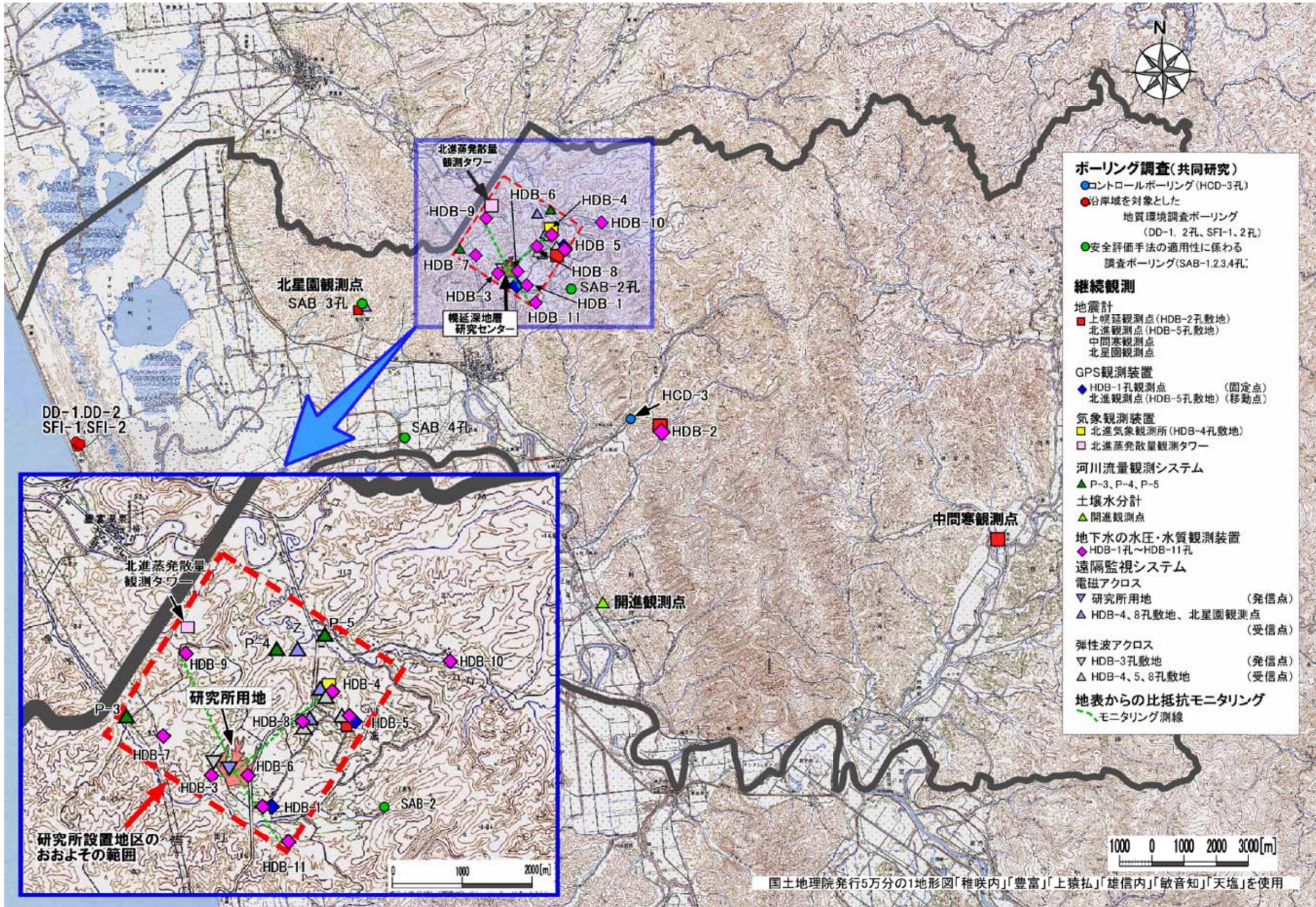


図 3 ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所

3. 地層科学研究

3.1 地質環境調査技術開発

3.1.1 地質環境データの取得

(1) 地質構造

坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第2段階）では、地上からの調査研究段階（第1段階）の調査結果に基づいて構築した地下施設周辺の地質構造モデルの妥当性の確認と更新を目的として、坑道内における地質観察などにより地下施設近傍の地層の分布や割れ目の発達状況・分布・連続性を把握することとしています。

第1段階の調査結果に基づくモデルでは、1)声問層中の割れ目は連続性・連結性（あるいは開口性）に乏しく、それらが地下水の流れに大きな影響を与えていないこと⁽³⁾、2)稚内層中の割れ目は層理面にほぼ平行な割れ目（研究所設置地区では北西 南東走向で南西傾斜）と層理面に高角な割れ目（同地区では東西走向で高角度傾斜）に大別され、後者の割れ目の一部が地下水の主要な水みち^{*5}となっていること⁽⁴⁾、3)稚内層において、断層運動に伴って引張割れ目が発達しやすい領域（研究所設置地区では概ね深度400m以浅の稚内層）では層理面に高角な断層（破砕物を伴うせん断割れ目）が引張割れ目（スプレークラック）の派生を伴って発達しており、それらが特に高い透水性を持つこと⁽⁵⁾、などが推定されました。第2段階ではこれらのモデルの妥当性の確認と更新を行うことが重要となります。

平成22年度は、平成21年度に引き続き東立坑の深度約220m～250m、および250m調査坑道の坑道壁面やボーリングコアの地質観察を行うとともに、地質観察で得られた地層や割れ目の展開図を三次元化するための可視化システムを整備しました（図4）。さらに、250m調査坑道のポンプ座では、長さ約14m、幅約4mの連続した広い底盤が露岩したことから、地層や割れ目の連続性を把握するための詳細な地質観察などを行いました（図5）。

これらの調査結果から、1)ポンプ座の中心部付近に声問層と稚内層の境界が推定されること、2)声問層の割れ目（掘削前から存在していた割

*5：岩盤中で地下水の経路になり得る割れ目を指します。

れ目)の長さは数m以下で、第1段階のモデルと整合的であること、3)割れ目は比較的連続性の乏しい東西方向のものと、連続性の良い北東-南西方向のものに分類されること、などの知見が得られました。

上記のように、平成22年度は、坑道壁面やボーリングコアの地質観察の結果に基づいて、主に声問層における割れ目の分布や連続性に関するモデルの確認・更新を行いました。今後はより深部に分布する稚内層を対象とした調査を継続し、第1段階のモデルを確認・更新するためのデータを取得していく予定です。また、併せて、地質・地質構造の分布を効率的に可視化するための手法を整備していきます。

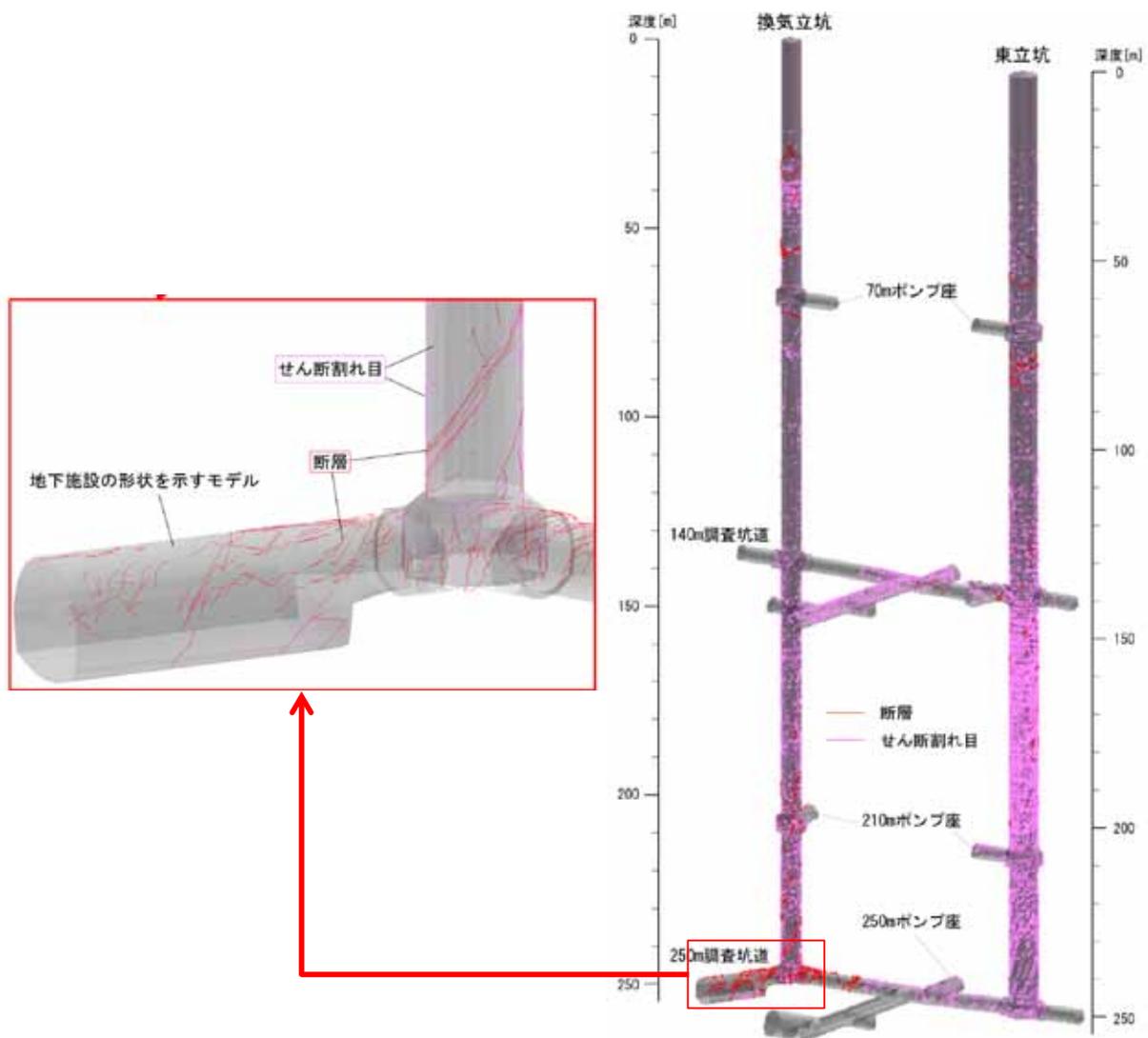


図 4 地下施設における壁面観察データの三次元可視化の例

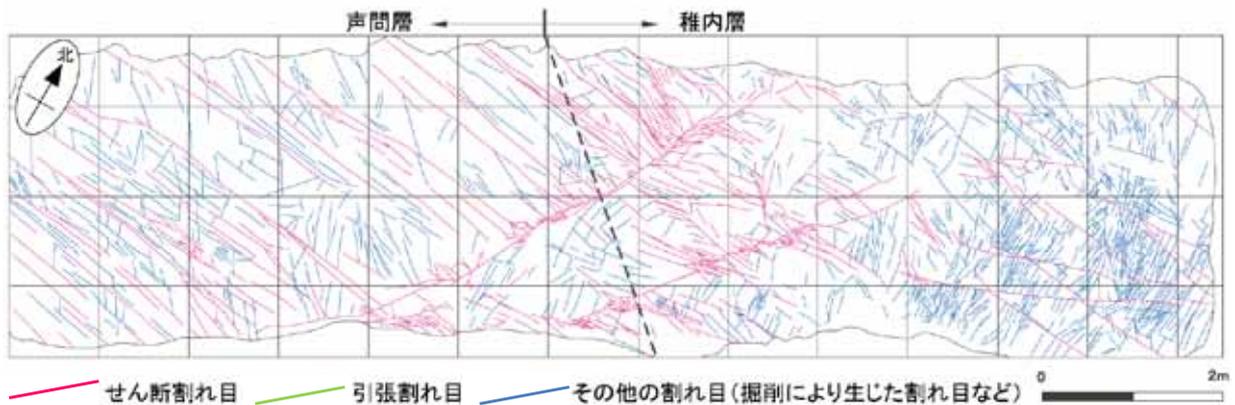


図 5 割れ目の状態の例（250mポンプ座の底盤）

(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ほか、地下施設など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。そして、これらの調査から得られる情報に基づいて、第1段階の調査手法、予測結果の妥当性を確認するとともに、地下水の流れを理解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22年度は、図 6に示す調査流域において気象観測や河川流量観測などを行い、これらの観測結果に基づいて地下水涵養量（雨や雪などの降水が地下にしみ込む量）を推定しました。このほか、研究所設置地区

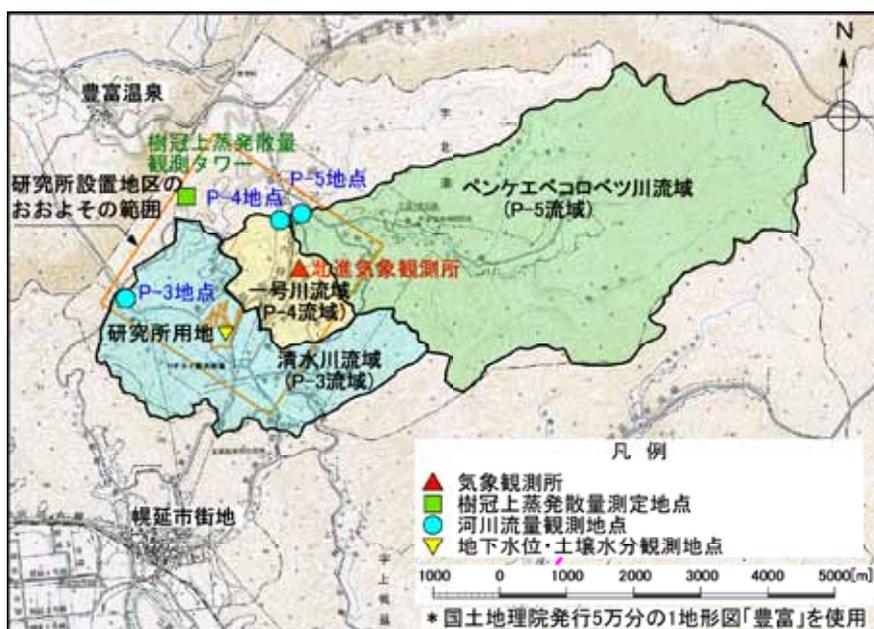


図 6 表層水理調査位置

における表層部の地下水の流れを把握することを目的とした浅層ボーリング孔を利用した地下水位観測や、光ファイバーを用いた土壌水分計測手法の適用性についても検討を実施しました。

地表の植物からの蒸散を含む地表からの蒸発散量は、地下水涵養量の推定など、流域の水収支の評価を行う場合に、大変重要な要素となります。蒸発散量については直接観測することが困難であることから、気象観測要素から推定する方法がいくつか提案されており、通常これらを用いて算定します。ただし、この方法による蒸発散量は一種の基準量であり気候や植生に応じた補正を加えて実蒸発散量に相当する値を得る必要があります。

そこで、図 7に構造概要を示すライシメータ^{*6}を北進気象観測所内に設置して、調査流域内の主要な植生である牧草地での蒸発散量の測定を試みました。図 8はライシメータにより観測された蒸発散量と、気象要素から推定する方法の中で草地の蒸発散量推定に適用性が高いとされるペンマン法^{*7}、(6)、(7)、(8)から求めた蒸発散量とを比較しています。図 8に示した観測期間では、8月24日、8月29日～31日に降雨がありました。例えば、降雨後の8月25日の蒸発散量はライシメータとペンマン法で同程度の値を示していますが、8月26日から降雨前の8月28日にかけてライシメータの蒸発散量は、ペンマン法の値に比べて小さな値を示していることが分かります。ペンマン法では地面や植被面^{*8}が水面と同じように水で飽和していることを仮定していることから、上記の例は降雨後に乾燥が進んで実蒸発散量が減少したと考えられます。このようなライシメータの観測データを蓄積することによって、蒸発散量の推定法に対する幌延地域の補正係数を設定することが可能になります。

*6：周囲と同じ土壌を詰めた容器を地中へ埋設し、重量などを計測することにより降水量や蒸発散に伴う水分量の変化から、水収支（一定の期間に流入する水の量と流出する量との差し引きのことです。流入には降水など、流出には蒸発散などがあります。）に関するデータを直接求める装置です。

*7：蒸発散量を推定する方法のひとつで、気温、風速、水蒸気圧、日照率の4つの気象要素をもとに推定する方法です。

*8：植物で覆われている地面のことです。

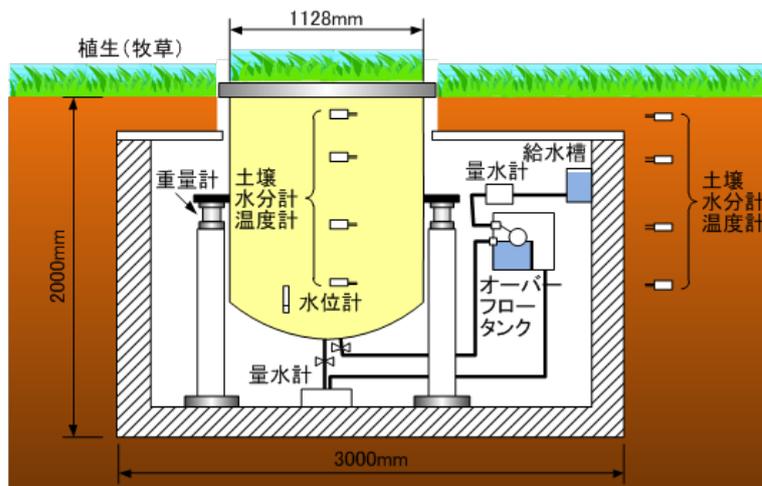


図 7 ライシメータの概要図

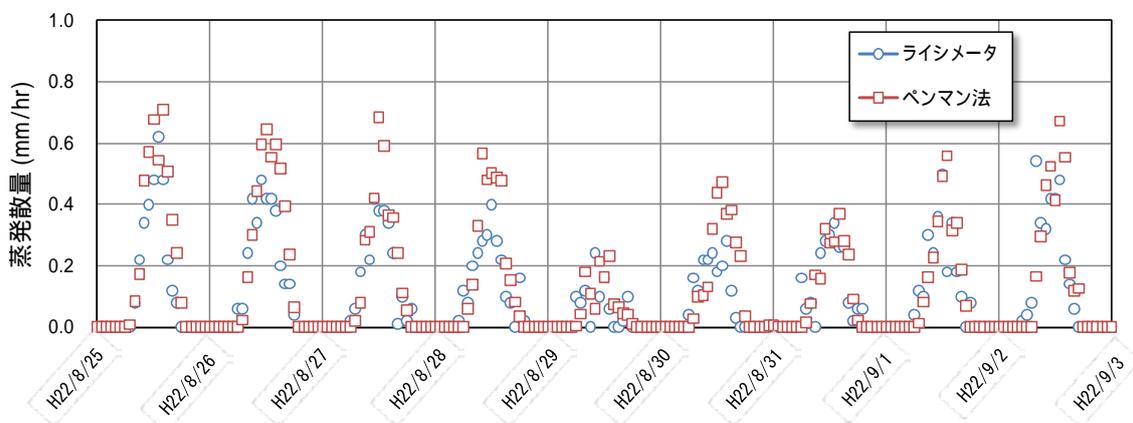


図 8 時間蒸発散量の変化

図 9は、月毎の降雨量と融雪水量、河川流出高、蒸発散量を集計し、図 6のP-3流域における地下水涵養量を推定した結果を示しています。ここで、流域内の融雪水量は観測から直接求めることはできないことから、積雪の空間分布を考慮した流出解析⁽⁹⁾を行って推定した値を採用しています。この結果から、年間の地下水涵養量の半分以上が融雪の最も進む4月に集中していること、6月～9月にかけては蒸発散量が河川流出高を上回ることが分かります。また、わずかながら積雪期においても融雪水の地下への涵養は行われており、その量が明確になりました。年間では降水量の約20%に相当する320mmがP-3流域における地下水涵養量と推定されました。

地下施設においては、坑道の掘削と並行して、湧水を伴う割れ目の性状や湧水の量などの水理地質構造に関する情報の取得を継続しました。250m調査坑道において確認された湧水を伴う割れ目のイメージを図 10に示します。東立坑側から換気立坑側へ250m調査坑道を掘削していた6月

上旬に湧水量の増加が認められました。湧水量の増加は一時的で、その後、次第に湧水量は減少しました。これは、相対的に高い間隙水圧を保持していた地下水が坑道内に排出されたことにより、坑道内（大気圧）との圧力差が減少したためと考えられます。また、上述の湧水量増加時に認められた割れ目(図 10(a))と連続していると考えられる割れ目は、当該切羽の掘削から約8ヵ月後のポンプ座の掘削(図 10(b))や250m西側調査坑道の掘削(図 10(c))時にも確認されましたが、この時には顕著な湧水量の増加は認められませんでした。

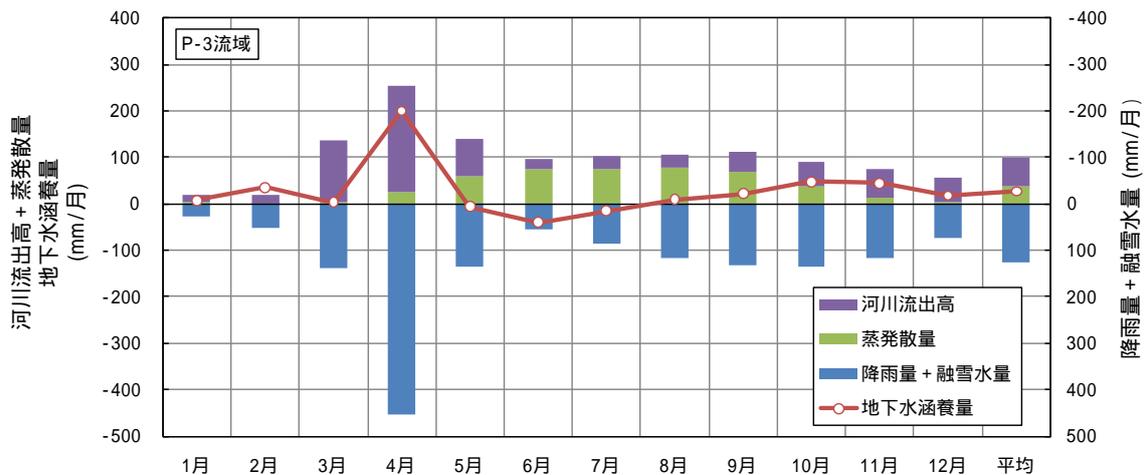


図 9 P-3流域の地下水涵養量の変化

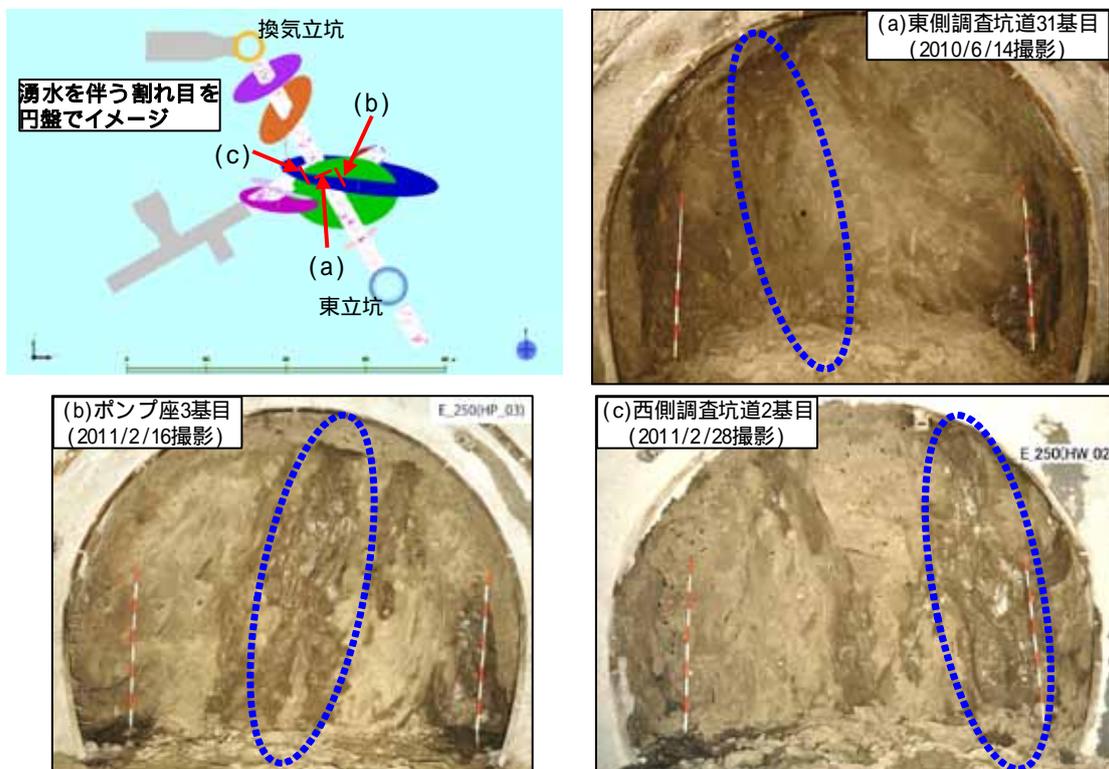


図 10 250m調査坑道における湧水割れ目のイメージと切羽写真

(3) 地下水の地球化学

第2段階における地下水の地球化学に関する調査では、地下施設の建設に伴う周辺の地球化学環境の変化に関わる調査解析技術を構築することを目的としています。このため、坑道内において地下水のpHや電気伝導度、酸化還元電位などを測定するための装置を開発し、その適用性の確認を行うとともに、坑道近傍で採取した地下水の水質分析を実施し、その変化の解析を行っています。

平成22年度は、平成21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や坑道内のボーリング孔から採取した地下水の水質の連続観測を継続しました。図 11に集水リングやボーリング孔における地下水のpHの経時変化を示します。立坑壁面から湧出する地下水のpHは中性～弱アルカリ性の範囲で計測されており、一部の区間では徐々にアルカリ性に変化する傾向が見られています。これは、地下水中の二酸化炭素などの溶存ガスの脱ガスや立坑のコンクリートと地下水との接触による影響と考えられます。また、集水リングやボーリング孔から採取した地下水中の塩化物イオン濃度は、一部の深度で増加する傾向が認められており（図 12） 該当深度の下部あるいは西側に分布する塩化物イオン濃度の高い地下水が流入している可能性が推測されました。

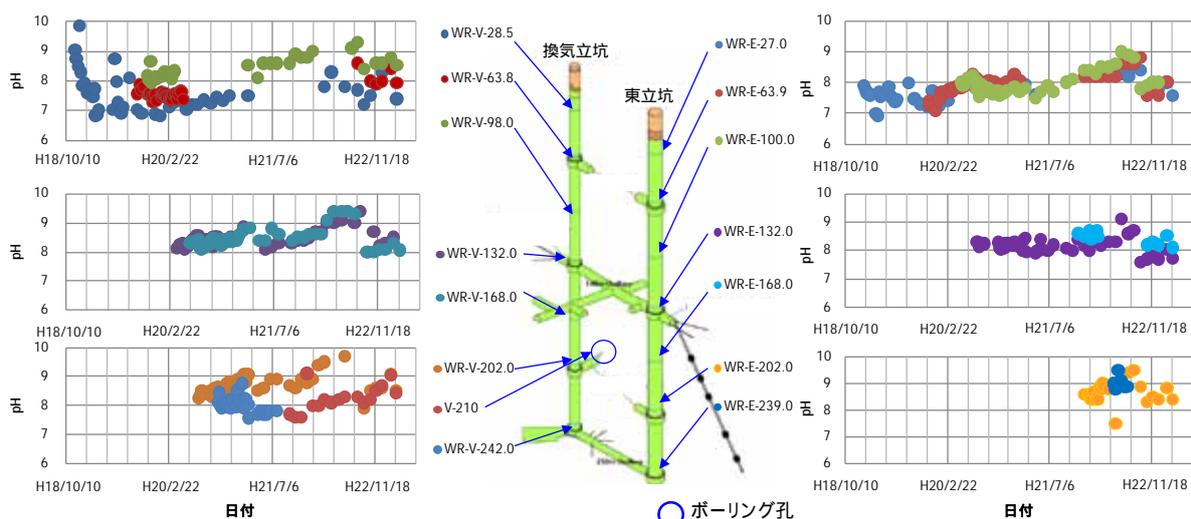


図 11 立坑内で採取した地下水中のpHの経時変化
 (VまたはEの後ろの数字は深度を表しています。)

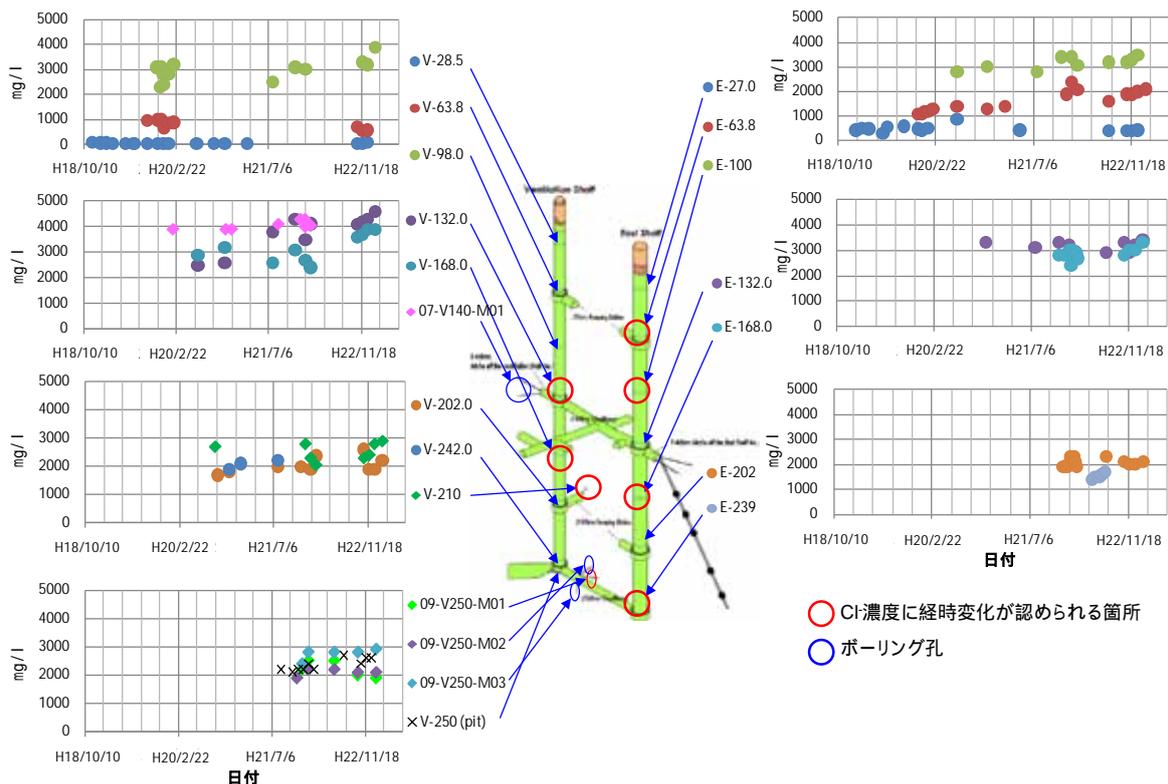


図 12 立坑内で採取した地下水中の塩化物イオン濃度の経時変化
(VまたはEの後ろの数字は深度を表しています。)

また、立坑掘削による周辺の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（08-E140-C01孔、08-E140-M02孔、07-V140-M03孔）を用いて、原位置の圧力を維持した状態でpH、酸化還元電位の連続観測を実施した結果、坑道から離れた観測区間（坑道からの距離：16.3～25.2m、31.2～46.0m、57.0～62.9m）においては、pHは約6.5～7.0、酸化還元電位は約-200～220mVの範囲であり、平成21年度と比較してほとんど変化していないことが分かりました。坑道からの距離が近い区間（坑道から3.0～4.0m）では、間隙水圧（実測値：約0.2～0.4MPa）の低下による脱ガスの影響でやや高いpH値（約7.5）が見られましたが、酸化還元電位は平成21年度の結果と同程度であり、還元状態が維持されていることが確認されました。同じ観測区間から採取した地下水の各深度における塩分濃度についても、平成21年度とほぼ同じ濃度であることが示されました。その理由として、観測対象である声問層では、割れ目などの連結性が乏しく低透水性である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と、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を十分に有していることなどが考えられます。

今後、長期的に地下水の水質観測を継続し、その変化のプロセスやメカニズム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。

(4) 岩盤力学

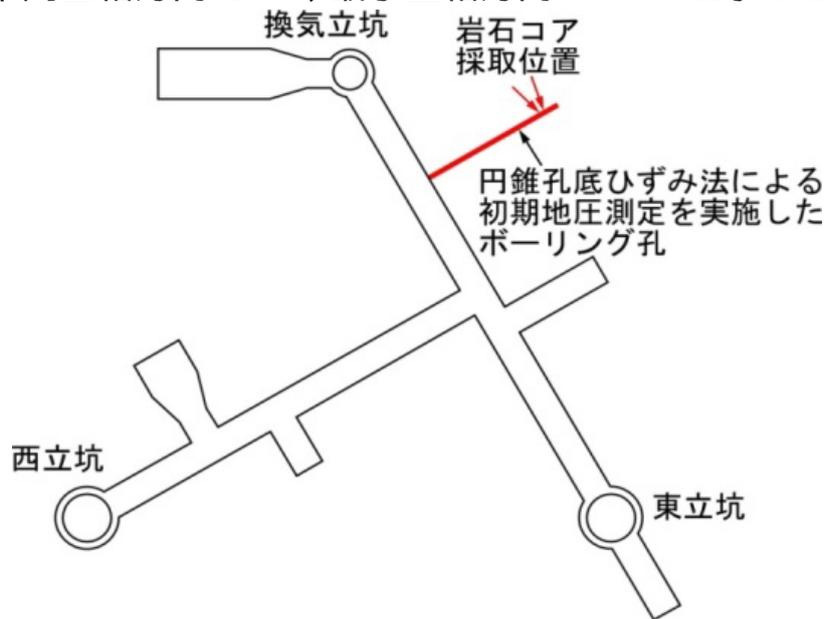
平成22年度は、平成21年度に実施した初期地圧測定結果の考察として、稚内層で予見された岩盤の力学特性の異方性が初期地圧の評価結果に与える影響について調査しました。これは、初期地圧の評価として岩盤を等方性^{*9}体として評価した場合と異方性^{*10}体として評価した場合とでは評価結果に差が生じると考えられるためです。具体的には、250m調査坑道において採取した岩石コアを用いて初期地圧の評価を実施しました。図 13に、平成21年度に円錐孔底ひずみ法^{*11}により初期地圧を測定したボーリング孔および、平成22年度に岩石コアを採取した地点を示します。調査の内容は、弾性波速度の方位分布、その方位分布から明らかになった軸方向に一致した岩石コアの強度試験、および強度試験結果を考慮した初期地圧の再評価です。弾性波速度の方位分布については、98面体に仕上げた多面体の供試体（図 14）を用い、平行となる全ての面で弾性波速度を計測しました。図 15は、弾性波速度の分布をE-N-V座標（下半球投影図）で表現したものです。最大値、最小値、中間値をそれぞれ、
、
で示しています。最小値の方向は稚内層と声問層の堆積構造面（堆積面）に対してほぼ垂直であること、最大値と中間値の差（35m/s）が中間値と最小値との差（152m/s）に比べて小さいこと、などから、稚内層の力学特性は横等方性的（横方向にはばらつきが小さく、縦方向にはばらつきが認められるという特徴）であることがわかりました。最大値、最小値および中間値の方向が、最大主軸、最小主軸、中間主軸となります。

*9：特性が方向に依存しないということです。

*10：特性が方向に依存して変化するという事です。

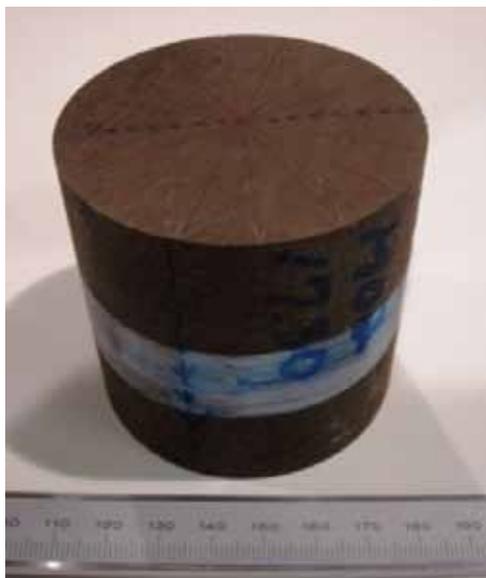
*11：あらかじめ掘削し円錐状に整形したボーリング孔の孔底部分に測定器をセットし自立させた後、オーバーコアリングを実施し1回の測定で3次元初期地圧を計測する手法のことを言います。

図 15で明らかになった3つの軸に合致した軸方向の岩石コアを準備し、
 載荷する荷重を段階的に上昇させる繰り返し一軸圧縮試験を実施しまし
 た。載荷荷重とひずみの関係から求めた弾性係数の平均値は、最大主
 軸:4.74GPa、中間主軸:4.39GPa、最小主軸:3.56GPaでした。そして、弾
 性係数の平均値(4.05GPa)から評価した弾性異方性の程度は、最大主軸方
 向:17.0%、中間主軸方向:8.4%、最小主軸方向:-12.1%と求められました。

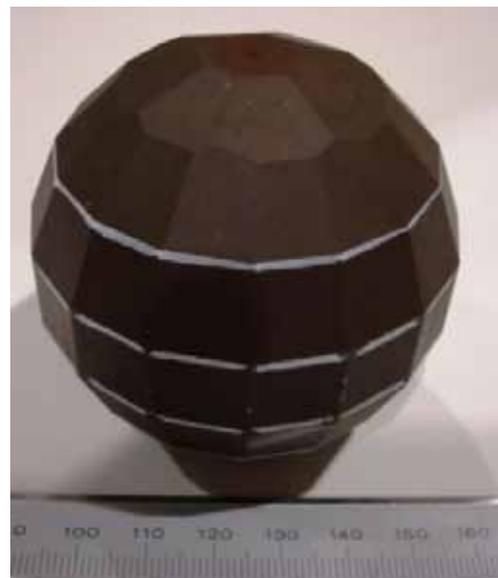


250m調査坑道平面図

図 13 初期地圧測定実施位置図

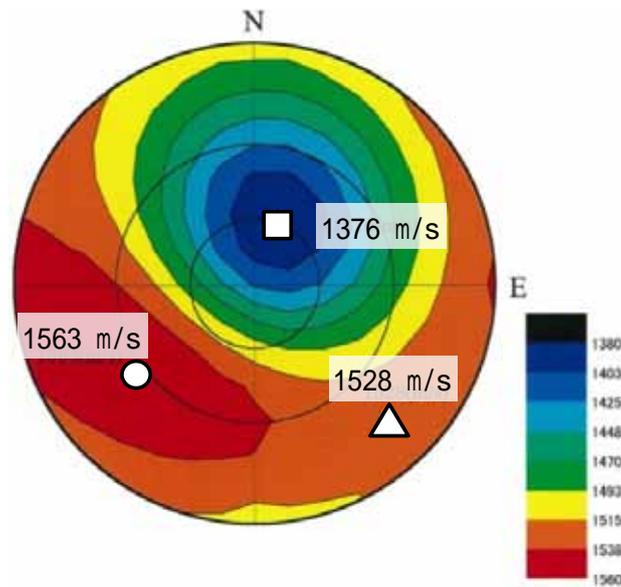


成型前の岩石コア



成型後の岩石コア

図 14 98面体に成型した定方位の供試体



弾性波速度 (m/s)

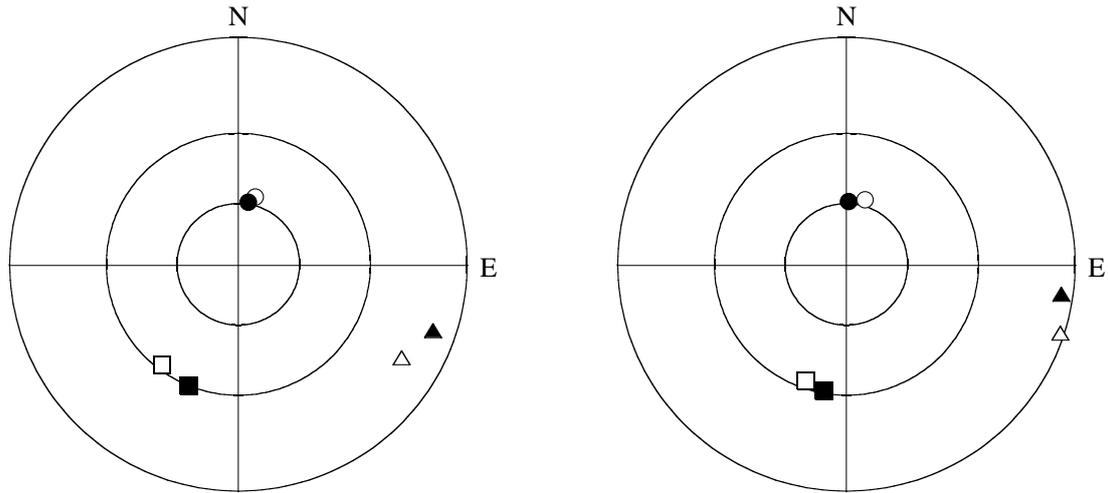
図 15 弾性波速度方位分布の下半球投影図

次に、求められた弾性異方性を考慮して初期地圧の評価を行いました。弾性等方体を仮定した場合には平均値の弾性係数 (4.05GPa) を用いました。

図 16は、評価した初期地圧の結果を示しています。白抜きは等方性を仮定したときの主応力の方向 (: 最大主応力、 : 中間主応力、 : 最小主応力) 黒塗りは、異方性を考慮した時の主応力の方向 (: 最大主応力、 : 中間主応力、 : 最小主応力) をそれぞれ示しています。この結果、全体的な傾向として岩盤の力学特性の異方性を考慮することにより主応力は反時計回りに5度から15度回転することが明らかとなりました。

一方、三次元分布から水平面内の二次元分布に変換した応力値で比較すると、異方性を考慮した場合と等方性で評価した場合とでは、その差は最大でも10%未満でした。

今回の結果から、力学特性の異方性を考慮した場合と、考慮しない場合では初期地圧の大きさや方向に大きな差が無いことが分かりました。深度250mにおける初期地圧の把握としては、さらに2地点での計測を計画しており、より詳細な初期地圧分布の評価を実施していく予定です。



ボーリング孔の深度17.25mのコア

ボーリング孔の深度17.72mのコア

図 16 主応力分布の下半球投影図

3.1.2 地上からの調査・解析手法の妥当性確認と地質環境モデルの構築

(1) 地質構造モデル

研究所用地内で確認、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ために、坑道壁面やボーリングコアの地質観察の結果を用いて、地質構造モデルを更新しました。図 17に、地下施設周辺の地層や主要な断層の分布を三次元的に表現した地質構造モデルを、図 18に深度 250mにおける水平面で予測された地質構造モデルと地下施設形状を示します。本モデルでは、250mポンプ座に声問層と稚内層との境界が分布することが掘削前に想定されており、掘削後の地質観察の結果(3.1.1(1))と比較すると、その位置や方向が事前に予測されたものと整合的であることが確認されました。したがって、地質構造モデルの構築に用いたデータは、研究所用地内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、地上からの調査の妥当性が確認できました。

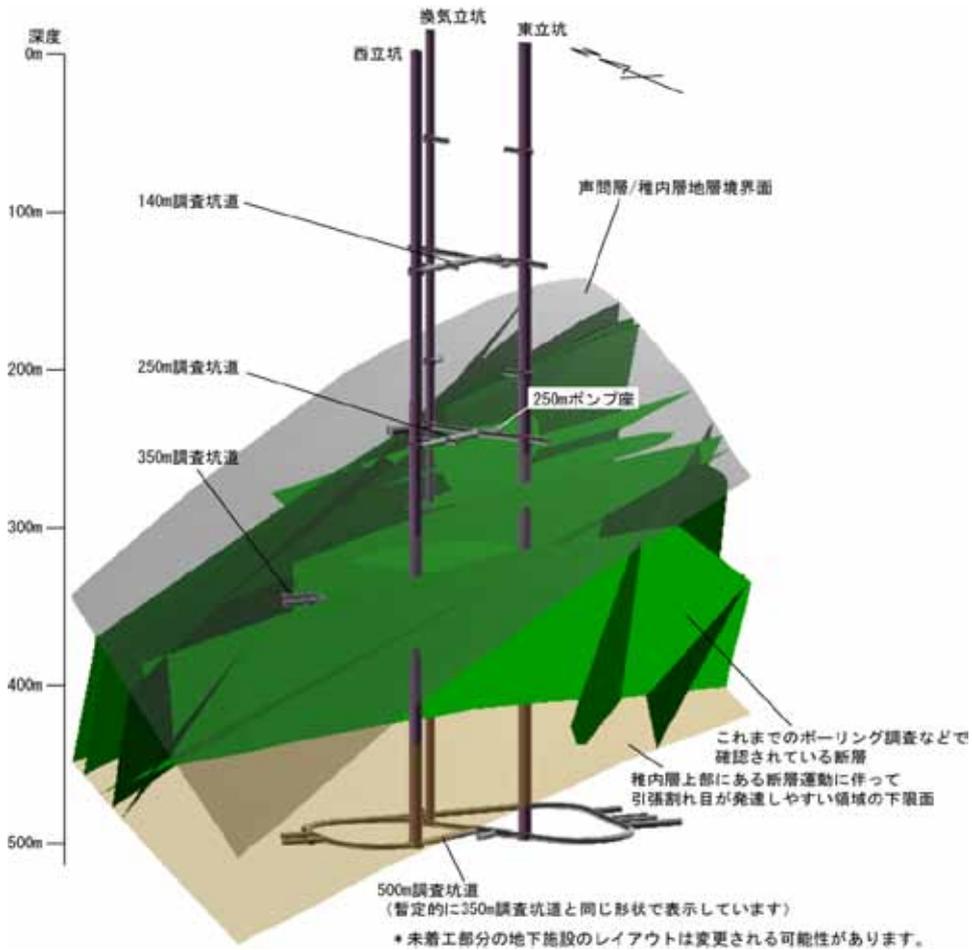
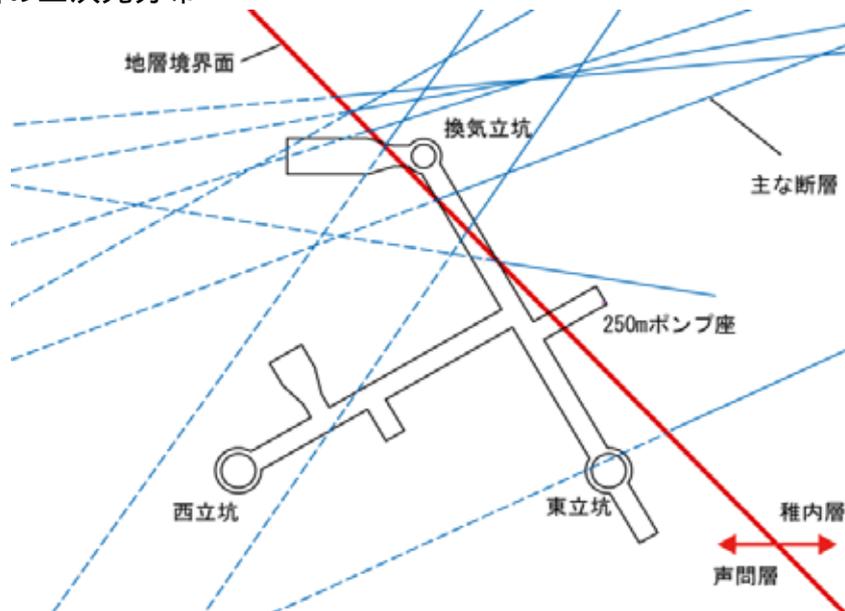


図 17 地下施設周辺の地質構造モデル

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された地層と主要な断層の三次元分布



主な断層のうち、稚内層内で認められる部分を青色実線で、声間層内で認められなくなる部分を青色波線で示しています。

図 18 深度250m水平面において予測された地質構造モデルと地下施設形状

(2) 岩盤の水理モデル

坑道掘削に伴う周辺の地質環境への影響の検討および作成した水理地質構造モデルの妥当性の確認を目的として、地下施設の建設に伴う地下水流動場の変化を推定するための予測解析を行いました。予測解析では、大曲断層などの地質構造や声問層および稚内層中の割れ目に伴う透水性の不均質性や異方性といった特徴を仮定した三次元モデルにより、立坑を掘削した際の湧水量を推定し、実測値との比較を行いました。

解析には、これまでのボーリング調査などで取得されている割れ目データの見直しや新たな解釈結果に基づいて、平成21年度までに構築してきた地質構造モデルおよび水理地質構造モデルを更新した三次元モデルを使用しました。また、平成21年度までと同様に、割れ目に伴う地層の不均質な透水係数分布を調査により取得した割れ目の方向などの情報に基づいて、等価不均質連続体モデル^{*12}で表現するとともに、地質概念ごとに複数の透水係数分布を統計的な手法により推定することで、モデル化における不確実性の幅も考慮しました。

予測解析の結果、透水性が高いと解釈した稚内層の浅部に換気立坑の掘削が進んだ際に湧水量が増加すること（経過時間：800日付近）、東立坑から250m調査坑道を掘削することにより、湧水量が増加すること（経過時間：1400日付近）が推定でき、更新したモデルによる予測解析結果の傾向と実測値が整合する結果が得られました（図 19）。また、更新したモデルを基に、断層の透水性などの不確実性を考慮した複数のモデルを構築し、今後の地下施設の建設に伴う湧水量を推定するための解析を実施しました。解析の結果、それぞれのモデルで湧水量がほぼ同程度となる結果が得られ、推定結果の差、すなわち不確実性が減少している結果が得られました。このことから、対象領域の地下水流動に影響を及ぼす主要な地質構造とその水理特性を適切に表現でき、推定結果の確度を向上できたものと考えられます。

*12：等価不均質連続体モデルは、地層の均質な透水性と、割れ目の不均質性に関する情報（位置、方向、幅など）を組み合わせることで、地層と割れ目を一体として扱うことのできるモデルです。このモデルには、不均質な透水性の分布や局所的な地下水の流れを表現できる、広い領域の解析に適しているといった特徴があります。

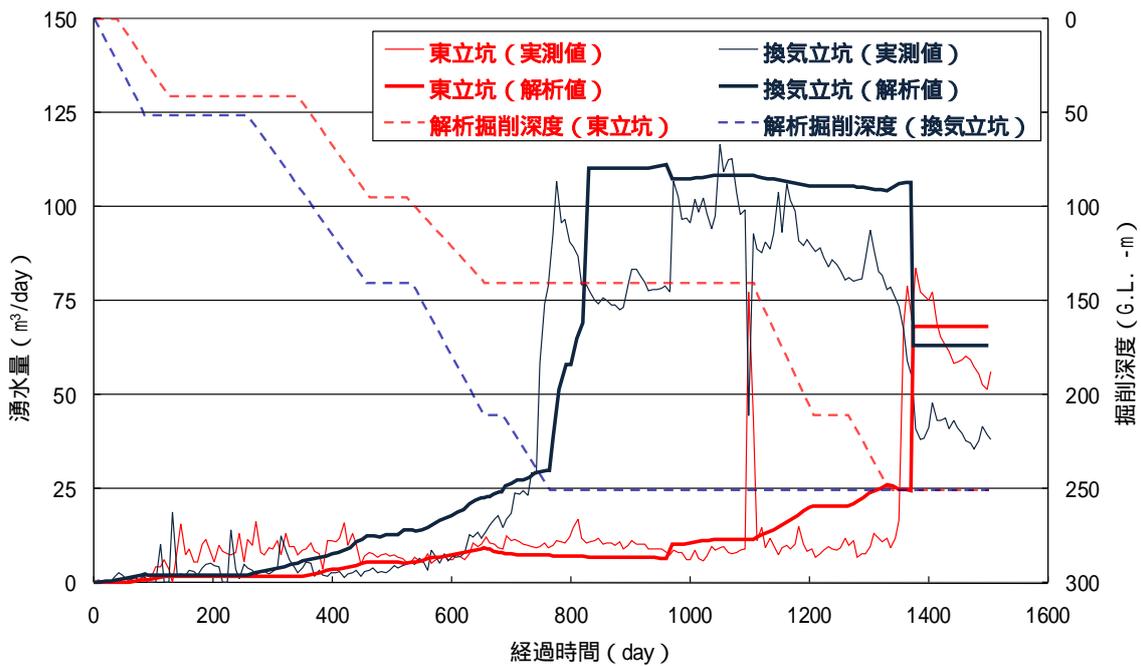


図 19 地下施設の建設に伴う湧水量の予測と実測値の比較例

以上の結果から、推定結果の確度を向上するには、割れ目分布やそれらに与える透水係数などの水理特性をどのように推定して設定したかが重要であり、推定の根拠となる調査の実施条件や、データの解釈の際に用いられた仮定などを明らかにした上で設定するなど、調査とモデル化・解析を組み合わせた地質環境の評価を行う際に留意すべき点を示すことができました。

今後は、坑道およびその周辺で取得されるデータやその解釈結果を反映した水理地質構造モデルの更新と更新したモデルによる地下水流動解析結果の妥当性の検討を継続的に実施し、堆積岩地域を対象とした地質環境のモデル化および解析手法の整備と信頼性の向上を図ります。また、地下施設で予定されている調査研究に対して、調査試験予定箇所地下水流動場を予測解析によって事前に推定し、推定結果を調査試験の計画策定に反映します。

(3) 地下水の地球化学モデル

立坑壁面に設置した集水リングや坑道内で掘削したボーリング孔などから採取した地下水の分析結果に基づいて、坑道掘削に伴う坑道周辺の地球化学環境変化に関する解析を行いました。掘削開始前から現在までにおいて、研究所用地周辺の地下水の塩分濃度の空間分布図を作成し、

その経時変化について考察しました。

図 20に掘削開始前から平成22年度までのデータに基づく塩分濃度の空間分布を示します。掘削開始前の塩分濃度の空間分布（図 20-a）と立坑内で得られた実測値（図 20-b）と比較した結果、ほぼ同様であり、地上からの調査結果に基づいて推測された塩分濃度分布に関わる地球化学モデルの妥当性を確認することができました。また、換気立坑の掘削過程において、立坑が透水性の高い稚内層浅部付近に達し湧水量が増加した後から、地下施設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3.4g/l未満であり、塩分濃度の著しい変化は起こっていないことが示されました（図 20-c、d）。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⁽¹⁰⁾とほぼ一致しており、解析技術の有効性について確認することができました。

今後は、新たに得られる調査結果に基づき、継続的に地球化学モデルを更新するとともに、立坑掘削に伴って発生する脱ガスによる不飽和領域の形成やpHの上昇に伴う鉱物変化についても調査を実施し、それらの解析技術の有効性について確認する予定です。

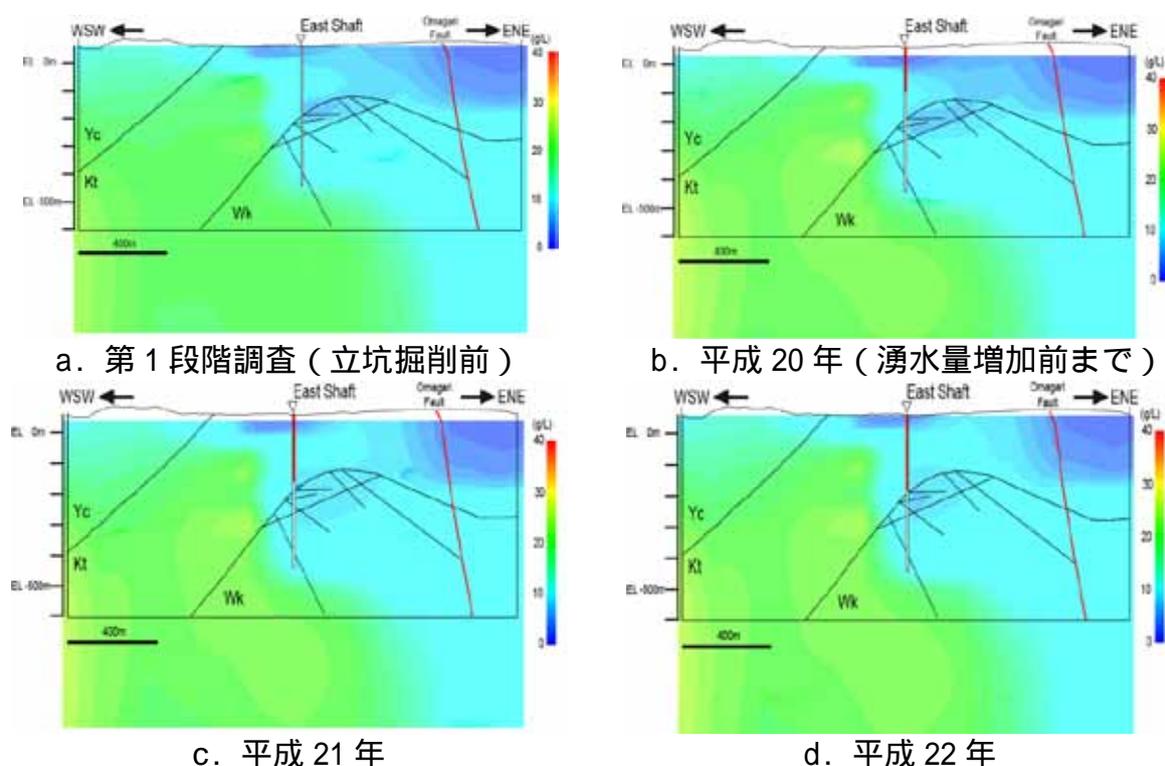


図 20 立坑周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布
（立坑の赤い部分は掘削深度を表しています。）

(4) 岩盤力学モデル

岩盤力学モデルの妥当性評価として坑道掘削による岩盤の挙動を評価することが有効ですが、平成22年度は、250m調査坑道を対象として坑道掘削の予測解析を行いました。

予測解析では、これまでにモデルの物性値として設定されている力学特性を入力値とし、その結果を実際に坑道を掘削して得られるデータと比較することになります。

ここでは、二次元と三次元のモデルを構築し、坑道掘削の予測解析を行いました。両者の解析にはそれぞれ以下のような特徴があります。

二次元解析では、解析モデルの作成が比較的容易であることから、解析にかかる時間が短く、色々なパターンの解析を短時間で行うことができます。一方で、掘削手順を詳細に再現できないという課題や、掘削の進行を掘削解放率^{*13}という指標を導入して表現するために、その設定方法が解析結果に大きく影響することとなります。

三次元解析では、掘削の状況を解析上でより忠実に再現することが可能であることから、二次元解析で用いた掘削解放率という指標は不要となります。しかし、同時にモデルが複雑になることで解析モデルの作成に時間がかかり、解析に要する時間も長くなることから、限られた時間で色々なパターンの解析を行うには不向きであるといえます。そのため、概略の評価は二次元解析で行い、詳細な評価を三次元解析で行うのが一般的です。

図 21に解析対象領域を示します。250m調査坑道の2つの異なる方向の直線部分を解析の対象領域（解析対象領域1：換気立坑と東立坑の間の直線部分、解析対象領域2：西立坑に向かう直線部分）としました。

二次元解析と三次元解析におけるそれぞれの解析モデルの全体図を図 22に、解析結果の一例として、坑道掘削に伴う坑道の内空変位の比較図を図 23に示します。二次元解析については、70%の地圧が解放された後に支保工を設置した場合（掘削解放率70% 30%）と、60%の地圧が解放さ

*13: 岩盤に坑道を掘削する場合、坑道壁面には切羽の力学的な支保効果を期待することができます。その効果は、切羽が進むにつれて小さくなります。掘削解放率は、この切羽の進行に伴う三次元的な力学現象を二次元解析で考慮するための指標であり、その効果の大きさは解析上着目する断面と切羽との距離の関係で表されます。

れた後に支保工を設置した場合（掘削解放率60% 40%）の解析結果を示しています。図 23から、変位の絶対量に差は見られるものの、坑道が閉塞される方向に変位するという傾向は、二次元解析結果と三次元解析結果で同じであることが確認されました。今後、坑道の掘削に伴い現場で計測されるデータを検証データとしてそれぞれのモデルの妥当性を評価していく予定です。

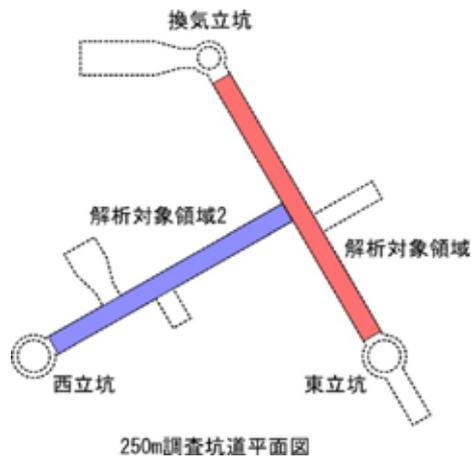


図 21 坑道掘削の予測解析の対象領域

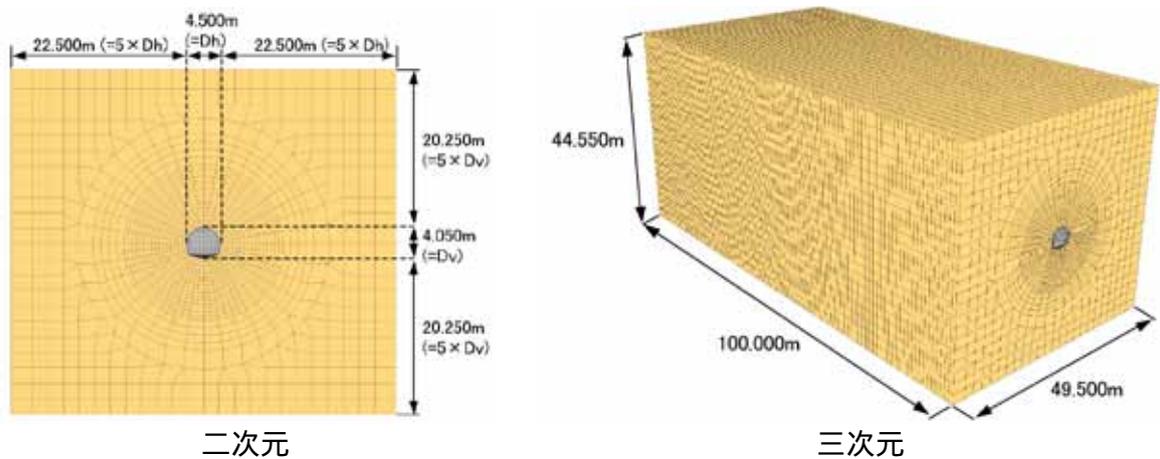


図 22 坑道掘削の予測解析モデル

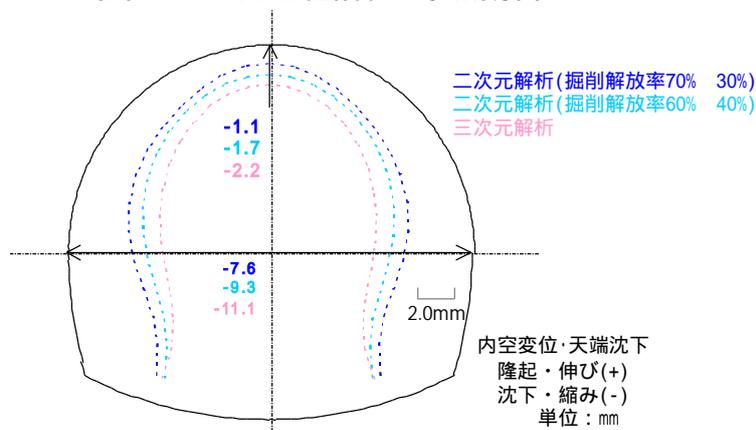


図 23 予測解析結果に基づく内空変位の比較

3.1.3 調査技術・調査機器開発

(1) 坑道周辺の地質環境特性調査技術の開発

坑道の掘削に伴う坑道周辺の岩盤特性やその変化の程度、範囲を把握するための技術開発を電力中央研究所^{*14}（以下、電中研）との共同研究として実施しました。一例として、250m調査坑道の掘削を対象として実施した坑道周辺岩盤の水理特性の変化に関する調査（透水試験および間隙水圧測定）の結果を示します。図 24に250m調査坑道のレイアウトおよび調査ボーリング孔の位置を、図 25に試験区間位置（計5区間）を示します。調査ボーリング孔は250m調査坑道の掘削に先立って斜め下向きに掘削し、最奥部の試験区間（区間E）は西側調査坑道の下側に位置しています。

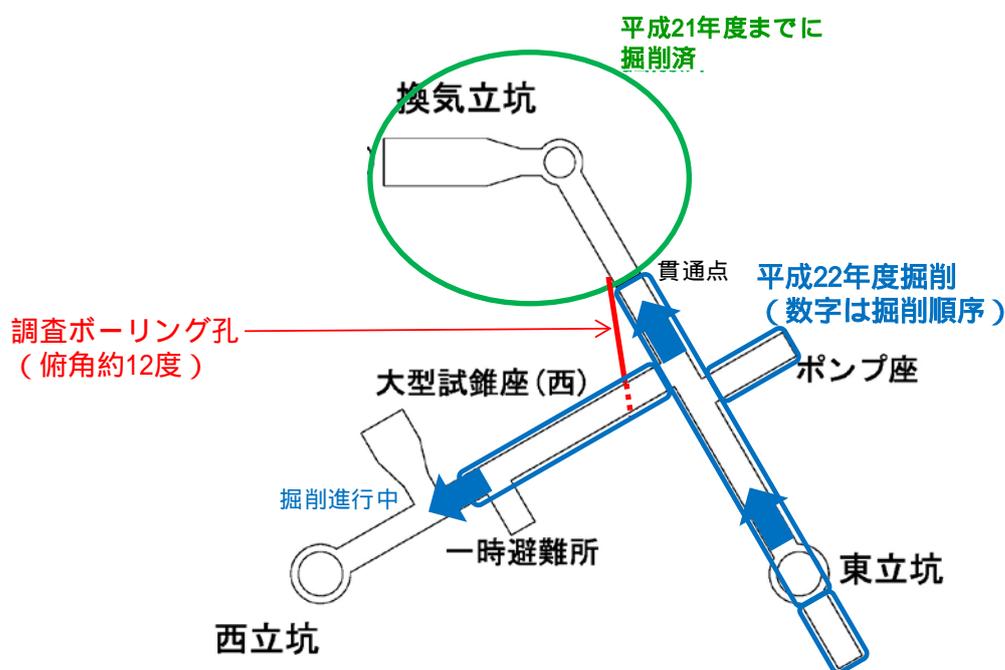


図 24 250m調査坑道平面図および調査ボーリング孔位置

*14：財団法人電力中央研究所は、電力技術の専門研究機関であり、原子力技術、先進保守技術、環境・革新技術、最適エネルギー利用技術、社会・経営リスクマネジメントを研究開発課題としています。原子力技術の一環として、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。

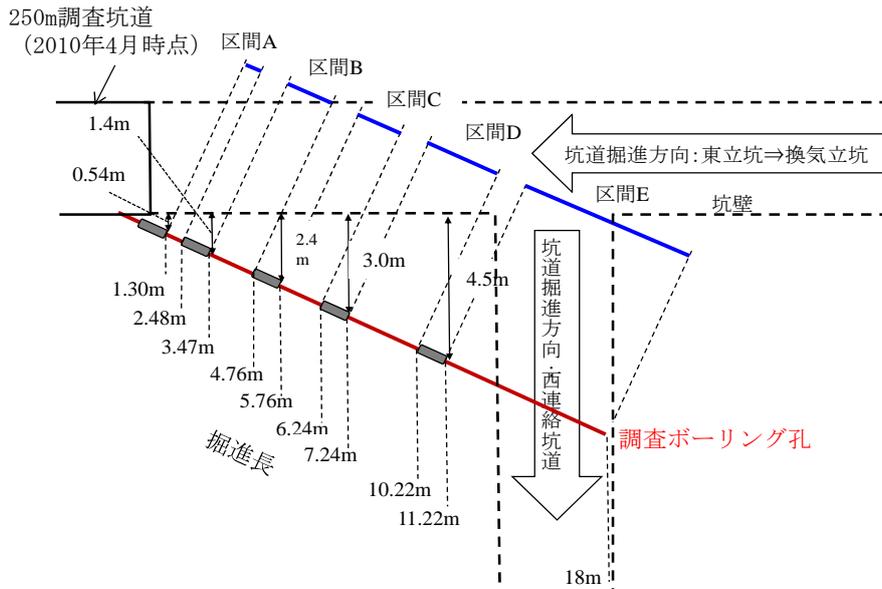
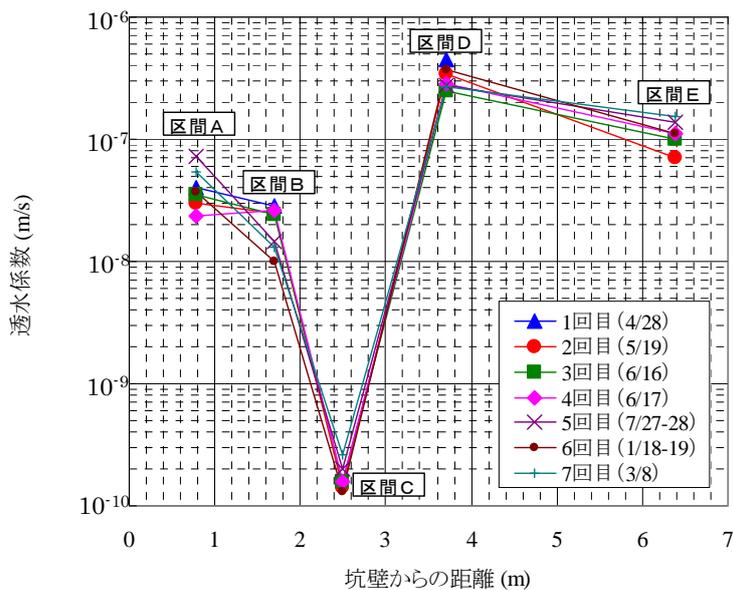


図 25 透水試験および間隙水圧測定区間

平成22年度には、東立坑側から換気立坑側への250m調査坑道の掘削開始前（平成22年4月）から、調査坑道貫通（平成22年6月）前後、さらに西側調査坑道の掘削開始（平成23年3月）前後にかけて、計7回の透水試験を実施しました。その結果、これまでのところ、坑道の掘削により岩盤の透水性に大きな変化は認められていません（図 26）。また、透水試験実施時以外は各試験区間の間隙水圧を連続測定しています。区間Eの間隙水圧に着目すると、東立坑側から換気立坑側への掘削に伴い0.5MPa程度、西側調査坑道の掘削に伴い0.8MPa程度の間隙水圧の低下がそれぞれ認められました（図 27）。



各試験区間の中点を調査坑道壁面からの水平距離で表示

図 26 透水試験結果

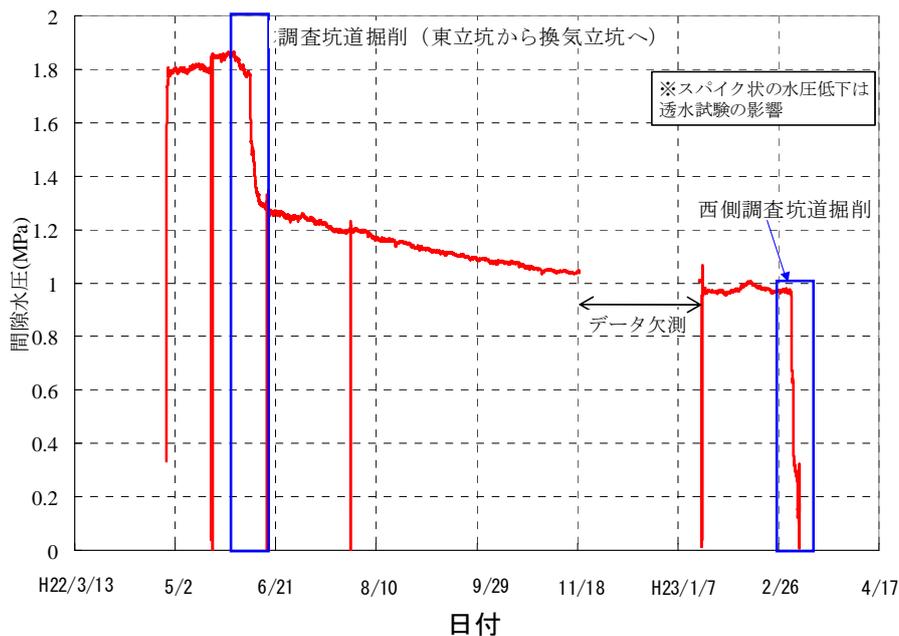


図 27 間隙水圧測定結果 (区間E)

また、坑道周辺の地下水の地球化学特性、微生物特性、岩盤の還元環境回復能力を把握するための試験装置として、平成21年度に140m調査坑道に設置した観測装置の適用試験を行うとともに、その改良型観測装置を製作し、250m調査坑道に設置しました (図 28)。

これらの観測装置を利用して、岩盤中の微生物やその餌となる有機物、岩盤の還元環境回復能力などを調査した結果、岩盤内においては、坑道から酸素を含む大気が侵入しても、数日で酸素が消費され還元環境が回復することが明らかになりました。また、製作した試験装置の有効性を



図 28 還元環境回復能力に関わる調査試験装置の一例 (250m調査坑道)

確認することができました。

また、物質移動特性調査を行うために、試験装置の改良およびボーリング調査のための調査計画の策定を進めています。

(2) コントロールボーリング技術の開発

平成21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21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900mまで掘削しています。平成22年度は、掘削長900m～950mまでの区間についてほぼ水平の角度で掘削を継続し、左右に掘削方向をコントロールする試験掘削を行い、掘削技術を構築することができました⁽¹¹⁾。今後、掘削長約1,000mまで掘削し、コントロールボーリングに関わる様々な掘削技術、観測技術を確立する予定です。

(3) 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

産業技術総合研究所^{*15}（以下、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22年度は、幌延町の沿岸域を対象として実施した物理探査や浜里地区におけるボーリング調査の結果に基づき、地下水の流動状態や塩分濃度分布に関わる解析技術の検討を行いました。浜里地区周辺における地下水の分布は図 29のように推定されており^{(12)、(13)}、このような水質分布を説明可能な地下水の流動状態について検討を行った結果、地下水流動に関わる解析手順を図 30のように整理することができました。

*15：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。

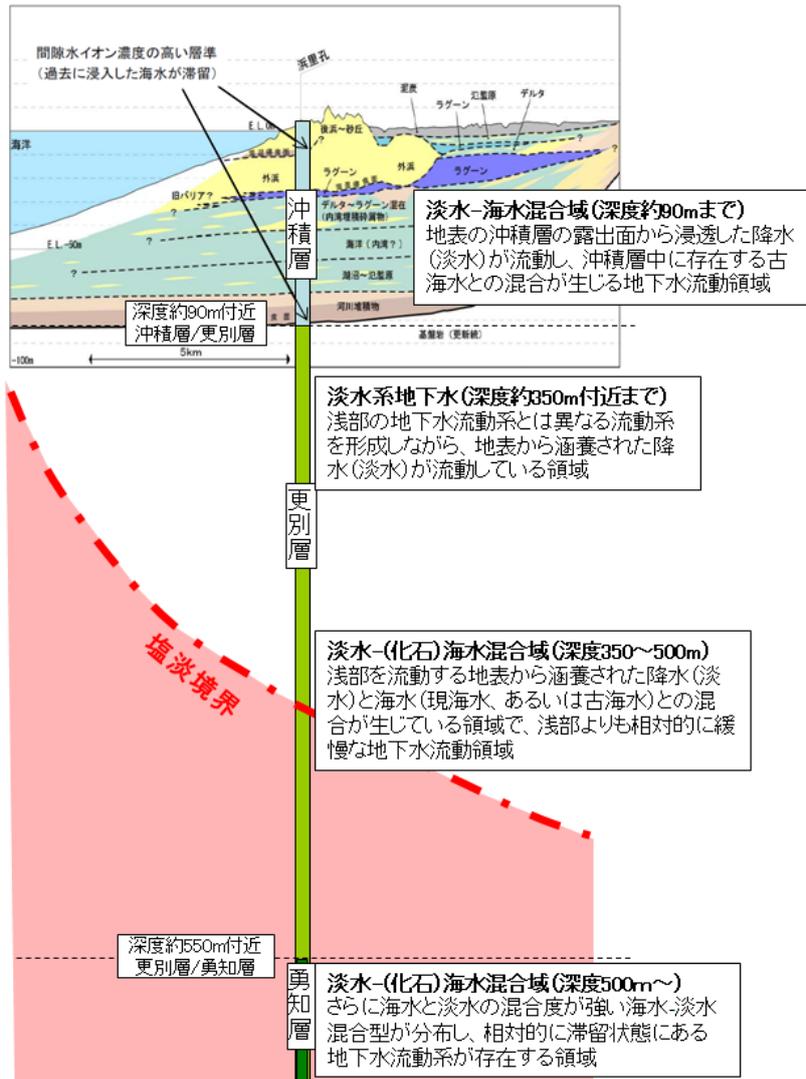


図 29 浜里地区周辺における地下水の水質分布^{(12)、(13)}

「地下水流動解析」タスクフロー

「地下水流動概念モデルの構築」サブタスクフロー

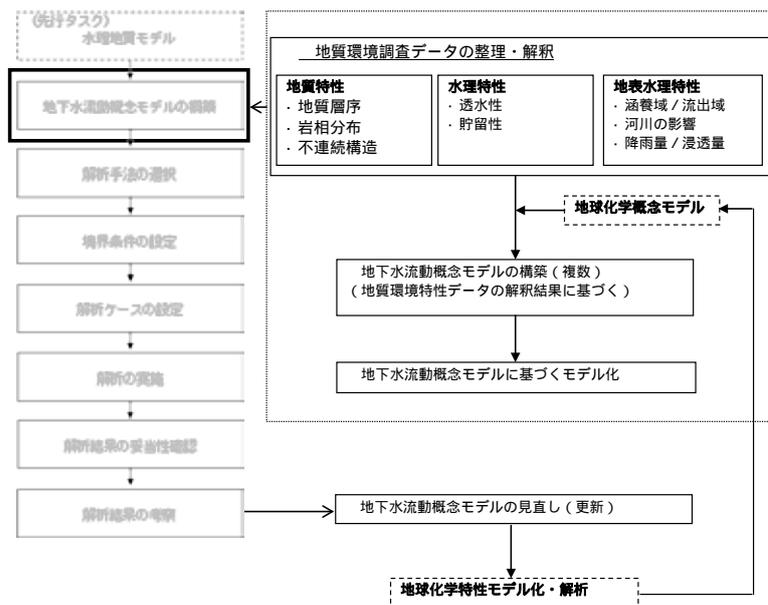


図 30 沿岸域を対象とした地下水流動解析手順

3.2 地質環境モニタリング技術開発

3.2.1 地上におけるモニタリング技術開発

(1) ボーリング孔を用いたモニタリング技術開発

第2段階では、地下施設の建設が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、岩盤の水理モデルや地下水の地球化学モデルの構築、地下水流動解析などに必要なデータの取得、および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22年度は、HDB-1～11孔およびPB-V01孔（図 2および図 3参照）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モニタリングを継続しました。このほか、原子力安全基盤機構^{*16}、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 2参照）においても地下水の間隙水圧・水質モニタリングを実施しました。図 31にPB-V01孔、図 32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。地下施設に近いPB-V01孔の一部の観測区間では、立坑掘削に伴い湧出する地下水の影響と考えられる間隙水圧の変化が継続して観測されています。特に、GL-234.01～299.51mとGL-301.01～355.51mの観測区間の変化は、湧水量の増減に伴い水位降下量も変動することが認められました。

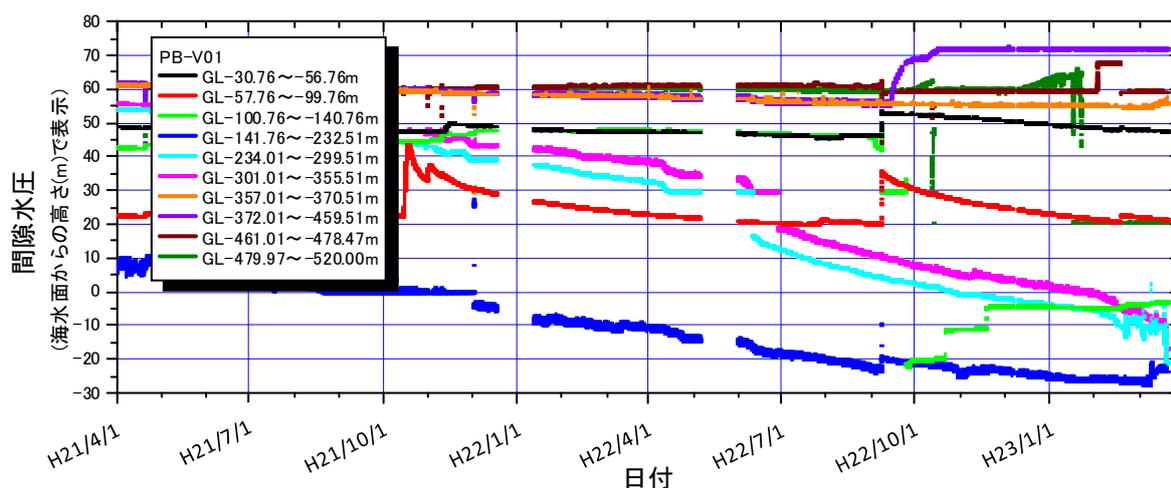


図 31 PB-V01 孔における地下水の間隙水圧の測定結果

*16：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、原子力エネルギーの利用における安全の確保を目的とした機関です。

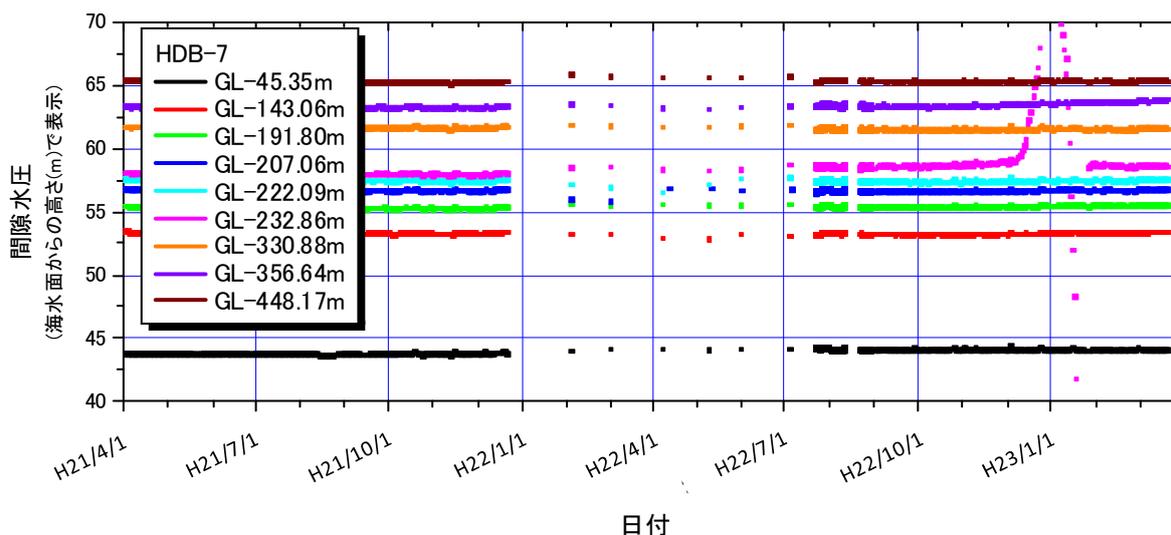
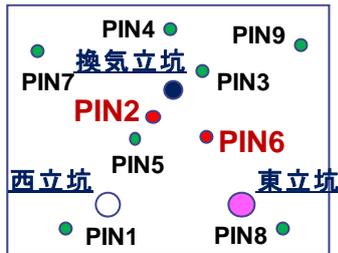


図 32 HDB-7 孔における地下水の間隙水圧の測定結果

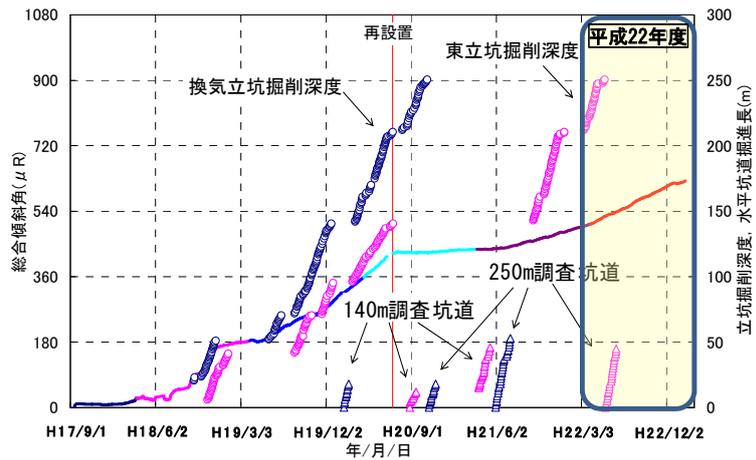
一方、地下施設から離れたHDB-7孔の間隙水圧の変化には立坑の掘削に伴うと考えられる変化は観測されていません。なお、平成21年12月以降データが欠測していましたが、平成22年7月にメンテナンスを実施しました。

(2) 地下施設の建設に伴う表層の変位観測技術開発

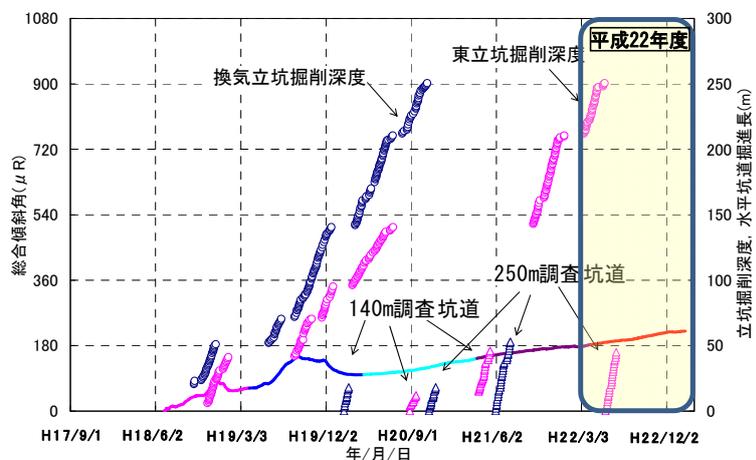
地表面から地下深部の岩盤や地下水の挙動をモニタリングする技術を確立することを目的として、立坑の周辺に9台の高精度傾斜計を配置し（図 2参照）、坑道掘削に伴う地表面における岩盤の傾斜の変化を計測しています。平成22年度は、平成21年度と同様の方法⁽¹⁴⁾で計測データ（直交する2方向での傾斜角度の時系列データ）に含まれるノイズ成分の除去処理を行った後、計測した傾斜データと地下施設建設の工程との対応の確認を行いました。平成22年度の主要な掘削工事は、東立坑の掘削（深度約220m以深）と東立坑から換気立坑へ向けた250m調査坑道の掘削であり、一部の傾斜計で、それらの影響が確認されました（図 33）。平成22年度に得られた傾斜データの全体的な傾向としては、これまでに傾斜が確認された方向と概ね同じ方向に傾斜が進んでいることや、1年当たりの傾斜量の増分は過年度と比較して小さくなっていることが確認されました。これまでの研究結果と併せて考えると、立坑周辺で観測されるこのような傾斜の変化は、立坑に向かう地下水の流れに伴う岩盤の変形に起因すると考えられます。



高精度傾斜計の配置



PIN2



PIN6

図 33 傾斜データの一例

そこで、坑道掘削による地下水の圧力の減少による岩盤の変形に伴う地表面の傾斜量を解析し、実測データとの比較を行いました。解析では250m東側-換気側調査坑道の掘削（東立坑と換気立坑が貫通するまで）を対象としてモデルを作成し(図 34)、掘削工事の実際の工程を可能な限り再現しました。解析結果から、平成22年度に実施した250m調査坑道の掘削（東立坑から換気立坑への掘削）に着目すると、その掘削がPIN2にはわずかに影響を与えますが、PIN6にはほとんど影響を与えないことが分かりました(図 35)。一方、図 33に示した観測データにおいては、250m調査坑道の掘削（東立坑から換気立坑への掘削）において、PIN2とPIN6の両方に掘削の影響と考えられる傾斜変化が確認されています。今後は、このような観測データと解析結果の差に対して、解析に用いる岩盤の物性値の深度方向の変化などの空間分布について詳細な検討を進め、モデルの再現性を向上させていく予定です。

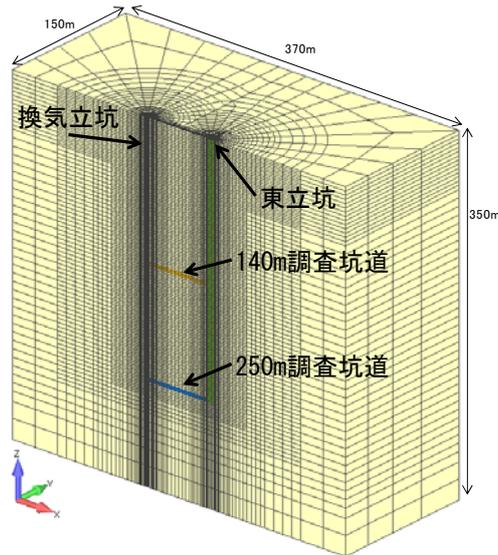


図 34 地表傾斜の計算のために作成したモデル

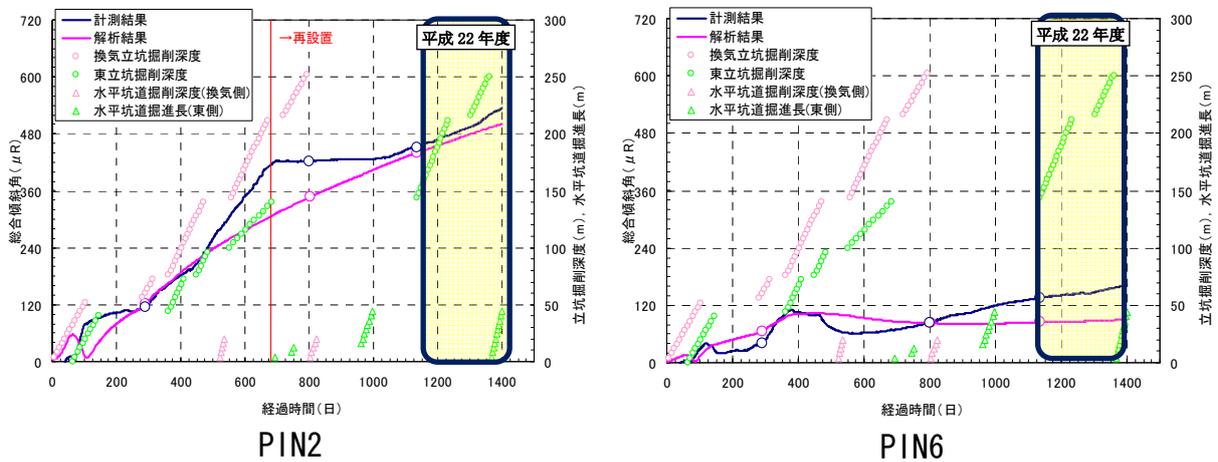


図 35 計算結果の一例（傾斜計の配置は図 33を参照）

(3) 遠隔監視システムの開発

遠隔監視システムの開発は、精密に制御した弾性波や電磁波の連続信号を用いる「アクロス」*17と呼ばれる信号システムを応用して、地下施設の建設に伴う地質環境の変化を地表付近から把握するための基礎的な技術の確立を目標としています。平成22年度は、これまでに取得したデータに基づいて、坑道掘削に伴う地質環境の変化に対する感度特性などの解析結果を取りまとめました。

弾性波アクロスを対象として、伝達関数(正規化された信号強度のこ

*17：アクロス (ACROSS) は、「精密制御定常信号システム」の英訳、Accurately Controlled Routinely Operated Signal System の頭文字をつないだ略語です。

と)の誤差について検討しました。弾性波アクロスの場合、データのスタック期間(データの足し合わせの処理を行う時間長)によって伝達関数の精度が異なります。図 36にHDB-5観測点においてスタック期間を変化させた場合の伝達関数誤差を示します。この図から、周波数が高くなるほど、スタック期間を10日程度にすると、それ以上にした場合とほぼ同様の伝達関数誤差が得られることがわかります。一方、スタック期間を長くするとデータ量が多くなり、その処理に時間を要することから、以下の検討におけるデータ処理ではスタック期間を7日(一週間)としました。

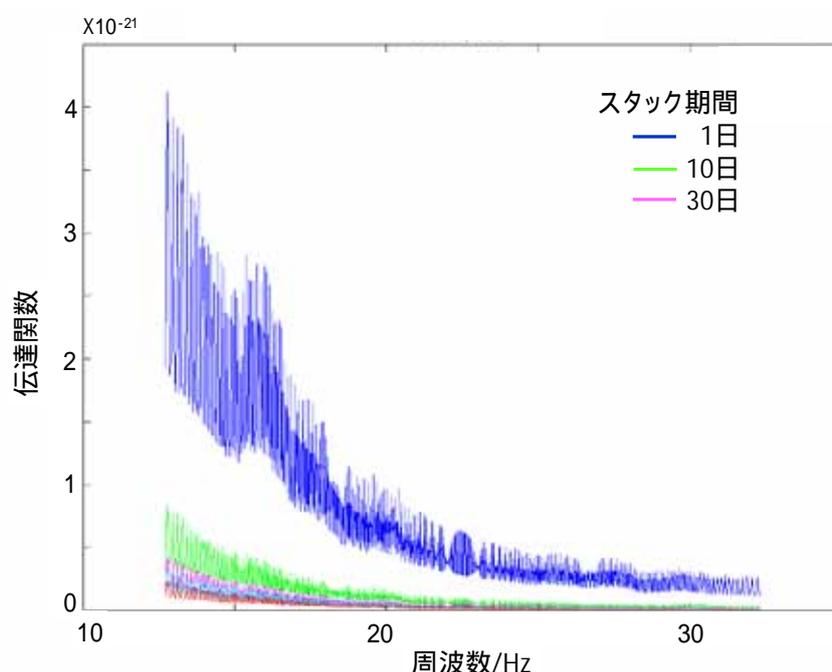


図 36 スタック期間による伝達関数誤差の変化図 (HDB-5観測点)

次に弾性波アクロスおよび電磁アクロスのデータ処理により各観測点で得られた伝達関数から、地下の物性あるいは地質環境の変化について何らかの変化を捉えられているかを検討しました。その結果、弾性波アクロスおよび電磁アクロスともに送信点に一番近いHDB-8観測点において、わずかではありますが、伝達関数に変化が見られました。しかしながら、この伝達関数の変化が何の影響によるものかはいまだ明らかにはなっていません。伝達関数の変化から立坑の掘削による影響を把握するためには、他の要因による伝達関数への影響を考慮し、可能であればこれを取り除く必要があると考えられます。

これまでに弾性波アクロスおよび電磁アクロスを用いて、長期間の連

続観測を行ってきました。その過程で安定した観測技術を確立するとともにデータ処理技術の改良を重ねることにより、送受信点間の伝達関数を誤差付きで取得し、その変化を確認することができるようになりました。このように地上におけるモニタリング技術としてアクロスを用いた基礎的な技術が確認できたことから、遠隔監視システムの開発は平成22年度をもって終了いたします。

3.2.2 地下施設におけるモニタリング技術開発

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、地球化学特性などのモニタリング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^{*18}などの物理探査手法（一部は電中研との共同研究として実施）透水性試験、水分量計測、間隙水圧計測、岩盤の変位や支保工の応力などを坑道周辺の掘削影響領域のモニタリング技術として継続して実施しています。図 37に掘削影響試験のレイアウトを示します。

図 38に弾性波トモグラフィ調査の結果を示します。これまでのところ、坑道掘削時には1m掘削毎に、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。図は調査坑道の掘削前のトモグラフィ結果を初期値として、そこからの速度変化率を示したものです。調査の結果、坑道壁面近傍においては坑道の掘削が終了した後も、弾性波速度に変化する部分（遅くなる部分）が僅かながら拡大していることが分かりました。この調査を継続して行い、掘削影響領域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。

*18：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。

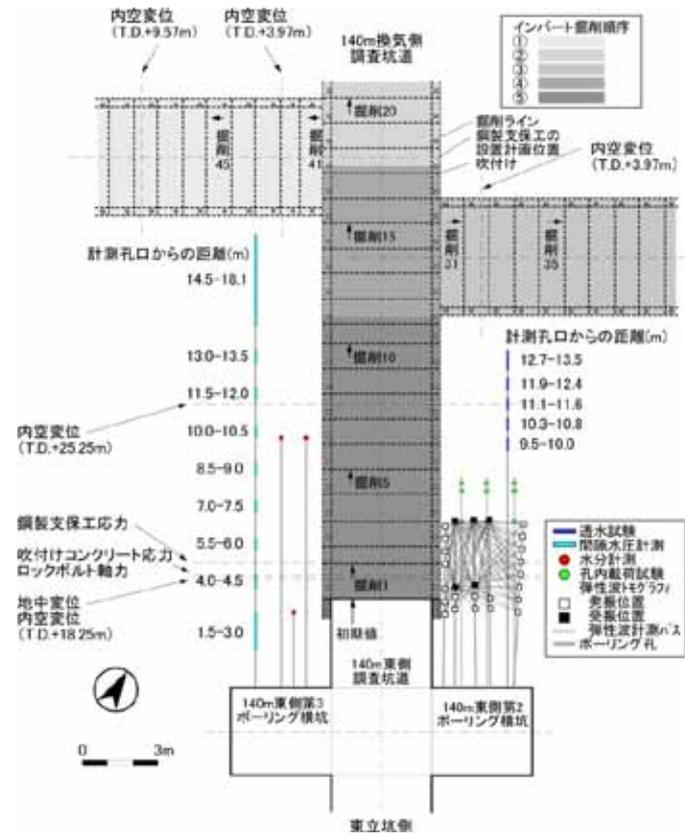


図 37 掘削影響試験のレイアウト(140m 調査坑道)

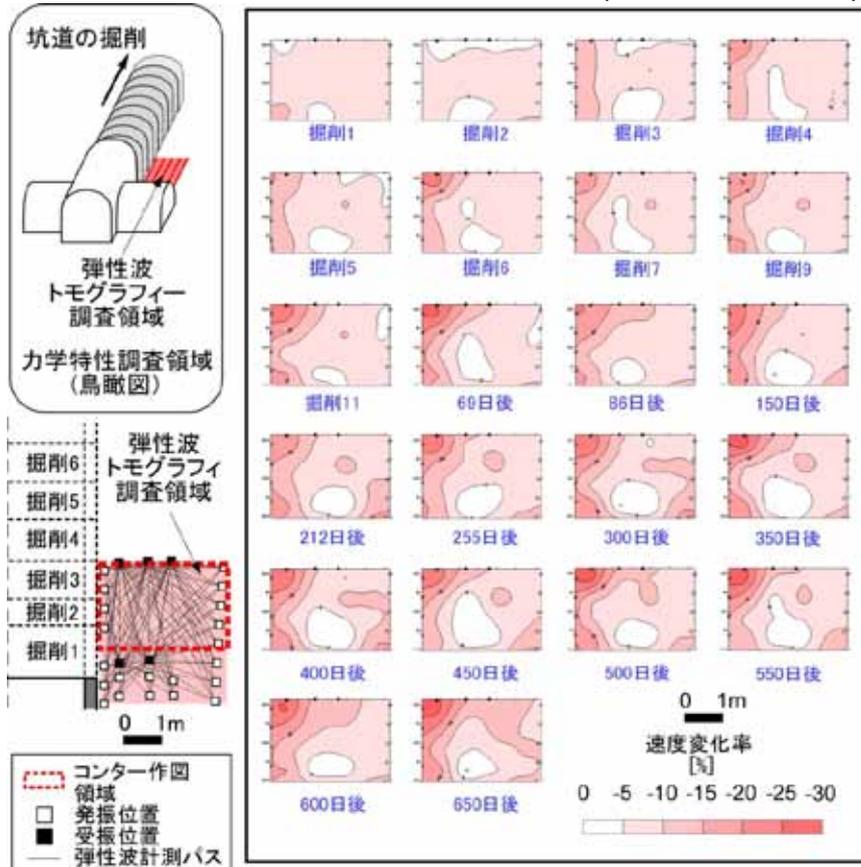


図 38 弾性波トモグラフィ調査の結果(水平坑道掘削影響試験)

図 39に間隙水圧および水分量のモニタリングデータの一部を示します（計測位置は図 37を参照）。これらは140m調査坑道と平行に掘削した水平ボーリング孔を利用して計測を行っており、平成22年度の取得データは、調査坑道掘削後の坑道周辺の水理特性を示すデータになります。水分量計測機器の一部に、一時的に不具合が認められましたが、データ取得開始から現在まで概ね計測性能を維持していることが確認できました。

平成22年度における間隙水圧の変化に着目すると、水圧低下の勾配に多少の変化は認められるものの、平成21年度の取得データと比較して勾配が緩やかになりながら、引き続き低下していることがわかります。水分量については、平成22年2月頃から緩やかに低下していましたが、平成22年9月頃から低下が見られなくなり、平成23年1月にステップ状に増加しています。これらの間隙水圧の変化と水分量の変化には明瞭な関係は認められません。

また、平成22年8月より図 37に示す140m東側第3ボーリング横坑で坑内の温度、湿度、気圧の連続観測を開始しました。図 40に坑内温度と水分量の経時変化を示します。坑内温度は季節変動のほか、坑内の通風・換

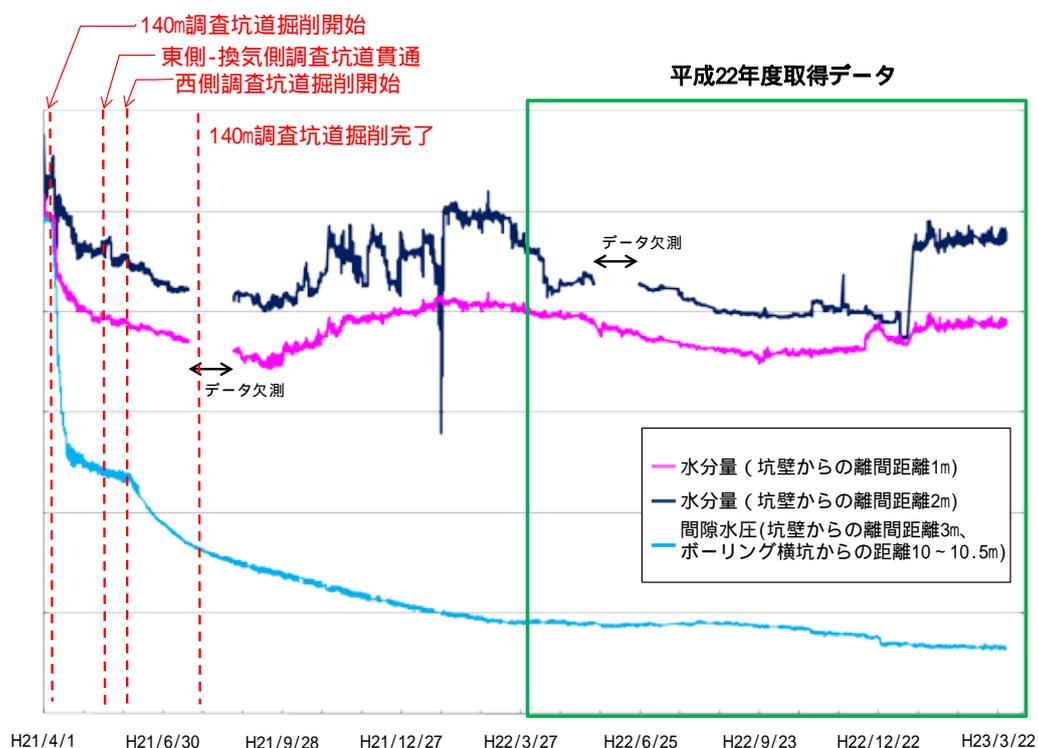


図 39 間隙水圧・水分量の経時変化

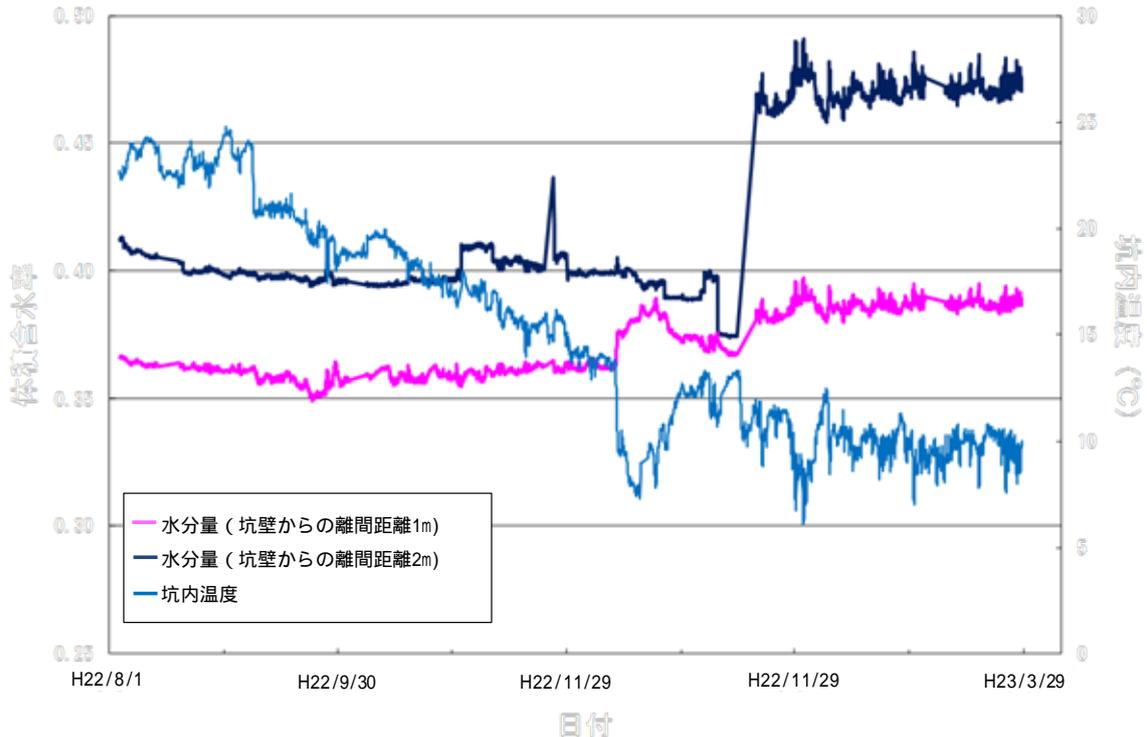


図 40 水分量・坑内温度の経時変化

気の状態にも影響されますが、夏期から冬期にかけて低下し、観測期間全体では概ね7 から25 の範囲にあります。水分量の変化と坑内温度との関連に着目すると、冬期（10 前後の坑内温度）において、気温が下がると水分量が上昇するといった負の相関が認められます。水分量の計測を制御する装置は140m東側第3ボーリング横坑にあり、当該装置から同軸ケーブルを用いてボーリング孔奥部の水分量を計測しています。したがって、冬期の取得データに見られる水分量の微小な変動は、計測システム全体の温度特性に起因する可能性が考えられます。

今後もこれらのモニタリングを継続し、計測機器の長期的な性能や特性を確認するとともに、坑道掘削後の坑道周辺の水理特性の変化に関するデータの取得を継続します。

また、坑道周辺の岩盤特性を把握する上で重要な指標の一つとなる岩盤の変位の計測として、長期耐久性を目的として開発した光ファイバー式地中変位計のモニタリング技術としての適用性を確認しています。

平成21年度に東立坑の深度160mに位置する立坑周囲の変位を計測する目的で、開発した光ファイバー式地中変位計を設置しました。この時、図 41に示すように、既に技術が確立されている電気式の地中変位計と同じ位置の変位を計測するように設置しています。

両者の計測結果を図 42に示します。これまでのところ、区間No.1において4mm程度の縮む側の変位があること、区間No.3は伸びる方向の変位があることなどがどちらの計測でも捉えられています。このように、光ファイバー式と電気式とでは変位量・挙動ともに両者の対応が良く、光ファイバー式は電気式と比べノイズが少なく安定した計測ができることがわかりました。今後、データの蓄積を継続し、坑道の長期的な変形挙動を把握するとともに、本計測技術の信頼性を高めていく予定です。



図 41 地中変位計の設置状況（設置当時）

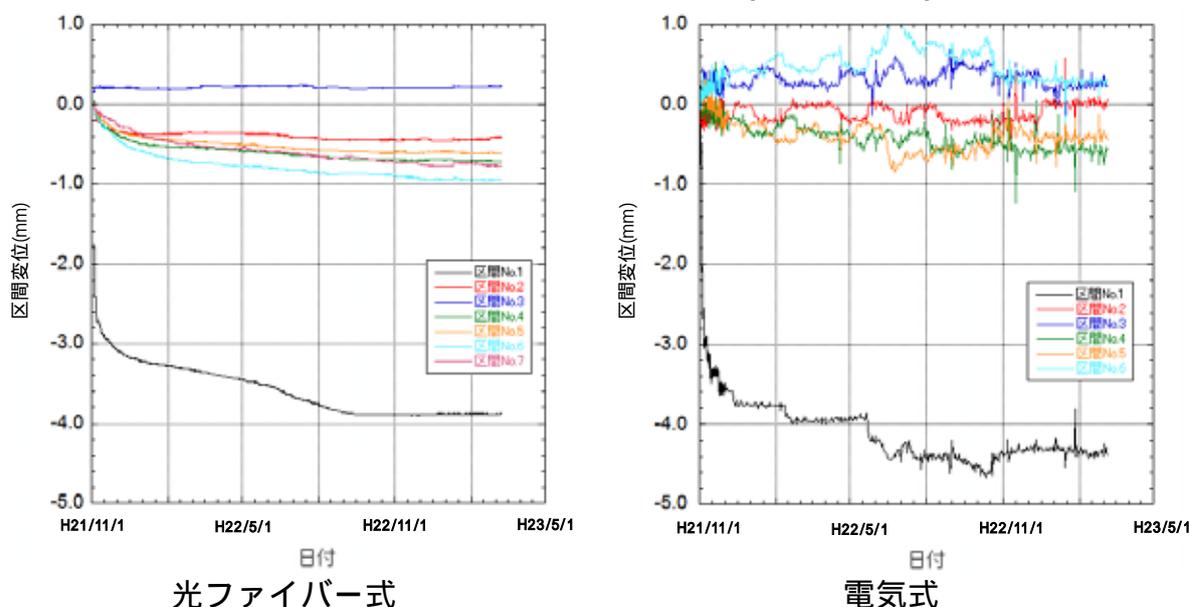


図 42 地中変位計の計測結果

また、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（08-E140-C01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、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おり、平成22年度は平成21年度に引き続き、設置した装置の適用性確認および改良を行いました。

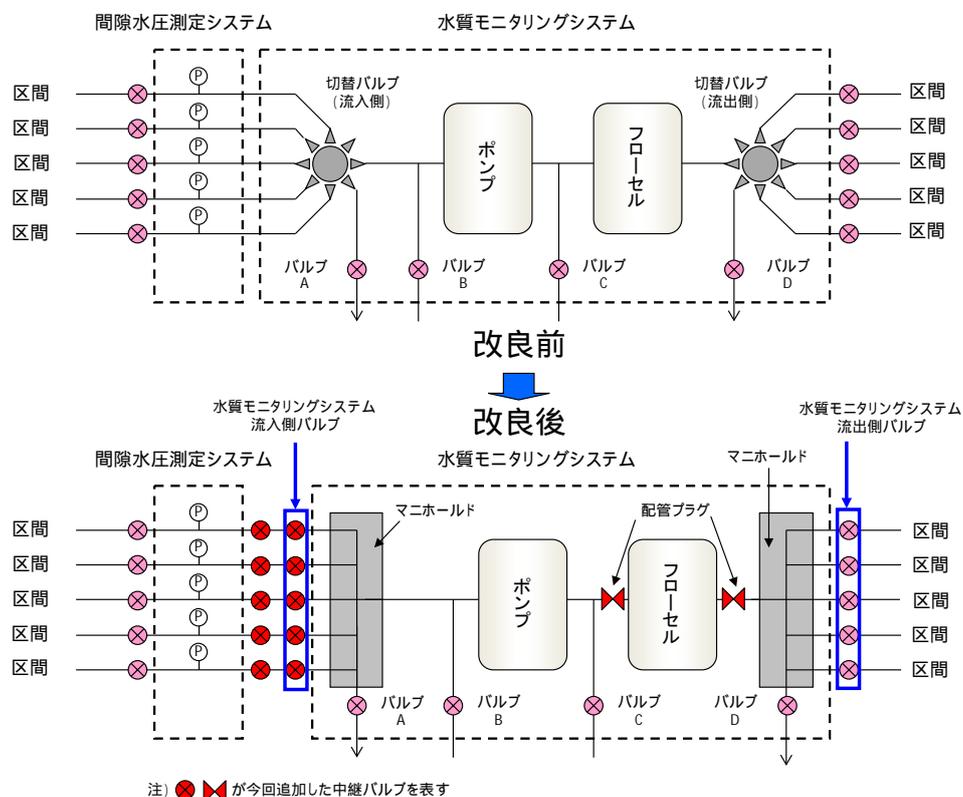
平成21年度の試験結果より、溶存ガスの多い環境下に対応した間隙水

圧・水質モニタリング技術の改良などが課題として挙げられたことから、モニタリング装置に付随する観測区間切替バルブ、配管プラグ、注水口・採水口などについて改良を実施しました。図 43にモニタリング装置改良の概要を示します。

以上の改良により、溶存ガスの遊離による計測値の異常は確認されず、正常な間隙水圧のモニタリングが可能となりました（図 44）。また、各モニタリング区間の間隙水圧観測結果から、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。加えて、水質モニタリングの結果からは、pHおよび酸化還元電位の測定値は平成21年度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、化学的擾乱が小さいことが示されました。

一方で、モニタリング装置内の水質センサーに地下の高水圧を瞬時にかけると、水質センサーが異常値を示すことが確認されたことから、その改良などが今後の課題として挙げられました。

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。



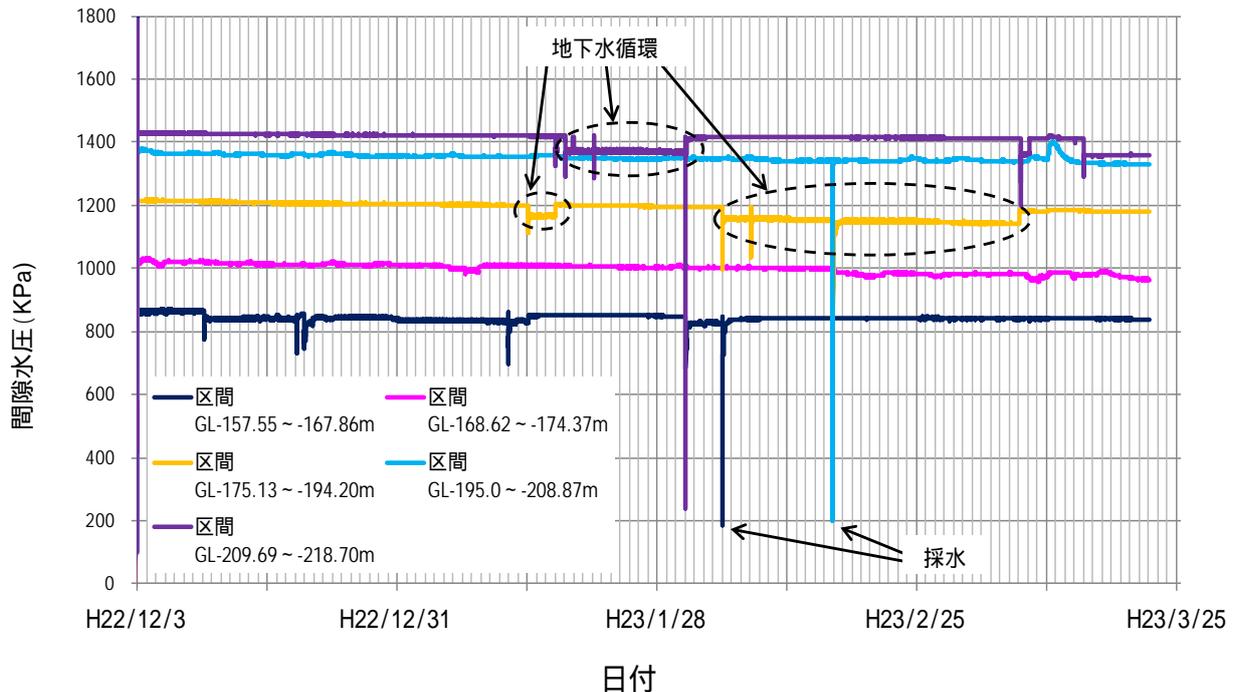


図 44 装置改良後の間隙水圧の変化

3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

平成22年度は、東立坑および250m調査坑道の掘削を進めながら、地中変位計やコンクリート応力計などの計測器を設置してデータを取得するとともに、得られたデータに基づき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いました。

東立坑では、深度220mを対象として、ショートステップ工法^{*19}による立坑掘削に伴って生じる覆工コンクリート内の円周方向応力分布を数値解析と現場計測により分析しました。

数値解析では、図 45に示すように施工手順を再現した立坑の三次元逐次掘削解析を実施しました。なお、実施工における鋼製支保工については、ステップ1、2の各段階で設置されますが、その段階では、壁面が平滑ではなく、鋼製支保工が全面的には岩盤と密着していないため、解析上は、ステップ3の段階で設置しています。

*19：1サイクルの掘進長を1.0m～2.5m程度とし、掘削・ズリ出し・支保工・覆工を1サイクル毎に行う立坑掘削の工法のことを言います。

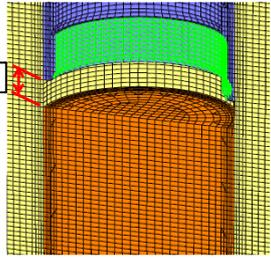
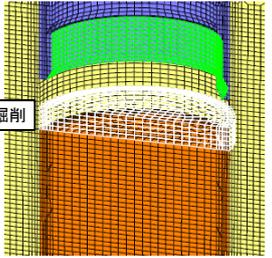
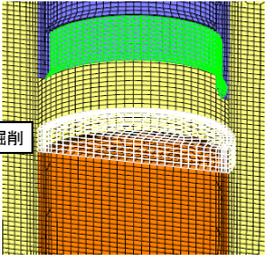
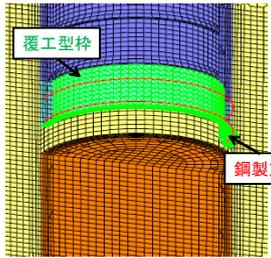
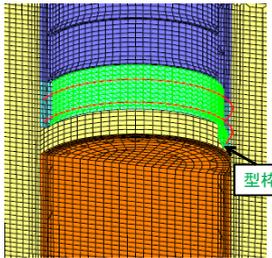
ステップ0 [経過時間0.00日]	ステップ1 [経過時間0.75日]	ステップ2 [経過時間1.50日]
 <p>掘削前</p>	 <p>1.0m掘削</p> <p>1m盤下げ</p>	 <p>1.0m掘削</p> <p>1m盤下げ</p>
 <p>掘削前</p> <p>覆工型枠</p> <p>鋼製支保工</p> <p>型枠移動→型枠設置 鋼製支保工設置→覆工打設</p>	 <p>養生→覆工下面の型枠脱型</p> <p>型枠脱型</p> <p>ステップ0に戻る</p>	

図 45 三次元逐次掘削解析のステップ

東立坑を深度257m（対象深度である深度220mから掘削径の5倍相当の離れ）まで掘削した際の覆工コンクリート内の円周方向応力の分布の解析結果を図 46に示します。分析対象としたのは、東立坑の深度218m～220mにおける厚さ60cm、高さ2mのシェル形状の覆工コンクリートです。分析結果から円周方向応力の最大値は初期地圧の最小主応力方向（南北方向）の内空側下端部で、また、最小値は初期地圧の最大主応力方向（東西方向）の内空側上端部でそれぞれ発生しており、覆工コンクリート内の応

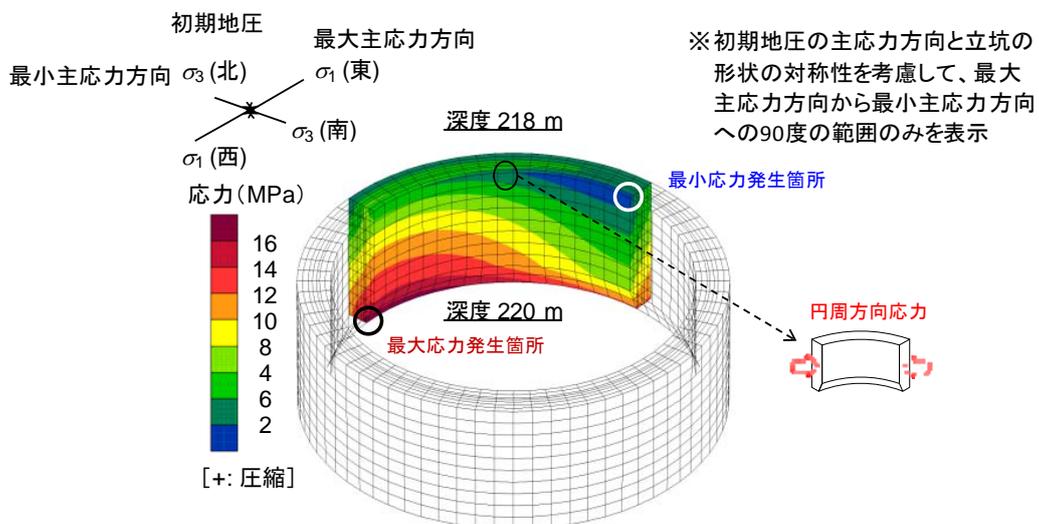


図 46 覆工コンクリートの円周方向の応力分布⁽¹⁵⁾

力差は10MPa以上となることになりました⁽¹⁵⁾。

一方、現場計測では、覆工コンクリート中心部の同一水平面内に応力計を配置する一般的な計測手法に対して、立坑軸方向および半径方向の応力分布を計測するために、図 47に示すように初期地圧の最大・最小主応力方向の縦断面内に各5個の応力計を配置しました。

対象断面とした覆工コンクリートにおける、切羽の進行に対する円周方向応力の変化について、解析結果と計測結果を図 48に示します。

解析結果では、円周方向応力は切羽に近い下段の方が大きく、上段ほど小さくなります。これは、応力計が設置された時点の掘削解放率の差によるものと考えられます。また、切羽と応力計設置深度との距離が東側断面では8m程度（掘削径とほぼ同等）、南側断面では4.5m程度（掘削径の半分程度）になると、初期地圧の異方性に伴う曲げモーメントの影響が顕著に生じ始め、同一深度の内側と外側の応力値に差が発生していることが分かります。

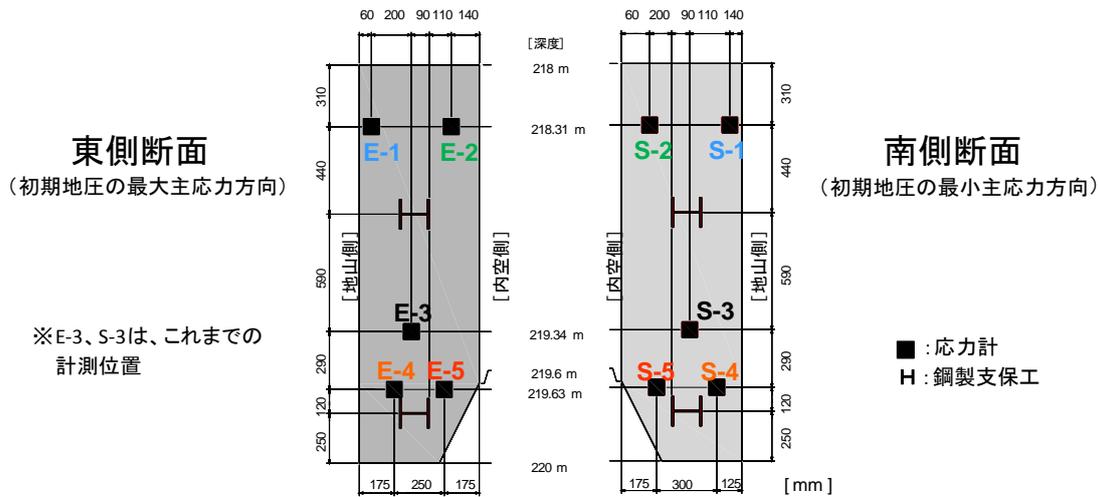


図 47 応力計の配置

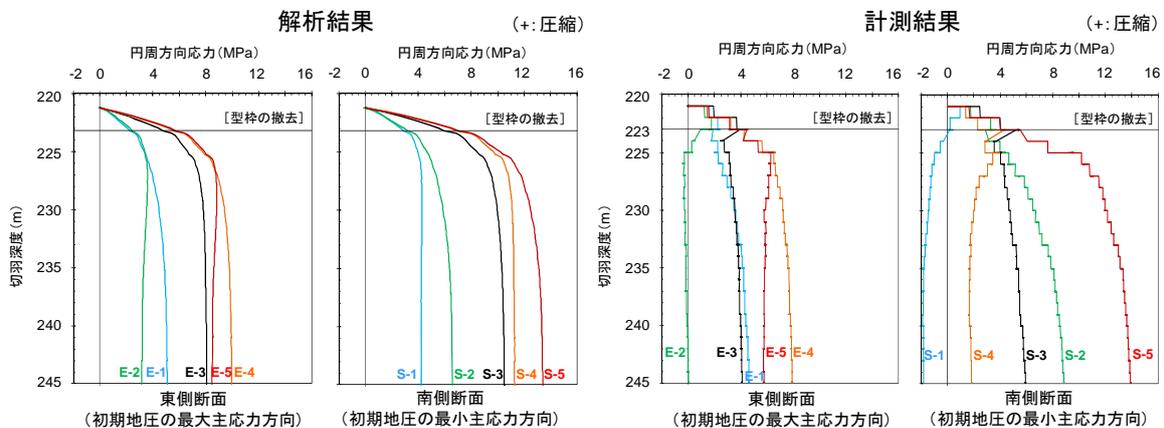


図 48 覆工コンクリートの円周方向応力の解析結果と計測結果⁽¹⁵⁾

一方、計測結果では、型枠を切羽深度223mにて撤去した後、深度224m以深の掘削再開までにいくつかの応力値の低下が発生しています。この応力の低下は、掘削に起因するものではないことから、型枠の撤去によるコンクリート表面温度の低下ならびに、乾燥による収縮が発生し、コンクリート内の円周方向応力が低下した可能性が考えられます。また、図 49に示すように、円周方向応力の最大値が東側断面では下部地山側（E-4）に、南側断面では下部内空側（S-5）に発生し、最小値が東側断面では上部内空側（E-2）に、南側断面では上部地山側（S-1）に発生することが分かりましたが、この応力分布は数値解析結果による応力分布と同様の傾向でした。

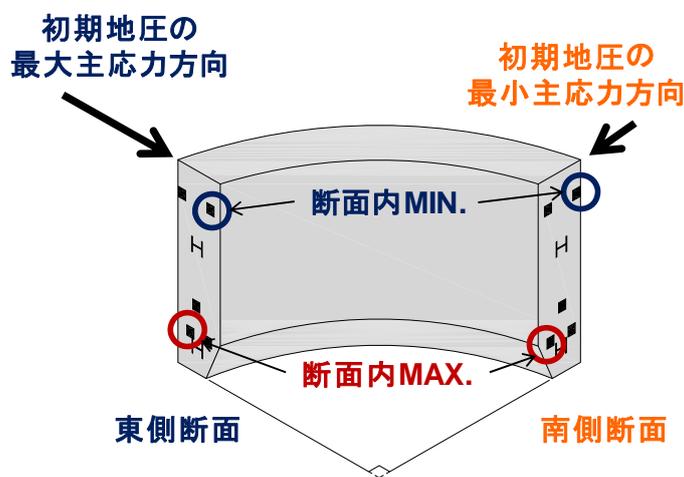


図 49 断面内の最大・最小円周方向応力発生箇所

これらの結果を踏まえ、覆工コンクリートの円周方向応力の計測箇所については、これまでの覆工コンクリート中心部に最大応力発生箇所（初期地圧の最小主応力方向の内空側下部）を加えるなど、既存の計測計画を実際の岩盤や支保の挙動に合わせて見直していくこととしました。

今後も引き続き、日常管理計測・ステップ管理計測で取得したデータを分析・評価して、坑道設計と計測計画の妥当性を確認していきます。

坑道掘削に伴い発生する湧水抑制対策のための技術開発として、シリカ^{*20}を用いたグラウト^{*21}材料について、溶液型（活性シリカコロイド系）

*20：二酸化ケイ素とも呼ばれます。石英の主成分であり、地殻に最も豊富に含まれる物質のひとつです。そのため、周辺環境への影響が小さいと考えられています。

*21：岩盤に孔をあけ、セメントなどの固化材を注入することにより、岩盤の割れ目を充填して湧水を抑制する技術のことです。

および超微粒子球状シリカに着目して検討を継続しています。平成22年度は、浸透試験を行い、グラウトを注入する亀裂の開口幅に対する浸透性を比較しました。また、粒度、粘性、濃度などが浸透特性に与える影響と浸透モデル開発における各種パラメータの設定について検討するため、粒度試験や粘性試験などの基礎物性試験を実施しました。粘性試験の結果から、溶液型および超微粒子球状シリカのどちらも良好な線形性を持つビンガム流体^{*22}ないしニュートン流体^{*23}としてモデル化できることを確認しました。

3.4 地質環境の長期安定性に関する研究

3.4.1 地質環境の長期的変遷に関する研究

幌延地域を事例として、断層運動や海水準変動などの天然現象の履歴に関する調査手法と、地下水流動などに関する調査・解析手法とを組み合わせ、天然現象に伴う地質環境の長期的変遷を予測する手法の検討を行います。

(1) 地形・地質構造と古環境の変遷

平成21年度までに、既存情報の収集・整理、地形・地質調査および花粉分析と放射性炭素年代測定などを行い、過去13万年間の幌延地域における地質構造の変遷や気候変動について、いつの時代にどのような気候条件であったのか、また、どのような地質現象が生じていたのかを整理した編年表を作成しました⁽¹⁶⁾。

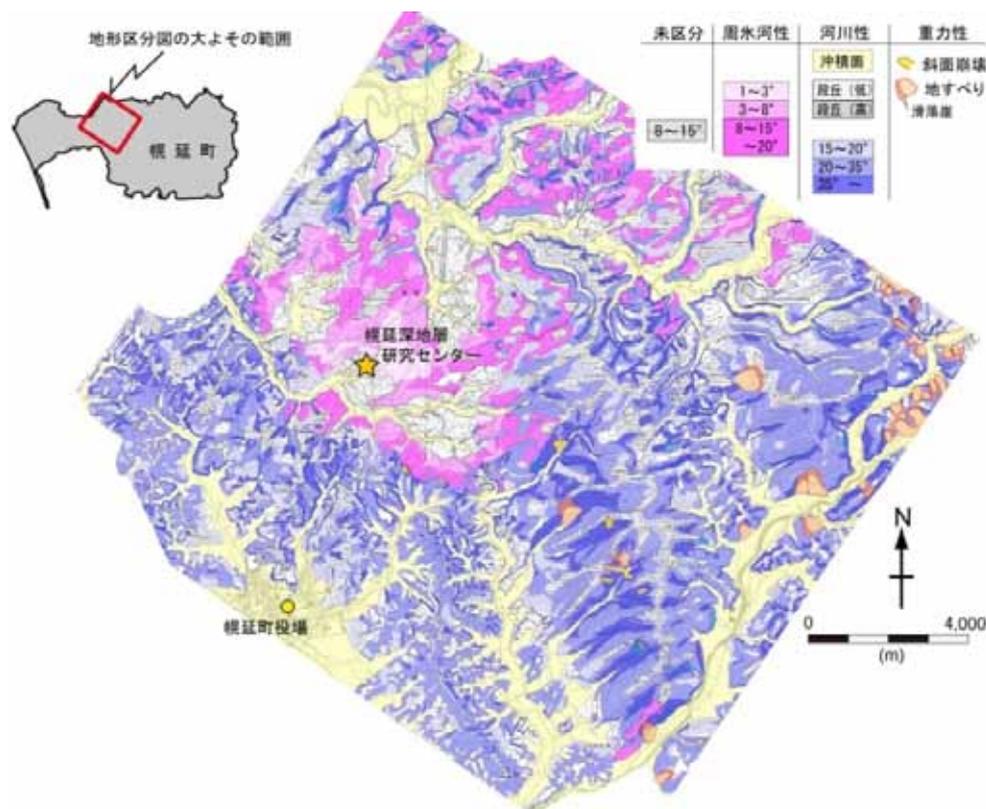
平成22年度は、幌延地域の地形発達史を推定するために、地形解析と地形・地質調査を行い幌延町の北進地区周辺に分布する地形を区分し、その形成環境を推定しました。また、これまでに取得したデータに基づいて、幌延地域の地下水の流れや水質に変化を及ぼしてきたと考えられる過去約260万年間にわたる隆起・沈降などの地殻変動と気候・海水準変動に関する情報を整理した編年表を作成しました。

地形の種類は様々ですが、地形の形状を解析し、その地形を構成してい

*22：歯磨きのペーストなど、ある程度の力を加えないと流動しない流体のことです。

*23：水や油など、作用する力によって粘性が変わらない流体のことです。

る地層や岩盤の特徴を把握することにより、地形の形成環境を推定することができます。そこで、数値標高モデル^{*24}を使用した地形解析と空中写真を用いた地形判読により地形を区分するとともに、区分したそれぞれの地形について地形・地質調査を行い、地形の形成作用を推定しました。その結果、幌延町の北進地区に分布する地形は、河川による侵食・堆積作用で形成された地形（河川性）、氷期の著しい寒冷な気候条件のもと、地表面の凍結と融解により形成された地形（周氷河性）および地すべりや斜面崩壊により形成された地形（重力性）に区分できると分かってきました（図 50）。これら地形の分布をみると、河川性の地形は北進地区周辺に広く分布しますが、周氷河性の地形は幌延深地層研究センターの周辺に多く、また重力性の地形は東部に多いことが分かります。各地区では分布している地層が異なることから、地形分布と地層分布の関連を示すものと考えられます。さらに、地形・地質調査と放射性炭素年



国土地理院発行の2万5千分の1地形図「幌延」、「本流」、「安牛」を使用。
 図 50 幌延町北進地区とその周辺における地形区分図
 平成22年度までの成果に基づいて作成

*24：規則正しく設定した格子で地表面を区切り、その格子の中心もしくは交点の標高を数値化して作成した標高のメッシュデータであり、いわば数値化された地形図です。

代測定の結果から、河川性の地形のうち沖積層は約6,000年前以降、周氷河性の地形のうち北進地区に分布するものは約15,000～13,000年前、重力性の地形は主に13,000年前～6,000年前頃に形成されたと考えられます。すなわち、北進地区周辺に分布する地形の形成作用は、時代ごとに異なる気候条件を反映していたと考えられます。

今後は、地形の分布とその形成時期のデータに基づいて、幌延地域の地形発達史を推定していく予定です。

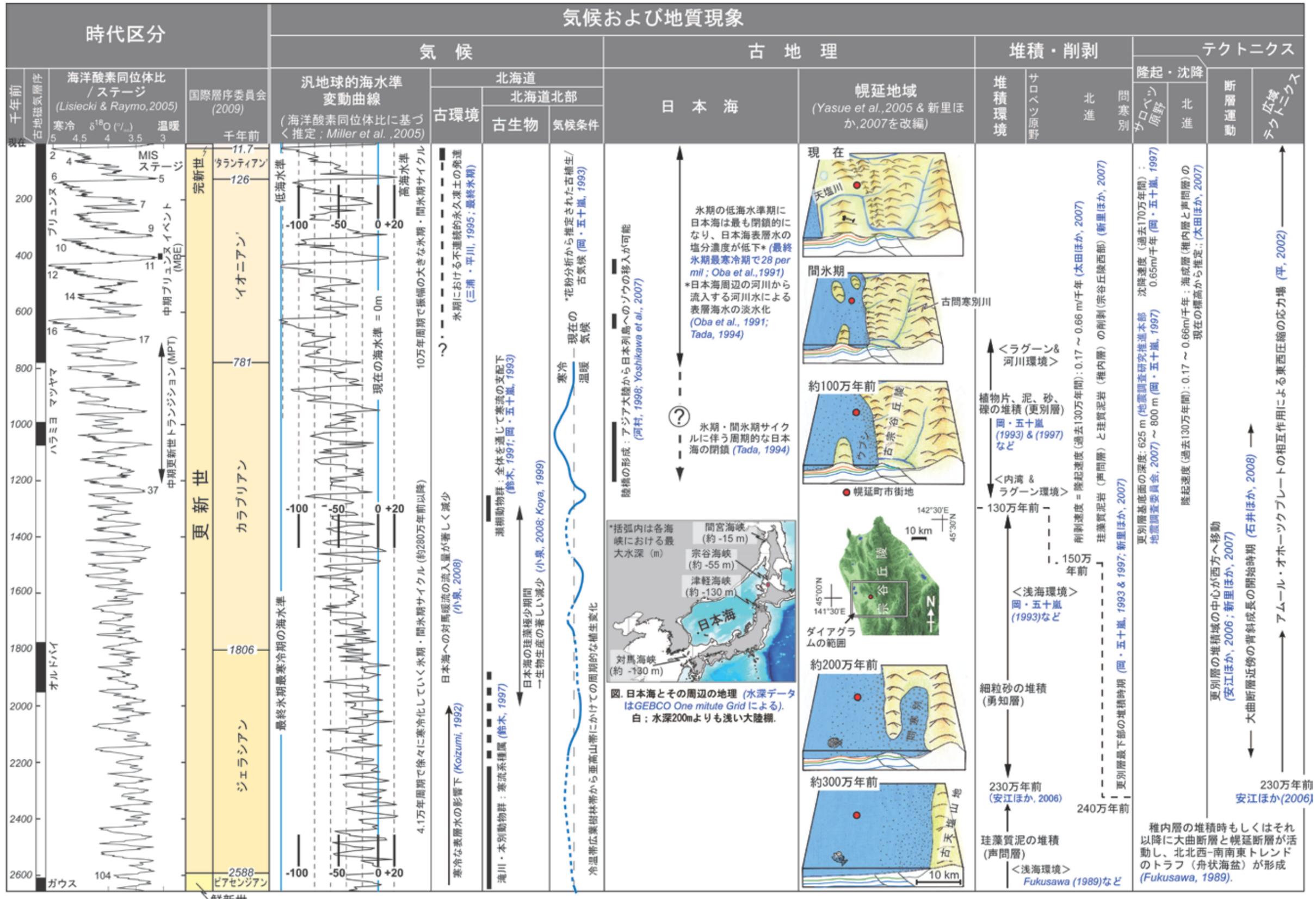
表 1は、平成22年度までの調査研究の成果に基づいて、幌延地域とその周辺における隆起・沈降などの地殻変動と気候・海水準変動に関する情報を整理した編年表です。この編年表は、地層処分の観点から、地下の地質環境に影響をもたらすと考えられる自然現象を整理した国際リスト⁽¹⁷⁾を参照して作成しました。編年表では、左端の列が時代区分を示しており、表の下から上に向かって時代が新しくなります。対象とした期間は、幌延地域を含む北海道北部地域において、現在に引き続く地殻変動が開始したと推定されている時期（約200～300万年前以降⁽¹⁸⁾）を参考にして設定した約260万年前以降です。表 1の左側から右側に向かって、過去から現在までに生じた自然現象を気候・海水準変動、古地理（海陸分布）、堆積・削剥作用、隆起・沈降や断層運動などのテクトニクス（地殻変動）に区分して、それぞれの特徴を記載しています。

過去260万年間のうち、約120万年前までは約4万年周期の気候変動、約70万年前以降は約10万年周期の気候変動が生じており、その間は約4万年周期から約10万年周期の気候変動へと徐々に変化してきたことが知られています。その気候変動とともに、ほぼ同様の周期をもつ海水準変動が生じており、幌延地域ではそれら気候・海水準変動と地殻変動の影響のもと、東から西に向かって徐々に陸地が広がってきたことが分かります（表 1：編年表の“古地理”参照）。また、大規模に海水準が低下した過去の寒冷な時期には、日本列島が大陸や朝鮮半島と陸続きとなって日本海が著しく閉鎖的になり、いわば大きな湖のようになった時期のあることが分かります。日本海が閉鎖的になると、日本海周辺の河川から流れ込む淡水により日本海の海水の塩分濃度が低下します。一方、幌延地域の地下水は、地層中に取り込まれた過去の海水、降水、および地層の埋

没に伴う鉱物の脱水反応により形成された水が混合して形成されたと考えられています⁽¹⁹⁾。このため、地下水の水質の変遷を明らかにするためには、温暖な時期である現在の状況とともに、寒冷な時期である氷期の状況（海水の塩分濃度、涵養量、永久凍土、地形変化、海岸線の位置、山の高さなど）を考慮する必要があります。

今後は、幌延町の沿岸域で実施されている共同研究で得られる成果（3.1.3(3)参照）を活用しつつ、地下水の流れや地下水の水質に変化をもたらす可能性のある自然現象とその自然現象による影響の度を整理する予定です。また、平成22年度に開発した三次元での地下水流動の解析手法（3.4.1(2)参照）を用いて、沿岸域・堆積岩分布地域である幌延地域における地質環境の長期変遷を推定していく予定です。さらに、これらの研究を通じて得られた技術的知見を整理することにより、日本の沿岸域に広く適用可能な地質環境の長期変遷に関する調査・解析手法を整備する予定です。

表 1 幌延地域における過去約260万年間の気候および地質現象の編年表⁽²⁰⁾



(2) 地質環境の長期的変化モデル

平成21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流動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た地下水流動解析を行うための手法(SMS ; Sequential Modeling System)を整備してきました⁽²¹⁾。この手法では、隆起・沈降や侵食・堆積などによる地形・地質構造の形状や岩盤の透水性などの時間変化とともに、気候変動に伴う降水量の変動や永久凍土層の発達などによる涵養量の時間変化および海水準の時間変化を連続的に取り込みつつ、二次元での地下水流動解析を実施することができます。SMSでは、まず地形・地質構造の形状などを時間変化させる前の状態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(解析ステップ)で変化させつつ、海水準や涵養量などの境界条件を連続的に変化させて、二次元での地下水流動解析を行います。

ただし、この解析手法は、地形・地質構造の奥行き方向への変形を考慮できず、実際に生じる三次元的な地形・地質構造の変形を考慮した地下水流動解析ができないといった課題が残されていました。

そこで平成22年度は、これまでに開発してきたSMSのプログラム群を改良し、三次元の地形・地質構造の変形を考慮可能な三次元SMS (SMS3D ; Sequential Modeling System for 3D)を開発しました(図 51)。本手法では、二次元の地形・地質断面を奥行き方向に複数連ねることにより、地形・地質構造モデルを三次元化しています。主な改良点は、SMSで取り扱う地質構造モデルのデータ構造を三次元化し、SMSのプログラム群をそれに対応させたことのほかに、断層をある厚みを持つ平板として定義し、断層面の三次元的な広がりを考慮できるようにしたこと、および地下水流動の解析結果を三次元図化ソフトへ出力するためのプログラムを作成し、SMSのプログラム群に付加したことなどが挙げられます。

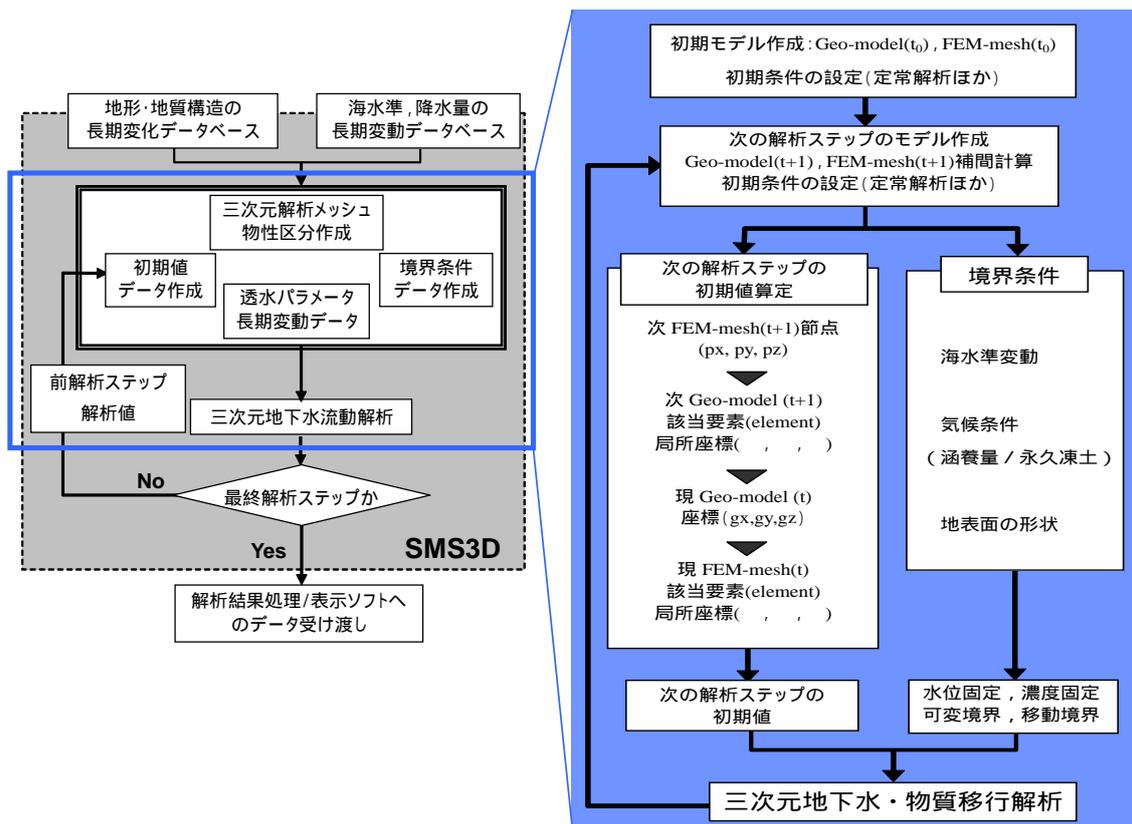


図 51 SMS3D における地下水流動解析の手順
(左) 解析の大まかな流れ、(右) 左図における青枠内の詳細

また、開発したSMS3Dにより、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、三次元の解析が可能であることを確認するための試解析を実施しました。この解析では、幌延地域の地形・地質構造を参考にして、断層やしゅう曲などを取り入れた現実には存在しない簡略的な三次元地質構造モデルを構築し、SMS3Dを適用しました。モデルには、奥行き方向で異なる隆起量を設定し、境界条件として海水準変動(海進・海退)と涵養量の変動を設定しました。

地形変化の設定と地形変化の例を図 52に、全水頭分布と塩分濃度分布の解析結果の例を図 53に示します。全水頭分布からは、隆起量を大きく設定した領域の水頭が高く(図中の赤い部分)隆起量を小さく設定した領域の水頭が低い(図中の青い部分)結果となりました。また、奥行き方向の地下水流動が生じていることから、三次元的な地下水流動が解析可能であることを確認しました。また、塩分濃度分布については、海水準変動に伴う海岸線位置の変化により、塩分濃度の低下する領域、すなわち天水の浸透する領域が変化する結果となりました。このため、海水準変動による塩分濃度分布の変化が、SMS3Dを用いた解析により表現でき

ることを確認しました。以上の結果から、平成22年度の改良によって、三次元の地形・地質構造の変化が表現でき、それを考慮した三次元地下水流動解析が可能となったことを確認できました。

今後は、これまでの調査結果に基づいて実際の幌延地域における地形・地質構造を考慮したモデルを構築し、本手法による三次元解析を行う予定です。さらに、幌延町の沿岸域で進められている共同研究の成果（3.1.3(3)参照）も活用しつつ、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化を予測する本手法について、適用性の確認を進めていく予定です。

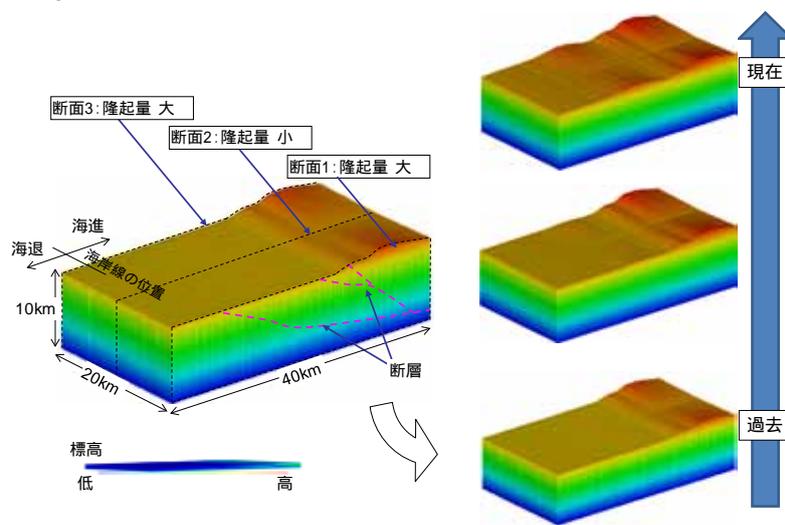


図 52 地形変化の初期設定(左)とSMS3Dによる地形変化の出力例(右)

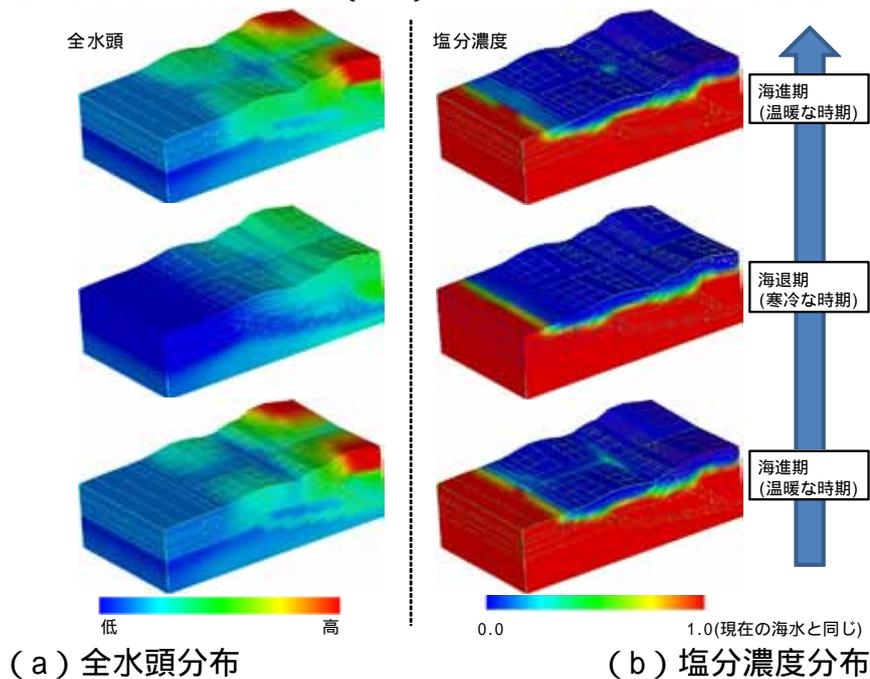


図 53 地下水流動解析の結果(例)

3.4.2 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22年度は、幌延町内に設置している4箇所の地震観測点ならびに2箇所のGPS観測点（図 3参照）での連続観測を継続するとともに、取得した観測データを用いて、地震の震源と断層やしゅう曲などの地質構造との関連性について検討を行いました。また、地震時の地下水の流れの変化について、平成23年3月11日に発生した、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に伴う地下水の間隙水圧の変化の有無を確認しました。

(1) 地震分布と地質構造の関連性

地震の震源については、平成15年9月1日から平成19年9月30日までの観測データを対象とし、マルチプレット・クラスタリング解析⁽²²⁾というより正確な震源の位置を解析できる手法を適用し、幌延地域周辺で発生した地震の震源位置を推定しました。この解析には、原子力機構が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^{*25}も利用しました。図 54は、震源分布の解析結果と幌延地域における三次元の地質構造を示しています。

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、それら震源は、サロベツ原野と幌延町東部の深部に集中しています⁽²³⁾。

今後は、地震観測点やGPS観測点での連続観測を継続するとともに、断層運動に伴う地質環境の変化について検討を進めていくため、幌延地域における断層運動の特徴を踏まえた数値解析、断層周辺の地質調査および岩石サンプルの分析を実施する予定です。

*25：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。

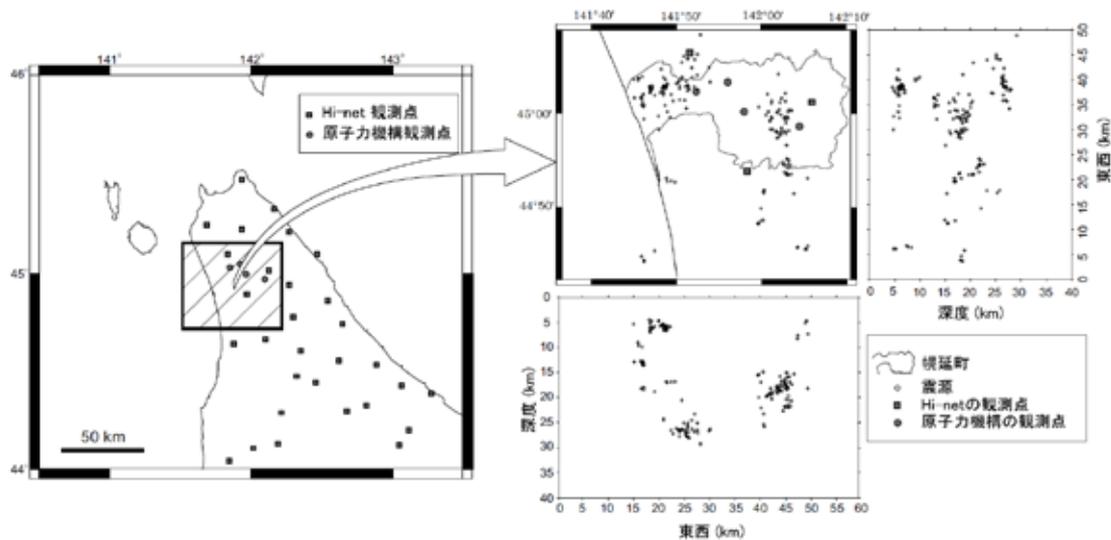


図 54 北海道北部地域で発生した地震の震源分布と地質構造

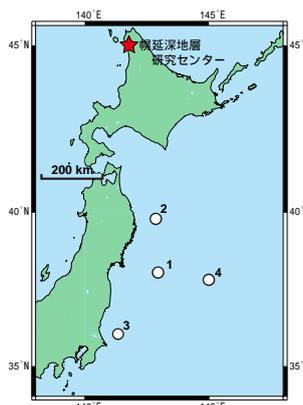
(2) 地震時の地下水の流れの変化

地質環境に対する地震の影響としては、地震動およびそれに伴う地下水の流れや水質の変化が考えられます。

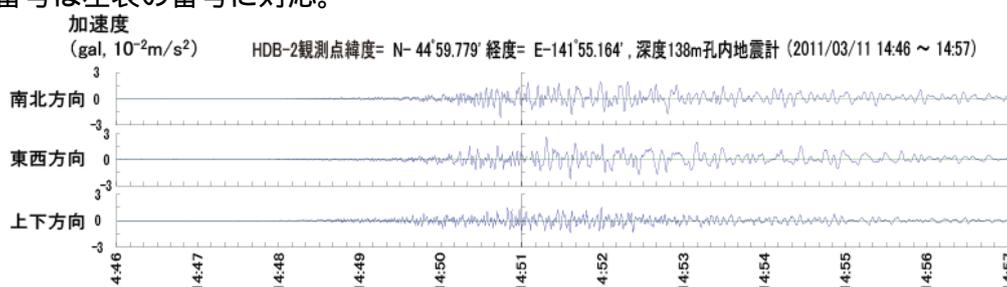
これまでに幌延深地層研究センターでは、平成15年(2003年)十勝沖地震(マグニチュード8.0)に伴う地下水の間隙水圧の変化の有無について検討し、1kPa程度の変動ではあるものの、地下水の間隙水圧は地震発生4日前に上昇、2日前から地震発生まで減少、地震直後には再度上昇するという変化がHDB-1孔(図 3参照)で認められています⁽²⁴⁾。ただし、地震発生時以外でも同様の地下水の間隙水圧の変化が観測されていることから、潮汐などによる日周期変動や降雨量との比較検討が必要と考えられました⁽²⁴⁾。

平成22年度は、平成23年3月11日に発生した、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(図 55)に伴う地下水の間隙水圧の変化の有無について、地上からのボーリング孔および地下施設の140m調査坑道のボーリング孔における地下水の間隙水圧のモニタリング結果を確認しました。

		発震時刻	マグニチュード
本震	1	2011年3月11日 14時46分	M9.0
	2	15時08分	M7.4
余震	3	15時15分	M7.7
	4	15時25分	M7.5



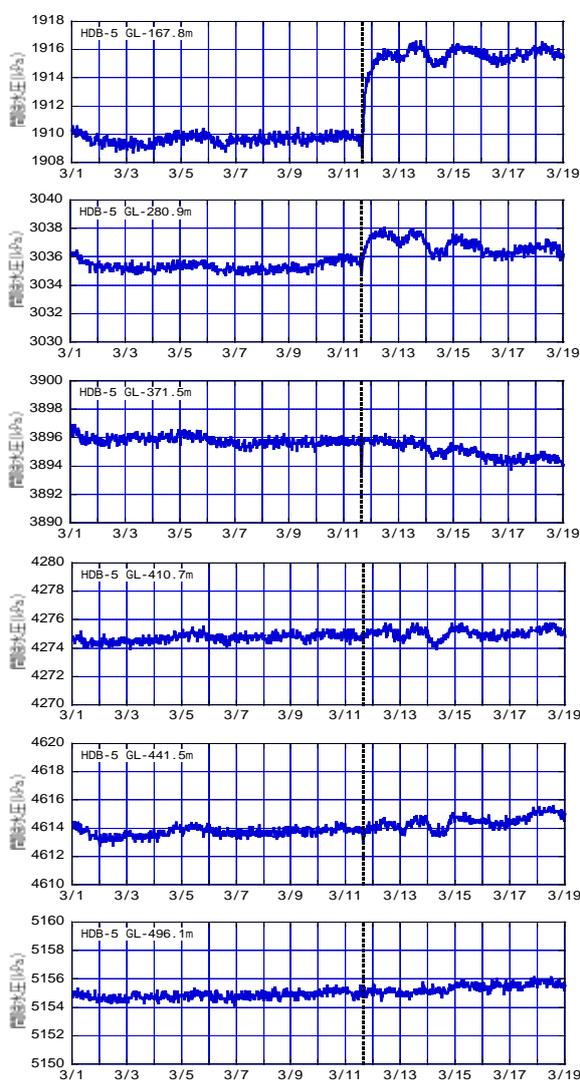
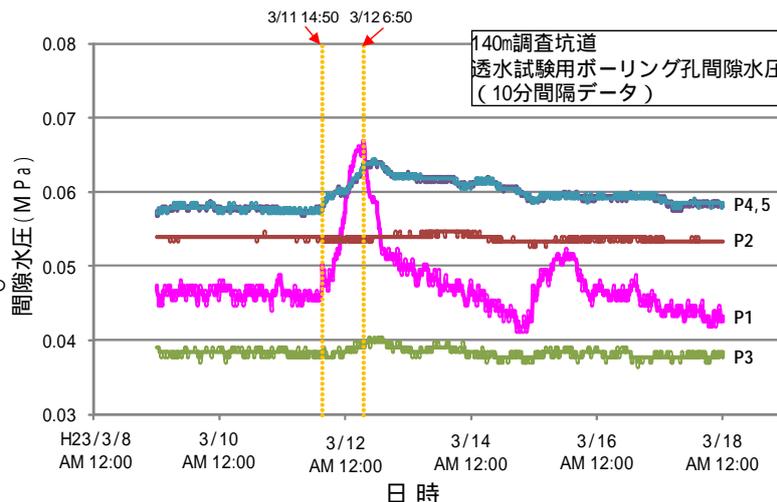
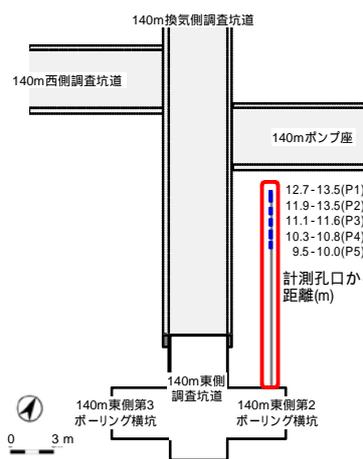
(a) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の本震および余震⁽²⁵⁾
 マグニチュード7.0以上の地震のみ。右上図の白丸()はM7.0以上の地震の震央を示し、各震央の番号は左表の番号に対応。



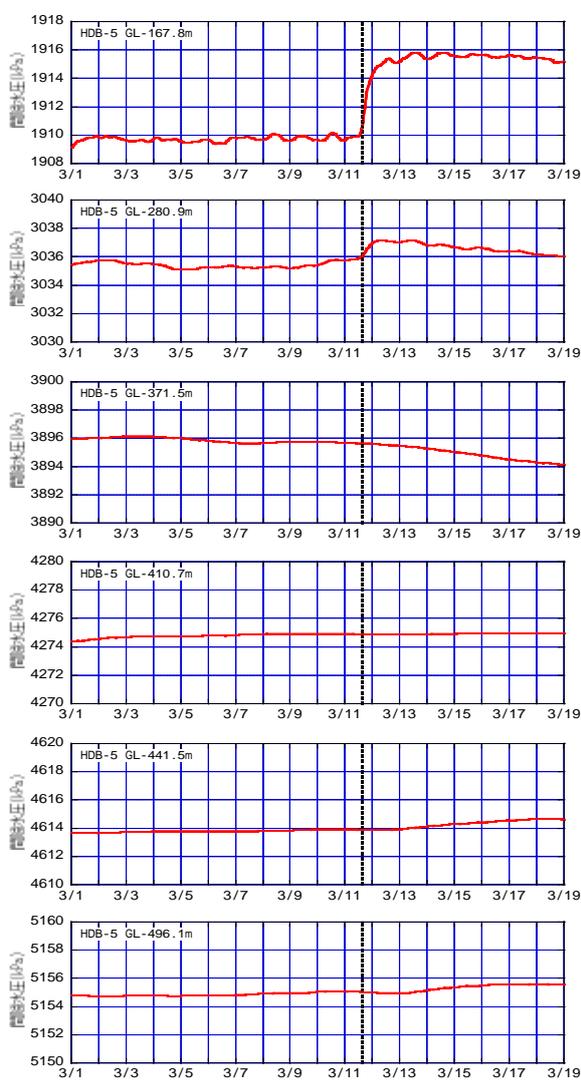
(b) 幌延深地層研究センターHDB-2観測点で観測された地震波形
 幌延で観測された加速度は、2003年十勝沖地震(M8.0)の1/3程度。

図 55 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の震央と幌延で観測された地震波形

その結果、地上からのボーリング孔では地震の発生前後において2~6kPa程度の変化、140m調査坑道のボーリング孔では数十kPa程度の変化がモニタリングデータで複数認められ、その変化はいくつかのパターンに区分できることが分かりました(図56)。すなわち、地震の発生前後の前後において一時的に間隙水圧の変動が認められ、その後、徐々にもとの傾向へ戻るタイプ(140m調査坑道P1、P3、P4、P5試験区間)、地震の発生前後から地下水の間隙水圧が変化し、その変化が継続しているタイプ(HDB-5孔の深度167.8m、280.9m、371.5m)、地震の発生前後において変化がほとんど認められないタイプ(140m調査坑道P2、HDB-5孔の深度410.7m、441.5m、496.1m)の3タイプです。ほとんど変化が認められないタイプをより詳しく見ると、大気圧や地球の潮汐の影響による変動が地震の発生前時刻以降において、より明瞭になる傾向があります(HDB-5孔の深度410.7m、441.5m、496.1m)。



(a) オリジナルデータ



(b) 気圧・潮汐変動影響除去データ
 潮汐解析プログラムBAYTAP-G⁽²⁶⁾を用いて解析

図 56 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の発生前後における地下水の間隙水圧のモニタリングデータ

(上; 地下施設の140m調査坑道、下: 地上からのボーリング孔 (HDB-5孔))

これらの地下水の間隙水圧の変化は、地震の発生時刻の前後で生じていることから、地震による影響と考えられますが、本震と余震をふくめて、地震の発生していない時刻にもほぼ同様の変動が観測されている場合もあります（図 56上；140m調査坑道のP1試験区間）。また、モニタリング地点や試験区間によって地下水の間隙水圧の変化のパターンが異なることは、地震時の地下水の応答が各地点や各試験区間における岩盤の水理特性によって異なることを示すものと考えられます。

そのため、今後は、地震に伴う地殻の歪みや地下水の間隙水圧のモニタリングを実施している岩盤の透水性に関するデータ、地下施設の建設による地下水への影響などを整理し、地震時の地下水の間隙水圧の変化と岩盤の水理特性の関連性について検討を進めていく予定です。

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22年度は、低アルカリ性コンクリート材料に関する原位置試験や緩衝材の定置試験設備の設計・製作などを実施しました。また、第3段階で実施するガス移行挙動試験や人工バリア性能試験の詳細な計画について検討を行いました。

(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材料を使用した場合、セメントと接触した部分の間隙水がpH12程度の高アルカリ性となります。地層処分の観点からは、この高アルカリ性の間隙水が地下水を通じて、緩衝材や周辺岩盤を変質させ、人工バリアや天然バリアとしての性能に影響を与える可能性があります。そこで、この影響を緩和するため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、低アルカリ性セメント：HFSC^{*26}）の開発を平成13年度から継続しています。平成21年度には、140m調査坑道においてHFSCを

*26：Highly Fly-ash contained Silicafume Cement の略で通常のセメント（普通ポルトランドセメント）にシリカフューム、フライアッシュを加えて、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。

用いた吹付けコンクリートを実際に施工し、支保工としての適用性を確認しました^{(16)、(27)}。

平成22年度は、コンクリートの搬送距離や坑道周辺の地圧の違いがHFSCの吹付けコンクリートに与える影響を把握するために、平成21年度と同様にHFSCを用いた吹付けコンクリートを250m調査坑道においても施工しました。地下での施工に先立ち、地下施設建設で使用しているコンクリート製造設備を用いて最終的な配合を決定しました(表2)。比較のため、通常の施工で用いられる高炉セメント(以下、BB)についても示します。表2に示した配合を用いて、地上での吹付け試験を行うとともに、吹付けたコンクリートからコアを採取して強度試験を実施し、地下施設の設計基準強度である $36\text{N}/\text{mm}^2$ (材齢28日)を満たすことを確認しました(表3)。

地上での試験結果を受け、250m調査坑道の一部でHFSCの吹付けコンクリートを施工しました(図57)。平成23年3月末の時点で、総延長約53mのうち約37mを施工しています。施工中に、地上での試験と同様に強度試験を実施して施工中においても設計基準強度を満たすことを確認しました(表3)。今後は、350m調査坑道においても同様の施工試験を実施し、法定深度以深^{*27}での施工性について確認をする計画です。

表2 HFSC吹付けコンクリートの配合

配合	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)						
			水	結合材			細骨材	粗骨材	混和剤
				OPC	SF	FA			
HFSC	35.0	60.2	175	200	100	200	945	638	5.25
BB	40.0	55.7	170	400	-	25	990	802	2.40

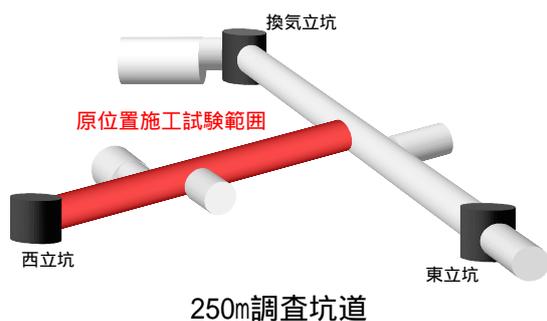
OPC: 普通ポルトランドセメント、SF: シリカフューム、FA: フライアッシュ

*27: 地層処分をする深度は、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(平成十二年六月七日法律第十七号)に、地下300m以上の深さの地層と定められています。

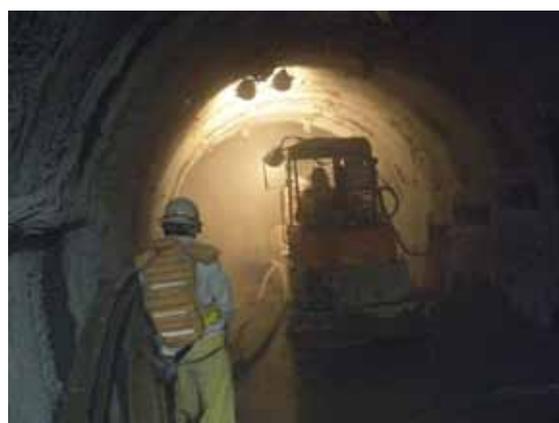
表 3 材齢 28 日での圧縮強度の比較

	地上での試験 (N/mm ²)	地下での試験 (N/mm ²)	設計基準強度 (N/mm ²)
HFSC吹付けコア	45.9	41.2	36.0
BB吹付けコア	51.1	-	

強度の値は、3回の試験の平均値



(a)原位置施工試験範囲



(b)吹付け状況

図 57 HFSCを用いた吹付けコンクリートの原位置施工試験

(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

第3段階の調査研究として、HFSCが周辺岩盤および地下水に与える影響を調査するため、平成21年度にHFSCを用いた吹付けコンクリートで施工した140m調査坑道から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。分析には、コンクリートの打設後、約120～130日に採取したコアを用いました。岩石コアの分析の結果、これまでに実施された地質調査やボーリング調査から得られたデータと整合的であり、コンクリート打設後数ヶ月では周辺岩盤の変質は生じていないことが分かりました。今後10年程度に渡って分析を継続し、周辺岩盤の変質などについてのデータを取得する計画です。

また、140m調査坑道に平成21年度に設置した採水装置（図 58）から、坑道近傍の地下水を採取し分析を行いました。表 4に分析結果の一覧を示します。比較のためHDB-6孔および140m調査坑道から掘削したボーリング孔（07-V140-M01孔）から採水した地下水の分析結果も合わせて示します。HFSCの区間-3については、十分な湧水量が得られなかったため、分析を実施していません。今回の測定結果からは、坑道近傍の地下水水質

は吹付けコンクリートからの距離にほとんど依存せず、HDB-6孔などから得られている既往の分析結果と整合的であり、地下水についても変質していないことを確認しました。今後、地下水についてもコアの分析と同様、10年程度に渡り分析を継続し、低アルカリ性コンクリート材料が坑道周辺の地下水に与える影響について調査を実施する計画です。

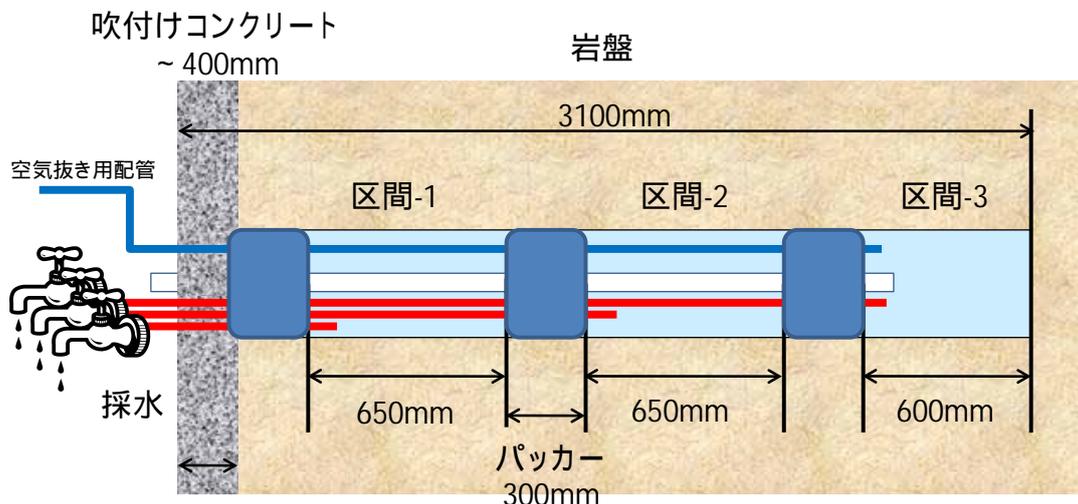


図 58 採水装置のイメージ

表 4 水質分析結果

	項目	単位	OPC			HFSC			HDB-6 深度280~312m	07-V140-M01
			区間-1	区間-2	区間-3	区間-1	区間-2	区間-3		
現地測定	pH	-	7.68	7.66	7.78	7.26	7.42	-	-	
	水温	°C	12.9	13.4	13.4	14.1	14.1	-	-	
	溶存酸素濃度	mg/l	2.4	3.9	5.7	4.6	1.6	0.95	-	
	酸化還元電位	mV	390	283	273	142	137	-200.6	-	
公定分析	pH	-	7.7	7.7	7.9	7.3	7.5	7.27	7.4	
	水温	°C	20.7	19.3	19.1	15.8	15.8	17.7	17.5	
	電気伝導率	mS/m	952	974	974	1,110	1,120	1,199	1,300	
	Na	mg/l	2,140	2,340	2,200	2,440	2,480	2,460	3,300	
	K		95.2	85.7	81.8	95.1	98.0	77	100	
	Ca		38.3	46.8	44.6	56.6	55.2	69	87	
	Si		45	56	63	56	61	26	29	
	Al		0.46	0.42	0.07	<0.08	<0.08	0.02	<0.1	
	Fe		0.41	0.85	0.41	1.2	1.6	0.03	0.05	
	NH ₄ ⁺		91.2	101	104	116	110	94	160	
	Mg		28.6	30.7	32.7	38.1	42.1	43	60	
	Cl ⁻		2,150	2,130	2,160	2,520	2,510	3,050	4,000	
SO ₄ ²⁻	79		18	3	52	32	5.9	<0.1		

湧水量不足のため採水できず

(3) 緩衝材の定置試験・人工バリア長期挙動試験

平成21年度に引き続き、原子力環境整備促進・資金管理センター^{*28}(以下、原環センター)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、走行台車上で緩衝材を移動する緩衝材搬送台車を製作しました。図 59に緩衝材定置試験設備の製作状況を示します。また、緩衝材定置試験設備を構成する真空把持装置を用いて、実物大の緩衝材(ベントナイト^{*29}ブロック)を模擬のピットに定置する、把持試験を実施しました。なお、この試験の様子は「おもしろ科学館2010inほろのべ」(平成22年9月)で一般公開しました^{(28)、(29)}(図 60)。さらに、緩衝材中の水の浸潤状態を観察できる可視化装置を用いた浸潤試験を実施し、水の注入データを取得しました。今後、これらのデータを用いて緩衝材中の水分拡散について解析する予定です。

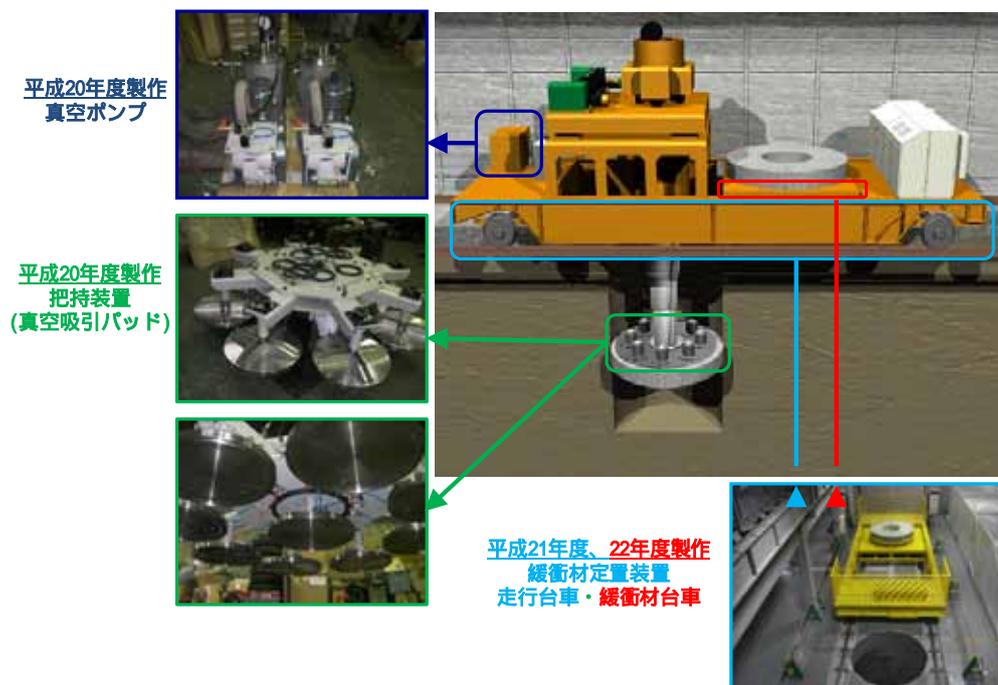


図 59 緩衝材定置試験装置製作状況

*28：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。

*29：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。



図 60 把持試験の様子

4.1.2 設計手法の適用性確認

地下施設で実施予定の原位置試験のうち、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）やオーバーパック材料（炭素鋼などの金属材料）を用いる予定です。しかし、それらの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、人工バリアの構成材料の特性や挙動に関して、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、メカニズムの理解や、その理解に基づいた汎用モデル（より一般化されたモデル）の開発などを継続しました。また、それらを複合させた人工バリアとその周辺岩盤の長期挙動について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検討しています。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22度は、オーバーパック材料の腐食特性や、オーバーパック材料の腐食に伴って発生する水素ガスの岩石中の透気特性などについての室内試験を継続するとともに、人工バリアなどの設計手法の更新および高

度化、さらには第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応力腐食割れ試験（力を掛けながらの腐食試験）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、炭素鋼の応力腐食割れは、極めて高いアルカリ濃度（ $[\text{OH}^-]$ 濃度が2M以上）が達成された場合に発生する可能性があることがわかりました。

人工バリアや地下施設の設計手法については、第1段階にて構築した処分坑縦置き方式を対象とした設計手法の高度化を図るため、各設計項目や設計要件の詳細化、手順の合理化に関する検討を行いました。また、現時点で利用可能な評価ツール（解析コードやモデル）、解析や設計上必要となる入力データ（岩盤、緩衝材およびオーバーパックに係る各種特性データ）について、各設計項目との関連性を踏まえて整理しました。さらに、第1段階で検討していなかった処分坑横置き方式を対象とした設計手法の概略フローに関する検討を行いました。

そのほか、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うとともに、ガスの移行特性として、地層中の透気特性に関するデータを拡充するため、PB-V01孔のコア試料を用いたガス移行試験を継続しました。

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22年度は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業として、平成19年度より実施している処分システムの化学影響評価に関する研究として、既存のボーリング孔から採取したコアや地下水を用いて、岩石や緩衝材中での物質の拡散特性や収着特性のほか、物質移行に及ぼす有機物などの影響に関する室内試験を継続しました。

拡散特性や収着特性については、高収着性の元素を含めて、多様な元素と環境条件に対して信頼性の高い収着・拡散パラメータを取得するためにプロトタイプとして開発した拡張型の透過拡散法とトレーサー減衰

法を、HDB-6孔から採取した稚内層の岩石に適用しました。収着性の高い元素のうち、ニッケルについては、単純拡散を仮定したモデルとの不整合が認められました。これは、収着・拡散特性が化学形態や拡散経路に依存するためと考えられますが、詳細については引き続き検討する予定です。一方、アメリカシウムについては、モデルとの整合性が良好な結果となりました。

収着・拡散特性に及ぼす有機物の影響については、有機錯体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。また、地下水中の天然有機物質として、250m調査坑道およびHDB-10孔から採取した地下水から腐植物質^{*30}（フルボ酸、フミン酸）を分離・精製し、フルボ酸、フミン酸の深度ごとの構成比率、構造特性を調べました。その結果、深度によってフルボ酸、フミン酸の構成比率は変化するものの、元素組成などの構造特性に大きな相違はないことがわかりました。次に、地下水から分離・精製した腐植物質とユーロピウムの錯体形成試験を実施しました。その結果、アルカリ条件下において有機錯体の形成によるユーロピウムの溶解度の変化は認められませんでした。これは溶存炭酸との錯体形成などの影響に起因するものと考えられます。また、腐植物質を共存させた条件で、稚内層の岩石に対するユーロピウムおよびトリウムの拡散試験を行った結果、腐植物質は幌延の地下水条件下において拡散に影響しないこと、および腐植物質の岩盤への拡散がほとんど起こらないことがわかりました。

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^{*31}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。

*30：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。

*31：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。

これまでの地質調査および水理地質調査の結果から、声問層では割れ目が比較的短く、あまり連結していないこと、そのため地下水の通りやすさを示す透水係数が $10^{-10} \sim 10^{-7} \text{m/s}$ と比較的低いことがわかってきました。一方、その下位に分布する稚内層では割れ目が比較的長く、特に浅部（深度400m程度より浅い箇所）では引張り割れ目が発達しやすく割れ目が連結し、それが透水性を高くする（透水係数は $10^{-10} \sim 10^{-5} \text{m/s}$ ）要因となっていることがわかってきました。稚内層の深部（深度400m程度より深い箇所）では、割れ目があっても引張り割れ目が発達しにくいいため割れ目の連結性は低く、透水性は低くなる傾向（透水係数は $10^{-12} \sim 10^{-7} \text{m/s}$ ）があると考えられます⁽³⁰⁾。また、地下水の地球化学についての調査結果からは、深度400m程度より深い稚内層では、それより上位の稚内層および声問層に比べて、地表からの降水による地下水の希釈の割合が小さく、少なくとも約150万年以上の滞留時間を持った地下水が分布していることがわかってきました⁽¹⁹⁾。さらに、地質環境の長期安定性に関する研究からは、研究所設置地区周辺において隆起・侵食速度が過去1,000年で約0.17～0.66mであることがわかってきています⁽²⁴⁾。

以上のような地質環境調査および地質環境の長期安定性に関する研究の結果に基づいて、将来の地質環境の変遷を想定しました。対象として、稚内層の深部に位置し、透水性が低く、降水による地下水の地球化学特性への影響も限られている深度450mを選定しました。将来の地質環境の変遷を想定するに当たって、人工バリアおよび天然バリアに割り当てられると考えられる安全機能^{*32}とそれが発揮される期間を、主な天然現象が生じる期間とともに、図 61のように基本的な時間フレームとして整理しました。

*32：IAEA（国際原子力機関）の用語集「IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2007 Edition」によると、安全機能は安全のために果たすべき特殊な目標とされています。地層処分については、IAEAの安全基準文書「Disposal of Radioactive Waste Draft Specific Safety Requirements No. SSR-5 DS354」において、地層処分システムにおいては多重の安全機能を満たすことが要求され、複数の物理的バリアによって閉じ込めと隔離をすることとされています。

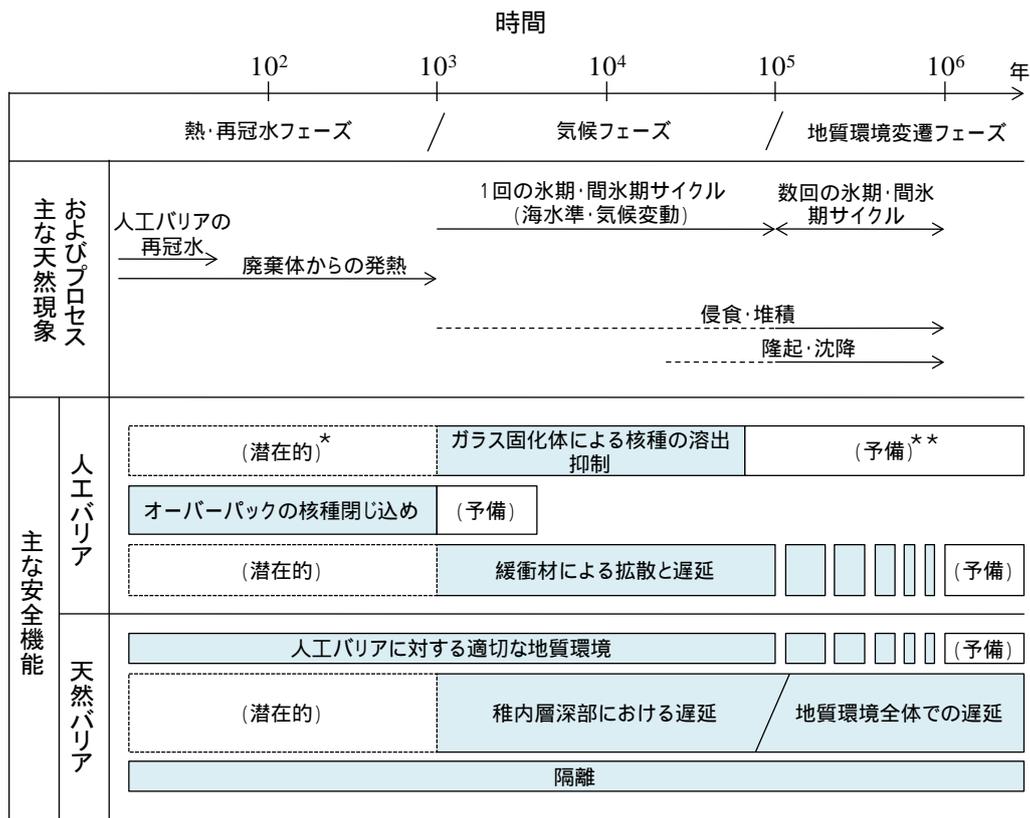


図 61 主な天然現象、プロセスおよび安全機能の時間フレーム

*潜在的：オーバーパックは1,000年の間、核種を完全に閉じ込めるよう設計されます。この間、ガラス固化体の溶出抑制機能や緩衝材の遅延機能などは期待されていませんが、万一、オーバーパックが破損した場合には、ガラス固化体や緩衝材のそれらの機能が働くよう設計されます。そのため、通常期待されていない期間については、潜在的な安全機能としています。

**予備：第2次取りまとめ⁽³¹⁾では、保守的にガラス固化体は7万年で完全に溶解すると仮定していますが、現実的な環境ではより長い期間存在すると想定されています。このような機能が現実的に想定される期間については、予備の安全機能としています。

熱・再冠水フェーズは、坑道の掘削・埋め戻しや廃棄体からの発熱の影響により、人工バリアおよび周辺岩盤で過渡的に熱・水・応力・化学連成現象が生じると考えられる期間で、これまでの研究から1,000年程度で安定的な環境になると想定されます。気候フェーズは、隆起・侵食速度や地下水の地球化学特性から、深度450mにおいて現在の地質環境がほぼ安定的に継続すると想定される10万年程度までの期間としました。将来10万年程度の期間においては1回の氷期・間氷期サイクルとそれによる侵食・堆積が生じると考えられますが、その深部への影響は限定的と考えられます。地質環境変遷フェーズは、隆起・侵食速度の観点から現在の地質環境が安定的に継続するとは考えにくい期間で、隆起・侵食による地質環境への影響が大きくなると想定されます。隆起・侵食などの天然現象が地質環境に与える影響については、想定しうる天然現象を列挙し、天然現象 (Events) が地質環境特性 (Features) に与える影響、お

よび現象間、特性間の相互作用をプロセス（Processes）として、FEPマトリクスと呼ばれる表形式で整理しました⁽³²⁾。

天然バリアとして地質環境に期待される安全機能は、熱・再冠水フェーズでは、人工バリアに対して適切な地質環境条件を提供することであり、気候フェーズあるいは地質環境変遷フェーズにおいては遅延機能が挙げられます。前者に対しては、第3段階での原位置試験を通じて、安全機能を確認する方法論の構築を進めることとなります。後者に対しては、主に稚内層を対象として、地下水が割れ目を通してを流れると仮定した三次元割れ目ネットワークモデルの構築、それに基づく地下水流動解析および簡易的な物質移行解析を、平成21年度に引き続き実施しました。平成22年度の解析では、研究所設置地区周辺の比較的大きな規模の割れ目を決定論的に設定するとともに、割れ目のサイズについてボーリング調査で得られた断層岩の厚さとの相関性を考慮したモデルとしました（図 62）。

表層部を対象とした水理地質構造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21年度に引き続き行いました。

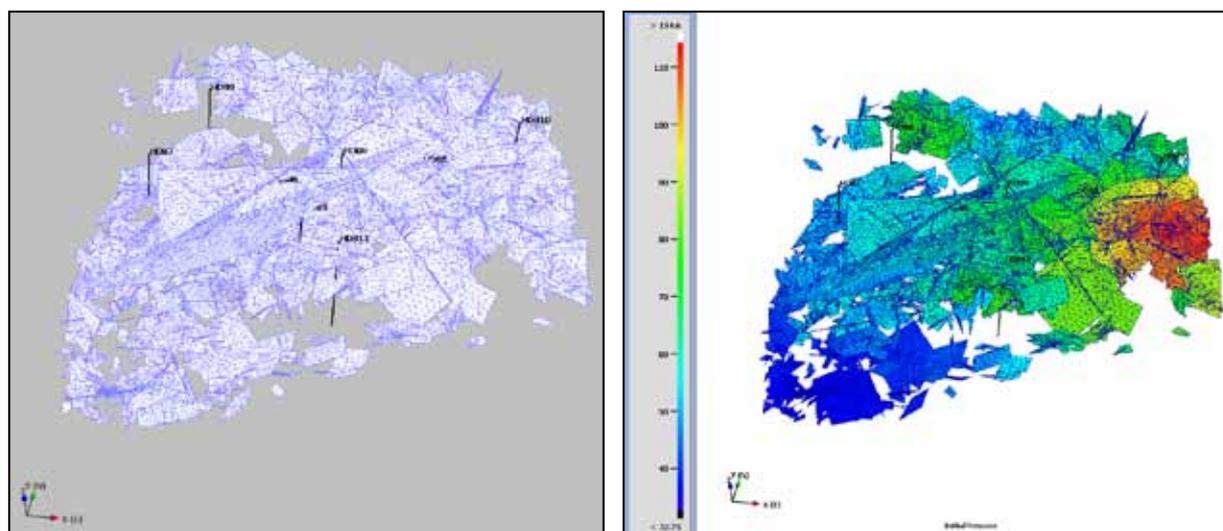


図 62 三次元割れ目ネットワークモデル（左）と地下水流動解析により得られた全水頭分布（右）

5. 地下施設の建設

平成22年度は、平成17年度に開始した地下施設工事を継続しました。地下施設工事については東立坑の深度約250mまでの掘削に引き続き、深度250mにおける調査坑道を掘削し、東立坑から換気立坑に通じる坑道が6月に貫通しました（図 63）。さらに、西立坑掘削の準備工事として、立坑周辺表層部分の止水壁工事を行いました。また、平成22年度は業務の合理化・効率化の観点から民間活力の導入を図ることとし、深度350m超までの立坑掘削と350m調査坑道の施設整備、さらに掘削が済んだ坑道の維持管理および研究支援を含めた、PFI契約を締結しました。これに基づき、平成23年2月より250m調査坑道の掘削を再開するとともに、換気立坑では、深度250m以深を対象とした湧水抑制のためグラウト工事を開始し、西立坑では坑口の上部工の整備を開始しました。立坑および調査坑道の掘削では、可燃性ガスの存在を考慮し、切羽での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。

また、立坑掘削に伴い発生する掘削土(ズリ)は、掘削土(ズリ)置場(図 64)に保管しています。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としています。平成22年度は、立坑掘削の進捗などによる増量に備え、掘削土(ズリ)置場の拡張工事を実施しました。



平成22年6月23日撮影

図 63 250m調査坑道貫通の状況



平成22年10月19日撮影

図 64 掘削土(ズリ)置場の盛土および拡張整備状況

立坑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や公的機関による詳細な分析(公定分析)を定期的実施し、適切な管理を行いながら掘削を進めています。表 5に掘削土(ズリ)に係るモニタリングの公定分析の結果を示します。分析結果から、ホウ素、ヒ素およびセレンは自然由来(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^{*33}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。平成22年度は、排水管路の天塩川放流口付近に予備放流槽を設置しました。単系統の排水管路などの維持点検作業や排水管路などに何らかの支障が発生した際、状況によっては放流を停止することになります。そのため、排水管路が使えない場合の対応措置として、処理済排水の放流時に必要である圧送機能を有する予備放流槽を放流口の手前に設置し、地下施設敷地内の既設の排水処理設備で処理した排水をこの予備放流槽にタンクローリーを使用して輸送・投入することによって、排水の円滑な放流に万全を期することを目的としています。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。

*33:「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 5 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	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	5.3~6.1	0.1	1	30
ヒ素		0.009~0.039	0.019	0.01	0.3
フッ素		<0.08~0.10	<0.08	0.8	24
セレン		0.024~0.027	0.004	0.01	0.3
カドミウム		<0.001	<0.001	0.01	0.3
鉛		0.001~0.002	0.008	0.01	0.3
シアン		不検出 (<0.1)	不検出 (<0.1)	不検出	1
六価クロム		<0.005	<0.005	0.05	1.5
水銀		<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	不検出

掘削土(ズリ)モニタリングは平成22年4月から平成23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 65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)の移植先での生育状況の調査を平成22年度も継続して実施しました。

調査の実施時期、調査方法を表 6に示します。これらの調査のうち、水質、魚類およびハイドジョウツナギを含む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。モニタリング調査項目と結果を表 7 にまとめて示します。

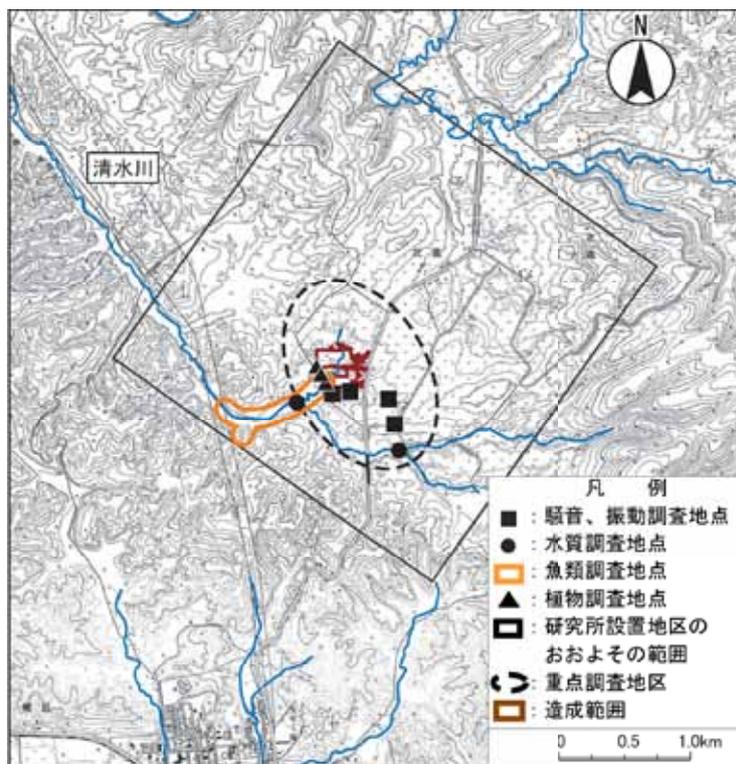


図 65 環境モニタリング調査位置

表 6 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	H22 6/1,2	H22 9/1,2	H22 11/18, 19	H23 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」に示す方法 「振動規制法施行規則」に準拠する日本工業規格Z8735「振動レベル測定方法」に示す方法
振動					
水質 (清水川)	H22 6/1	H22 9/1	H22 11/1	H23 2/1	「水質汚濁に係る環境基準について」に準拠する「生活環境の保全に関する環境基準(河川)」に示す方法
魚類		H22 9/2	H22 10/5	-	目視観察・採捕調査
ハイドジョウツナギ	H22 6/2		-	-	目視観察
植物群落		H22 9/1	H22 10/4	-	コドラート調査 ^{*34}

*34：1m×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 7 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32～51デシベル、夜間は29～41デシベルで基準値以下でした。(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	昼間および夜間とも30デシベル未満で基準値以下でした。(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	清水川上流および下流の水質は、各調査時で数値の変動が確認されましたが、工事着手前からの数値と比較した結果、本河川特有の季節的な変動であり、工事の影響ではないと判断されました。
魚類	春季、夏季および秋季調査で5科5種を確認しました。 重要種はスナヤツメ、ヤマメ、エゾトミヨ、ハナカジカの4種を確認しました。従来確認されていたエゾウグイが平成22年度は確認されませんでした。
ハイドジョウツナギ	移植地においては植被率が夏季には過年度と同程度であることが判断されました。一方、平成21年度まではクサヨシなどの周辺植物が移植地内で群落を拡大させつつありましたが、平成22年度はヨシに置き換わり、また、これまで見られなかったスゲ類群落やガマ群落が出現し、徐々に変遷している様子が窺われました。
植物	植物群落は、過年度とほぼ同様な種構成が確認されていますが、クマイザサの減少、ヨシやオオバセンキュウの増加など、各植物の被度が変化してきていることが確認されました。

騒音・振動および清水川の水質については、平成22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、5科5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 8に示します。確認された重要種は、スナヤツメ、ヤマメ、エゾトミヨ、ハナカジカの計4種でした。

ハイドジョウツナギは、移植地における植被率が春季は過去最低となり、低温の影響と考えられましたが、夏季には過年度と同程度となりました。また、優占種が置き替わるなど徐々に変遷している様子が窺われました。

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。優占種が変化していることが認められました。

表 8 確認された重要種（魚類）

目	科	種	選定根拠						
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}	
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

- ：「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
- ：「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
- ：「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 類 NT：準絶滅危惧
- ：「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 類 NT：準絶滅危惧
- ：「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
- ：「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
- ：「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
- ：「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： 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（平成22年度は確認されず）

6.2 地下施設の建設に伴うモニタリング調査

地下施設の建設に伴うモニタリング調査として実施している水質調査については、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水の排水や環境への影響を把握するための水質調査を平成21年度に引き続き実施しています。水質調査の実施対象と主な分析項目を表 9に示します。また、地下施設排水の処理系統図を図 66に、センター全体の排水系統図を図 67に、天塩川の水質モニタリング調査位置を図 68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。分析は全て公定分析であり、分析結果の詳細については、ホームページ^{*35}で公開しています。また、ホームペー

*35：原子力機構幌延深地層研究センターホームページ：http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/

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ならびに毎週の処理済排水の現地分析結果についても平成22年12月から公開しており、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 9 水質調査の実施対象と主要な分析項目

水質調査実施対象		調査頻度	主要な分析項目*
地下施設の建設に伴う排水	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、浮遊物質量、塩化物イオンほか
	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、全アモニア、pH、浮遊物質量ほか
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、生物化学的酸素要求量、浮遊物質量、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、浮遊物質量、塩化物イオンほか
	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)		

*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等により「主要な分析項目」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る。

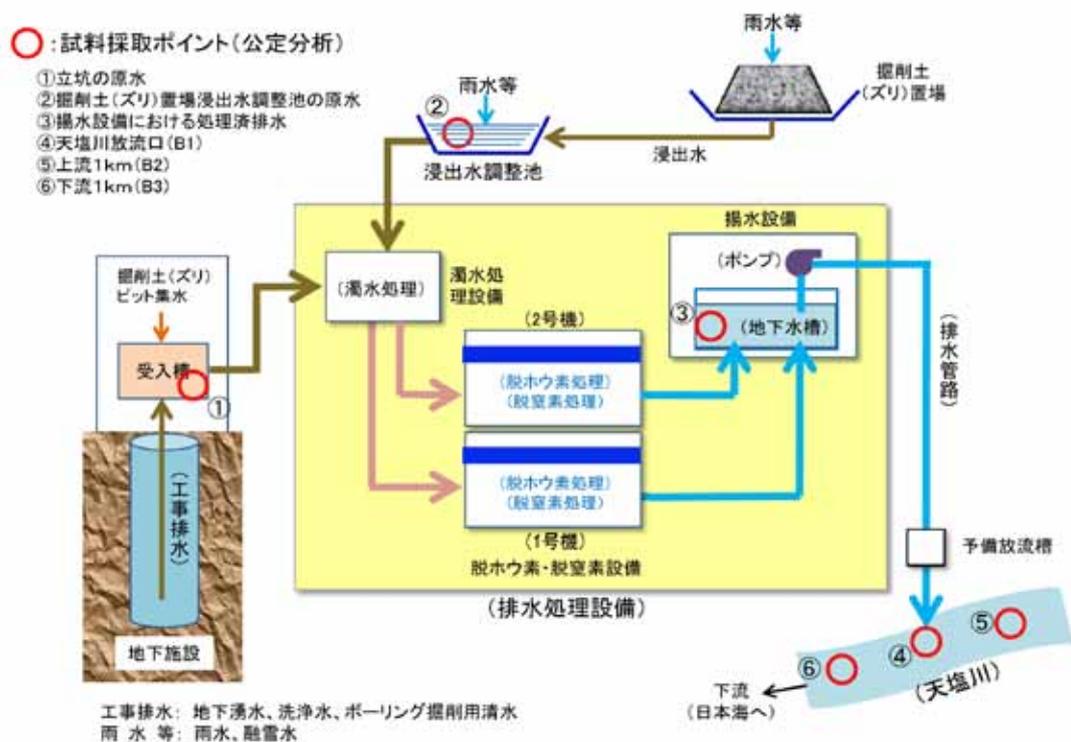


図 66 地下施設排水処理系統図

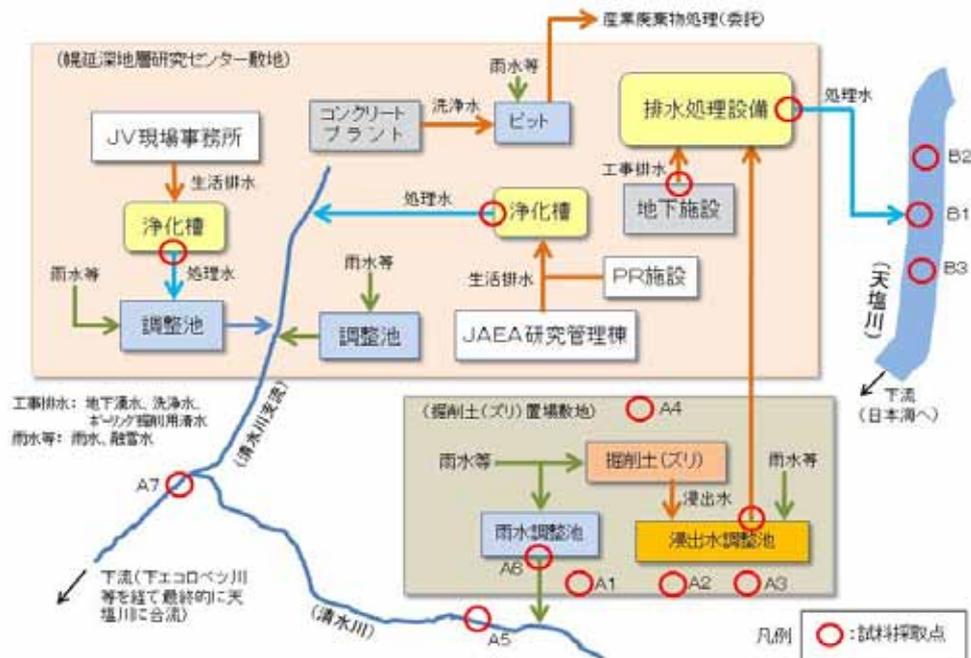


図 67 幌延深地層研究センター排水系統図



採水は、各地点において、表層、中層および深層の3層で行った。

図 68 天塩川の水質モニタリング調査位置

平成22年度における処理済排水の天塩川への排水量を表 10に示します。4月は融雪水により、7月および8月は豪雨により排水量が増加しています。

地下施設からの排水の水質調査結果を表 11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 12に示します。4月から6月および8月の浮遊物質量が協定値を超えていますが、排水処理設備からの排水は協定値を超えていないことや、放流口の上流においても同様の値であることから、4月から6月は融雪期における増水、8月は7月末の豪雨の影響による

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 13 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全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 14に示します。掘削土（ズリ）搬入前と比較すると8月のA3地点のカドミウムを除いて変動範囲内にあり、環境への影響はないものと考えられます。なお、8月のA3地点のカドミウムについては、これまでの調査では中性付近を示していたA3地点の地下水が、測定実施時期に若干酸性条件となり、カドミウムが溶解易い条件となったため、濃度が上昇したものと考えられます。後日、再度サンプリングして分析した結果、地下水は既往の調査時と同様に中性付近を示し、カドミウムは定量下限値未満であることを確認しています。

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 15に示します。掘削土(ズリ)搬入前と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。

表 10 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 (m ³) *1	日平均排水量 (m ³) *2
平成 22 年 4 月	8,806	707	293.5
5 月	4,170	362	134.5
6 月	4,000	226	133.3
7 月	6,649	708	214.5
8 月	6,851	694	221.0
9 月	3,724	271	124.1
10 月	4,476	410	144.4
11 月	6,196	377	206.5
12 月	4,329	350	139.6
平成 23 年 1 月	3,381	259	109.1
2 月	3,165	245	113.0
3 月	5,365	396	173.1
平成 22 年度	合計：61,112	最大：708	日平均：167.4

*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 11 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 ~ 0.02	<0.01 ~ 0.02	<0.01	0.1
セレン		<0.01	<0.01 ~ 0.02	<0.01	0.1
フッ素		<0.8 ~ 1.2	<0.8	<0.8	8
ホウ素		45 ~ 67	1.5 ~ 10	<0.1 ~ 1.2	10
pH	-	7.8 ~ 8.2	7.0 ~ 8.1	7.5 ~ 8.1	5.8 ~ 8.6
浮遊物質量	mg/l	4 ~ 7	5 ~ 37	<1 ~ 6	200 (日間平均 150)
塩化物 イオン		2,000 ~ 2,700	88 ~ 360	1,100 ~ 2,800	-

平成22年4月から平成23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。

*1：分析項目は、表 9 に示した「主要な分析項目」のみを抜粋

*2：採水地点は図 66 参照

表 12 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22年3月 (放流後)	平成22年								平成23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	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.07	0.02	0.03	5
		中層			0.03	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	
		深層			0.03	<0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.53	0.21	0.03	
	B2	表層			0.03	<0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	
		中層			0.03	<0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	
		深層			0.03	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03	
	B3	表層			0.03	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	
		中層			0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	
		深層			0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	
全窒素 (mg/l)	B1	表層	0.37 ~ 1.50	0.11 ~ 2.3	1.3	0.73	0.46	0.43	1.1	0.32	1.0	0.65	0.62	0.96	0.59	1.2	20
		中層			1.4	0.80	0.74	0.39	1.1	0.28	0.59	0.68	0.67	0.67	0.59	1.1	
		深層			1.3	0.82	0.82	1.2	1.1	0.38	0.61	0.48	0.61	6.5	3.7	1.2	
	B2	表層			1.4	0.82	0.63	0.41	1.1	0.47	0.59	0.65	0.51	0.62	0.62	1.0	
		中層			1.5	0.73	0.56	0.38	1.1	0.29	0.51	0.65	0.55	0.67	0.62	1.1	
		深層			1.6	0.74	0.55	0.47	1.2	0.55	0.99	0.42	0.56	0.68	0.59	1.1	
	B3	表層			1.5	0.74	0.59	0.38	1.1	0.54	0.76	0.46	0.58	0.78	0.56	1.2	
		中層			1.6	0.78	0.58	0.43	1.2	0.31	0.81	0.60	0.60	0.69	0.56	1.2	
		深層			1.7	0.70	0.51	0.40	1.2	0.38	0.68	0.50	0.59	0.68	0.55	1.1	
全アンモニア (mg/l)	B1	表層	< 0.01 ~ 0.35	< 0.05 ~ 0.96	0.20	0.13	0.07	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	0.10	<0.05	0.13	2 ^{*3}
		中層			0.21	0.10	0.12	<0.05	0.10	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.05	0.06	0.14	
		深層			0.27	0.13	0.08	<0.05	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	0.36	<0.05	0.12	
	B2	表層			0.22	0.11	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.07	0.07	<0.05	0.09	
		中層			0.20	0.11	0.09	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	0.07	0.06	0.10	
		深層			0.20	0.10	0.07	<0.05	0.09	<0.05	0.06	<0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	
	B3	表層			0.27	0.11	0.07	<0.05	0.07	<0.05	0.06	<0.05	0.09	0.06	<0.05	0.12	
		中層			0.22	0.10	0.06	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	0.06	0.12	
		深層			0.14	0.08	0.06	<0.05	0.05	<0.05	0.05	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	0.12	
pH	B1	表層	7.0 ~ 7.6	6.8 ~ 7.9	6.8	7.2	7.2	7.3	7.0	7.3	7.4	7.6	7.1	7.4	7.0	6.8	5.8 ~ 8.6
		中層			6.8	7.2	7.3	7.2	7.0	7.3	7.5	7.5	7.1	7.4	7.1	6.9	
		深層			6.9	7.2	7.2	7.5	7.0	7.3	7.5	7.5	7.2	7.4	7.5	6.8	
	B2	表層			6.9	7.2	7.2	7.3	7.0	7.4	7.5	7.5	7.2	7.5	7.2	6.9	
		中層			6.9	7.3	7.2	7.3	7.0	7.4	7.5	7.4	7.2	7.4	7.0	6.9	
		深層			6.9	7.2	7.2	7.3	7.0	7.4	7.5	7.4	7.2	7.3	7.1	6.9	
	B3	表層			6.9	7.3	7.3	7.3	7.0	7.3	7.5	7.4	7.1	7.3	7.1	6.9	
		中層			6.9	7.3	7.3	7.3	7.0	7.3	7.5	7.4	7.2	7.3	7.1	6.9	
		深層			6.9	7.3	7.3	7.3	7.0	7.4	7.5	7.4	7.2	7.3	7.1	6.9	
浮遊物質量 (mg/l)	B1	表層	3 ~ 86	< 1 ~ 320	50	67	15	6	220	4	11	5	3	1	1	2	20
		中層			37	67	16	8	190	3	11	6	2	<1	<1	2	
		深層			24	78	21	4	200	6	12	5	2	3	5	5	
	B2	表層			43	71	19	6	210	3	11	5	3	1	1	2	
		中層			60	73	20	14	260	3	9	6	3	1	1	3	
		深層			76	75	22	20	250	3	11	9	3	1	1	3	
	B3	表層			28	72	17	6	220	3	11	6	3	17	<1	1	
		中層			46	71	20	13	230	3	12	6	3	<1	<1	1	
		深層			55	79	19	12	250	6	15	6	3	<1	<1	2	

*1: 分析項目は、表 9に示した「主要な分析項目」のみを抜粋

*2: 採水地点は図 68参照

*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 13 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
		平成22年4月 ～平成23年3月	平成22年4月 ～平成23年3月	
pH	-	6.0～7.2	7.1～7.3	5.8～8.6
生物化学的酸素要求量	mg/l	5.4～11	<2.0～4.6	20
浮遊物質	mg/l	0.7～6.9	<2.0～3.0	20
全窒素	mg/l	10～38	1.5～13	60
全リン	mg/l	0.5～3.7	0.9～3.3	8
透視度	cm	30	30	30
大腸菌群数	個/ml	0	0～13	3000

採水地点は図 67参照

表 14 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}	掘削土(ズリ) 搬入前	掘削土(ズリ) 搬入後 ～平成22年3月	平成22年			平成23年
				5月	8月	11月	2月
カドミウム (mg/l)	A1	<0.001 ～0.004	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A2			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A3			<0.001	0.009	<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	<0.002	<0.002
	A2			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A3			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A4			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/l)	A1	<0.1～0.4	<0.1～0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
	A2			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A3			<0.1	0.3	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	0.79	0.40	0.69	0.71
	A2			0.65	0.43	0.64	0.69
	A3			0.86	0.18	0.80	0.82
	A4			0.47	0.15	0.31	0.24
pH	A1	4.6～7.3	5.2～7.1	6.6	7.1	6.6	7.2
	A2			6.1	6.2	5.9	6.5
	A3			6.5	4.2	6.8	7.1
	A4			6.3	5.3	5.2	6.2
塩化物イオン (mg/l)	A1	9.7～2,910	9.3～2,930	440	2,800	460	2,700
	A2			510	460	350	530
	A3			940	39	1,200	1,100
	A4			12	10	12	14

*1：分析項目は、表 9に示した「主要な分析項目」のみを抜粋、*2：採水地点は図 67参照

表 15 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}	掘削土(ズリ)搬入前	掘削土(ズリ)搬入後 ~平成22年3月	平成22年									平成23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	<0.001	<0.001
	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	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	
	A7			<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	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
	A7			<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	0.2	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A6			<0.1	0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
	A7			<0.1	<0.1	0.3	<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	0.13	0.27	0.12	0.10	0.12	0.16	0.15	0.08	0.10	0.13	0.18	0.11
	A6			0.12	0.13	0.10	0.17	0.10	0.05	0.16	0.06	0.04	0.04	0.04	0.03
	A7			0.09	0.16	0.18	0.30	0.10	0.32	0.30	0.12	0.14	0.15	0.20	0.11
pH	A5	5.8 ~ 7.4	5.7 ~ 8.1	6.6	6.8	7.0	7.7	6.3	7.1	7.3	6.9	7.4	6.9	7.0	6.9
	A6			6.5	7.2	7.5	7.0	7.5	7.4	7.6	7.6	7.7	7.2	7.2	7.1
	A7			6.6	6.5	6.8	7.0	6.7	6.6	6.7	6.8	6.8	6.9	7.0	6.6
浮遊 物質 量 (mg/l)	A5	1 ~ 173	1 ~ 500	17	7	5	5	7	<1	2	1	3	1	8	1
	A6			18	2	7	4	5	1	12	3	30	70	97	36
	A7			9	5	3	20	7	49	3	4	3	2	1	4
塩化物 イオン (mg/l)	A5	5.1 ~ 30.5	5.8 ~ 269	25	17	28	10	15	31	31	15	26	18	19	19
	A6			34	15	18	22	12	6.8	12	13	36	18	16	57
	A7			26	15	20	30	15	100	18	16	18	24	27	24

*1: 分析項目は、表 9に示した「主要な分析項目」のみを抜粋 *2: 採水地点は図 67参照

7. 安全確保への取組み

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、必要に応じて改善指導を行うよう徹底しました。

そのほか、保安管理課や所長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指導などを行っています。

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ました。

これらの取組みの結果、平成22年度は軽微な負傷も含めて負傷災害の発生はなく、連続無災害日数は平成23年3月末現在で940日となりました。

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22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

圧縮ベントナイト中の溶存ガスおよび溶存物質の移動経路の評価およびセメント系材料との相互作用に関する研究を実施しました。

平成21年度に引き続いて、セメント系材料が緩衝材（ベントナイト）に及ぼす影響について検討するため、セメントおよびベントナイト中の物質移動経路について調べました。セメント中の物質移動経路については、セメント中の水の拡散挙動について調べました。その結果、水はセメントの間隙全体を移動できること、温度の上昇に伴い拡散係数も増加すること、フライアッシュ（石炭灰）を加えたセメントの方が拡散係数

が小さくなることなどがわかりました。一方、ベントナイトについては、カルサイト（方解石： CaCO_3 ）の形成に重要なカルシウムおよび炭酸水素イオンの移行経路について調べ、これらのイオンの支配的な移行経路は、それぞれ層間^{*36}および粒子間隙であることが示唆されました。

埼玉大学

大曲断層周辺に掘削されたボーリングのコアから抽出した炭化水素ガス（メタン、エタン、プロパンなど）や炭酸ガスの濃度と同位体比に基づいて、メタンガスの起源や断層との関連について推測を行いました。その結果、岩盤中に存在するメタンが主に微生物による有機物分解により生成していること、微生物活動の程度の違いにより同位体比が異なること、断層を境としてエタンやプロパンなどの存在比が異なる可能性があることなどがわかりました。今後は、これらのガスの移動性について調べていく予定です。

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、DNAを対象として微生物群集構造の解析を行いました。また、それらの試料を用いて微生物種の増殖・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。

東京都市大学など

微量元素の移動状態を理解するため、ボーリングコアおよび地上露頭から得られた稚内層、声問層および大曲断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。粘土鉱物や有機物、炭酸塩鉱物、硫化鉱物

*36：ベントナイトは粘土鉱物のスメクタイトを主成分とした粘土で、他に石英や方解石など複数の鉱物から構成されています。スメクタイトは、ノートのようなシート状の結晶構造を持つ粘土鉱物であり、通常、それらが折り重なった状態（重層体や積層体などと呼ばれています）で存在しています。それらシート状の粘土鉱物の間に存在する隙間（間隙）を層間と言います。

などに含まれる微量元素濃度をそれぞれ分析した結果、一部の断層周辺の粘土鉱物や炭酸塩鉱物において微量元素濃度の特徴の違いが認められ、微量元素の移動経路の指標になり得ることが明らかになりました。今後は、より詳細に断層や割れ目周辺の微量元素濃度を調査し、微量元素の移動経路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22年度は、3タイプの光ファイバーを利用したセンサーを試作して、室内試験や幌延町開進地区での現地測定を通じて、土中の水分計測手法としての適用性を検討しました。このうち光ファイバー式間隙水圧計を用いたセンサーは、温度変化を考慮した校正を行うことで従来の間隙水圧計と同様の計測が可能であることが確認されました。また、水膨潤素材を組み合わせたタイプのセンサーについて、膨潤圧力と飽和度の相関関係が認められるなど、実用化の可能性が示されました。

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、声間層、稚内層堆積時にヨウ素が均一に有機ヨウ素として存在していたことや、その後の地層の圧密に伴い有機ヨウ素が無機ヨウ素となり、高濃度のヨウ素を含む現在の地下水を形成したことなどが明らかになりました。また、その過程で、複数の方法で地下水中のセレンの化学種(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ました。

新潟大学

地殻変動の速度の推定および地形変化モデルの構築に関する調査・解析手法を対象として、調査計画の立案から速度の算出・モデル構築に至るまでの作業全体の手順を示した作業フローを作成するとともに、各作業を行う際のノウハウなどを整理したダイアグラムを作成しました⁽³³⁾。

8.1.2 その他の機関との研究協力

幌延地圏環境研究所

「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、定期的に研究に関する情報交換会を行いました。また、両機関の試験設備を利用した研究協力の一環として、140m調査坑道において、幌延地圏環境研究所が新たに開発した技術を用いて岩盤の初期地圧の調査を実施し、調査技術の適用性を確認するとともに、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22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950m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。また、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取得していきます。

北海道立総合研究機構 地質研究所（旧北海道立地質研究所）^{*37}

幌延地域を含む北海道北部の地下構造について、既存の重力探査^{*38}データを用いた解析を実施しました。

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。安全評価手法のうち、特に地下水流動・物質移動解析手法の適用性の評価を行う

*37：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。

*38：地表で重力計を使用し各地点の重力を測定し、微小な重力加速度の変化から地下の岩盤の分布や性質を推定する探査方法です。

ことを目的に、研究所用地内の東立坑近傍のボーリング孔（SAB-1孔）に設置したモニタリング装置を用いて、間隙水圧と水質の長期観測を行いました。さらに、幌延町内において、地質構造・岩盤水理特性および地下水の水質に関する情報を取得するため、新たなボーリング孔（SAB-3、4孔）の掘削を実施しました。

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ける電磁法探査と浜里地区でボーリング調査を継続し、地層や地下水の水質分布に関する解析を実施しました。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可能性が示唆されました。また、より深部には、海水が長期間地層中に閉じ込められて変質した化石海水が存在していることなどが明らかになりました。この過程で、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、方法を整理することができました。

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22年度は、4.1.1(3)でも述べたように、平成21年度に引き続き、地上および地下で実施するための操業技術と人工バリアの長期挙動に関わる試験設備についての検討と、地上での試験設備の製作を継続しました。また、平成21年度にゆめ地創館の隣接地に建設した、地層処分概念や人工バリアシステムの工学技術に関わる研究を体感できる設備建屋「地層処分実規模試験施設」を開館し、実物大のオーバーパックと人工

バリアシステムのほか、整備途上の緩衝材定置試験設備を展示するとともに、緩衝材定置試験設備を構成する真空把持装置を用いた実物大の緩衝材ブロックの把持試験や、緩衝材中の水の浸潤状態を観察できる可視化装置を用いた浸潤試験を実施しました。

8.2 国外機関との研究協力

Nagra^{*39}（スイス）

幌延深地層研究計画では、ボーリング調査で透水試験を実施しています。平成22年度は、平成21年度までに共同で実施した透水試験データの不確実性の幅を低減させるための詳細な数値解析を行い、得られたデータの品質に関する総合的な評価を実施しました。

また、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プロセスを復元するためのモデル化をNagraの専門家と共同で検討しました。

モンテリ・プロジェクト^{*40}

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「鉄材料の腐食に関する原位置試験」に参加しています。平成22年度は、平成21年度に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。また、同プロジェクトに関するワークショップや管理委員会を幌延深地層研究センター国際交流施設において開催しました。

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、ローレンスバークレー国立研究所^{*41}（米国）と地質環境

*39：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。

*40：堆積岩を対象とした地層処分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。

*41：アメリカ合衆国カリフォルニア州にある米国エネルギー省の研究所であり、物理、化学、生命科学、コンピュータ・サイエンス、環境工学などの幅広い分野にわたる研究を行っています。

調査技術や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。また、ANDRA^{*42}(フランス)やCEA^{*43}(フランス原子力庁)と地質環境調査技術や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うとともに、ITC-school(国際トレーニングセンター)およびIAEA(国際原子力機関)との共催により、「地層処分の基礎コース」を開催しました。

*42 : 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。

*43 : Commissariat à l'énergie atomique (French Atomic Energy Commission) : フランス原子力庁は経済・財務・産業省に所属し、基礎研究および技術的研究を実施する公的研究機関です。フランスにおける原子力産業の現状改善、将来の新エネルギー技術の開発、核廃棄物の取り扱いの解決策を進め、物理と化学分野の基礎研究を進めることなどを目的としています。また、抑止力としての核兵器に関係した活動も行っています。

引用文献

- (1) 中山雅，真田祐幸，佐野満昭，杉田裕（編）(2009)：“幌延深地層研究計画 平成22年度調査研究計画”，JAEA-Review 2010-041.
- (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) 舟木泰智，石井英一，常盤哲也(2009)：“新第三紀堆積岩中の割れ目は主要な水みちとなり得るか？”，応用地質，Vol. 50，No. 4，pp.238-247.
- (4) 石井英一，福島龍朗(2006)：“新第三紀珪質岩における断層の解析事例”，応用地質，Vol. 47，No. 5，pp.280-291.
- (5) 石井英一，舟木泰智，常盤哲也，太田久仁雄(2009)：“Relationship between fault growth mechanism and permeability variations with depth of siliceous mudstones in northern Hokkaido, Japan”，Journal of Structural Geology，doi:10.1016/j.jsg.2009.10.012.
- (6) Penman, H. L. (1948)：“Natural evaporation from open water, bare soil and grass”，Royal Society, Series A, 193, pp.120-145.
- (7) Penman, H. L. (1956)：“Estimating evaporation”，Trans. Am. Geophys. Union, 37, p.43-50.
- (8) Penman, H. L. (1963)：“Vegetation and Hydrology”，Tech. Commun, No.53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, England, pp.124.
- (9) 山本陽一，前川恵輔，藪内聡，横田秀晴(2010)：“北海道幌延調査流域における水文諸量の空間分布推定”，日本地下水学会2010年秋季講演会講演要旨，pp.166-171.
- (10) 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.
- (11) 電力中央研究所(2010)：“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”。
- (12) 電力中央研究所(2010)：“地層処分技術調査等委託費 地層処分共通技術調査：岩盤中地下水移行評価技術高度化開発-地下水年代測定技術調査-”。

- (13) 産業技術総合研究所(2010)：“沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発成果報告書”。
- (14) 中山雅，佐野満昭，真田祐幸，杉田裕（編）(2009)：“幌延深地層研究計画 平成20年度調査研究成果報告”，JAEA-Research 2009-032。
- (15) 津坂仁和，稲垣大介，小池真史，井尻裕二，羽出山吉裕(2011)：“幌延深地層研究所における立坑掘削に伴う周辺岩盤および支保の挙動分析（その2）”，第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.7-12。
- (16) 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。
- (17) OECD/NEA (2000)：“Features, events and processes (FEPs) for geologic disposal of radioactive waste-An international database-”，OECD/NEA。
- (18) 平朝彦（2002）：“日本海東縁の変動とテクトニクス”，大竹政和，平朝彦，太田陽子(編)「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」，東京大学出版会，pp.3-15。
- (19) 岩月輝希，石井英一，新里忠史(2009)：“北海道幌延地域における深部地球化学環境の長期変遷シナリオの構築”，地学雑誌，Vol.118，pp.700-716。
- (20) 表1で引用されている文献を，以下に著者アルファベット順に示します。
- Fukusawa, H. (1989)：“Depositional scheme of Neogene bedded siliceous rocks in an active upwelling area-on the Wakkanai Formation, northern Hokkaido, Japan-”，In: Taira, A. and Masuda, F. eds., *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*, TERAPUB, pp.395-419.
- GEBCO One Minute Grid：“The GEBCO One Minute Grid, version 2.0”，<http://www.gebco.net>.
- International Commission on Stratigraphy(国際層序委員会)(2009)：“International stratigraphic chart”，August, 2009.
- 石井英一ほか(2008)：“北海道北部，大曲断層近傍の背斜成長の開始時期”，地質学雑誌，vol.114，pp.286-299.
- 河村善也(1998)：“第四紀における日本列島への哺乳類の移動”，第四紀研究，vol.37，pp.251-257.
- Koizumi, I.(1992)：“Biostratigraphy and paleoceanography of the Japan Sea based on diatoms: ODP Leg127”，In: Tsuchi, R. and Ingle Jr., J.C. eds., *Pacific Neogene: Environment, Evolution and Events*, University of Tokyo Press, pp.15-24.
- 小泉格(2008)：“図説地球の歴史”，朝倉書店，143p.
- Lisiecki, L.E., Raymo, M.E.(2005)：“A Plio-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records”，*Paleoceanography*, vol.20, PA1003.
- Koya, K.(1999MS)：“Late Pliocene-Pleistocene paleoceanographic study based on diatom assemblage of the Japan Sea cores (ODP Leg127)”，Dr. thesis at Graduate School Sci., Hokkaido Univ., 69p.
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2007)：“サロベツ断層帯の長期評価について”，24p.
- Lisiecki, L.E. and Raymo, M.E. (2005): “A Plio-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records”, *Paleoceanography*, vol.20, PA1003.
- Miller, K.G., Kominz, M.A., Browning, J.V.ほか(2005)：“The anerozoic record of global sea-level change”，*Science*, vol.312, pp.1293-1298.
- 三浦英樹，平川一臣(1995)：“北海道北・東部における化石凍結割れ目構造の起源”，地学雑誌，vol.104，pp.189-224.
- 新里忠史ほか(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, vol.113, 補遺, pp.119-135.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H.ほか(1991) : “ Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years ”, *Paleoceanography*, vol.6, pp.499-518.
- 岡孝雄, 五十嵐八枝子(1993) : “ 北海道北部・寒別構造盆地の鮮新-更新統-とくに堆積相および花粉層序について ”, *地質学雑誌*, vol.99, pp.365-389.
- 岡孝雄, 五十嵐八枝子(1997) : “ 北海道・天塩平野北部の上部新生界 - 特に勇知層・更別層の堆積相と花粉化石層序について - ”, 川村信人, 岡孝雄, 近藤務(編), 加藤誠教授退官記念論文集, pp.341-365.
- 太田久仁雄ほか(2007) : “ 幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階)研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」”, *JAEA-Research 2007-044*.
- 鈴木明彦(1991) : “ 西南北海道美利河-花石地域の瀬棚層の堆積環境 ”, *地質学雑誌*, vol.97, pp.329-344.
- 鈴木明彦(1997) : “ 滝川・本別動物群の群集特性 ”, 川村信人, 岡孝雄, 近藤務(編), 加藤誠教授退官記念論文集, pp.63-70.
- Tada, R. (1994) : “ Paleogeographic evolution of the Japan Sea ”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol.108, pp.487-508.
- 平朝彦(2002) : “ 日本海東縁の変動とテクトニクス ”, 大竹政和, 平朝彦, 太田陽子(編)「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」, 東京大学出版会, pp.3-15.
- Yasue, K., Ishii, E., Niizato, T. (2005) : “ Neotectonics of the Tenpoku Sedimentary Basin in northern Hokkaido, Japan: a case of Horonobe area ”, In: *Research on active faulting to mitigate seismic hazards: the state of the art. Abstracts of the HOKUDAN International Symposium on Active Faulting, Hokudan, Japan, January 17th -24th*, pp.176-177.
- 安江健一ほか(2006) : “ 北海道北部, サロベツ背斜付近に分布する声問層上部の鮮新統上部珪藻化石帯とフィッシュン・トラック年代 ”, *地質学雑誌*, vol.112, pp.284-293.
- Yoshikawa, S., Kawamura, Y., Taruno, H. (2007) : “ Land beidge formation and proboscidean immigration into the Japanese Islands during the Quaternary ”, *Journal of Geosciences, Osaka City University*, vol.50, pp.1-6.
- (21) 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*.
- (22) Moriya, H., Niitsuma, H. and Baria R. (2003): “ Multiplet-Clustering analysis reveals structural details within the seismic cloud at the Soultz geothermal field, France ”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol.93, pp.1606-1620.
- (23) 常盤哲也, 浅森浩一, 平賀正人, 山田治, 森谷祐一, 堀田光, 北村至, 横田秀晴 (2010) : “ Relationship between hypocentral distribution and geological structure in the Horonobe area, northern Hokkaido, Japan ”, *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40054*.
- (24) 太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志, 戸村豪治, 柴野一則, 濱克宏, 松井裕哉, 新里忠史, 高橋一晴, 丹生屋純夫, 大原英史, 浅

- 森浩一，森岡宏之，舟木泰智，茂田直孝，福島龍朗(2007)：“幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階)研究成果報告書分冊「深地層の科学的研究」”，JAEA-Research 2007-044.
- (25) 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> <アクセス日時2011年3月25日14時00分>
- (26) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro (1991): “ A Procedure for Tidal Analysis with a Bayesian Information Criterion ”, *Geophys. J. Int.*, vol.104, pp.507-516.
- (27) 中山雅，佐藤治夫，杉田裕，野口聡(2011)：“幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメント系材料の適用性 - 140m調査坑道における原位置吹付け施工試験 - ”，JAEA-Research 2010-055.
- (28) 原子力環境整備促進・資金管理センター(2011)：“平成22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”。
- (29) 中司昇，畑中耕一郎，佐藤治夫，杉田裕，中山雅，宮原重憲，朝野英一，斉藤雅彦，須山泰宏，林秀郎，本田ゆう子，菱岡宗介(2011)：“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22年度成果報告-(共同研究)”，JAEA-Research (印刷中)。
- (30) Ishii, E., Funaki, H., Tokiwa, T. and Ota, K. (2010) : “Relationship between fault growth mechanism and permeability variations with depth of siliceous mudstones in northern Hokkaido, Japan” , *J. Structural Geol.*, 32(11), pp.1792-1805.
- (31) 核燃料サイクル開発機構(1999)：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ- 分冊3 地層処分システムの安全評価 ”，JNC-TN 1400 99-023.
- (32) Kurikami, H., Niizato, T. and Yasue, K. (submitted) : “A study on timeframe definition and reference evolution of the geological system for safety assessment -case study on the Horonobe URL site-” , *Proc. ICON19*.
- (33) 日本原子力研究開発機構(2011)：“平成22年度地層処分技術調査等委託費 地層処分共通技術調査 地質環境総合評価技術高度化開発 報告書”。

参考資料
(平成22年度外部発表)

*著者アルファベット順に記載

- 阿部寛信, 畑中耕一郎(2010): "Current Status of Horonobe URL Project in Construction Phase", Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010) (CD-ROM), 2010年10月.
- 天野健治, 新里忠史, 横田秀晴, 太田久仁雄, Lanyon, B., Alexander, W.R. (2010): "Development of comprehensive techniques for coastal site characterisation (2) Integrated palaeohydrogeological approach for development of site evolution models", The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40048, 2010年10月.
- 天野由記, 岩月輝希, 南條功, 佐々木祥人, 浅野貴博, 吉川英樹, 長岡亨, 中村孝道(2010): "幌延の原位置微生物による酸化還元影響の評価, 1; 調査坑道における原位置試験", 日本原子力学会2010年秋の大会, 2010年9月.
- 天野由記, 南條功, 岩月輝希, 佐々木祥人, 浅野貴博, 寺島元基, 長岡亨, 中村孝道, 吉川英樹, 青木和弘(2010): "岩盤が有する酸化還元緩衝能に関する原位置試験", 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月.
- 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 中安昭夫(2010): "地形・地質調査で専門家が利用する知識の分析・整理; 隆起速度の算出にかかわる調査・解析の事例", 日本地質学会第117年学術大会, 2010年9月.
- 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 中安昭夫, 梅田浩司, 大澤英昭(2010): "次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, (8)地質環境の長期安定性に関する調査を対象としたエキスパートシステムの開発", 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月.
- 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 中安昭夫, 梅田浩司, 大澤英昭(2010): "次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, (6)地質環境の長期安定性に関わるエキスパートシステムの開発", 日本原子力学会2010年秋の大会, 2010年9月.
- 福田朱里, 萩原大樹, 石村豊穂, 幸塚麻理子, 井岡聖一郎, 天野由記, 角皆潤, 鈴木庸平, 水野崇(2010): "Geomicrobiological properties of ultra-deep granitic groundwater from the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU), Central Japan", Microbial Ecology, Vol.60, No.1, pp.214-225, 2010年5月.
- 郷家光男, 石井卓, 佐ノ木哲, 松井裕哉, 杉田裕(2011): "せん断変形の進行に伴う堆積軟岩の透水特性の変化", 第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集(CD-ROM), pp.282-287, 2011年1月.
- 畑中耕一郎, Lim, D.-H., 石井英一(2010): "Geo-descriptive modeling of water conducting features characterized in sedimentary formations in Horonobe area of Japan", Materials Research Society Symposium Proceedings, Materials Research Society 2010 Spring Meeting, 2010年4月.
- 人見尚, 入矢桂史郎, 中山雅(2010): "幌延地下水環境下における低アルカリ性セメント系材料の溶脱挙動の検討", 土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月.
- 本多眞, 櫻井英行, 山本真哉, 鈴木誠, 真田祐幸, 杉田裕, 松井裕哉(2010): "物理探査データを利用した地下水水質分布の地球統計学的推定法, 2; 不確実性の評価", 土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月.
- 本多眞, 山本真哉, 櫻井英行, 鈴木誠, 真田祐幸, 杉田裕, 松井裕哉(2010): "地球統計学的手法を用いた地下水水質分布の推定とその不確実性の評価", 土木学会論文集, C, Vol.66, No.3, pp.609-624, 2010年8月.
- 稲垣大介, 津坂仁和, 井尻裕二, 小池真史, 羽出山吉裕(2011): "幌延深地層研究所における立坑掘削に伴う周辺岩盤及び支保の挙動分析 1", 第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集(CD-ROM), pp.1-6, 2011年1月.
- 石井英一, 舟木泰智, 常盤哲也, 太田久仁雄(2010): "Relationship between fault growth mechanism and permeability variations with depth of siliceous mudstones in northern Hokkaido, Japan", Journal of Structural Geology, Vol.32, No.11, pp.1792-1805, 2010年11月.

- 岩月輝希(2010):“幌延の地下研究施設における研究技術開発の現状”,応用地質学会北海道支部講演会, 2010年9月.
- 岩月輝希, 天野由記, 吉川英樹(2010):“地下研究施設を利用した水-鉱物-微生物相互作用研究”, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月.
- 岩月輝希, 濱克宏, 中安昭夫, 橋翔子, 宮入留雅, Yang, H. (2010):“次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 5; 地球化学調査にかかわるエキスパートシステムの構築”, 日本原子力学会 2010年秋の大会, 2010年9月.
- 岩月輝希, 中安昭夫, 濱克宏, 水野崇(2010):“次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 7; 地球化学調査にかかわるエキスパートシステムの構築”, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月.
- 岩月輝希, 佐々木祥人, 伊藤剛志, 浅野貴博, 天野由記, 吉川英樹, 中村孝道, 長岡徹(2010): “Biogeochemical modelling of water-rock-microbe system in Horonobe area, Japan”, Goldschmidt 2010, 2010年6月.
- 川村淳, 江橋健, 牧野仁史, 新里忠史, 安江健一, 稲垣学, 大井貴夫(2010):“高レベル放射性廃棄物地層処分における性能評価のための隆起・浸食に起因する地質環境条件変化の評価方法の検討”, 応用地質, Vol.51, No.5, pp.229-240, 2010年12月.
- 川村淳, 谷川晋一, 新里忠史, 安江健一(2010):“Development of methodology to construct a generic conceptual model of river-valley evolution for performance assessment of HLW geological disposal”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40137, 2010年10月.
- 北川義人, 南出賢司, 名雪利典, 山西毅, 関谷美智, 伊藤誠二, 佐藤治夫, 中山雅(2010):“低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置適用性試験, 2; 幌延URLにおける原位置吹付け施工性試験”, 土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月.
- 北沢俊幸, 常盤哲也(2010):“天塩川の河口州及び蛇行州の地中レーダー探査”, 日本地質学会第117年学術大会, 2010年9月.
- 熊倉聡, 杉田裕, 真田祐幸, 中村隆浩, 小原勇一, 菅原隆之, 藤井義明(2010):“珪質泥岩を対象にした孔壁変形法による初期地圧測定; 幌延深地層研究センター, 深度250m調査坑道での測定事例”, 平成22年度日本応用地質学会北海道支部・北海道応用地質研究会研究発表会, 2010年6月.
- 國丸貴紀, 太田久仁雄, 天野健治, Russell, A. (2010):“Development of a Quality Management System (QMS) for borehole investigations, 2; QMS for hydrochemical investigations”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010)(CD-ROM), 2010年10月.
- 操上広志, 新里忠史, 安江健一 (2011):“A study on timeframe definition and reference evolution of the geological system for safety assessment -case study on the Horonobe URL site”, Proceedings of 19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE19), ICONE19-43731 (in press) .
- 栗原新, 小池克明, Liu, C., Masoud, A., 天野健治(2010):“花崗岩体の広域的な水理構造のモデリングと亀裂分布からの考察”, 第21回日本情報地質学会総会・講演会(GEOINFORUM-2010), 2010年6月.
- Lim, D.-H., 畑中耕一郎, 石井英一 (2010):“Site characterization & preliminary performance assessment calculation applied to JAEA-Horonobe URL site of Japan”, Korean Nuclear Society Autumn Meeting, 2010年10月.
- 前川恵輔, 原彰男, 日浦祐樹, Hou, J.-Y., 加藤新(2010):“前進的モデルを用いた堆積岩地域浅層部の水理地質構造の推定”, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月.
- 前川恵輔, 牧野仁史, 操上広志, 新里忠史, 稲垣学, 川村淳(2010):“Development of methodology of groundwater flow and solute transport analysis in the Horonobe area, Hokkaido, Japan”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40041, 2010年10月.
- 前川恵輔, 新里忠史, 今井久, 塩崎功, 山下亮(2010):“地質環境の長期変遷を考慮した地下水流動解析手法の汎用性向上”, 日本地下水学会2010年秋季講演会, 2010年11月.
- 前川恵輔, 三枝博光, 松尾重明, 橋本秀爾, 安藤賢一(2010):“沿岸域における地下水流動・地球化学

- 特性評価のためのモデル化・解析；北海道幌延地域を対象とした一事例”，日本原子力学会2010年秋の大会，2010年9月．
- 栴永幸介，天野健治，鶴田忠彦(2010)：“岐阜県東濃地域における深層ボーリング孔の崩壊事例；地質リスク評価に向けた岩盤特性の整理・分析”，平成22年度資源・素材関係学協会合同秋季大会，2010年9月．
- 松岡稔幸，天野健治，大澤英昭，仙波毅(2010)：“次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発，4；地質モデル構築の考え方”，日本地球惑星科学連合2010年大会，2010年5月．
- 松崎達二，岩月輝希，中安昭夫，仙波毅(2010)：“次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発，3；文献調査情報に基づく調査基本計画立案にかかわるエキスパートシステムの開発”，日本原子力学会2010年秋の大会，2010年9月．
- 松崎達二，岩月輝希，中安昭夫，仙波毅(2010)：“次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発，6；全体調査計画の立案にかかわるエキスパートシステムの開発”，日本地球惑星科学連合2010年大会，2010年5月．
- 松崎達二，岩月輝希，中安昭夫，仙波毅(2010)：“次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の紹介；文献調査情報に基づく調査基本計画立案支援にかかわるエキスパートシステムを例として”，幌延沿岸域HLW研究発表会，2010年11月．
- 松崎達二，岩月輝希，中安昭夫，竹内真司，仙波毅(2010)：“次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発の現状，3；計画立案に関するエキスパートシステムの作成”，日本原子力学会バックエンド部会第26回バックエンド夏期セミナー，2010年8月．
- 松岡稔幸，天野健治，大澤英昭，仙波毅(2010)：“Technical know-how for modeling of geological environment, 2; Geological modeling”，Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010) (CD-ROM)，2010年10月．
- 宮原茂禎，岡本礼子，武田均，中山雅，佐藤治夫，伊藤誠二(2010)：“低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置適用性試験，4；幌延URLにおける低アルカリ性吹付けコンクリート及び岩石の物質移行特性”，土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会，2010年9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, pp.132-138, 2011年3月．
- 水野崇，Milodowski, A.，岩月輝希(2010)：“Evaluation of the long-term evolution of the groundwater system in the Mizunami area, Japan”，Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010)(CD-ROM)，2010年10月．
- Moriya, H., Asamori, K., Kitamura, I., Hotta, H., Ohara, H. and Niizato, T. (2010): “Estimation of crustal structure in Horonobe area, Hokkaido, Japan, using multiplet-clustering analysis”, Journal of Acoustic Emission, vol.28, pp.1-10.
- 村上裕晃，天野由記，南條功，岩月輝希(2010)：“幌延深地層研究所における地球化学特性調査；地下施設建設に伴う周辺地下水の水圧・水質変化について”，日本原子力学会2010年秋の大会，2010年9月．
- 苗村由美，井尻裕二，天野健治，横田秀晴，前川恵輔，澤田淳(2010)：“割れ目を対象とした原位置トレーサー試験に対する1次元モデルの適用性に関する検討 3”，土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会，2010年9月．
- 中村隆浩，真田祐幸，杉田裕，加藤春實(2010)：“珪藻質泥岩における水圧破砕法・ブレイクアウト法による初期地圧の評価”，土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会講演論文集，土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会，2010年9月．
- 中西達郎，辻正邦，延藤遵，沖原光信，杉田裕，藤田朝雄，新貝文昭(2010)：“地層処分におけるグラウト技術の高度化開発，6；グラウト浸透モデルによる原位置注入試験結果の事後分析”，土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会，2010年9月．
- 中島崇裕，國友孝洋，山田治，浅森浩一，藪内聡，茂田直孝，熊澤峰夫(2010)：“電磁ACROSSの北海道幌延地域における地質環境モニタリング技術への適用”，日本地球惑星科学連合2010年大会，2010年5月．
- 中山雅，佐藤治夫，畑中耕一郎(2010)：“低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討，6；吹付けコンクリート及び岩石の化学的性質”，日本原子力学会2010年秋の大会，2010年

9月.

- 中山雅, 佐藤治夫, 杉田裕, 伊藤誠二, 南出賢司, 北川義人(2010): “Low alkaline cement used in the construction of a gallery in the Horonobe Underground Research Laboratory”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010) (CD-ROM), 2010年10月.
- 中安昭夫, 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 梅田浩司, 大澤英昭(2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発の現状, 4; 地質環境の長期安定性調査にかかわるエキスパートシステムの作成”, 日本原子力学会バックエンド部会第26回バックエンド夏期セミナー, 2010年8月.
- 中安昭夫, 岩月輝希, 橋翔子, Yang, H.(2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 5; エキスパートシステム構築ソフトウェアの開発”, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月.
- 南條功, 天野由記, 岩月輝希, 村上裕晃, 佐々木祥人, 吉川英樹(2010): “幌延深地層研究所における水理・地球化学特性評価技術開発の現状”, 2010年度日本地球化学会年会, 2010年9月.
- 新里忠史, 天野健治, 太田久仁雄, 國丸貴紀, Lanyon, B., Alexander, W.R. (2010): “Development of comprehensive techniques for coastal site characterisation (3) Conceptualisation of long-term geosphere evolution”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40052, 2010年10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 (ICONE19), ICONE19-43163 (in press).
- 新里忠史, 重野聖之, 宮坂省吾, 小板橋重一(2010): “北海道北部、幌延地域における地形発達史”, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月.
- 新里忠史, 安江健一, 道家涼介, 中安昭夫, 重廣道子(2010): “Technical know-how and decision process for geoscientific investigation of geological disposal of HLW (2) An externalization of tacit knowledge in a geoscientific investigation; an example of investigations for an estimation of uplift rate”, 韓日地質学会, 室戸合同大会, 2010年8月.
- 野口聡, 中山雅, 佐藤治夫(2010): “高レベル放射性廃棄物処分場の支保工材料に適した低アルカリ性吹付けコンクリートの開発”, 平成22年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2010年9月.
- 野口聡, 中山雅, 岸裕和, 北川義人, 南出賢司(2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置適用性試験, 1; 坑道支保工としての吹付けコンクリート配合の選定”, 土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月.
- 野原壯, 常盤哲也, 山田治(2010): “褶曲に関連した珪質堆積岩の密度と透水性の特徴; 幌延地域大曲断層の検討事例”, 日本地震学会2010年秋季大会, 2010年10月.
- 岡本礼子, 宮原茂禎, 武田均, 中山雅, 佐藤治夫, 伊藤誠二(2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置適用性試験, 3; 幌延URLにおける低アルカリ性吹付けコンクリート及び岩石の化学的性質”, 土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月.
- 大貫敏彦, 香西直文, 岩月輝希(2010): “幌延深層地下水中Iの化学状態”, 日本原子力学会2010年秋の大会, 2010年9月.
- 大澤英昭, 道家涼介, 安江健一, 新里忠史, 中安昭夫, 梅田浩司(2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 6; 地質環境の長期安定性にかかわるエキスパートシステムの開発”, 日本原子力学会2010年秋の大会, 2010年9月.
- 太田久仁雄, 天野健治, 新里忠史, Alexander, W.R., 山中義彰 (2010): “Development of comprehensive techniques for coastal site characterization (1) Strategic overview”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40056, 2010年10月.
- 大山卓也, 前川恵輔(2010): “沿岸域における地下水流動・地球化学特性評価のためのモデル化・解析”, 幌延沿岸域HLW研究発表会, 2010年11月.
- 三枝博光, 前川恵輔, 大山卓也, 仙波毅(2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 3; 地質環境モデル構築領域設定及び地下水流動モデル構築の考え方”, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月.

- 三枝博光, 松岡稔幸, 前川恵輔, 天野健治, 竹内真司, 仙波毅(2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発の現状, 2; 地質環境モデル構築にかかわるエキスパートシステムの作成”, 日本原子力学会バックエンド部会第26回バックエンド夏期セミナー, 2010年8月.
- 三枝博光, 竹内真司, 前川恵輔, 大澤英昭, 仙波毅(2010): “Technical know-how for modeling of geological environment, 1; Overview and groundwater flow modeling”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010) (CD-ROM), 2010年10月.
- 坂井一雄, 小池真史, 山本卓也, 稲垣大介, 山崎雅直(2010): “ショートステップ工法における立坑掘削時の覆工及び周辺岩盤の挙動”, 大成建設技術センター報
- 櫻井英行, 本多眞, 山本真哉, 鈴木誠, 真田祐幸, 杉田裕, 松井裕哉(2010): “物理探査データを利用した地下水水質分布の地球統計学的推定法, 1; 推定法の有効性”, 土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月.
- 真田祐幸, 中村隆浩, 杉田裕(2010): “幌延深地層研究計画における掘削影響調査, 2; 立坑の調査事例”, 平成22年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2010年9月.
- 真田祐幸, 中村隆浩, 杉田裕(2010): “In situ stress measurements in siliceous mudstones at Horonobe Underground Research Laboratory, Japan”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010) (CD-ROM), 2010年10月.
- 真田祐幸, 杉田裕, 大丸修二, 松井裕哉, 柏井善夫(2010): “光ファイバーを利用した多段式岩盤内変位計の開発”, Journal of MMLJ, Vol.126, No.10,11, pp.569-576, 2010年10月.
- 佐々木祥人, 浅野貴博, 天野由記, 岩月輝希, 吉川英樹(2010): “Quantitative analysis of microbial community in deep subsurface at Horonobe area”, 8th International Congress on Extrimophiles (Extremophiles 2010), 2010年9月.
- 佐藤治夫(2010): “An analytical model on the sealing performance of space for the design of buffer material and backfill material”, Proceedings of 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010) (CD-ROM), 2010年10月.
- 佐藤治夫, 杉田裕, 中山雅, 畑中耕一郎(2010): “Status of the Horonobe URL project in construction phase and outline of in-situ investigation and experiment plan in the underground facilities”, The 6th Japan-Korea Joint Workshop on Radioactive Waste Disposal 2010; Practice to Science and Engineering, 2010年10月.
- 佐藤治夫, 中山雅, 畑中耕一郎(2010): “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討, 7; 吹付けコンクリート及び岩石の物質移動特性”, 日本原子力学会2010年秋の大会, 2010年9月.
- 佐藤治夫(2010): “幌延深地層研究計画 地下施設での原位置試験計画(深度350mまで)の概要”, 第13回放射性廃棄物地層処分にに関する情報交換会(Sapporo Conference 2011), 2011年3月.
- 関谷美智, 北川義人, 五十嵐敏文, 洞秀幸(2010): “幌延深地層研究センターにおける珪藻質泥岩掘削ズリからの無機窒素の溶出挙動”, 平成22年度資源・素材学会北海道支部総会及び春季講演会, 2010年6月.
- 関谷美智, 北川義人, 五十嵐敏文, 洞秀幸(2010): “珪藻質泥岩からの浸出水の硝化反応の評価”, 日本応用地質学会平成22年度研究発表会, 2010年10月.
- 関谷美智, 北川義人, 五十嵐敏文, 洞秀幸(2010): “珪藻質泥岩掘削土浸出水中の窒素成分の形態変化”, 平成22年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2010年9月.
- 関谷美智, 下山正, 穴田英樹, 金谷次男, 山西毅(2010): “大深度地下施設建設における通気網解析”, 土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月.
- 関谷美智, 下山正, 平川芳明, 檜島好正, 山西毅(2010): “大深度地下施設建設における坑内火災のシミュレーション”, 土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月.
- 仙波毅, 大澤英昭, 濱克宏, 竹内真司, 岩月輝希, 澤田淳, 梅木博之(2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 1; システム開発の概要”, 日本地球惑星科学連合2010年大会, 2010年5月.
- 仙波毅, 竹内真司, 常盤哲也, 新里忠史, 大澤英昭(2010): “Technical know-how and decision process for geoscientific investigation of geological disposal of HLW (1) Overview of Information Synthesis and Interpretation System (ISIS) and application of investigation methodology in

- URL program to the characterization of accretionary complex”, 韓日地質学会, 室戸合同大会, 2010年8月.
- 仙波毅, 三枝博光, 松岡稔幸, 前川恵輔, 天野健治, Andersson, J.(2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発, 2; 文献調査情報に基づく地質環境モデル構築手法とES化(地質/地下水流動モデルを例として)”, 日本原子力学会2010年秋の大会, 2010年9月.
- 仙波毅, 大澤英昭, 岩月輝希, 濱克宏, 竹内真司, 澤田淳, 梅木博之(2010): “次世代型サイト特性調査情報統合システム(ISIS)の開発の現状, 1; 全体概要”, 日本原子力学会バックエンド部会第26回バックエンド夏期セミナー, 2010年8月.
- 嶋本洋子, 高橋嘉夫, 天野由記, 松崎浩之, 村松康行, 岩月輝希(2010): “幌延地域における珪藻質-珪質泥岩中のヨウ素の移行挙動解明”, 2010年度日本地球化学会年会, 2010年9月.
- 嶋本洋子, 高橋嘉夫, 天野由記, 松崎浩之, 村松康行, 岩月輝希(2010): “化学形態及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ に基づく珪藻質-珪質泥岩中のヨウ素の移行挙動解明”, 第13回ヨウ素学会シンポジウム, 2010年11月.
- 末永弘, 野原慎太郎, 藪内聡(2010): “坑道掘削に伴う水理特性変化について”, 日本地下水学会2010年秋季講演会講演要旨, pp.132-137, 2010年11月.
- 杉田裕, 中村隆浩, 真田祐幸(2011): “弾性波トモグラフィ調査の掘削影響領域モニタリング技術への適用”, 第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集(CD-ROM), pp.230-235, 2011年1月.
- 杉田裕, 中村隆浩, 真田祐幸, 相澤隆生, 伊東俊一郎(2010): “Seismic tomography investigation in 140m gallery in the Horonobe URL project”, Materials Research Society Symposium Proceedings, Materials Research Society 2010 Spring Meeting, 2010年4月.
- 杉田裕, 真田祐幸, 中村隆浩, 藪内聡(2010): “幌延深地層研究計画における掘削影響調査, 1; 水平坑道の調査事例”, 平成22年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2010年9月.
- 田中真悟, 野田菜摘子, 佐藤正知, 小崎完, 佐藤治夫, 畑中耕一郎(2010): “圧縮Na型モンモリロナイト中のイオンの移行に関する電気化学的研究; 乾燥密度及び塩濃度の影響”, 日本原子力学会2010年秋の大会, 2010年9月.
- 田中真悟, 野田菜摘子, 佐藤正知, 小崎完, 佐藤治夫, 畑中耕一郎(2010): “Electrokinetic study of migration of anions, cations, and water in water-saturated compacted sodium montmorillonite”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.48, No.3, pp.454-462, 2011年3月.
- 寺島元基, 長尾誠也, 岩月輝希, 佐々木祥人, 清田佳美, 吉川英樹(2010): “Structural characteristics of deep groundwater humic substances in Horonobe area, Hokkaido, Japan”, Proceedings of 15th Meeting of International Humic Substances Society "Humic Substances and the Maintenance of Ecosystem Services" (IHSS-15), 2010年6月.
- 寺島元基, 清田佳美, 岡崎充宏, 岩月輝希, 飯島和毅, 油井三和(2010): “深部地下水腐植物質共存下におけるEu溶解度のシミュレーション; NICA-Donnanモデルの適用”, 日本腐植物質学会第26回講演会, 2010年11月.
- 常盤哲也, 浅森浩一, 新里忠史, 野原壯, 松浦友紀, 小坂英輝 (2010): “An attempt to evaluate horizontal crustal movement by geodetic and geological approach in the Horonobe area, northern Hokkaido, Japan”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40189, 2010年10月.
- 常盤哲也, 浅森浩一, 平賀正人, 山田治, 森谷祐一, 堀田光, 北村至, 横田秀晴(2007): “Relationship between hypocentral distribution and geological structure in the Horonobe area, northern Hokkaido, Japan”, Proceedings of the ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), October 3-7, 2010, Tsukuba, Japan, ICEM2010-40054, 2010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): “幌延深地層研究所における立坑掘削に伴う周辺岩盤及び支保の挙動分析 2”, 第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集(CD-ROM), pp.7-12, 2011年1月.
- 津坂仁和, 常盤哲也, 稲垣大介(2010): “幌延深地層研究所の立坑掘削における岩盤挙動”, 土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月.
- 藪内聡, 岸敦康, 小松満(2010): “幌延深地層研究計画における水平坑道の掘削に伴う岩盤水分量のモニタリング”, 日本地下水学会2010年春季講演会講演要旨, pp.94-99, 2010年5月.
- 藪内聡, 國丸貴紀, 岩野圭太, 森川誠司, 並川正(2010): “幌延深地層研究所140m調査坑道における水

- 理特性調査 - 水平坑道の掘削影響評価 - ”，日本原子力学会2010年秋の大会予稿集(CD-ROM)，
p.220，2010年9月。
- 山本真哉，本多眞，櫻井英行，鈴木誠，真田祐幸，杉田裕，松井裕哉(2010)：“Geostatistical modeling
of groundwater properties and assessment of their uncertainties”，Proceedings of 14th Annual
Conference of the International Association for Mathematical Geosciences (IAMG 2010)，2010
年8月。
- 山本陽一，前川恵輔，藪内聡，横田秀晴(2010)：“北海道幌延調査流域における水文諸量の空間分布推
定”，日本地下水学会2010年秋季講演会講演要旨，pp.166-171，2010年11月。
- 山本陽一，前川恵輔，横田秀晴，向井和行，石井啓滋(2010)：“水文諸量の空間分布推定に基づく幌延
調査流域の流出解析”，土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会，2010年9月。
- 山西毅，関谷美智，佐高裕之，北川義人，加藤欣也(2010)：“管理型掘削土(ズリ)の酸性・中和現象と
今後の課題”，土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会，2010年9月。
- 山西毅，関谷美智，鈴木達也，北川義人，加藤欣也，齋藤綾佑(2010)：“重金属含有掘削土(ズリ)のズ
リ置場における性状変化の現状”，土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会，2010年9
月。
- 横田秀晴，山本陽一，前川恵輔，原稔(2010)：“A Study on groundwater infiltration in the horonobe
area, Northern Hokkaido, Japan”，Proceedings of 13th International Conference on
Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM 2010)(CD-ROM)，
2010年10月。
- 横田秀晴，山本陽一，山崎雅則，前川恵輔(2010)：“北海道幌延調査流域における水収支法による地下
水涵養量の推定：2004年12月～2009年11月”，日本地下水学会2010年秋季講演会講演要旨，
pp.160-165，2010年11月。