幌延深地層研究計画
平成 21 年度調査研究成果報告

平成 22 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 21 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 ····· 10
(3) 地下水の地球化学 ····· 15
(4) 岩盤力学 ····· 20
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 ····· 24
(1) 地質構造モデル ····· 24
(2) 岩盤の水理モデル ····· 25
(3) 地下水の地球化学モデル ····· 27
(4) 岩盤力学モデル ····· 28
3.1.3 調査技術・調査機器開発 ····· 29
(1) 岩盤の水理に関する調査機器開発 ····· 29
(2) 地下施設の建設に伴う表層の変位観測技術開発 ····· 31
(3) 岩盤力学に関する調査機器開発 ····· 33
(4) 地下施設の建設に伴う地下水（水質・水圧）の観測技術開発 34
(5) コントロールボーリング技術の開発 ····· 36
(6) 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 ····· 36
3.2 地質環境モニタリング技術開発 ····· 37
3.2.1 ボーリング孔を用いたモニタリング技術開発 ····· 37
3.2.2 比抵抗モニタリング技術の適用性確認 ····· 39
3.2.3 遠隔監視システムの開発 ····· 41
3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発 ····· 42
3.4 地質環境の長期安定性に関する研究 ····· 46
3.4.1 地質環境の長期的変遷に関する研究 ····· 46
(1) 地形・地質構造と古環境の変遷 ····· 46
(2) 地質環境の長期的変化モデル ····· 49
3.4.2 地震研究 ····· 51
4. 地層処分研究開発 ····· 53
4.1 処分技術の信頼性向上 ····· 53
4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証 ····· 53

(1) 低アルカリ性コンクリート材料の開発 ····· 53
(2) 低アルカリ性セメント系グラウト材料を用いた原位置試験 · 55
(3) 緩衝材の定置試験・人工バリア長期挙動試験 ····· 56
4.1.2 設計手法の適用性確認 ····· 57
4.2 安全評価手法の高度化 ····· 59
4.2.1 安全評価モデルの高度化 ····· 59
4.2.2 安全評価手法の適用性確認 ····· 61
5. 地下施設の建設 ····· 64
6. 地上施設の建設 ····· 67
7. 環境モニタリング ····· 68
7.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査 ····· 68
7.2 地下施設の建設に伴うモニタリング調査 ····· 71
8. 開かれた研究 ····· 78
8.1 国内機関との研究協力 ····· 78
8.1.1 大学などとの研究協力 ····· 78
8.1.2 その他の機関との研究協力 ····· 80
8.2 国外機関との研究協力 ····· 83

引用文献 ····· 85

参考資料 ····· 90

図　目　次

図 1　幌延深地層研究計画の全体スケジュール・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
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　立坑における壁面の地質観察結果（展開図）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7
図 5　声問層におけるせん断割れ目の状態の一例（140m 調査坑道）・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
図 6　声問層に認められる割れ目の例・・・ 9
図 7　表層水理調査位置・・ 11
図 8　河川流量観測および気象観測結果・・ 11
図 9　地下施設近傍の地下水位の経時変化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12
図 10　清水川流域（P-3 流域）の流出量再現結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12
図 11　140m 調査坑道における測定レイアウト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 14
図 12　繰り返し透水試験結果の一例・・・ 14
図 13　間隙水圧・水分量の経時変化・・・ 15
図 14　換気立坑の集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果（Na^+、Cl^-）・・・ 16
図 15　換気立坑の集水リングにおける積算湧水量と水質変化との関係(Na^+、Cl^-)・・・ 16
図 16　東立坑の集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果(Na^+、Cl^-)・・・ 17
図 17　東立坑の集水リングにおける積算湧水量と水質変化との関係(Na^+、Cl^-)・・・ 17
図 18　換気立坑の集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果・・・・・・・・・・・ 18
図 19　東立坑の集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果・・・・・・・・・・・・・ 18
図 20　08-E140-C01 孔から採取した地下水の水質分布・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
図 21　三次元掘削解析による内空変位の相違による比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21
図 22　初期地圧測定実施位置図・・ 21
図 23　既存の初期地圧測定結果との比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 23
図 24　坑道掘削影響試験・・・ 23
図 25　弾性波トモグラフィー調査の結果(水平坑道掘削影響試験)・・・・・・・・・・・・・・・ 24
図 26　地中変位計測の結果(立坑掘削影響試験)結果の一例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 24
図 27　地質構造モデル・岩盤の水理モデル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 25
図 28　地下施設の建設に伴う湧水量の予測と実測の比較例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26
図 29　塩化物イオン濃度の第 1 段階における予測値と第 2 段階における実測値の空間分布図・・・ 27
図 30　立坑での調査結果をもとに更新した塩化物イオン濃度の空間分布図・・・・・・ 28
図 31　試験場所と試験装置概念図・・ 30
図 32　注水圧力に対する観測圧力の取得データの一例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
図 33　原位置試験で確認されたガス・・ 31
図 34　傾斜データの一例・・・ 32
図 35　地表傾斜の計算のために作成したモデル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33
図 36　計算結果の一例・・・ 33
図 37　地中変位計の配置と測定結果の比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34
図 38　地下水の間隙水圧・水質モニタリング装置の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 35
図 39　間隙水圧の変化・・・ 36

図 40　地下水流動解析結果の一例 ····· 37
図 41　HDB-7 孔における地下水の間隙水圧の測定結果 ····· 38
図 42　PB-V01 孔における地下水の間隙水圧の測定結果 ····· 39
図 43　見掛比抵抗分布 ····· 40
図 44　立坑掘削時の月当たり湧水量変化 ····· 40
図 45　弾性波についてのシミュレーション結果の例 ····· 42
図 46　水平坑道の施工方法 ····· 43
図 47　計測結果の一例 ····· 43
図 48　ロックボルト軸力計測結果の一例 ····· 44
図 49　東立坑深度 160m の計測結果 ····· 45
図 50　西立坑深度 140m 連接部火災モデルでの通気解析結果の例 ····· 46
図 51　過去の海水準変動 ····· 49
図 52　SMS における地下水流動解析の手順 ····· 50
図 53　地下水流動の解析結果をアニメーション表示するための描画システムのイメージ ····· 50
図 54　北海道北部地域で発生した地震の震源分布 ····· 52
図 55　数値解析によって推定した地面の鉛直変動および応力軸の回転 ····· 53
図 56　HFSC を用いた吹付けコンクリートの原位置施工試験範囲 ····· 55
図 57　原位置施工試験実施状況 ····· 55
図 58　低アルカリ性セメント系グラウト材料の原位置試験レイアウト ····· 56
図 59　緩衝材定置試験装置製作状況 ····· 57
図 60　地下施設周辺に分布する透水性割れ目の方向性に関する下半球投影図の例 ····· 62
図 61　透水性割れ目のトレース長に関する累積分布図 ····· 63
図 62　三次元不連続割れ目ネットワークモデル ····· 64
図 63　地下施設関連設備の状況 ····· 65
図 64　掘削土(ズリ)置場の盛土・保管状況 ····· 65
図 65　国際交流施設 ····· 67
図 66　環境モニタリング調査位置 ····· 68
図 67　地下施設排水処理系統図 ····· 71
図 68　幌延深地層研究センター排水系統図 ····· 71
図 69　天塩川の水質モニタリング調査位置 ····· 72

表　目　次

表 1　幌延地域における過去約 13 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 …… 55
表 3　材齢 28 日での圧縮強度の比較…… 55
表 4　掘削土(ズリ)モニタリング調査結果（土壌溶出量：公定分析） …… 66
表 5　環境モニタリング調査実施内容(平成 21 年度)…… 69
表 6　確認された重要種（魚類） …… 70
表 7　モニタリング調査項目と結果…… 70
表 8　地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査項目…… 73
表 9　天塩川への排水量（平成 21 年度） …… 73
表 10　地下施設からの排水に係るモニタリング調査結果（水質分析：公定分析） 74
表 11　掘削土(ズリ)置場とその周辺の地表水の水質モニタリング調査結果…… 75
表 12　清水川の水質モニタリング調査結果…… 76
表 13　天塩川の水質モニタリング調査結果…… 77

1. はじめに

独立行政法人[*1]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月に原子力委員会が公表した「原子力政策大綱」[*2]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平成17年10月に公表した「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）」（以下、中期目標）[*3]では、「深地層の研究計画について、中間的な深度までの坑道掘削時の調査研究を進める。あわせて工学技術や安全評価に関する研究開発を他の研究開発機関と連携して実施し、これらの成果を地層処分の安全性に係る一連の論拠を支える知識ベース[*4]として体系化する」ことが目標として掲げられ、幌延深地層研究計画を着実に推進することとなっています。

本文中に“*番号”で示した用語はページの下部に説明を示しています。また、“(番号)”で示したものは、引用文献で、巻末に著者名、文献名などを示しました。

*1：独立行政法人通則法 第二条には、『この法律において「独立行政法人」とは、国民生活及び社会経済の安定等の公共上の見地から確実に実施されることが必要な事務及び事業であって、国が自ら主体となって直接に実施する必要のないもののうち、民間の主体にゆだねた場合には必ずしも実施されないおそれがあるもの又は一の主体に独占して行わせることが必要であるものを効率的かつ効果的に行わせることを目的として、この法律及び個別法の定めるところにより設立される法人をいう』と規定されています。

*2：原子力政策大綱は、国の原子力委員会が、10年程度の期間をひとつの目安とした、原子力の研究、開発および利用に関する基本的な考え方を明らかにしたものです。(http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/tyoki.htm)

*3：中期目標の対象としている期間は平成17年10月1日から平成22年3月31日までの4年6ヶ月間です。平成22年度からは第2期の中期目標の期間となっています。

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

2. 平成21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21年度は、「幌延深地層研究計画 平成21年度調査研究計画」[(1)]に従って、調査研究および地上施設と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、という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という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、深度140mの調査坑道を掘削し、完成しました。東立坑については、深度約220mまで掘削しました。地上施設の建設では、国際交流施設が竣工し、運用を開始しました。また、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。

なお、平成21年度は、中期目標に掲げられている知識ベースを体系化するとともに、地層処分に関する知識マネジメントシステム（KMS[*5]）を公開しました。また、このKMSを活用して、中期目標の期間の成果を取りまとめました[(3)]。

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。

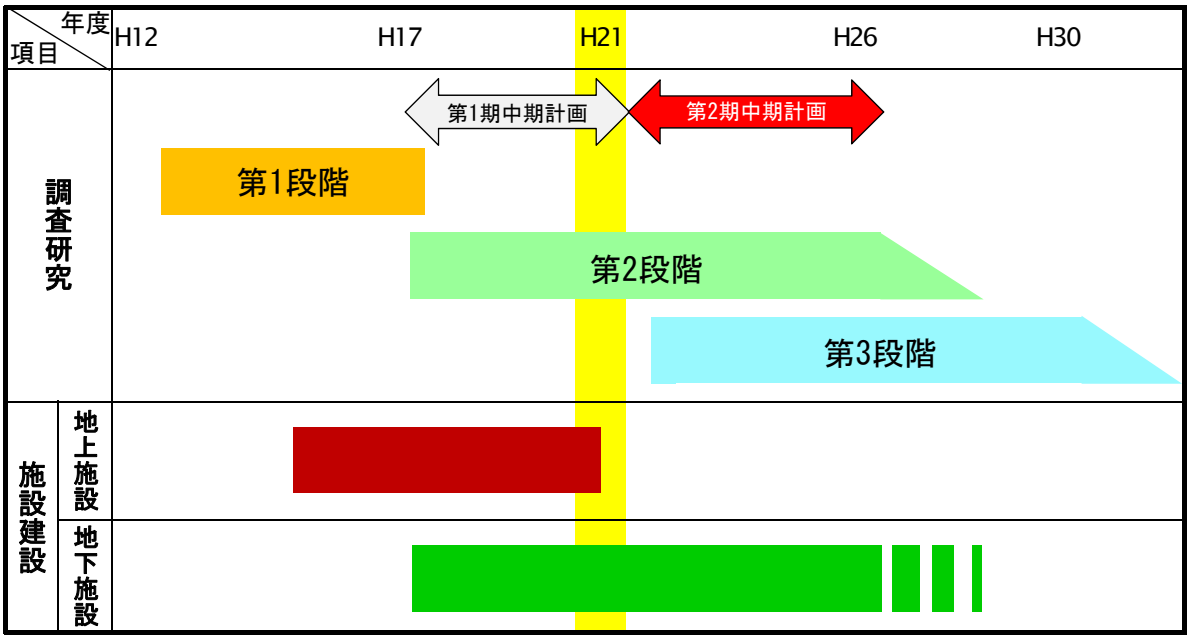
幌延深地層研究計画の成果は、原子力機構における他の研究開発拠点での成果と合わせて、一連の地層処分技術として、処分事業や安全規制に適宜反映していきます。そのため、国内外の研究機関との連携を図り、大学などの専門家の協力を得つつ、本計画を着実かつ効率的に進めます。

---

*5：Knowledge Management System の略です。地層処分の事業は長期にわたるため、常に最新の科学技術的知識を取り込むと同時に、それらの知識を保存し追跡性を確保して、後世に伝承していくことも必要です。このことから、時間とともに進化する多種・多様な知識を、目的や利用者の知識レベルに応じて効果的に利用・統合することを支援する仕組みの構築が必要と考え、最新の IT や知識工学の技術を駆使して、世界初の試みとして KMS を開発しました。http://kms1.jaea.go.jp/kmsif/kms_login.html

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21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21年度に実施した主な調査研究の成果および地上施設と地下施設の建設について報告します。



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

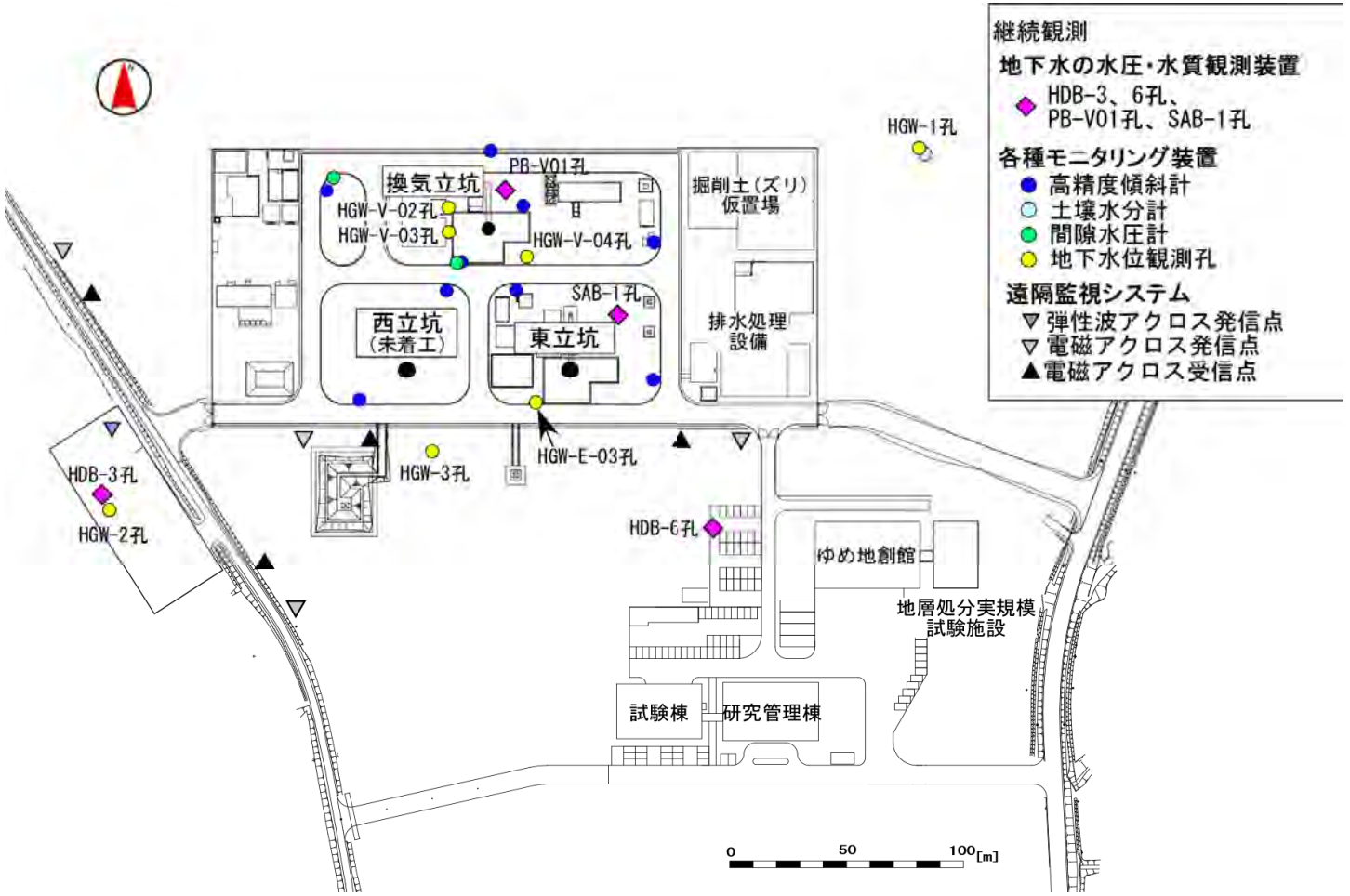


図 2　研究所用地における主な施設と観測装置の配置

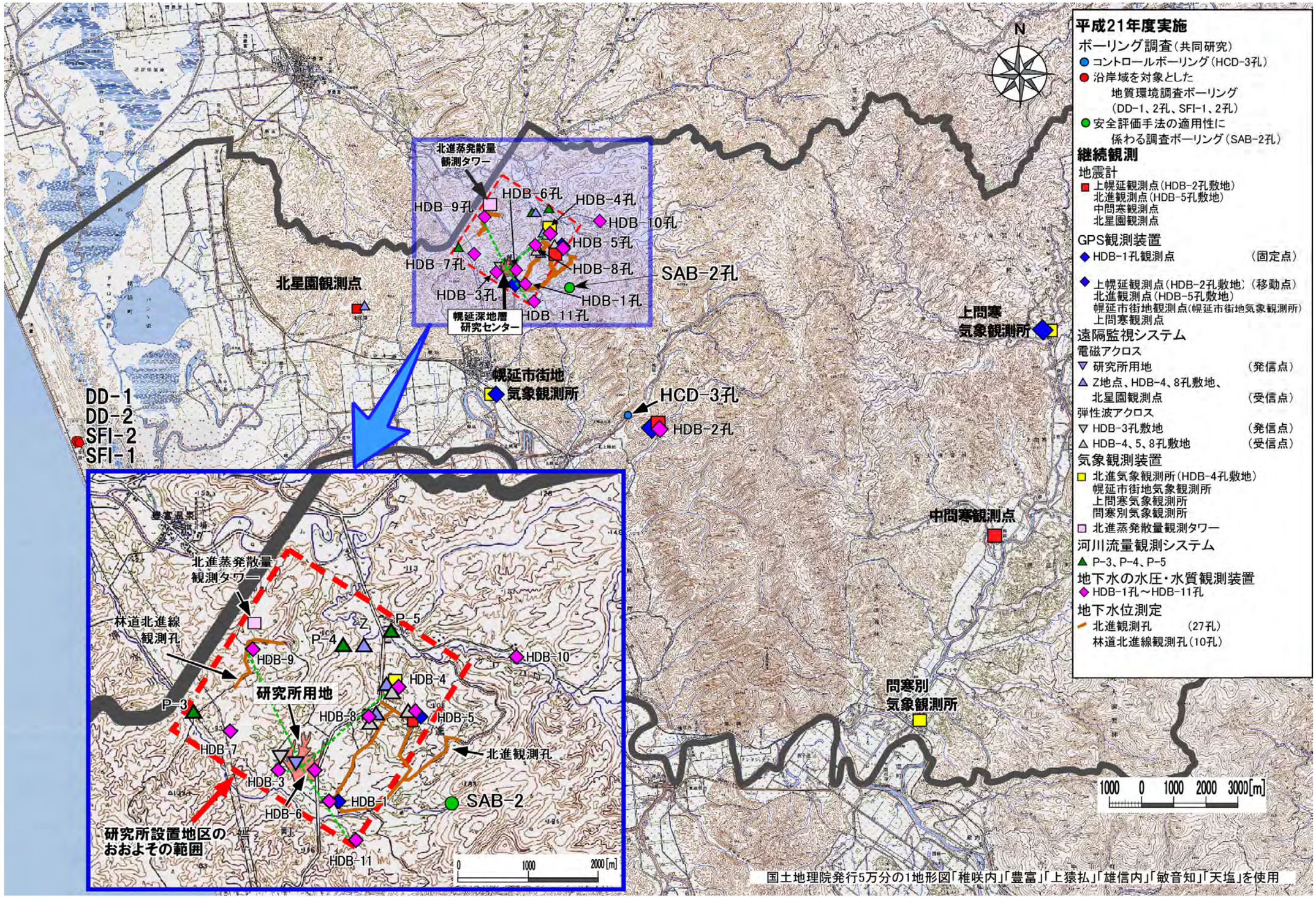


図 3　ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所

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）の調査結果に基づく地下施設周辺の地質構造モデルの妥当性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層の分布や割れ目の発達状況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(4)、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*6となっていること(5)、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（SDT*7：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(6)、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確認と更新を行うことが重要となります。

平成21年度は、上記の割れ目に関するモデルの妥当性確認と更新を目的として、平成20年度に引き続き東立坑の深度約140m～約220mの坑道壁面/底盤における声問層の地質観察や、坑道内からのボーリング調査における声問層/稚内層の地質観察を行いました。また、平成20年度に実施した東立坑近傍のボーリング調査（SAB-1孔）から得られた声問層/稚内層のデータ解析も行いました。

声問層の坑道壁面/底盤観察の結果、破砕物を伴う断層の長さはいずれも数m以下であり、その他の割れ目も数十cm程度と短く、これまでの傾向と同様に声問層の割れ目の連続性・連結性は乏しいことが観察されまし

---

*6：岩盤中で地下水の経路になり得る割れ目を指します。
*7：Suitable Domain for pervasive Tensile failureの略です。

た（図 4)。また、湧水箇所も特に認められませんでした。これらの観察結果は声問層の割れ目が地下水の流れに大きな影響を与えていないとする第1段階のモデルと整合的と言えます。

また、壁面/底盤においてシアバンド（かい離した面を持たない黒色の変形帯）として連続するものの、せん断割れ目は連続・連結していません（図 5)。このような割れ目の状態は声問層のように比較的軟質な岩盤中によく見られるものであり、その軟質な岩盤物性がせん断割れ目の成長よりもシアバンドの成長を促すために生じるものです。このような観察結果も、声問層中の割れ目の連続性・連結性や透水性が低いことを裏付ける結果と言えます。

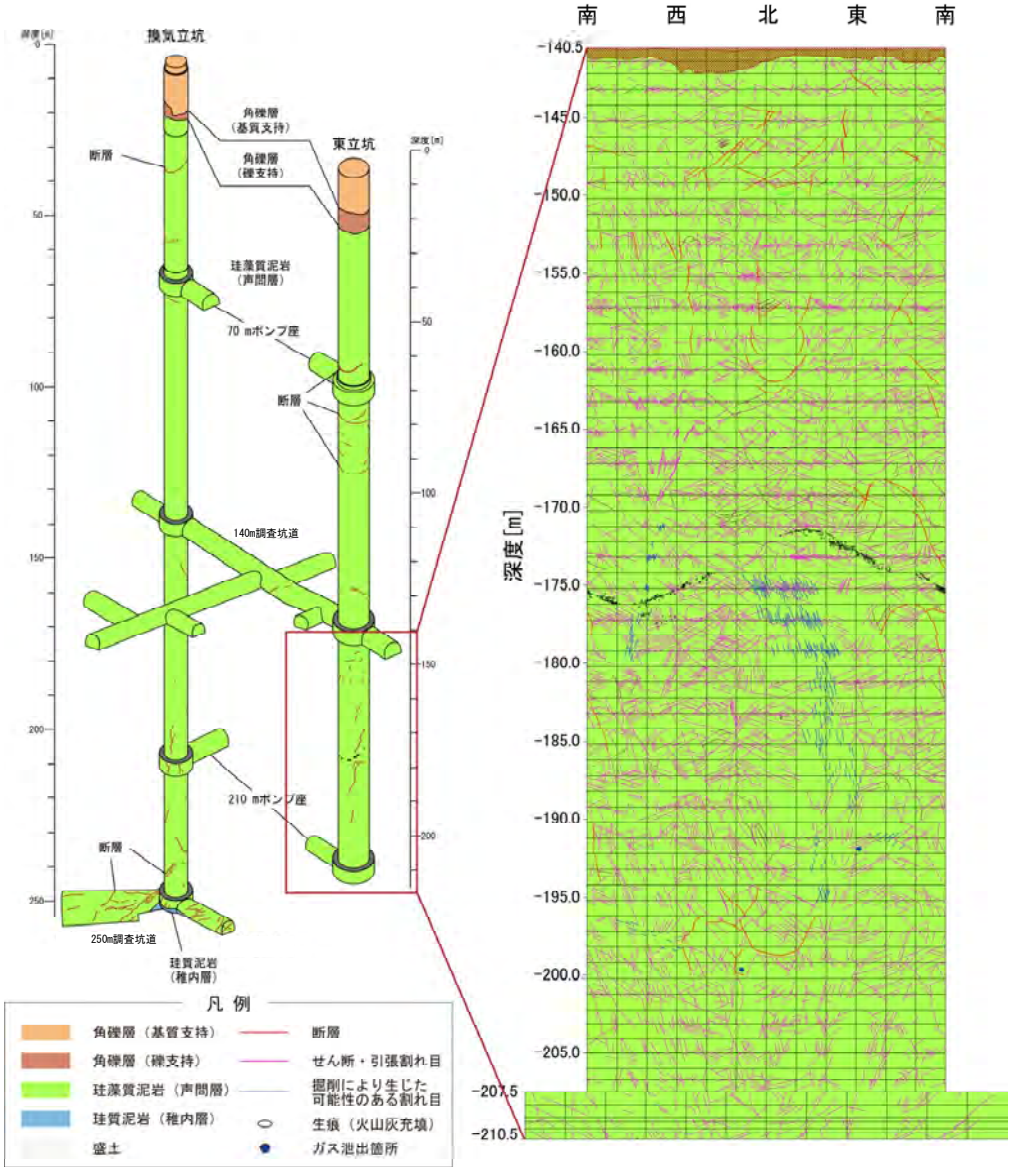


図 4　立坑における壁面の地質観察結果（展開図）

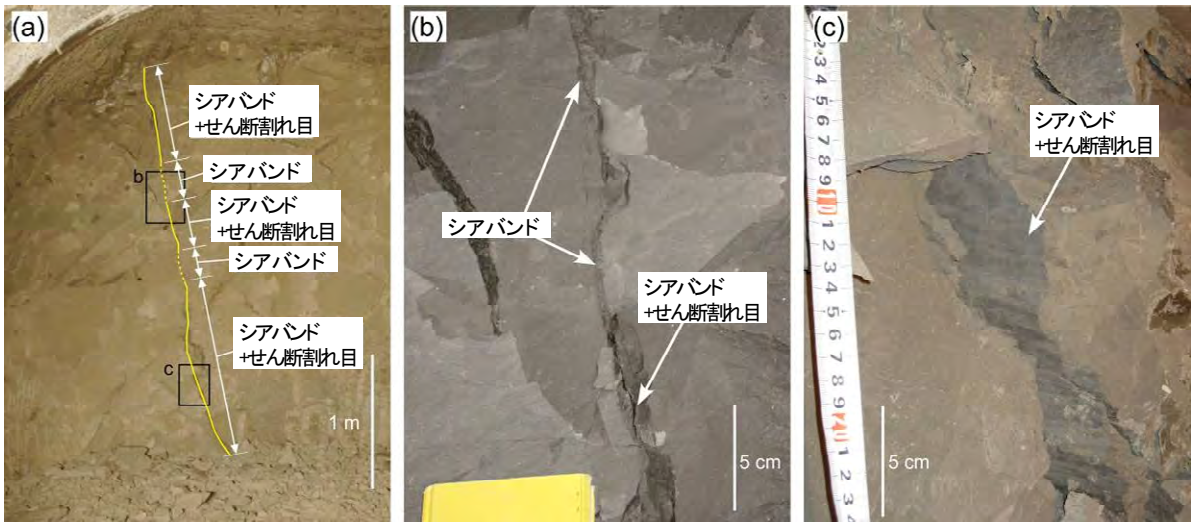


図 5　声問層におけるせん断割れ目の状態の一例（140m 調査坑道）

なお、声問層の坑道壁面/底盤には掘削により生じた引張割れ目が認められ、底盤では概ね水平方向に発達しています（図 6(a)）。一方、東立坑の深度約170m～約200mの坑道壁面には、これらとは特徴の異なる鉛直方向に密集して発達するせん断/引張割れ目が多数認められました（図6(b)）。これらの鉛直方向の割れ目はこれまでの調査でもあまり確認されていなかったもので、発破の影響を受けやすい位置に発達する傾向もあることから、これらの鉛直方向の割れ目も発破掘削により生じた可能性が考えられます。

稚内層については、SAB-1孔から得られたコア観察や孔内試験の結果、換気立坑先行ボーリング（PB-V01孔）と同様に、層理面に高角な割れ目の一部が地下水の主要な水みちとなっていることが確認できました。

また、地下に分布する稚内層中の断層の大きさ（断層を円盤と仮定した時の半径）を把握するために、露頭調査のデータや既存文献などから推定した断層の破砕物の厚さと断層の大きさの関係を用いて、ボーリング孔で遭遇した断層の大きさを推定することを試みました。数十mの距離で近接するSAB-1孔、PB-V01孔、HDB-3孔およびHDB-6孔のデータを用いて解析を行った結果、あるひとつの孔から推定される断層の連続性は他の3孔の調査結果と整合的であることを確認しました。さらに、同様な方法を、その他のボーリング孔にも適用して断層の大きさを推定したところ、その頻度分布は他の地域で報告されている多くの研究例と整合的であることが分かりました。

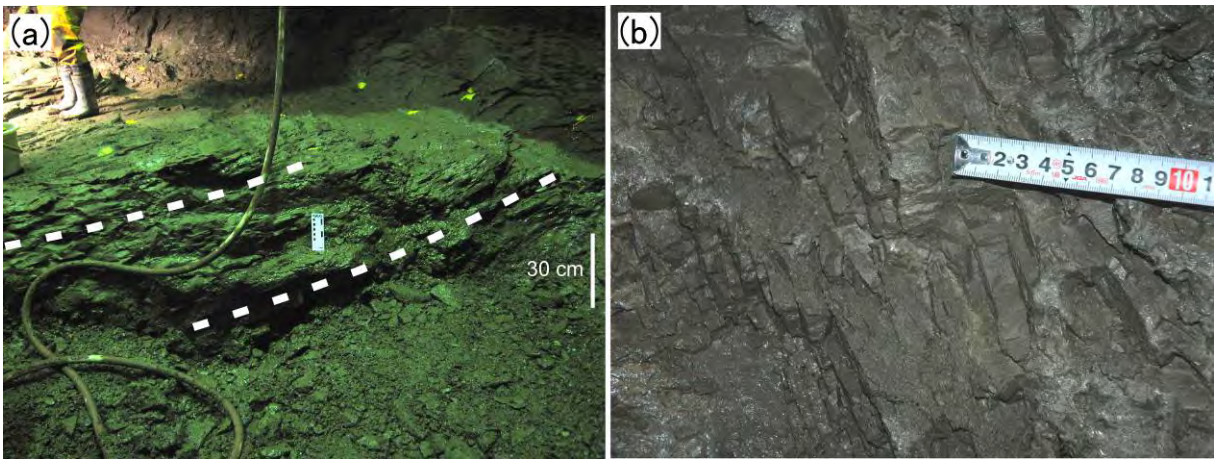


図 6　声問層に認められる割れ目の例

（a）立坑掘削に伴って生じた多数の引張割れ目。底盤から壁面にかけて図中の破線方向に沿って引張割れ目が発達する（東立坑深度219.2mの底盤）。(b) 立坑掘削に伴って生じた可能性のある鉛直方向に近いせん断/引張割れ目（東立坑深度175.0mの坑道壁面）。

今回、数十mの距離で近接する、上記4本のボーリング孔（掘削長：約500～約600m）のデータ解析を実施した結果、これまで不明な点の多かった稚内層中の断層の大きさに関して、新たな知見を得ることができました（破砕物の厚さと変位量の関係から断層の大きさをランク1～3に分類）。また、推定される断層の大きさと孔内透水試験結果を比較すると、SDTに分布するランク1の断層（推定半径数十m以上）が特に高い透水性を示すことが分かりました。さらに、立坑近傍における4本のボーリング孔（SAB-1孔、PB-V01孔、HDB-3孔およびHDB-6孔）の地質データを用いて推定した稚内層中のSDTに分布するランク1の断層の水理ネットワークは、換気立坑での湧水に伴って周辺孔で観測された水圧応答と整合することも分かりました（図 27参照）。

今回の調査結果から、稚内層のように比較的硬質で均質な堆積岩の場合は、ボーリングコアの破砕物の厚さから断層の大きさを推定できる可能性が示唆されました。しかしながら、1本のボーリングコアを用いて、その破砕物の厚さから断層の大きさを推定することは、ボーリング孔が断層のどの部分を貫いているか分からないため、推定精度には限界があります。断層の大まかな分布や統計的なサイズ分布などを推定する上では十分に有効と考えられますが、坑道周辺におけるより正確な断層の広がりや性状を知るためには、坑道の壁面観察などを行うことが必要と考えられます。

上記のように、平成21年度は、坑道壁面/底盤の地質観察や立坑近傍の

ボーリング調査の結果に基づいて、声問層および稚内層中の割れ目の発達状況に関するモデルの確認・更新を行いました。今後も継続して坑道壁面/底盤の地質観察や坑道内からのボーリング調査を行い、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。

(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21年度は、気象観測所や河川流量観測地点（図 7）での降水量および、積雪深、気温・水温、河川流出高*8の観測（図 8）や、これらの観測結果に基づく地下水涵養量（雨や雪などの降水が地下にしみ込む量）の推定のほか、研究所設置地区およびその周辺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て、浅層ボーリング孔を利用した地下水位観測を継続しました(7)。なお、気象観測については、7月に幌延市街地気象観測所、問寒別気象観測所、上問寒気象観測所での観測を完了し、観測機器を撤去しました。今後は北進気象観測所のみで観測を継続します。

地下施設近傍の地下水位観測の結果を図 9に示します。浅層ボーリング孔を用いたこれらの観測結果では、地下施設の建設の影響と考えられる顕著な変化は認められていません。

地下水涵養量を推定する上で重要となる降水量について、これまで気象観測所の観測値を流域全体の代表値として用いる方法を採用していましたが、積雪調査の結果(8)から、流域内における観測値のばらつきが大きいことが分かりました。そこで、植生や標高・起伏などの地形に応じた流域内の積雪分布と降雪・積雪・融雪の過程を再現可能な推定手法を

*8：河川流出高は、河川流量を流量観測地点から上流の流域面積で割った値で、降水量と同じく mm で表します。

組み込んだ流出解析により、流域の水文諸量の空間・時間変動を検討しました。図 10に流出解析の一例として、過去5年間の清水川流域（P-3流域：図 7）の流出量を再現した結果を示します。解析結果は、観測結果である実流出量を概ね良好に再現できていることから、検討した推定手法の妥当性が示されました。また、再現された水収支は、地下水流動解析結果[(9)]から抽出された地下水の涵養域と流出域の範囲と整合していることが確認できました。

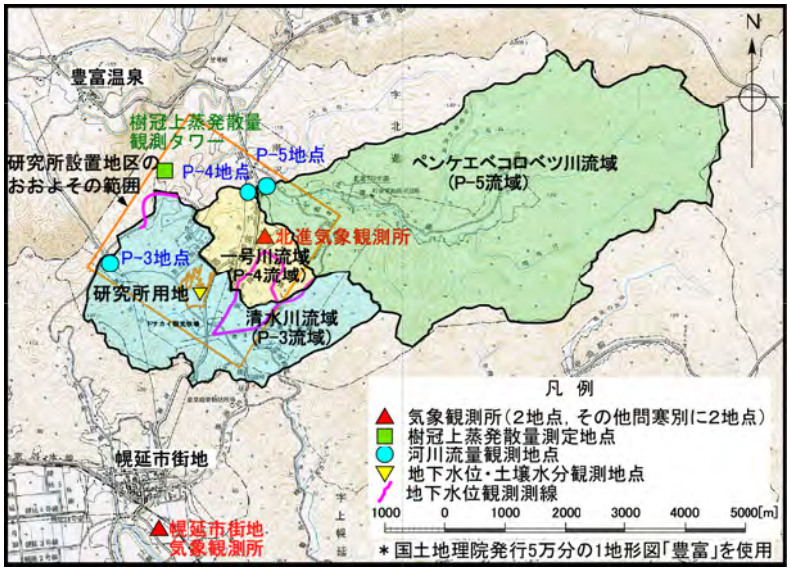


図 7　表層水理調査位置

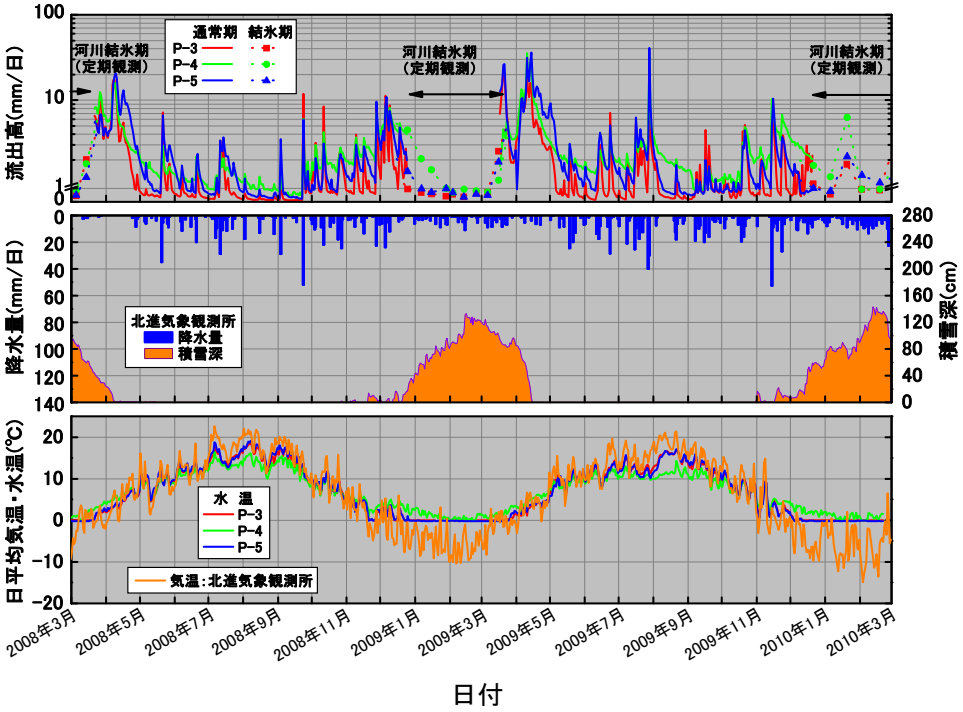


図 8　河川流量観測および気象観測結果

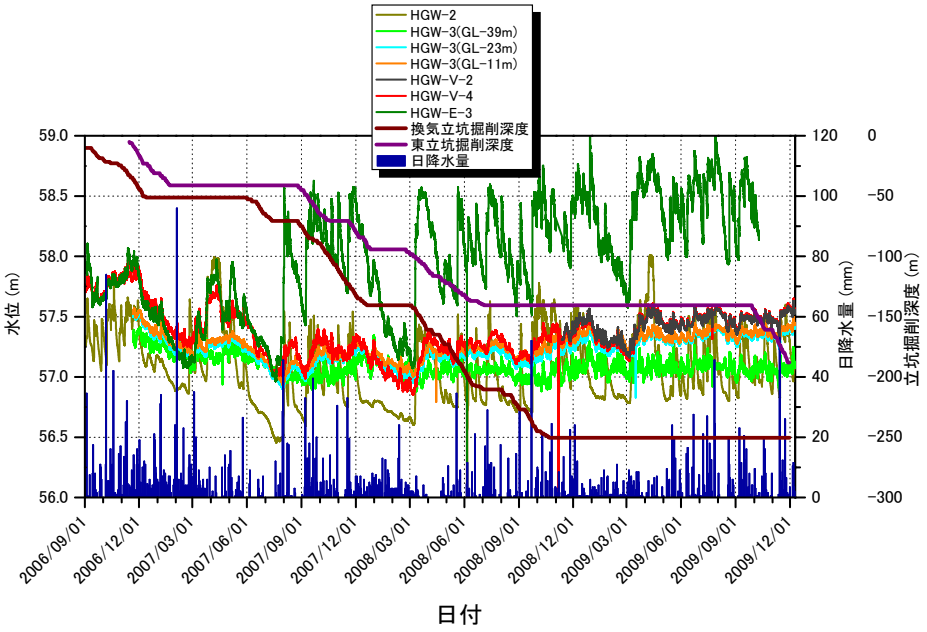


図 9　地下施設近傍の地下水位の経時変化

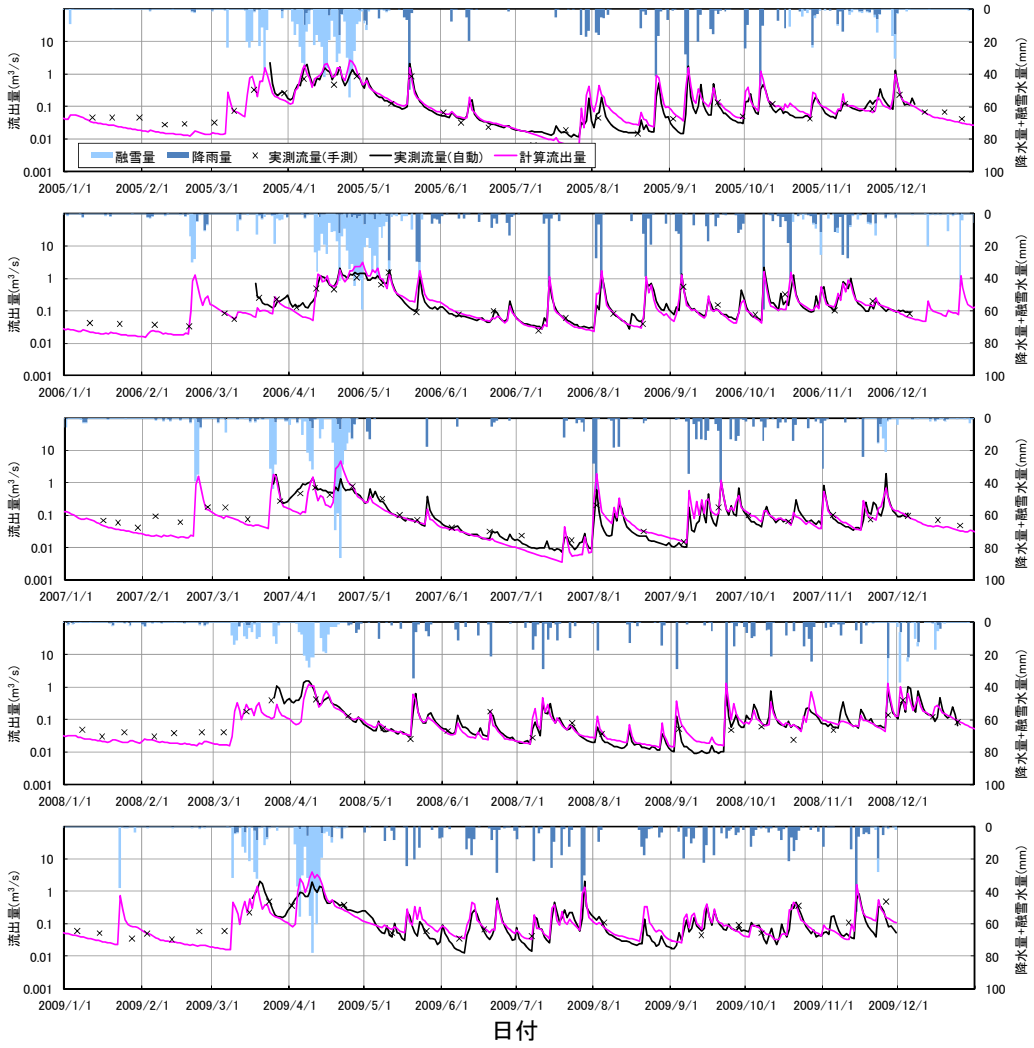


図 10　清水川流域（P-3 流域）の流出量再現結果

今後、ライシメータ*9などを用いた観測を継続し、これまでの観測結果などと比較することにより、各観測結果の精度向上や信頼性、観測手法の妥当性について検討する予定です。また、地下施設の建設が立坑周辺の表層部の地下水流動に与える影響についても引き続き検討を行っていく予定です。

地下施設においては、平成20年度に140m調査坑道の岩盤に設置した機器を用いて、調査坑道の掘削に伴う岩盤の透水性、間隙水圧、水分量の変化を調べました。これらの測定箇所を図 11に示します。調査坑道の掘削中から掘削後、約半年間に繰り返し透水試験を実施した結果、岩盤の透水性に大きな変化は認められませんでした（図 12)。このことから、調査坑道壁面から約3m離れた試験区間においては、調査坑道の掘削により透水性に変化を与えるような現象（例えば新たな割れ目の発生など）は、ほとんど生じていないものと考えられます。間隙水圧と水分量については、調査坑道の掘削前からモニタリングを実施しました（図 13)。調査坑道の掘削により、間隙水圧、水分量ともに低下したことが分かりました。間隙水圧は西側調査坑道の掘削により大きく低下した後、現時点までゆるやかに低下を続けています。一方、調査坑道の掘削に伴い低下していた水分量は、掘削から約半年が経過した頃から増加に転じました。調査坑道の掘削により生じる周辺岩盤から調査坑道へ向かう地下水の流れにおいて、調査坑道から離れた箇所と比べて調査坑道近傍から坑道へ向かう水分の移動量が大きいと調査坑道近傍の水分量は低下すると考えられます。一方、間隙水圧の分布状況などによりこのような水分の移動量の相対的な大小関係が逆転すると、水分量は増加すると考えられます。現時点では掘削開始前より少ない水分量で安定した状態を示しつつあります。

今後も間隙水圧と水分量のモニタリングを継続し、坑道掘削に伴うこれらの変化に関するデータを取得します。

---

*9：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量などの水収支に関するデータを直接求める装置です。

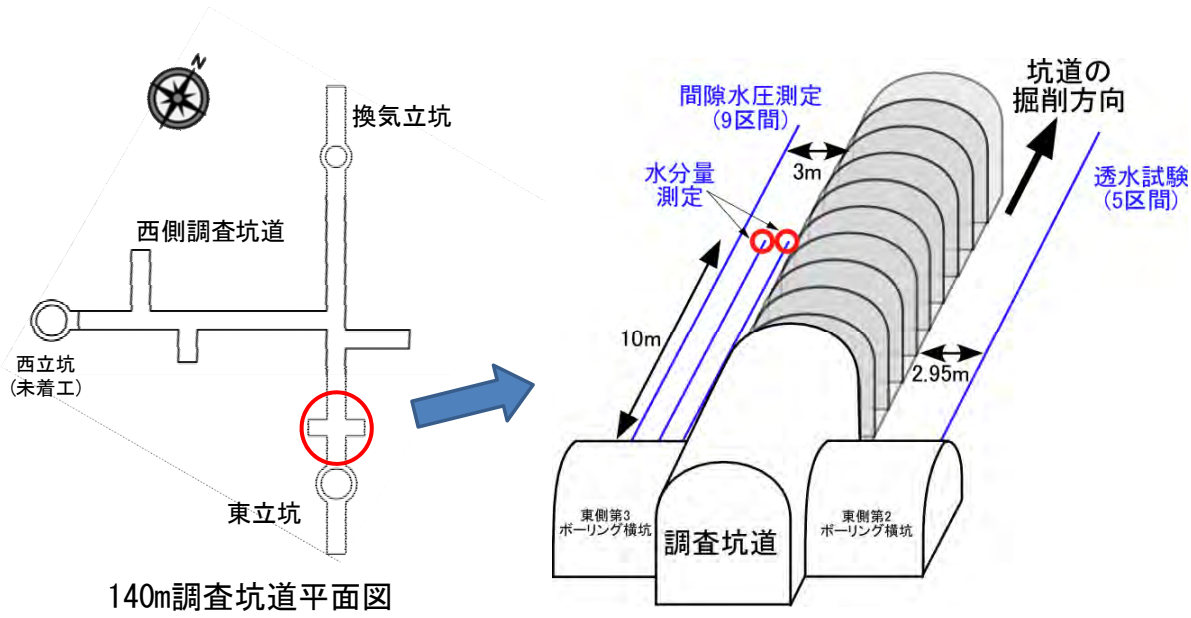


図 11　140m 調査坑道における測定レイアウト

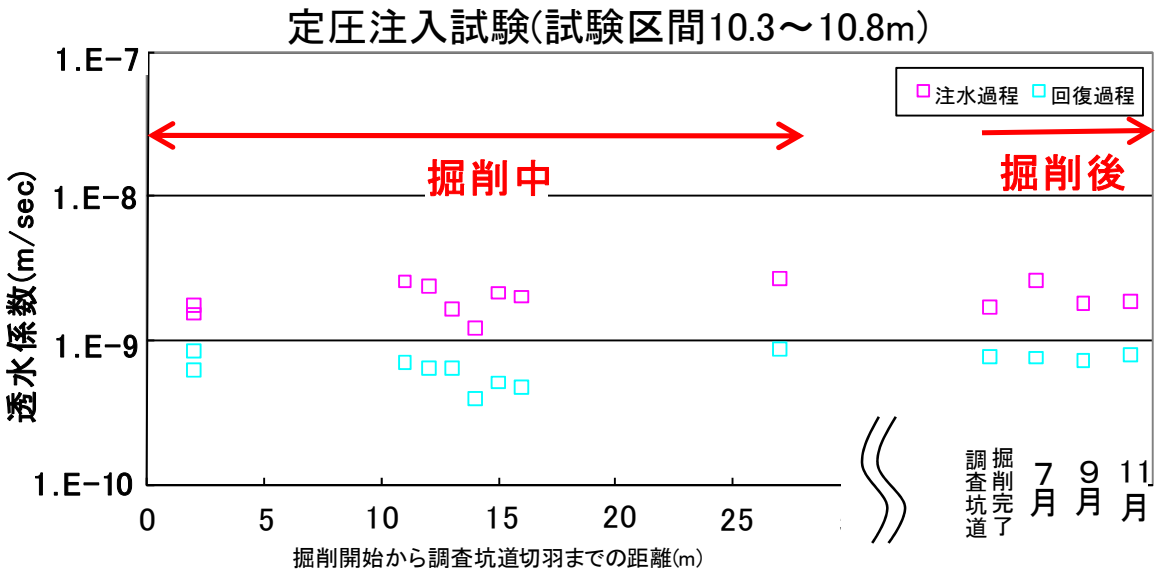


図 12　繰り返し透水試験結果の一例

(試験区間：東側第 2 ボーリング横坑からの距離 10.3～10.8m)

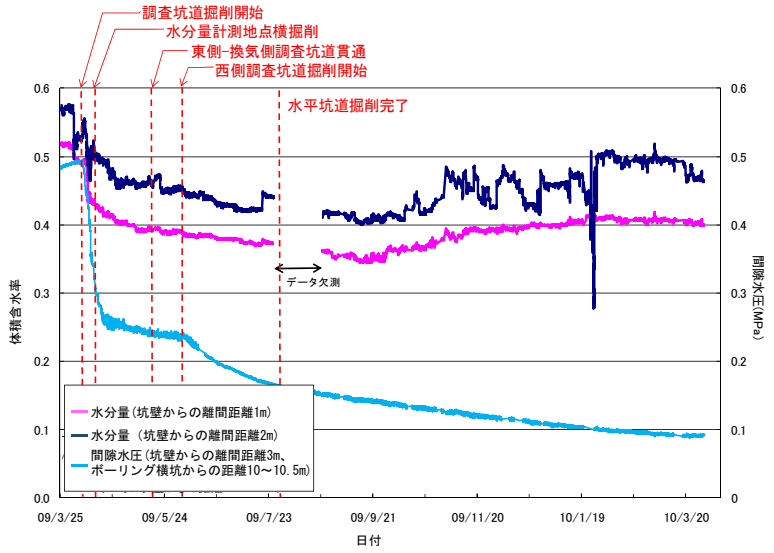
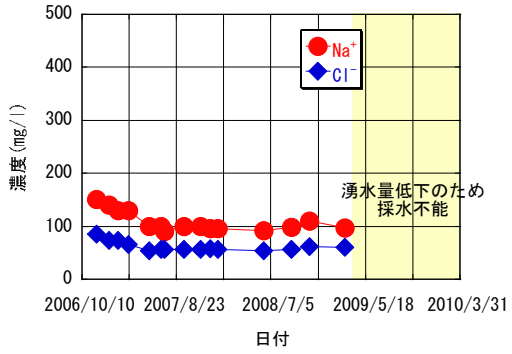


図 13　間隙水圧・水分量の経時変化

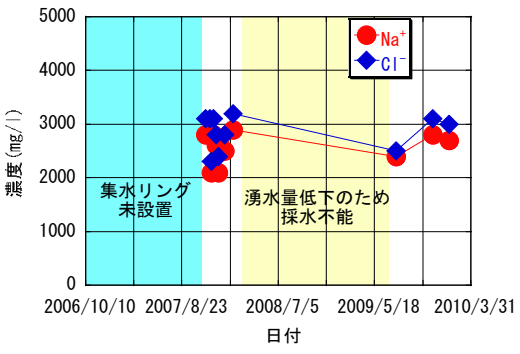
(3) 地下水の地球化学

第2段階における地下水の地球化学に関する調査では、第1段階で推定した地下水の水質の空間分布および地下施設の建設に伴い生じる地下水の水質変化を確認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水素イオン濃度(pH)や電気伝導度(EC)などを測定するための装置を製作し、その適用性の確認を行うとともに、坑道近傍の地下水の水質変化を把握することとしています。

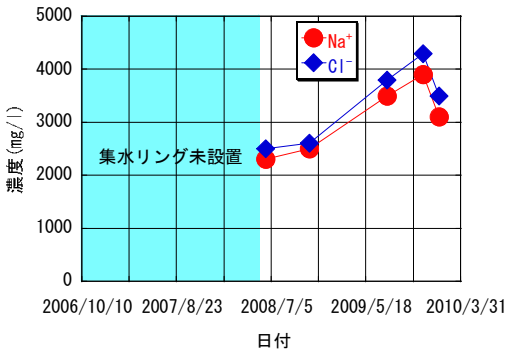
平成21年度は、平成20年度に引き続き換気立坑および東立坑に設置した集水リングおよび坑道壁面から採取した地下水の水質モニタリングを継続しました。図 14～図 19に集水リングにおける地下水の水質変化および積算湧水量と水質変化の関係を示します。この結果から、一部の深度において水質（塩化物イオン濃度など）が変化しており、立坑掘削による表層水の混入（換気立坑の深度28.5m）や、塩分濃度の濃い地下水の混入(換気立坑の深度133.8m、東立坑の深度63.9mおよび100.0m)が確認されました。一方で、pHについては、換気立坑の深度28.5mでは、観測当初はpHが9前後の弱アルカリ性を示していましたが、次第に中性（pH7程度）で安定する傾向を示し、大気の影響を受けた表層水の混入による変化であると推察されます。その他の深度では、pHは中性～弱アルカリ性を示し、観測開始から現在まで値がほとんど変化していないことが示されました。また、ECの測定値についても一部の深度で増加する傾向が観測されました。この結果は塩分濃度が増加している深度と一致しています。



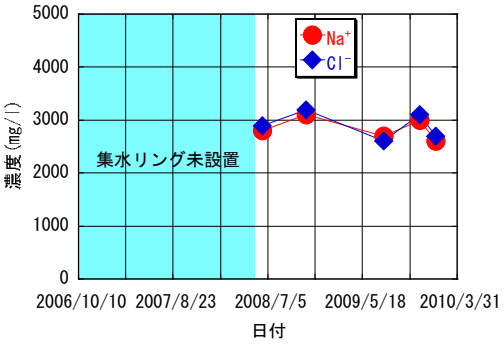
深度 28.5m



深度 98.0m

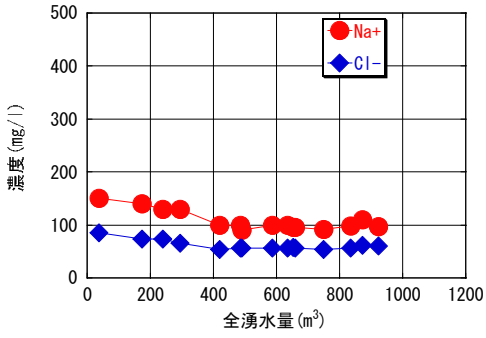


深度 133.8m

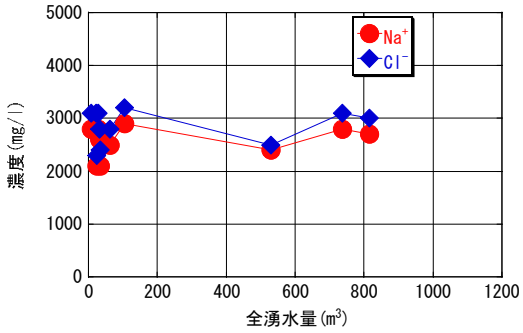


深度 168.0m

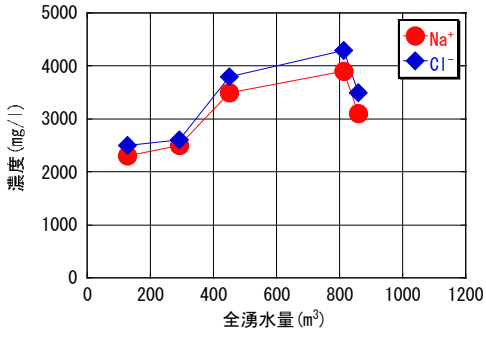
図 14　換気立坑の集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果（Na^+、Cl^-）



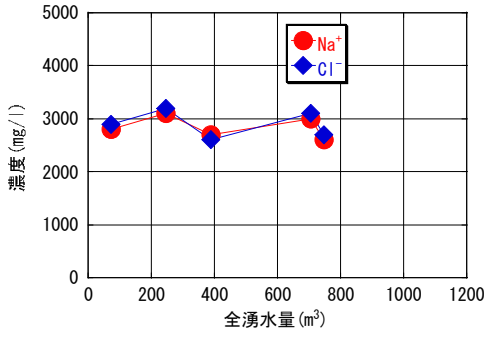
深度 28.5m



深度 98.0m

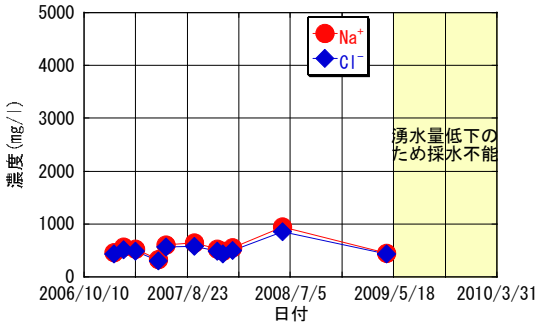


深度 133.8m

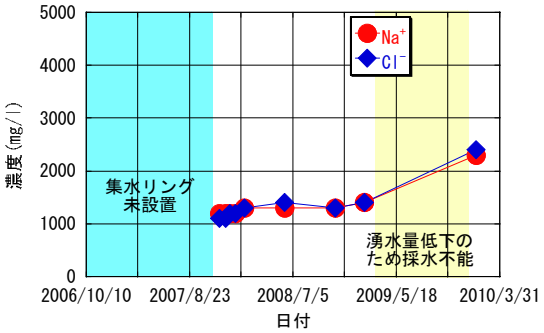


深度 168.0m

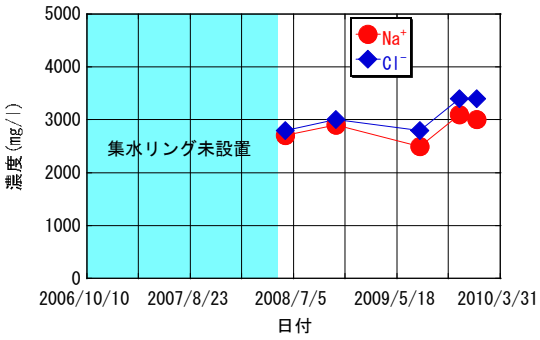
図 15　換気立坑の集水リングにおける積算湧水量と水質変化との関係(Na^+、Cl^-)



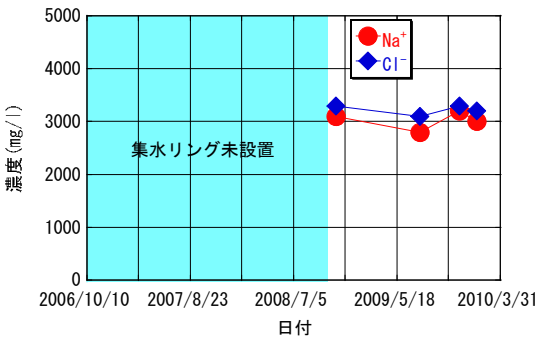
深度 27.0m



深度 63.9m

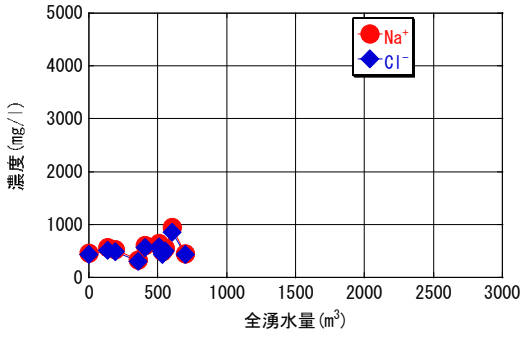


深度 100.0m

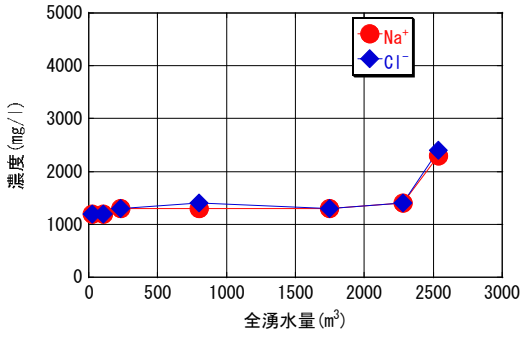


深度 132.0m

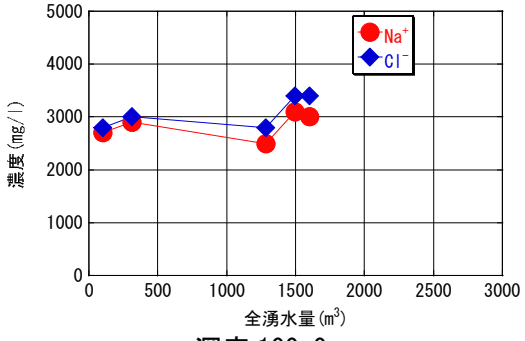
図 16　東立坑の集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果(Na^+、Cl^-)



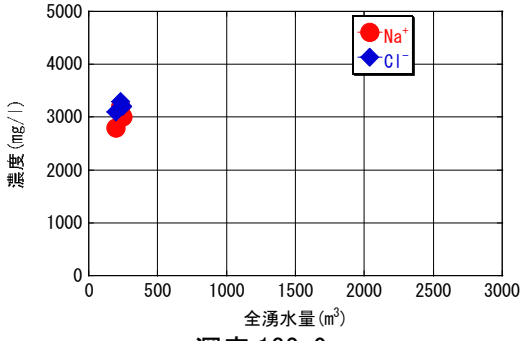
深度 27.0m



深度 63.9m

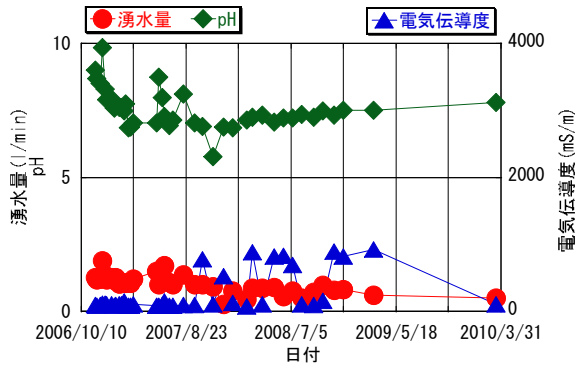


深度 100.0m

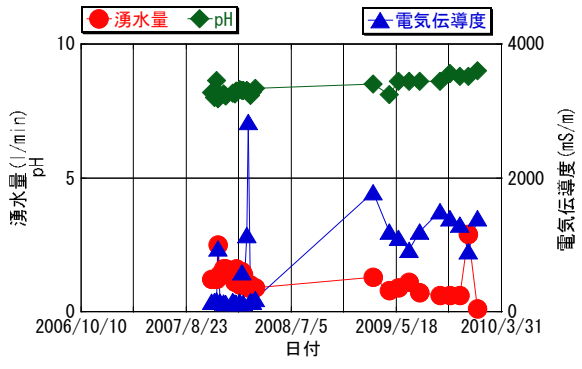


深度 132.0m

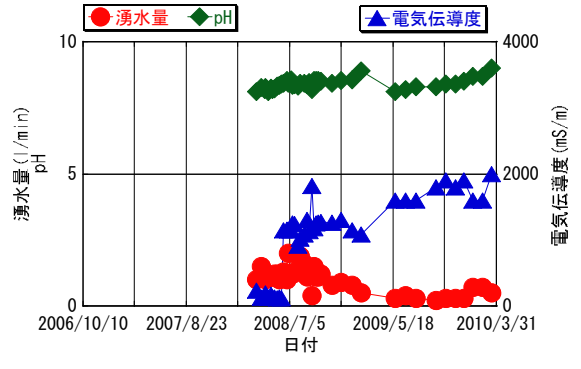
図 17　東立坑の集水リングにおける積算湧水量と水質変化との関係(Na^+、Cl^-)



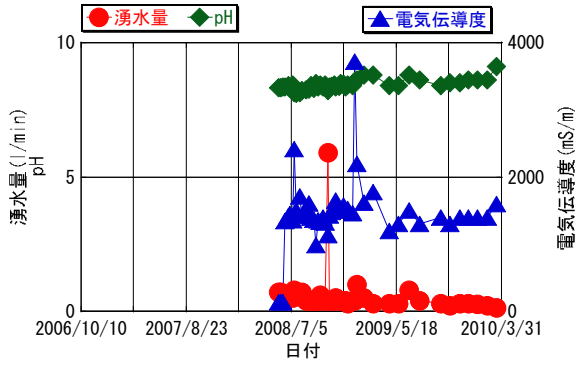
深度 28.5m



深度 98.0m

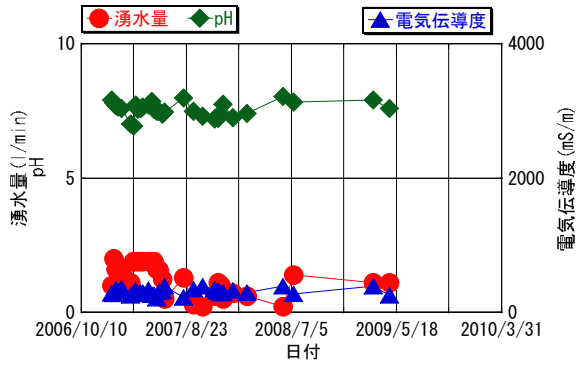


深度 133.8m

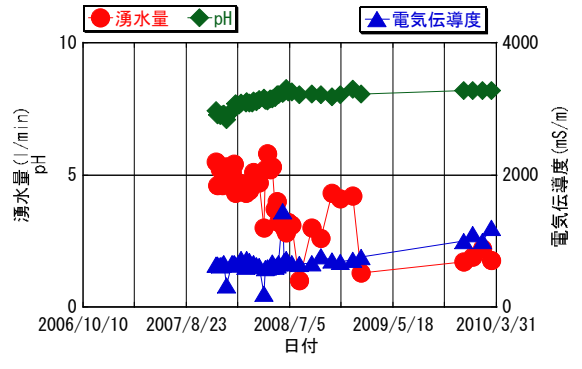


深度 168.0m

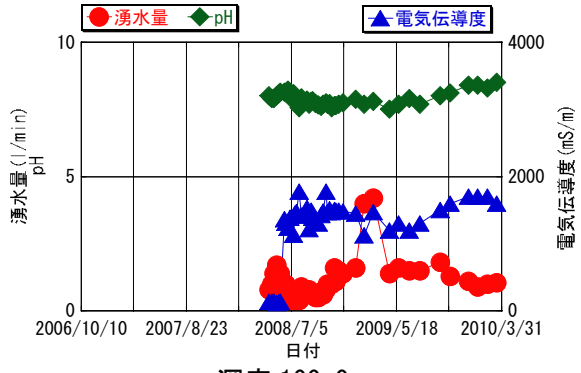
図 18　換気立坑の集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果
（pH、電気伝導度、湧水量）



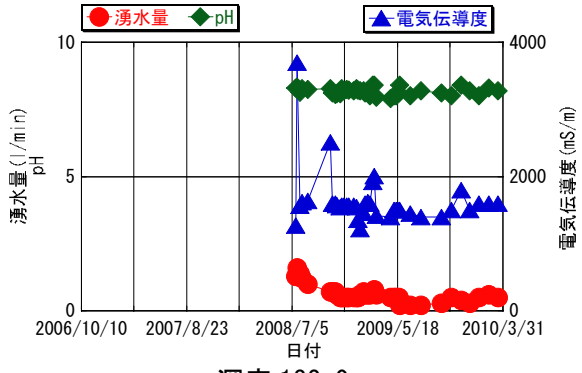
深度 27.0m



深度 63.9m



深度 100.0m



深度 132.0m

図 19　東立坑の集水リングにおける地下水の水質モニタリング結果
（pH、電気伝導度、湧水量）

また、140m東側第1ボーリング横坑から掘削したボーリング孔（08-E140-C01孔；掘削長100m）を利用して、立坑掘削に伴う水圧・水質変化のモニタリングを開始し、地下水の水質組成について深度140m以深の立坑掘削前の初期値を把握しました。その結果を図 20に示します。この周辺の地下水はpHが7程度の中性であり、極めて還元的な状態であることが分かりました。また、東立坑から離れ、深度が深くなるにつれて相対的に塩分濃度が低い地下水が分布していることが分かりました。これは、後述する地下水の地球化学モデルの水質分布（図 29参照）と整合的であり、第1段階の予測手法が適正であることが示されました。さらに、坑道から採取した地下水中の微生物群集について遺伝子の解析を行いました。その結果、硝酸還元菌、鉄およびマンガン還元菌、硫酸還元菌、メタン生成菌が検出されており、全体としてはメタン生成菌が優占する群集組成であり、地下水の還元状態を反映した微生物組成となっていることが示されました。

上記のような地下水の化学的性質は、坑道周辺の地下水の坑道への流入や坑道から岩盤への空気の侵入により、徐々に変化していくと予測さ

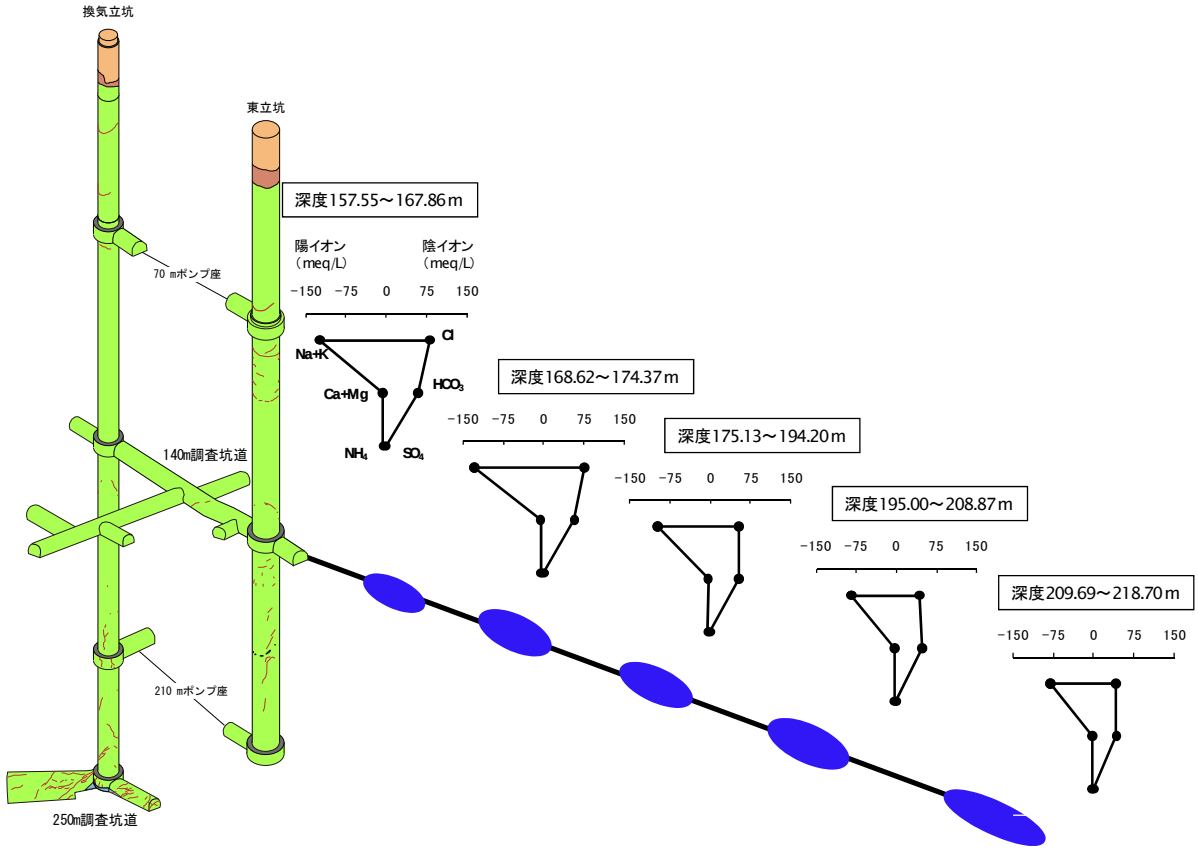


図 20　08-E140-C01 孔から採取した地下水の水質分布

れます。今後、長期的に地下水の水質の観測を継続し、その変化のプロセスやメカニズムを坑道周辺の地質や地下水の流れ方も踏まえて解析を行っていきます。

(4) 岩盤力学

第2段階では、地下施設において、岩盤の力学的性質の分布を確認するとともに、坑道掘削によって生じる周辺岩盤の物性変化の範囲と程度を調査することとしています。

平成21年度は、初期地圧測定、地下施設内部の力学特性を把握するための孔内載荷試験やコアを用いた力学試験のほか、坑道の掘削に伴う坑道周辺の掘削影響領域に関する調査を行いました。初期地圧については第1段階の地上からのボーリング孔と平成20年度に140m東側第1ボーリング横坑で行った測定結果を入力物性値とした三次元掘削解析を実施し、地下施設建設時の内空変位（坑道内径の変化）の実測値との比較検討を行いました。

図 21は、2つの初期地圧を入力物性値とした三次元掘削解析を実施し、内空変位の実測値と比較検討した結果を示しています。図中のケース1は、第1段階の地上からのボーリング調査により評価した初期地圧、ケース2は、140m東側第1ボーリング横坑での調査により評価した初期地圧を解析の入力値に用いています。一般に、水平坑道を掘削する場合、最大主応力の方向に沿った方が周辺岩盤に影響を与えずに掘削するのに有利な方向とされています。図 21に示す内空変位の測定地点は、140m東側調査坑道および西側調査坑道であり、これらの坑道の方向は直交関係にあります。調査坑道施工時に測定した、東側および西側調査坑道の内空変位の実測値は、それぞれ11.3mmおよび3.9mmで、西側調査坑道の内空変位が小さく有利な方向となっています。解析結果では、ケース1で、それぞれ10.5mmおよび7.1mm、ケース2で、それぞれ8.8mmおよび1.4mmという結果が得られました。この結果を東側調査坑道に対する西側調査坑道の内空変位の変化比率で表すと、実測値は1:0.3、ケース1は1:0.7、ケース2は1:0.2となり、ケース2の最大主応力の方向が、実測値をより良く再現していることが分かりました。

さらに、平成19、20年度の140m換気側第1ボーリング横坑、東側第1ボーリング横坑での測定に引き続き、図 22に示すような配置で、250m換気側調査坑道において掘削した①～③孔の3本のボーリング孔を用いて水圧破砕法による初期地圧測定を実施しました。また、④孔では、オーバーコアリング法（孔壁変形法・孔底変形法）*10による初期地圧測定を試みました。

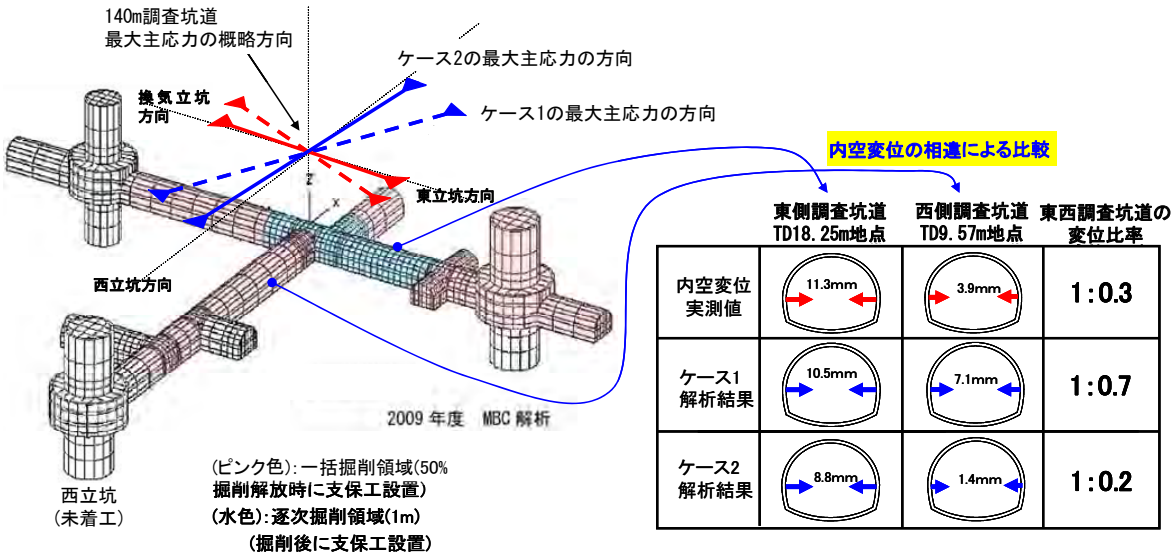
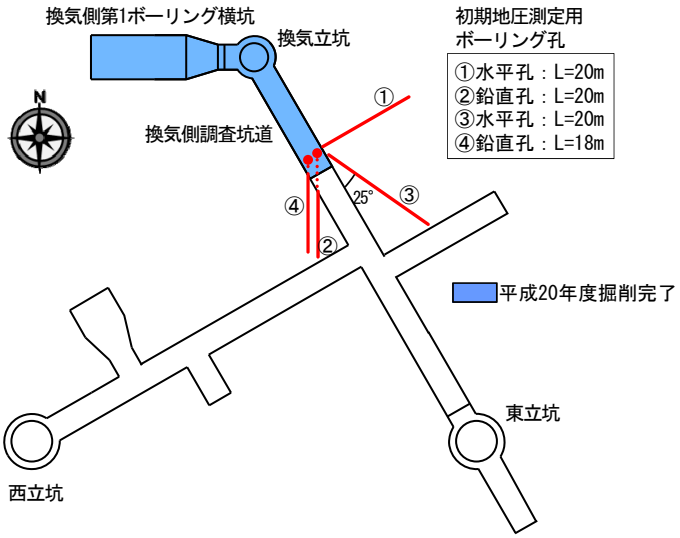


図 21　三次元掘削解析による内空変位の相違による比較



250m調査坑道平面図

図 22　初期地圧測定実施位置図

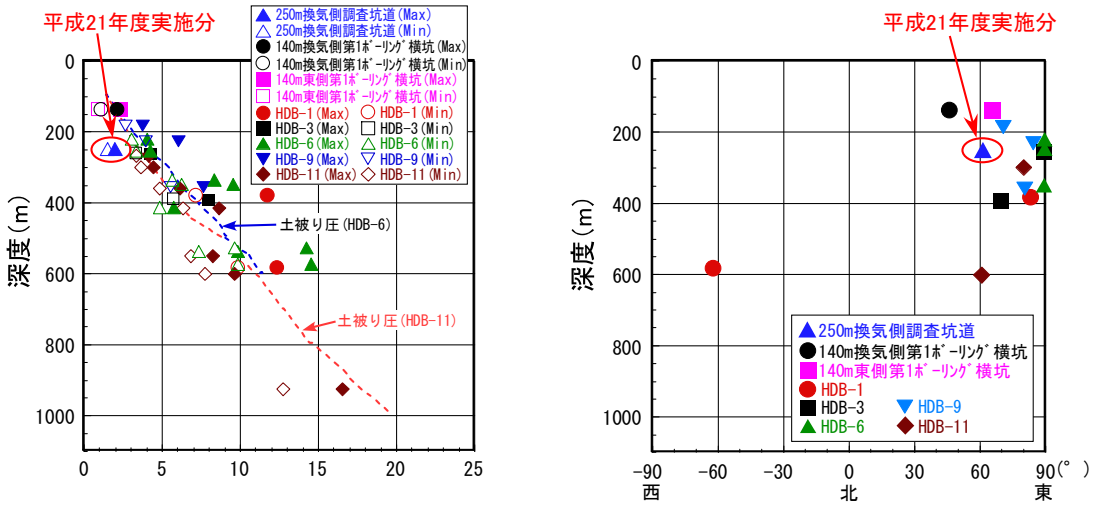
*10：あらかじめ掘削し整形したボーリング孔の壁面あるいは孔底部分に測定器をセットし自立させた後、最初の孔よりも大きな径でボーリングを実施し、岩盤の圧力が解放されることによるボーリング孔の壁面あるいは孔底部分の変位を測定することにより、三次元初期地圧を計測する手法です。

平成19、20年度に実施した水圧破砕法による測定の実施後に、ボーリング孔内で横亀裂の発生が見られましたが、平成21年度の測定では、横亀裂・縦亀裂の両方が確認されました。そこで、初期地圧を横亀裂の方位と亀裂閉口圧(亀裂が閉じるときの圧力)および縦亀裂の方位とそれが生じる時の破砕圧の両データを一度に用いて評価しました。

図 23は、これまで地上から実施したボーリング調査（HDB-1、3、6、8、11孔）より得られた初期地圧測定結果と地下施設での調査による測定結果を水平面内の主応力として表示し比較したものです。図 23(a)より、深度250mで評価された水平面内の最大・最小主応力値は、これまでの計測結果から推定される応力範囲内となりました。また、図 23(b)より水平面内の最大主応力の方向は、これまでの計測結果と同じ傾向を示しています。

坑道の掘削に伴う坑道周囲の掘削影響領域*11に関する調査では、掘削影響領域の特性を評価するために、図 24に示す配置で、弾性波トモグラフィー調査、地中変位計測、孔内載荷試験などを坑道の掘削前後に実施し、坑道の掘削に伴う諸物性の変化を取得しました。図 25に水平坑道掘削影響試験結果を示します。坑道の掘削に合わせて弾性波トモグラフィー調査を繰り返し行った結果、掘削の進捗に伴い刻々と変化する状況を弾性波の速度変化率の分布として捉えることができました。図 26に立坑掘削影響試験の結果の例として、地中変位計測の結果を示します。立坑の壁面近傍では岩盤が移動しているものの、坑壁から離れるとほとんど移動していないことが分かりました。これらの一連の試験結果を総合すると、岩盤の力学的な性質（波の伝わる速度や岩の固さなど）が大きく変わる範囲は坑道近傍の数十cm程度に限られることが分かりました。

*11：坑道を掘削することにより坑道の周囲に発生する、坑道掘削前と状態が変化する領域のことを言います。岩盤の強度が低下するような力学的な変化、間隙水圧が低下するような水理学的な変化、酸素が触れることによる地球化学的な変化などが挙げられます。



水平面内最大･最小主応力値(MPa)

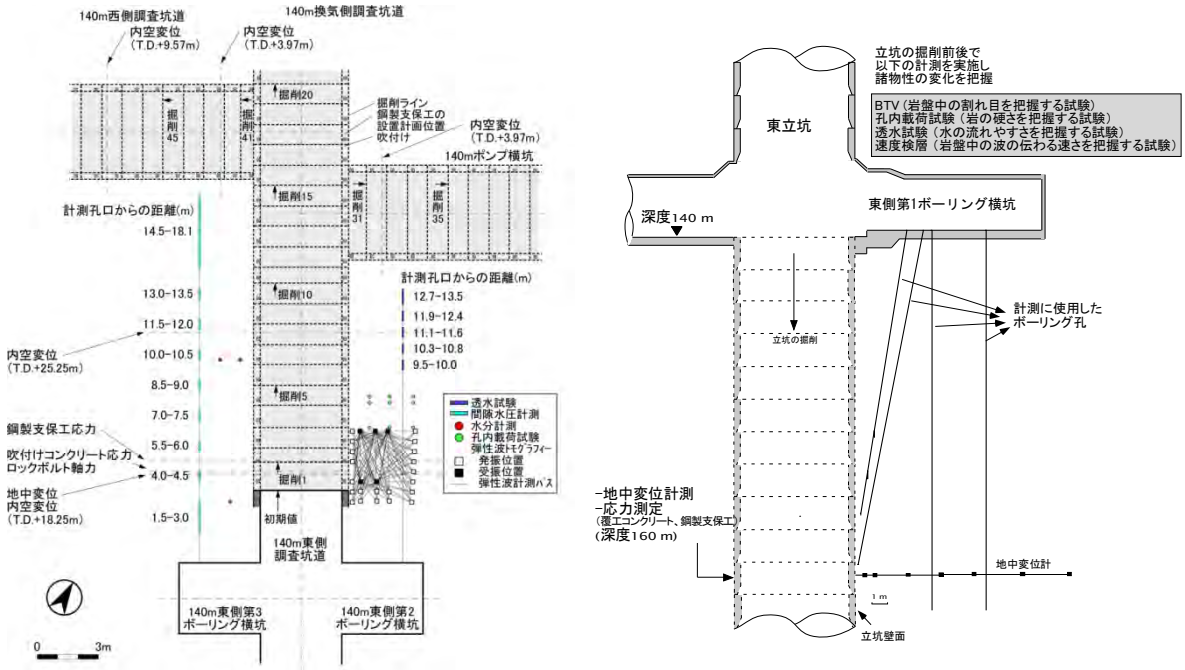
(a) 水平面内最大･最小主応力値

水平面内最大主応力方向

(b) 水平面内最大主応力方向

図 23　既存の初期地圧測定結果との比較

凡例のMaxは最大主応力値、Minは最小主応力値を表します。



(a) 140m 調査坑道平面図

(b) 東立坑深度 140m 断面図

図 24　坑道掘削影響試験

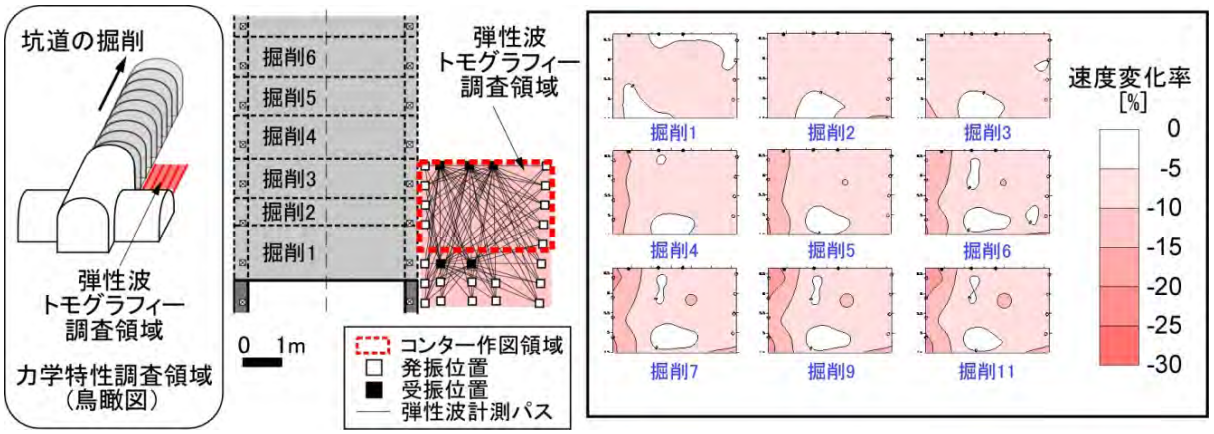
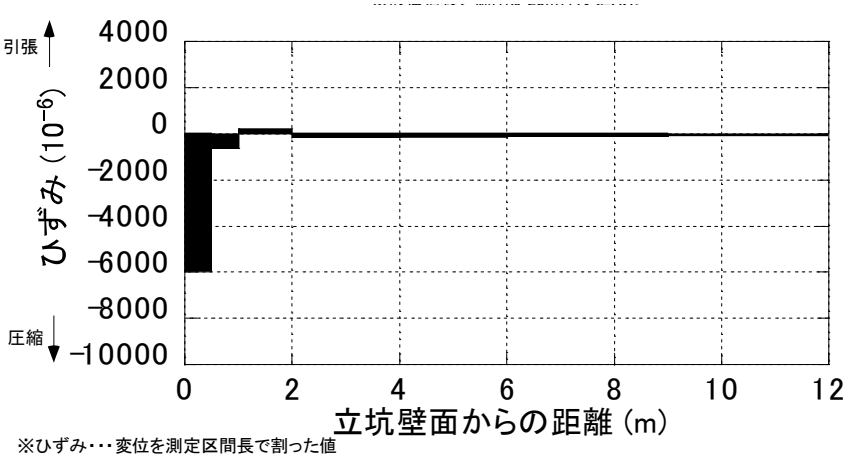


図 25　弾性波トモグラフィー調査の結果（水平坑道掘削影響試験）



※ひずみ･･･変位を測定区間長で割った値

図 26　地中変位計測の結果（立坑掘削影響試験）結果の一例

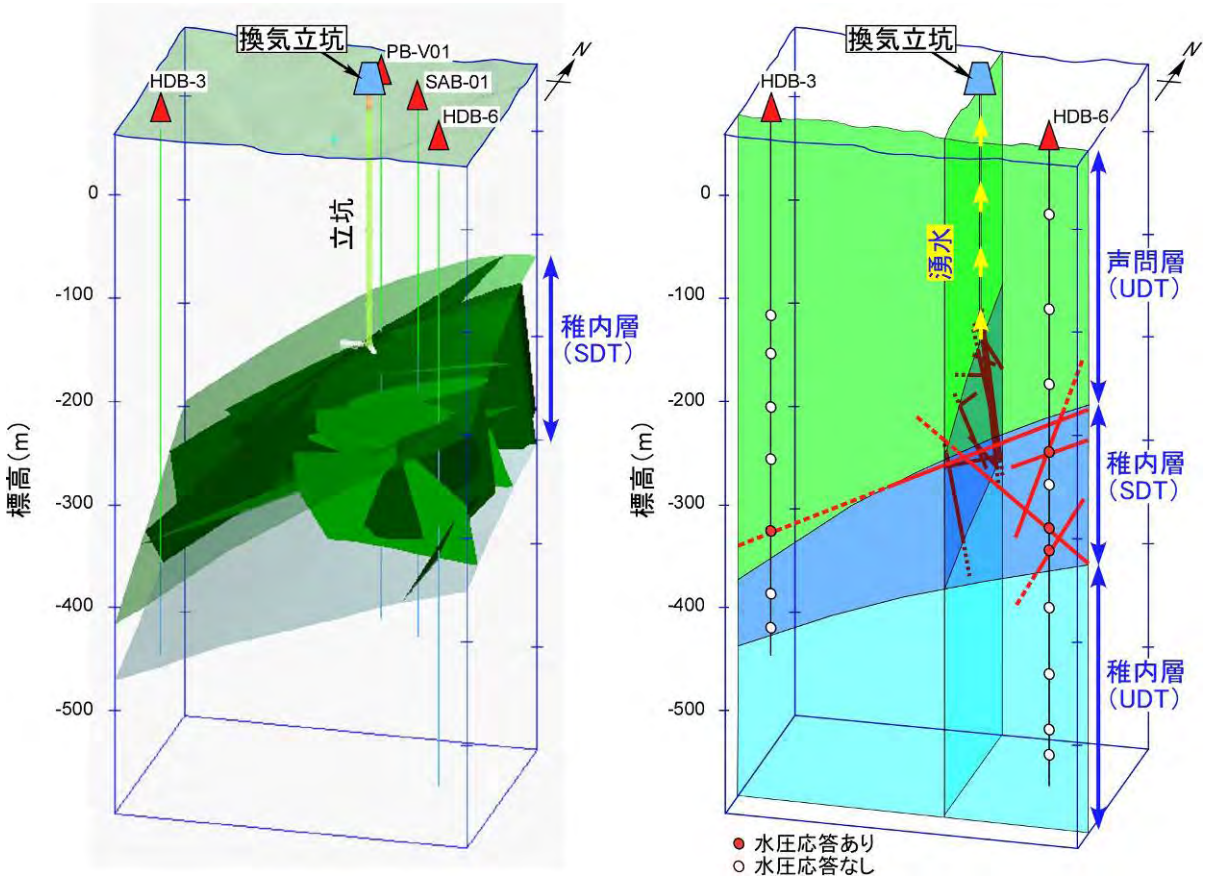
立坑南側壁面の岩盤のひずみ（設置直後と掘削が 20m 程度進んだ時点の変位の差）

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

坑道壁面の地質観察や既存のボーリング調査におけるコア観察で得られた地質・地質構造に関するデータ（地層や断層の分布など）を用いて、地質構造モデルを更新しました。図 27に、地下施設周辺の地層や主要な断層の詳細な分布を三次元的に表現した地質構造モデルを示します。

このように、坑道掘削時の調査結果を用いて、既存の地質構造モデルの更新を逐次行い、地下施設の詳細なレイアウトの検討や地下施設内での調査試験位置の検討、ならびに地下水の流動状態を把握するための水理地質構造モデルの基盤情報として活用しています。



SDT：断層運動に伴って引張割れ目が発達しやすい領域
UDT：断層運動に伴って引張割れ目が発達しにくい領域

図 27　地質構造モデル・岩盤の水理モデル
立坑近傍のボーリング孔（HDB-3、HDB-6、PB-V01 および SAB-1 孔）のデータから推定した主要な断層（ランク 1）のネットワークの三次元分布

(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などの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。

モデル化においては、割れ目に伴う地層の不均質な透水係数分布を調査で取得した割れ目の方向などの情報に基づいて等価な連続体モデルで表現するとともに、各段階の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を考慮しました。

予測解析の結果、透水性が高い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傾向が推定され、実測値の示す傾向と整合する結果が得られました（図 27、図 28）。また、更新したモデルや不確実性を考慮したモデルにより推定される湧水量の値は、ある程度の幅を有するものの実測値とほぼ同程度であることが示されました。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が適切に表現されているものと考えられます[(10)]。また、湧水量の予測の信頼性を向上するために、透水性に影響を及ぼす割れ目の三次元的な分布を考慮することが重要であることなど、調査における留意点を示しました。

今後は、第2、第3段階の調査研究において、地下施設の建設に伴う湧水量の変化を継続的に観測するとともに、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や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などを通じて、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を行う予定です。また、地下施設で検討している調査試験箇所の地下水流動場を推定し、調査試験の計画策定に反映します。

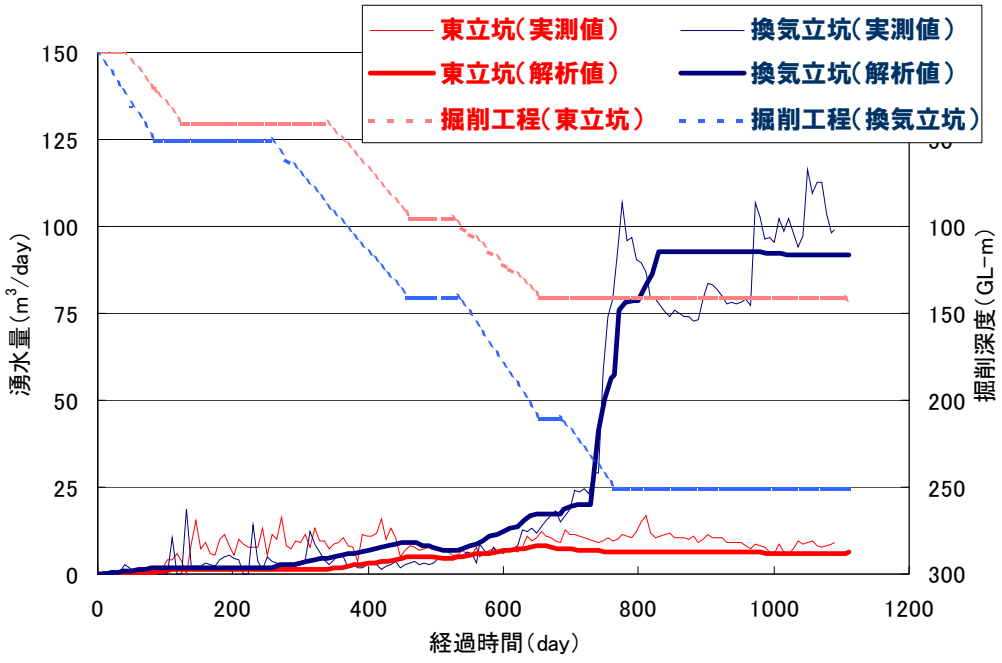


図 28　地下施設の建設に伴う湧水量の予測と実測の比較例

(3) 地下水の地球化学モデル

第2段階では、第1段階で実施した地上からのボーリング調査結果に基づいて、地下水の地球化学モデルを構築し、地下施設周辺の水質の空間分布の予測を行ってきました。平成21年度は、立坑での調査結果（集水リングやボーリング孔から採取した地下水の水質分析結果など）に基づき、予測した水質の空間分布の傾向とその精度について確認を行い、第1段階で構築した地球化学モデルの妥当性の評価を行いました。

図 29に第1段階で予測した地下水水質（塩化物イオン濃度）の空間分布を示します。平成21年度に、140m東側第1ボーリング横坑から掘削したボーリング孔（08-E140-C01孔）から採取した地下水の水質（実測値）は、立坑周辺を除いて分析誤差や作図の際の偏差程度の差の範囲で予測値と一致しており、第1段階における予測技術の精度を確認することができました。また、換気立坑周辺の塩化物イオン濃度は、予測値より低い濃度で分布していることが明らかになりました。このような予測と実測値の相違は、データの品質や量、空間補間方法に起因する不確かさのほか、立坑の掘削に伴う周辺地下水の流入などが考えられ、これらの情報を見直すことによって、より信頼性の高い予測が可能になるものと考えられます。

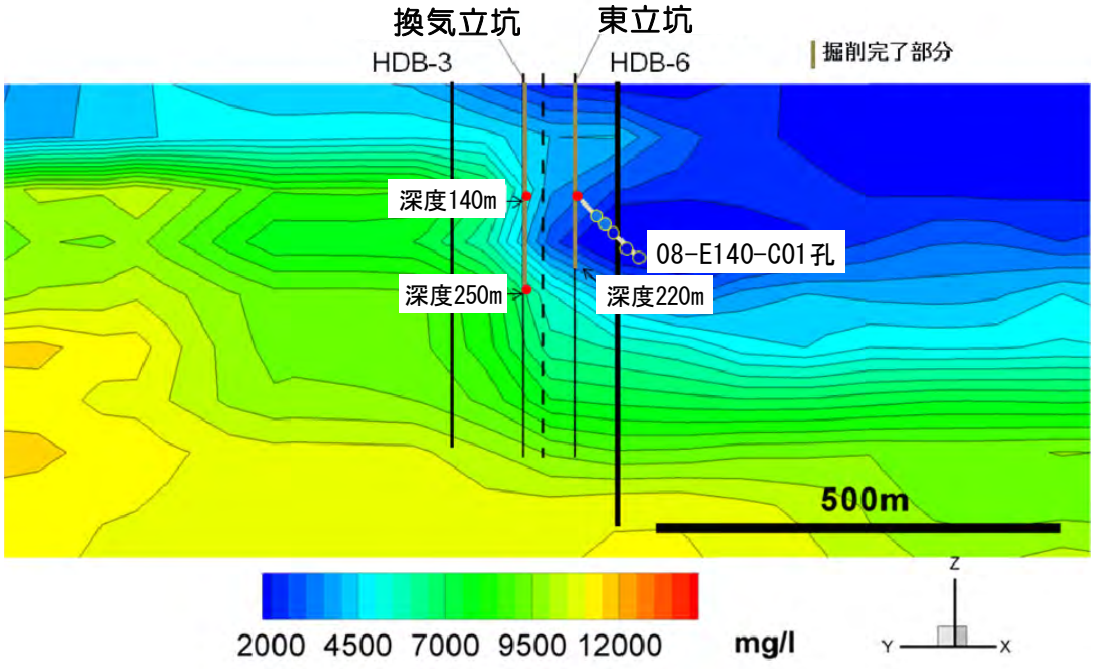


図 29　塩化物イオン濃度の第1段階における予測値と第2段階における実測値の空間分布図

図 30に第2段階で取得されたデータをもとに、更新した立坑周辺の塩化物イオン濃度の深度分布図を示します。今後はこの更新した地球化学モデルの妥当性の確認とともに予測技術の改良を行っていく予定です。

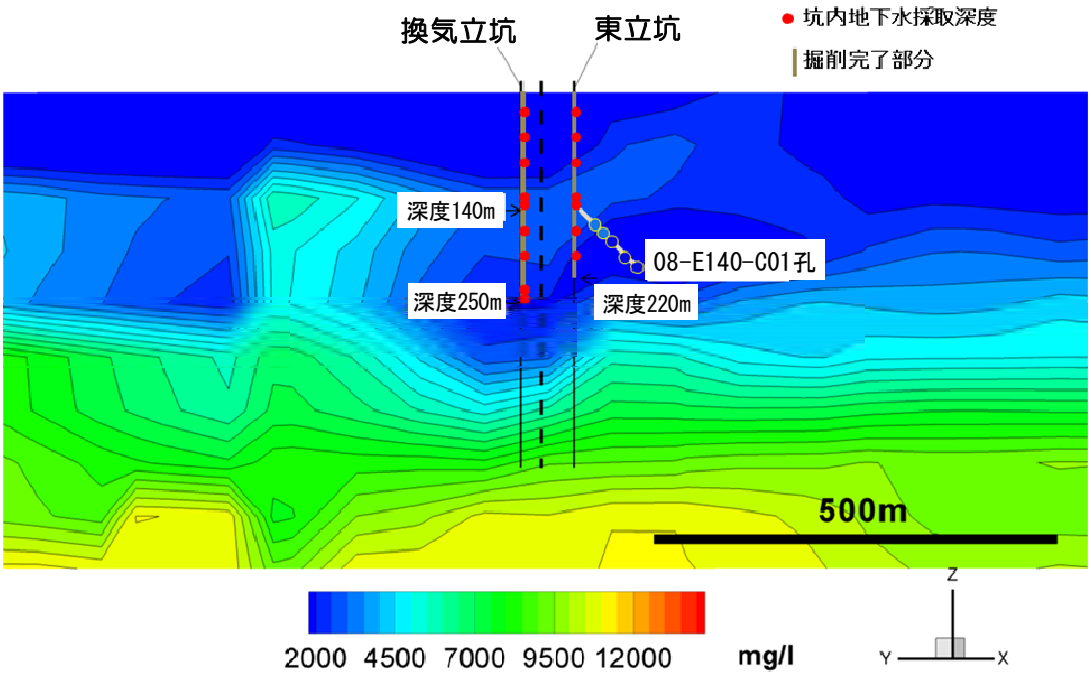


図 30　立坑での調査結果をもとに更新した塩化物イオン濃度の空間分布図

(4) 岩盤力学モデル

地下施設を建設する場合、はじめの段階では、地上からの調査結果に基づいて構築した岩盤力学モデルにより設計を行います。地下施設の建設段階では、地下において様々な力学特性に関するデータを取得できるため、その空間的な分布など地下の状況をより詳細に把握できるようになります。そこで、岩盤力学モデルを段階に応じてより詳細なものにし、地下施設設計における予測と実際に掘削した際の岩盤の変形挙動との比較から、設計の妥当性を評価するとともに、必要に応じて設計の見直しを行っていきます。

平成21年度は、これまでの地下施設建設から得られたデータに基づいて、詳細な岩盤力学モデルを構築する手法の検討に着手しました。岩盤力学モデルを詳細化するためには、モデルで考慮する要素の詳細度、岩盤の構成モデルの選定、入力値となる物性値の設定、解析で用いる次元などが重要となります。

一方、具体的なモデルの検討の事例として、立坑を掘削する際の岩盤の挙動の評価に取り組んでいます。地下施設建設では、立坑の掘削がショートステップ工法*12で行われていることから、立坑の掘削および覆工コンクリートの施工と前後して設置する計測機器で取得されるデータは覆工コンクリートの影響を強く受けることになります。このため、岩盤の変形挙動が複雑となり、これまでに解析で内空変位、覆工コンクリート応力、地中変位などの挙動を精度よく再現するまでは至りませんでした。

平成21年度は、岩盤物性値の妥当性を評価するため、換気立坑と東立坑で取得された計測データを検証データとして、解析評価を行いました。平成20年度までの検討で、剛性の強い支保工が掘削直後に施工されるために岩盤の変形が早期に抑制されるという、ショートステップ工法独特の変形挙動が計測データとして取得されることが明らかになっています。そのため、解析においては、立坑掘削時の余掘りや覆工コンクリート打設時の型枠もモデル化し、実際の立坑掘削工事の状況を忠実に再現することとしました。解析に用いる物性値は、これまでの解析で設定した複数の物性値を用い、解析結果と計測結果との比較検討を行いました。

比較検討の結果、解析では内空変位、覆工コンクリート応力および地中変位の全てを同時に説明することができず、岩盤の構成モデルの修正が必要であることが分かりました。また、その他の検討結果から、解析結果と計測結果との違いの要因として、計測機器設置後から計測開始までのタイムラグや覆工コンクリートの乾燥収縮などがあることが分かりました。今後、これらの影響の評価方法を含め、岩盤力学モデルの検討を進めていく予定です。

3.1.3 調査技術・調査機器開発

(1) 岩盤の水理に関する調査機器開発

坑道から掘削した複数のボーリング孔を用いてボーリング孔間の岩盤の透水性を調べる技術を開発するため、平成20年度までに製作した試験

*12:掘削、覆工を1サイクルずつ順に施工する工法で、地山状況に応じて1.0～2.5m程度で掘進し，側壁を直ちに覆工コンクリートで巻き立てる工法を言います。

装置を用いて140m調査坑道において原位置試験を実施しました。図 31に試験場所と試験装置の概念図、図 32に注水圧力に対する観測圧力の取得データの一例を示します。注水を行ったボーリング孔の試験区間からの圧力応答を別のボーリング孔の試験区間で確認できたことから、製作した試験装置が調査坑道内で適切に機能することが確認できました。作業はボーリング孔の掘削（鉛直下向き）、検層、試験装置の孔内挿入、パッカー拡張による試験区間の形成、データ取得開始という手順で行いました。なお、一部の試験区間において地下水中の溶存ガスの遊離が確認されたため（図 33）、定期的に試験区間に注水を行うことなどによりガスの発生を一時的に抑えながら試験を実施しました。

また、取得データを用いてボーリング孔間の岩盤の透水係数分布を求める数値解析を実施中です。数値解析においては、最適と考えられる解析用メッシュやデータセットの作成および数値パラメータの設定についての十分な検討が必要となります。今後、溶存ガスの脱ガス対策や解析技術の最適化などの検討を行い、坑道近傍を対象とした岩盤の三次元的な透水性分布を把握するための調査技術を確立する予定です。

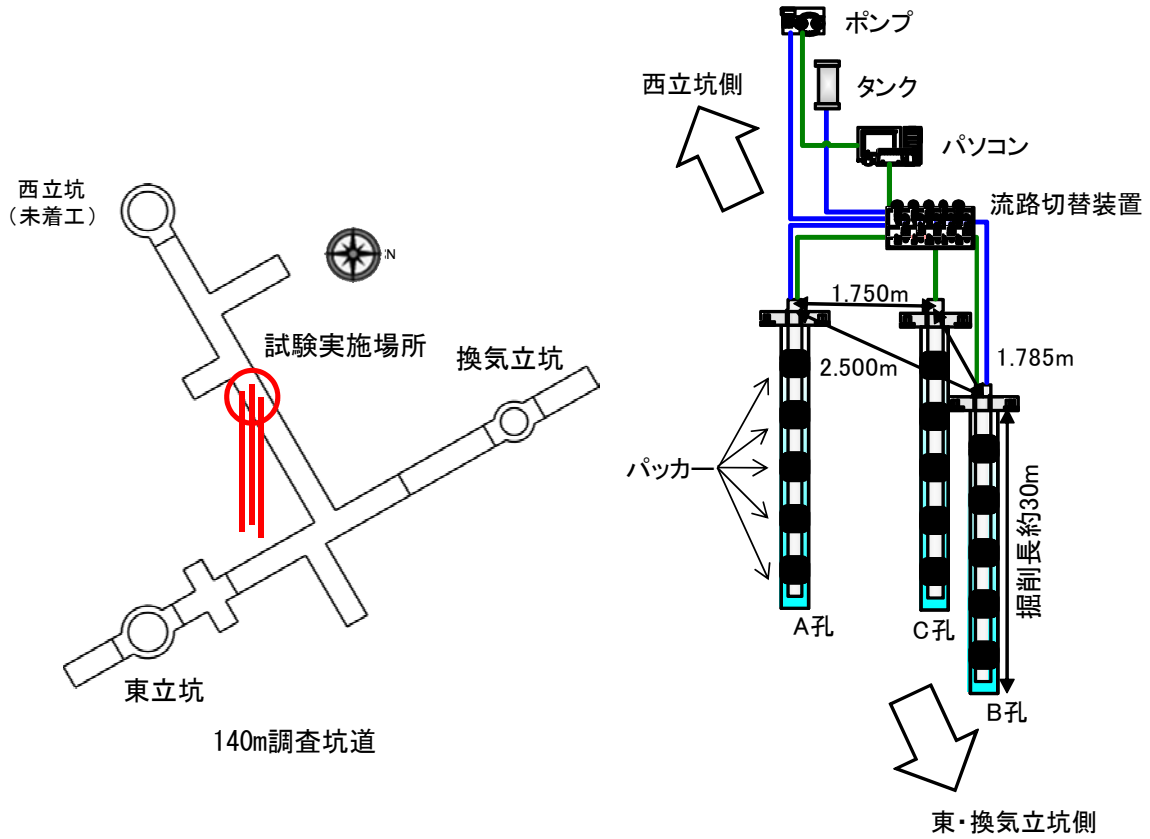


図 31　試験場所と試験装置概念図

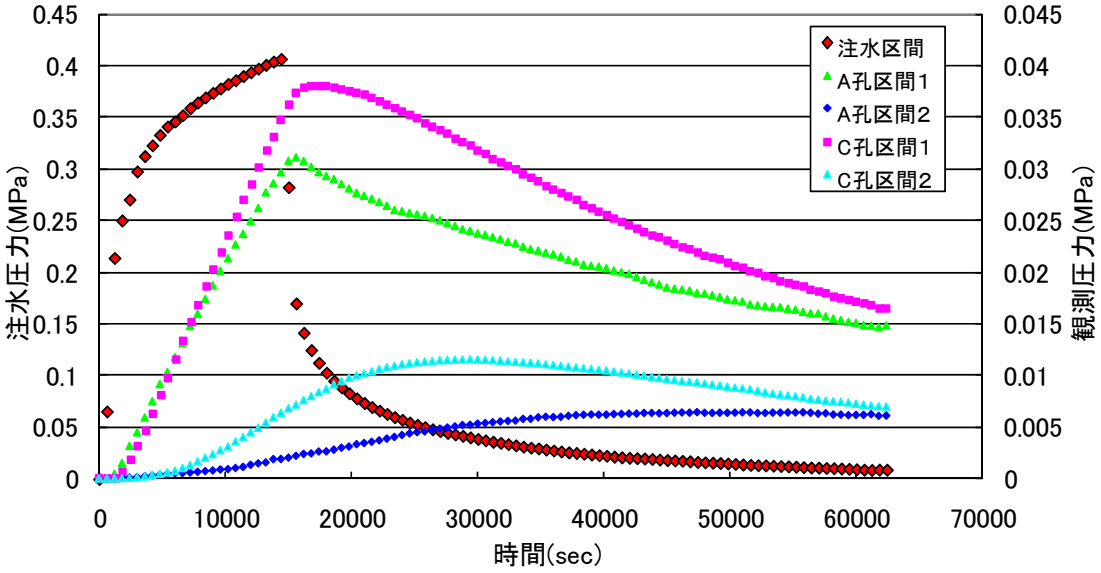


図 32　注水圧力に対する観測圧力の取得データの一例
(B1 孔区間 1 へ注水した場合)

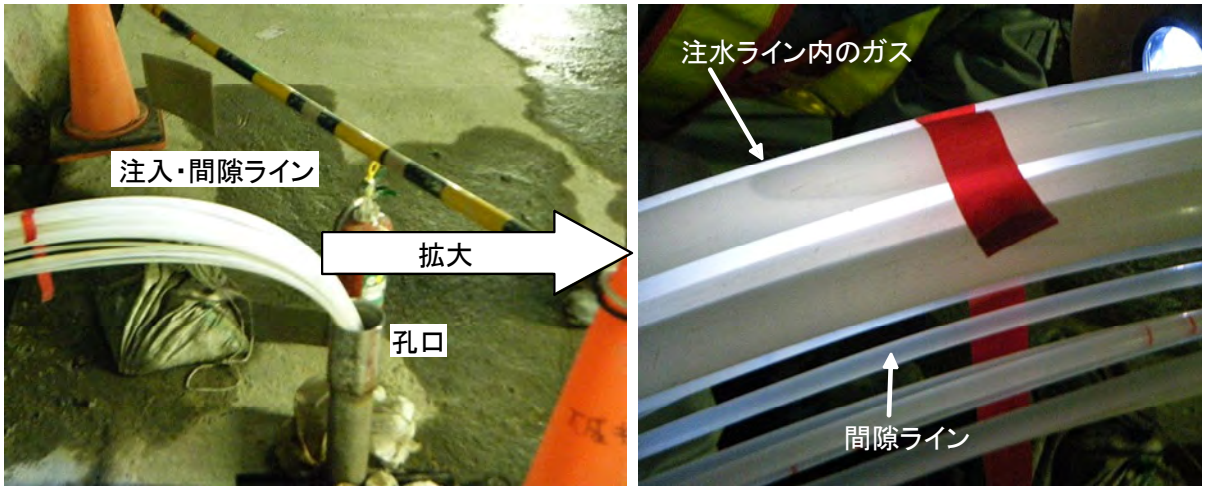


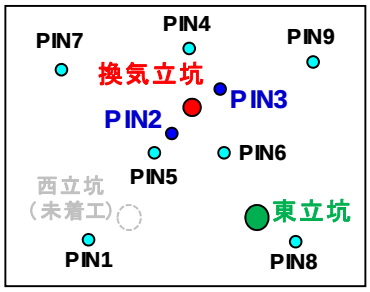
図 33　原位置試験で確認されたガス

(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、坑道掘削に伴う地表面の傾斜の変化を計測しています。平成21年度は、平成20年度と同様の方法[11]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、地下施設建設の工程との対応の確認を行いました。平成21年度の主要な掘削工事は、140m調査坑道の掘削と東立坑の掘削（深度140.5m以深）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 34)。平成21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から、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[11]。そこで、坑道掘削による地下水水圧の減少に伴う岩盤の変形を地表面の傾斜変化として計算し、実測データとの比較を行いました。計算では140m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 35)、掘削工事の実際の工程を可能な限り再現して計算を行いました。計算結果から、平成21年度に実施した140m調査坑道の掘削に着目すると、坑道の貫通時までは掘削が地表の傾斜変化に与える影響はほとんどないことが分かりました(図 36)。一方、図 34に示した観測データにおいては、140m東側-換気側調査坑道の貫通後、西側調査坑道の掘削あるいは東立坑の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、140m東側-換気側調査坑道の貫通以降の掘削工事に対応するモデル作成と計算を進める予定です。



高精度傾斜計の配置

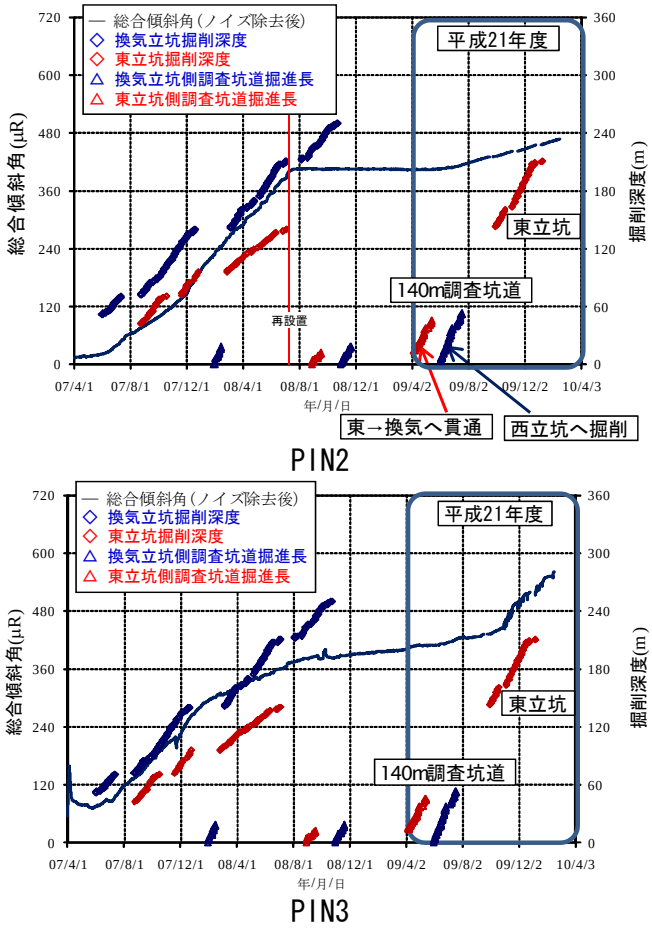


図 34　傾斜データの一例

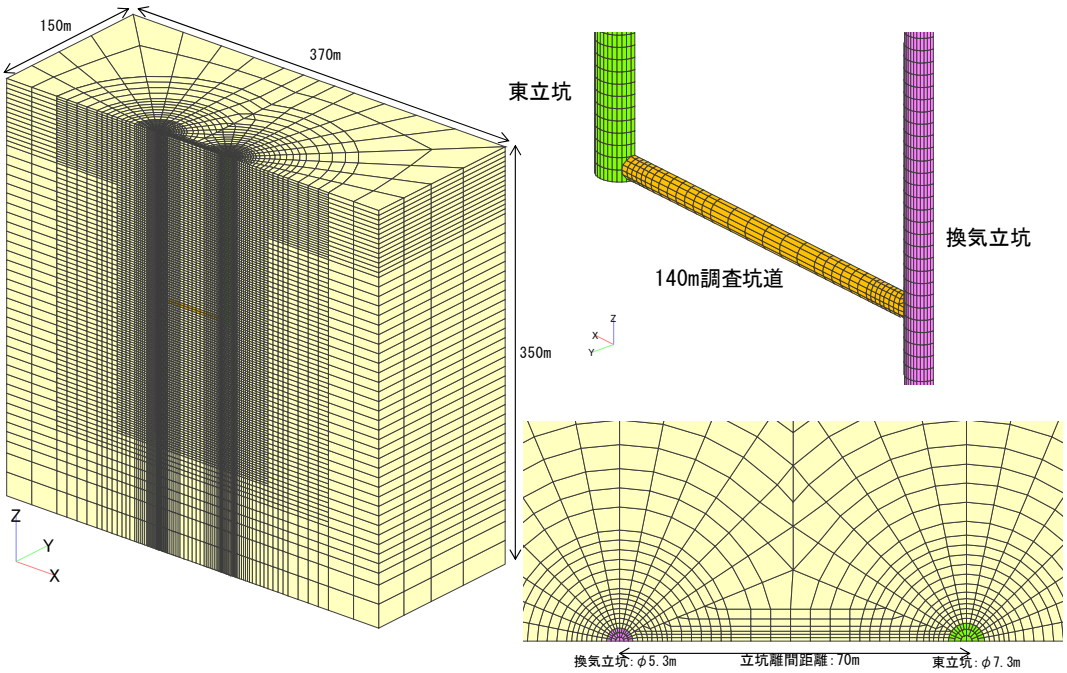


図 35　地表傾斜の計算のために作成したモデル

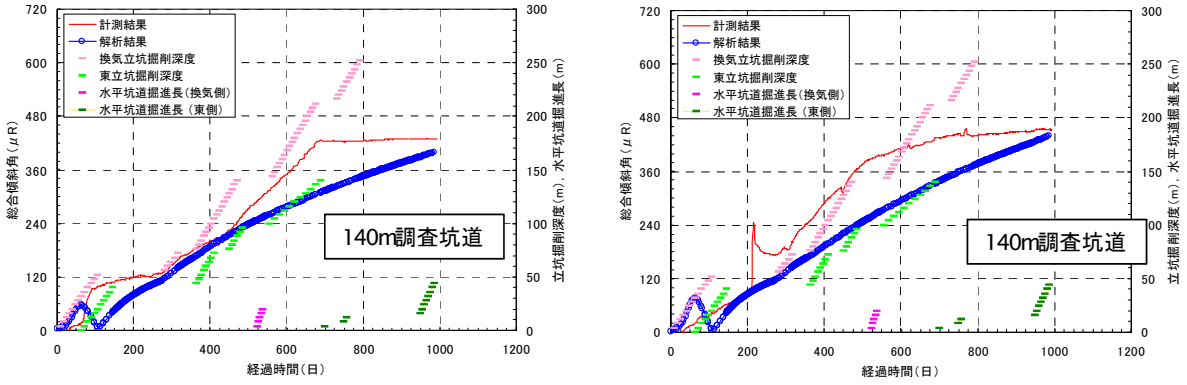
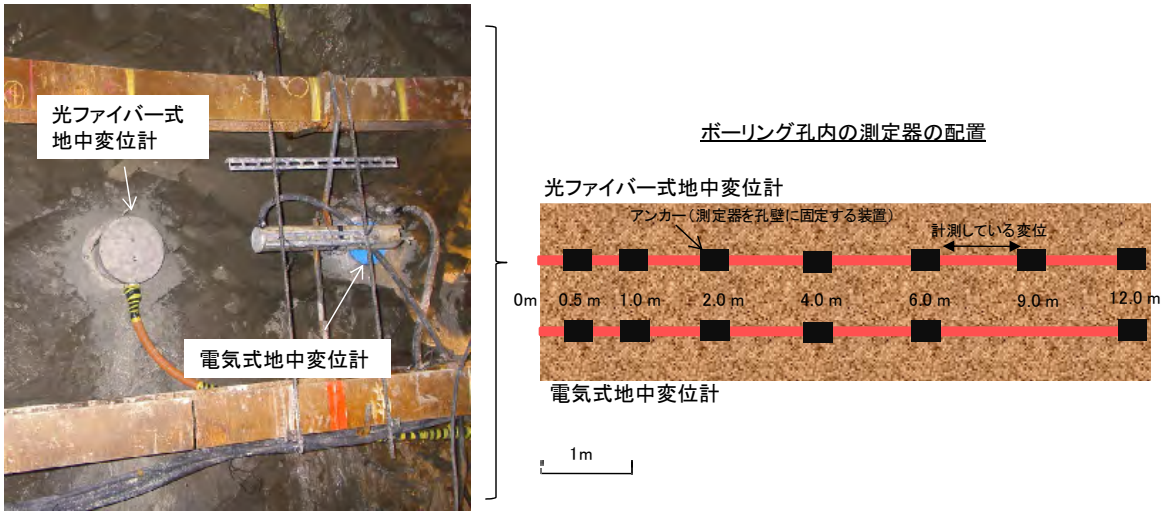


図 36　計算結果の一例
（傾斜計の配置は図 34 を参照）

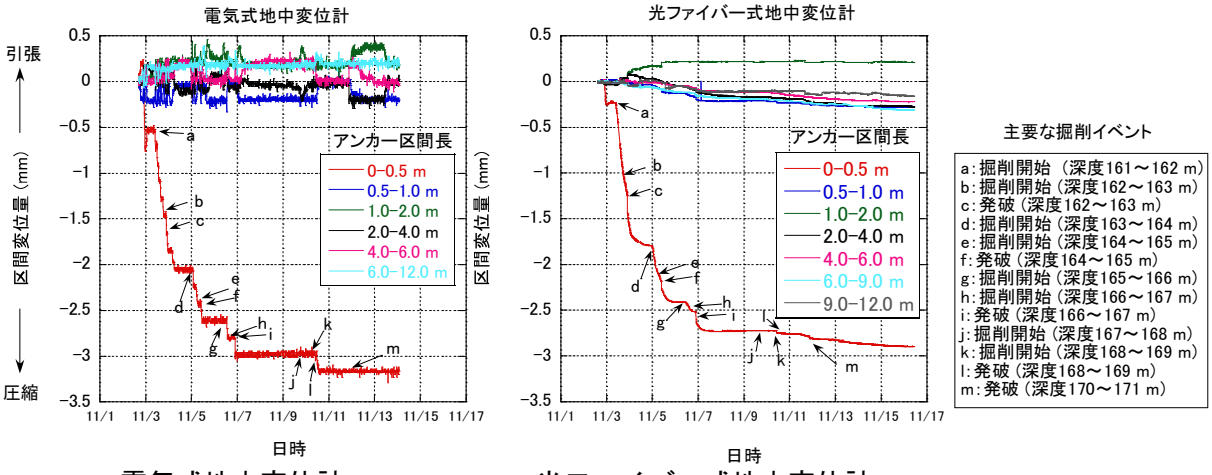
(3) 岩盤力学に関する調査機器開発

平成21年度は、平成20年度までに開発した光ファイバーを用いた地中変位計を地下施設内に設置し、原位置での適用性について確認しました。東立坑の深度160mの坑道近傍に光ファイバー式地中変位計を設置し、比較検証のため隣接する位置に電気式の地中変位計を設置しました。図 37 に計測機器の配置と計測結果を示します。計測結果は、ボーリング孔内に設置されたアンカー（測定器をボーリング孔に固定するための装置）とアンカーの間の変位として示されます。光ファイバーはデータの地上部への転送とアンカー間の変位量の算出に使用されます。計測の結果、

光ファイバー式と電気式とでは変位量・挙動ともにほぼ同じ傾向を示し、光ファイバー式は電気式と比べて測定値にノイズが少ないことが分かりました。今後、データの蓄積を進め、装置の健全性を確認することに加え、立坑の長期的な変形挙動を把握する予定です。



(a)　東立坑の地中変位計



電気式地中変位計　　光ファイバー式地中変位計

(b)　測定結果

図 37　地中変位計の配置と測定結果の比較

(4) 地下施設の建設に伴う地下水（水質・水圧）の観測技術開発

地下施設の建設が周辺の地質環境に与える影響を調査するための技術開発を目的として、140m東側第1ボーリング横坑の坑壁から掘削したボーリング孔（08-E140-C01孔：掘削長100m、俯角45°）において、地下水の間隙水圧と水質の同時連続観測が可能なモニタリング装置を設置し、その適用試験を行いました。図 38にモニタリング装置の概要を示します。

この装置では、パッカーにより区切られた孔内5区間の間隙水圧および地下水の物理化学パラメータ（pH、電気伝導度、溶存酸素、酸化還元電位、水温）の測定を大気に触れないように直接行うことが可能です。湧水の少ない区間では地下水をモニタリング装置に循環させることで、脱ガスのない条件下での連続測定ができる構造となっています。

各モニタリング区間の水圧観測を行った結果、各区間の水圧は深い区間ほど大きくなっており、各区間の水圧を同時に取得できました（図 39）。また、立坑から遠い区間①に比べ立坑に近い区間③、④、⑤では、坑道掘削の影響と考えられる間隙水圧の低下が確認されました。加えて、地下水の水質は中性のpH（約7）であり、溶存酸素もなく極めて還元的な環境であることが明らかになりました。

一方で、区間②では地下水を採水する時に地下水中の溶存ガスの遊離と考えられるガスの発生により、圧力異常が確認されており、溶存ガスの多い環境下に対応した水圧・水質モニタリング技術の改良などが今後の課題です。また、その他の区間における水圧の変動については、今後解析を進めていく予定です。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。

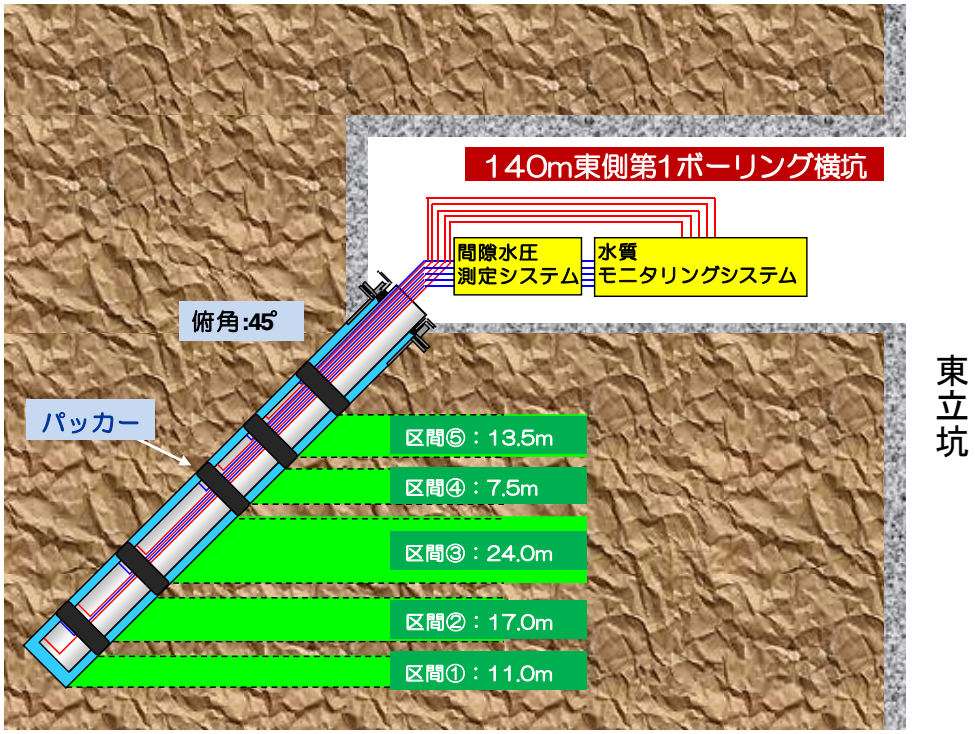


図 38　地下水の間隙水圧・水質モニタリング装置の概要

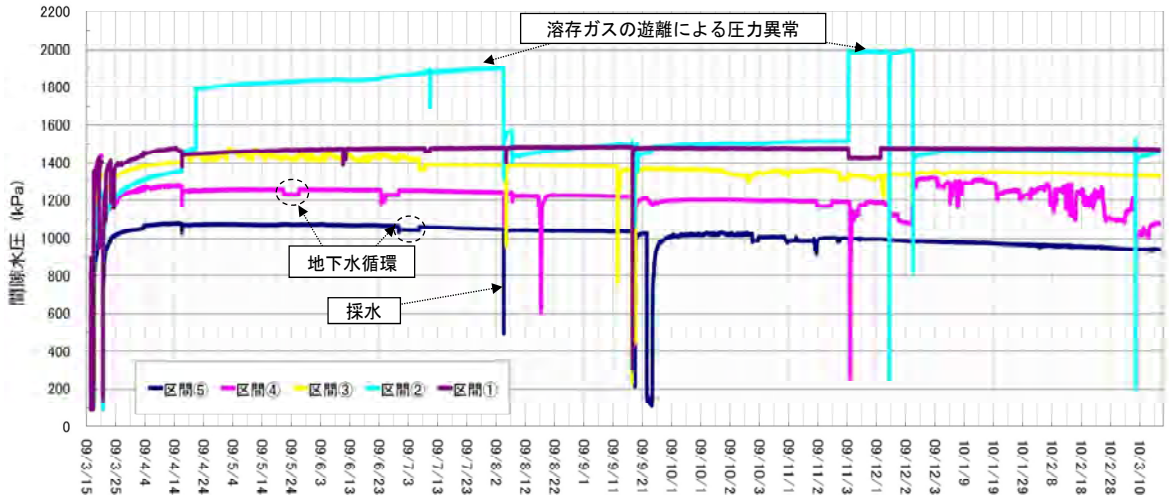


図 39　間隙水圧の変化

(5) コントロールボーリング技術の開発

コントロールボーリング技術の適用性を確認するために、平成20年度に引き続き、電力中央研究所*13（以下、電中研）との共同研究を実施しました。平成21年度は、上幌延地区において掘削および試験装置の適用性の確認を継続しました。掘削長は約900mに達し、ボーリング孔(HCD-3孔、図 3参照)をほぼ水平の角度で掘削する技術を構築することができました。今後、水平方向への掘削を継続し、水平方向で角度をコントロールする技術の検討を行う予定です。また、敷地内のボーリング孔（深度約80m）において、傾斜孔で使用するために製作した地下水の間隙水圧モニタリングシステムの性能確認を継続し、その適用性を確認することができました。なお、コントロールボーリング技術の開発は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業です。

(6) 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

平成19年度に着手した、塩水と淡水が混在する場における地下水流動、水質形成および物質移動に関する調査を、産業技術総合研究所*14（以下、

---

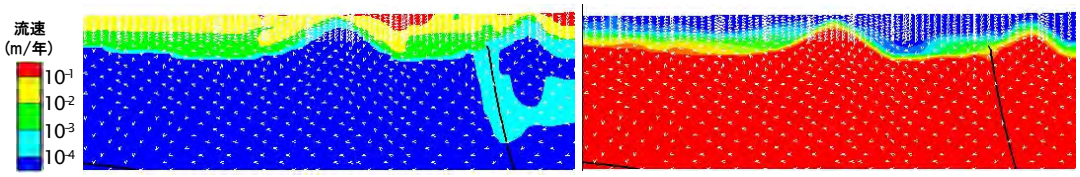
*13：財団法人電力中央研究所は、電力技術の専門研究機関であり、原子力技術、先進保守技術、環境・革新技術、最適エネルギー利用技術、社会・経営リスクマネジメントを研究開発課題としています。原子力技術の一環として、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発を実施しています。

*14：独立行政法人 産業技術総合研究所は、平成13年に設立され、産業技術の幅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、日本最大級の研究組織です。研究分野は大きく分けてライフサイエンス、情報通信・

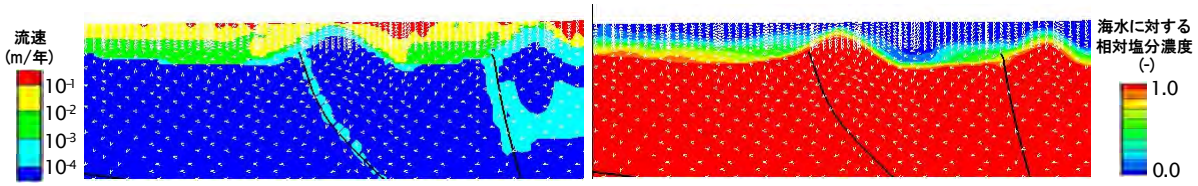
産総研）との共同研究、および電中研との共同研究を活用して継続しました。

平成21年度は、幌延町の沿岸域を対象として、文献の調査やこれまで実施してきた電磁法探査などの調査結果に基づいて、沿岸域に分布する可能性がある地質構造（断層やしゅう曲など）を取り入れた水理地質構造モデルを作成しました。また、そのモデルを用いて長期的な海水準変動や隆起・侵食を仮定した上で、地下水流動や塩分濃度分布の推定を行いました。その結果、断層の有無により地下水流速に違いが見られるものの、大局的な地下水流動の傾向や塩分濃度分布に顕著な違いが生じないことが明らかになりました（図 40）。

今後は、これらの解析に関わる手法やノウハウ、留意点を整理し、汎用的な解析技術を整備していく予定です。



(a) S4断層を反映しない場合（左：流速分布、右：塩分濃度分布）



(b) S4断層を反映した場合（左：流速分布、右：塩分濃度分布）

図 40　地下水流動解析結果の一例

密度流を考慮した移流・分散解析結果。研究所設置地区を通る鉛直断面。東西方向約40km×深度方向約6km

3.2 地質環境モニタリング技術開発

3.2.1 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21年度は、HDB-1～11孔およびPB-V01孔に設置した地下水の水圧・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。このうち、HDB-4孔は10月にモニタリングを終了し、新たに12月からHDB-5孔でモニタリングを開始しました。このほか、原子力安全基盤機構*15、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孔において、地下水の水圧・水質モニタリングを開始しました。

図 41にHDB-7孔、図 42にPB-V01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、立坑の掘削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（立坑の掘削工程は図 9を参照）。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、HDB-7孔では、観測装置の故障により、12月以降データが欠測しているため、観測装置のメンテナンスを実施する予定です。

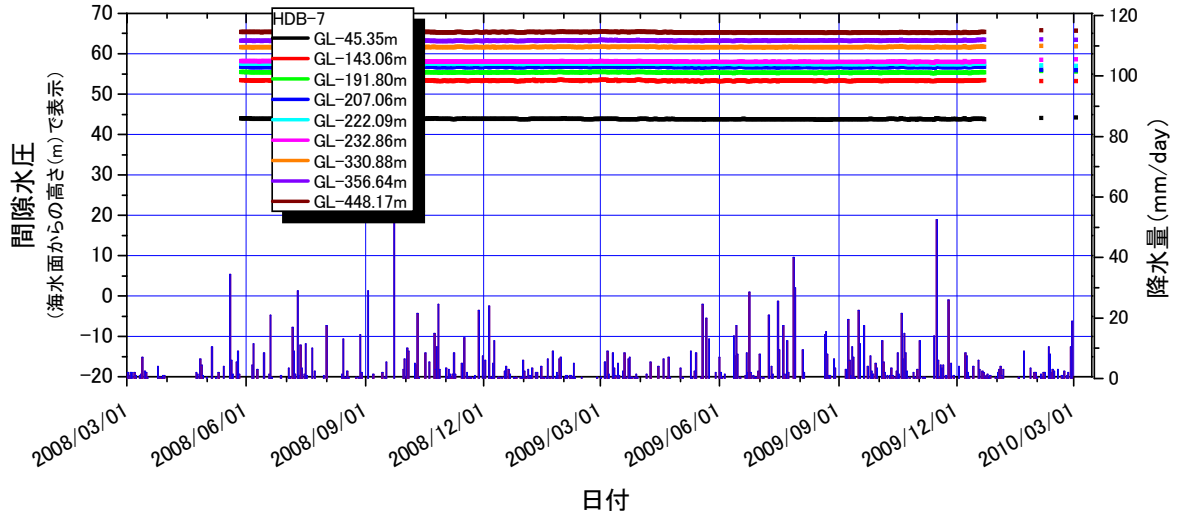


図 41　HDB-7 孔における地下水の間隙水圧の測定結果

*15: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。

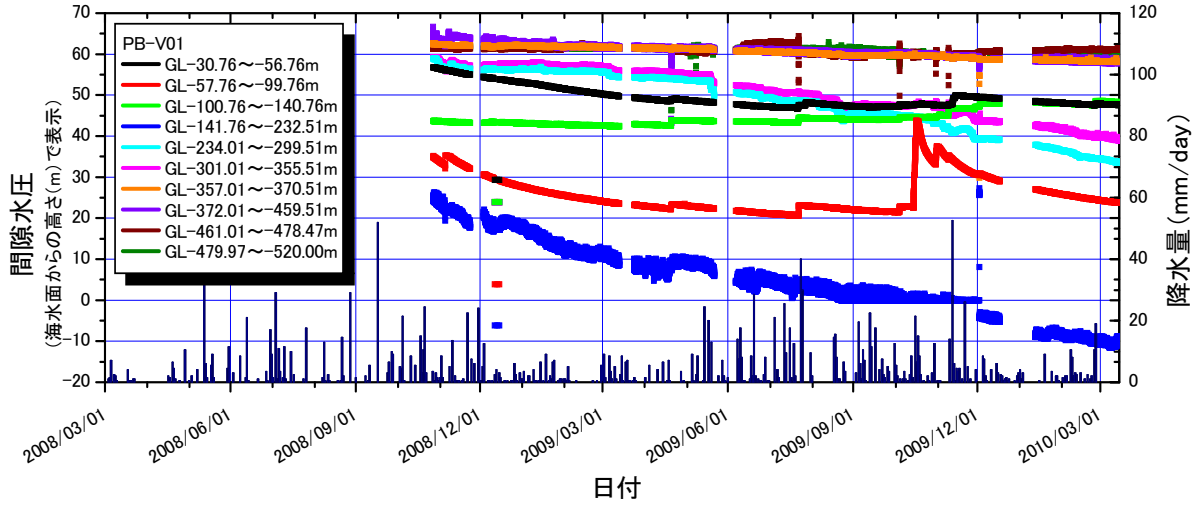


図 42　PB-V01 孔における地下水の間隙水圧の測定結果

3.2.2 比抵抗モニタリング技術の適用性確認

岩盤中の見掛比抵抗値と地下水の塩化物イオン濃度には相関関係があると考えられることから、見掛比抵抗値を定期的に測定し変化を捉えることにより、地下施設建設に伴う地下水の流れなどの変化をモニタリングする試みを平成18年度より実施し、適用性の確認を行っています。これまで、平成18～20年度の3回にわたり、電気探査法を用いて岩盤中の見掛比抵抗分布を調査しました。

立坑周辺の比抵抗分布の変化は、地下施設の建設に伴う湧水などの周辺岩盤の地下水の流れや水質の変化によって生じることが推測されます。そこで、平成21年度は、立坑内の湧水量の変化と湧水の水質変化について検討しました。図 18および図 19に示す湧水の水質変化を見ると、電気伝導度は、500～2,000mS/mの間で推移しており、これを比抵抗値に換算した値（0.5～2Ωm）は、立坑周辺の見掛比抵抗分布（図 43）と整合的であることが分かりました。

一方、図 44に示すように、地下施設の建設に伴う湧水量は、第1回、第2回の電気探査時の月当たり約300m^3から、第3回には約3,000m^3に急激に増加しています。しかし、見掛比抵抗分布（図 43）には大きな変化は見られていません。

このことは、地下施設の建設による地下水の水質の変化が湧水を含む地下水の流れの変化に比べてゆっくりとしたものであることを示唆していると考えられます。

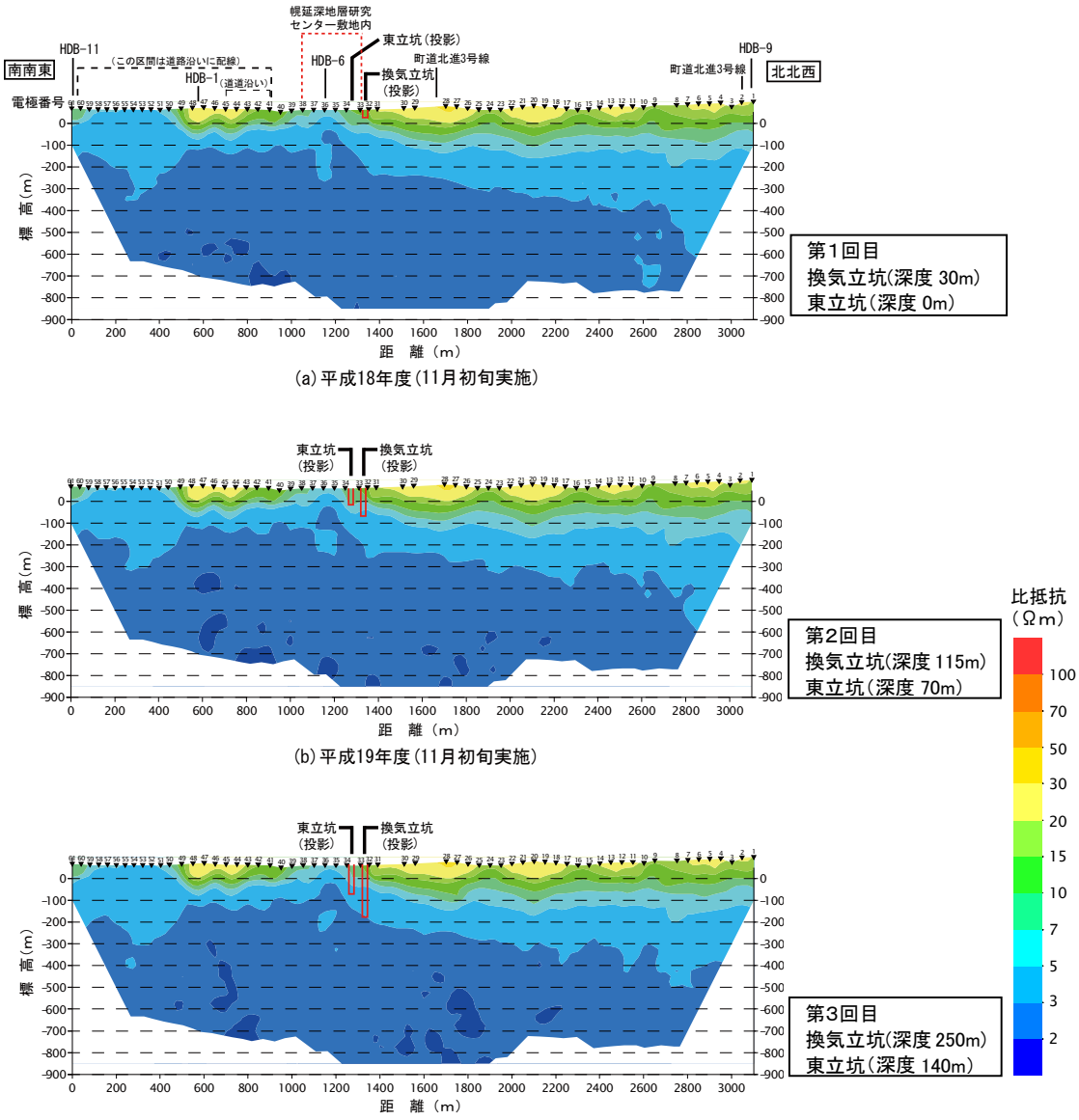


図 43　見掛比抵抗分布

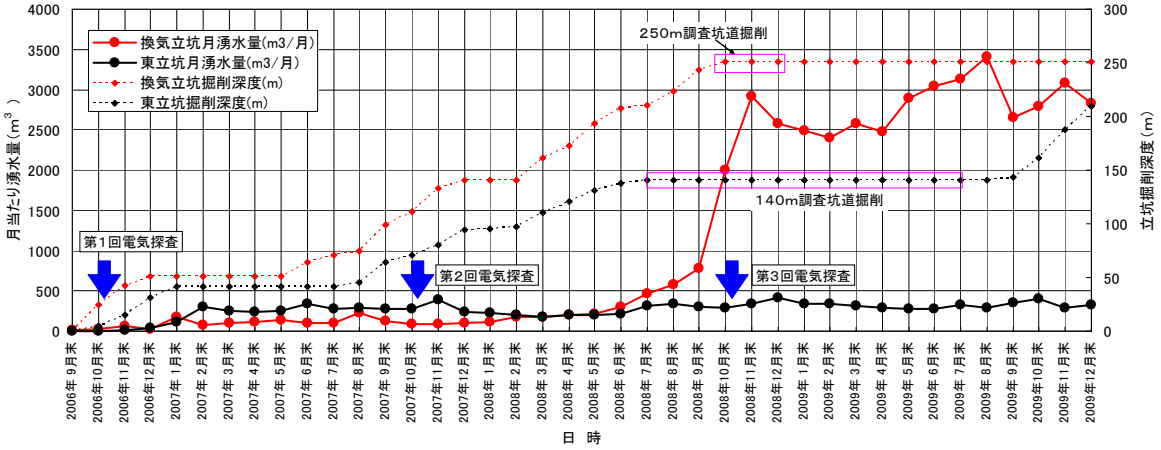


図 44　立坑掘削時の月当たり湧水量変化

3.2.3 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」*16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(地下水の飽和度の変化や岩盤の力学的物性の変化)を地表付近から精度良く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17年度までに、弾性波と電磁波の観測システムを設置し、試験観測を経て、長期観測を実施しています。

遠隔監視システムの送受信点の配置（図 3）や、これまでの調査研究によって明らかになった研究所周辺の地質構造、さらには地下施設の建設に伴う立坑近傍の地質環境の変化（立坑近傍における地下水の飽和度の低下）を想定した地下物性値モデルをもとに、送信された弾性波や電磁波がどのように伝わるかをコンピュータ上で模擬（波動場シミュレーション）しました。このようなシミュレーションによって、実際に観測を行っている各受信点、あるいは仮想の受信点ではどのような信号が受信され、地下施設の建設に伴う地質環境の変化により受信信号にどのような変化が現れるかを検討しました。

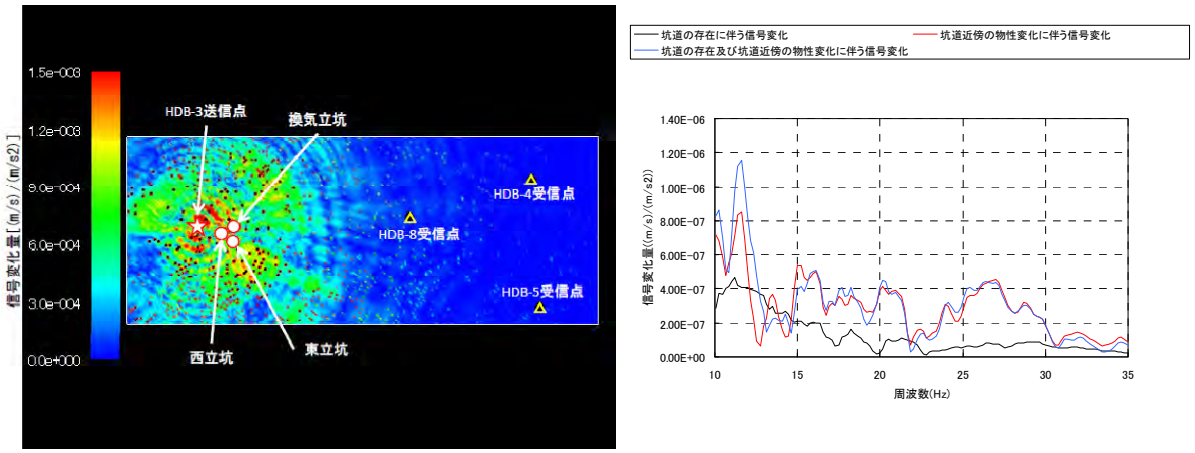
図 45は、弾性波についてのシミュレーション結果の例です。この例は、立坑からの距離が450m以内の領域で地下水の飽和度や密度などが変化した場合の地表で観測される信号の変化の程度（信号変化量*17）を示しています。このうち、図 45(a)は信号の周波数を22.81Hzとした場合の平面分布です。この図から、信号変化量は立坑から遠ざかるにつれて小さくなることや、方向によって変化の程度が異なることが分かります。また、図 45(b)は送信点から約1km離れたHDB-8受信点での信号変化量を様々な信号の周波数について計算した結果を示しています。この図からは、同じ受信点でも、送受信する信号の周波数の違いによって、信号変化量が異なることが分かります。

今後は、これまでに取得した長期観測のデータを解析し、様々なケー

---

*16：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。

*17：弾性波アクロスにおける速度の信号は、複素伝達関数[(m/s)（速度）/(m/s^2)（加速度）]として観測されます。



(a) 信号の周波数を22.81Hzとした場合に地表で観測される速度HtT成分信号変化量の平面分布

(b) HDB-8受信点で観測した場合の各周波数での速度の信号変化量（複素空間での差の絶対値）

図 45　弾性波についてのシミュレーション結果の例
立坑近傍の地質環境に変化が生じた場合に観測される弾性波信号変化の程度（信号変化量）

スを想定したシミュレーションの結果と比較しながら、地下施設の建設に伴う地質環境の変化に対する感度特性などを取りまとめます。

3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

平成21年度は、140m調査坑道および東立坑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の妥当性の確認ならびに更新を行いました。

140m調査坑道では、平成20年度に掘削した区間での切羽観察による地山評価の結果、地上からの調査による予測よりも良好な地山であると判定されたため、図 46に示すように施工方法の見直しを図りました。地下施設実施設計[12]では、周辺地山のゆるみによる荷重増分を最小限に抑えるためにインバート*18を含む全断面を掘削し、吹付けコンクリートによる早期の閉合を繰り返す施工方法を計画していましたが、施工性ならびに安全性の向上・コスト縮減・工程短縮を目的として、インバートの掘削と吹付けコンクリートを一括して最後に施工する方法に見直しました。施工にあたっては、支保の健全性を確認するため、計測により坑道の変位や支保の応力状態を確認しながら進めましたが、支保部材の最大応力

*18：坑道底面の逆アーチ型の部分のことを言います。

は長期許容応力度以下で収束し、インバートの一括施工による変位や応力の変化もほとんどありませんでした。図 47に東側調査坑道の計測結果の一例を示します。この結果を反映し、後続の250m調査坑道でも同様の施工方法に見直すこととしました。なお、施工に当たっては140m調査坑道と同様に、支保の健全性を確認しながら進めます。

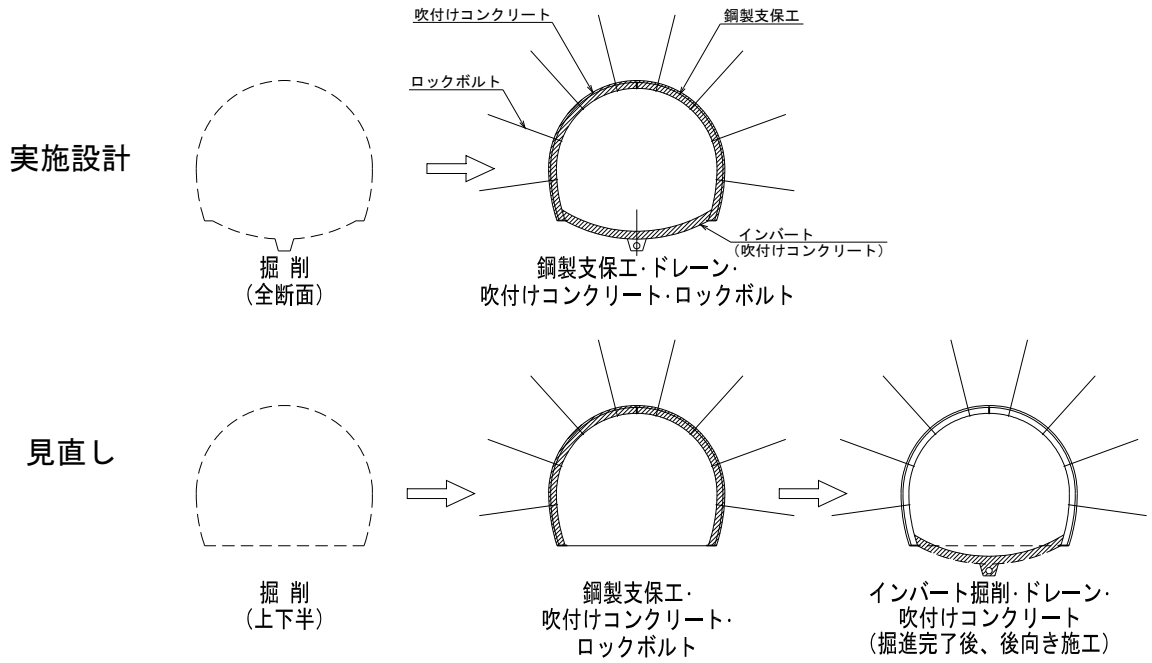


図 46　水平坑道の施工方法

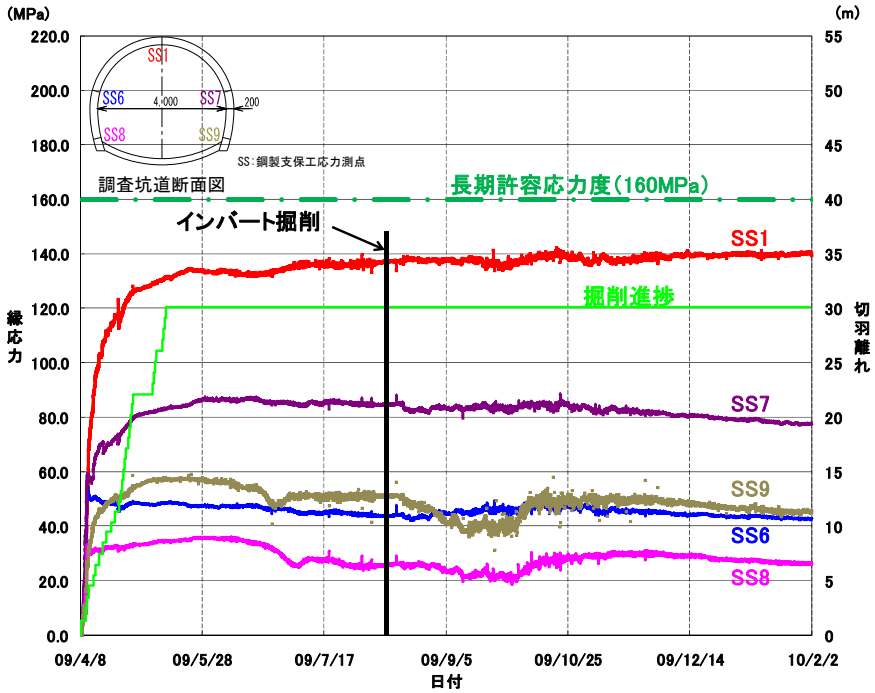


図 47　計測結果の一例

140m東側調査坑道（TD18.0m）の鋼製支保工応力計測結果

また、平成20年度までに立坑で取得した計測データを分析・評価した結果、支保の一部であるロックボルトについては、本来、引張方向の軸力により周辺の岩盤を縫付ける効果を期待して打設しますが、ショートステップ工法により施工した立坑一般部では、掘削後に剛性の高い覆工コンクリートを早期に打設するため地山の内空側への変形が抑制され、図 48のように、逆に圧縮方向の軸力が作用していることが分かりました。そのため平成21年度は、支保の合理化を推進するために、東立坑深度150m～170mの区間で試験的にロックボルトの打設を取りやめ、ロックボルトの有無による支保の健全性の比較を実施しました。図 49に東立坑深度160mの計測結果を示します。図からロックボルトを打設しない場合においても鋼製支保工応力や覆工コンクリート応力が長期許容応力度以下で安定しており、支保の健全性が確認されました。さらに、覆工コンクリートを打設するまでに顕著な岩盤の崩落も見られませんでした。この結果から、換気立坑で掘削実績のある深度250m以浅における同等な地山等級区間ではロックボルトを取りやめ、支保を合理化することとしました。

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、坑道設計の妥当性と支保の健全性を確認していきます。

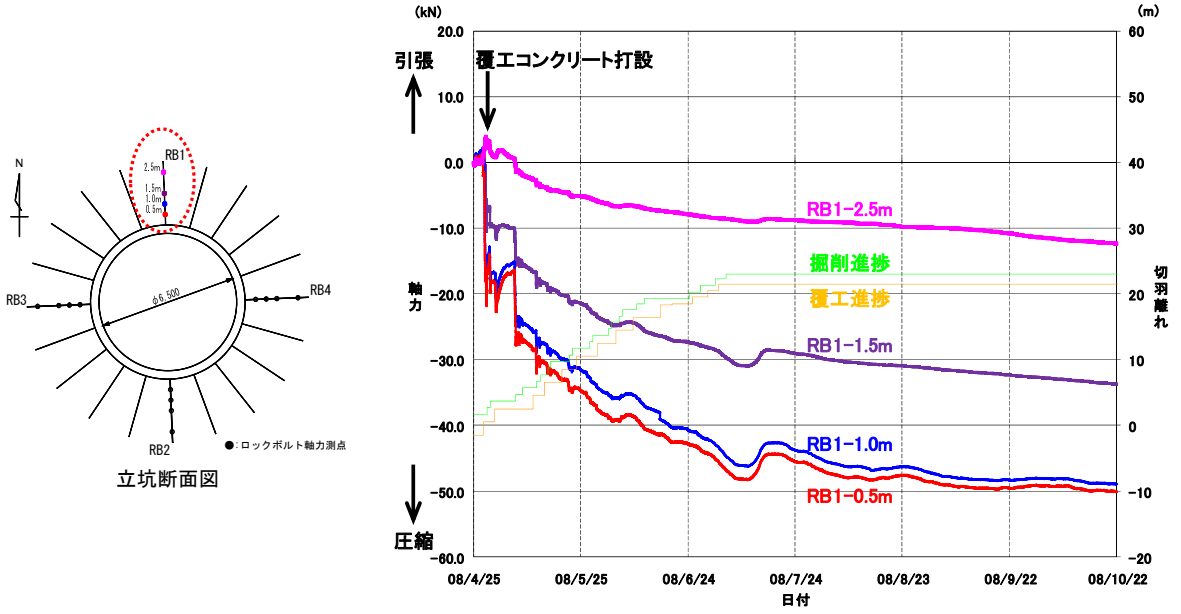
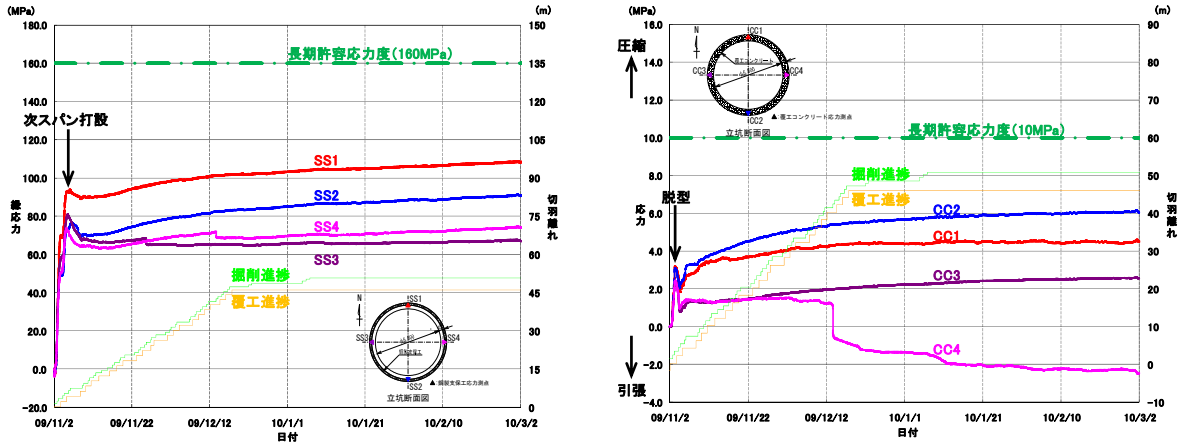


図 48　ロックボルト軸力計測結果の一例
東立坑深度120mのロックボルトRB1軸力計測結果



(a) 鋼製支保工応力計測結果　　(b) 覆工コンクリート応力計測結果

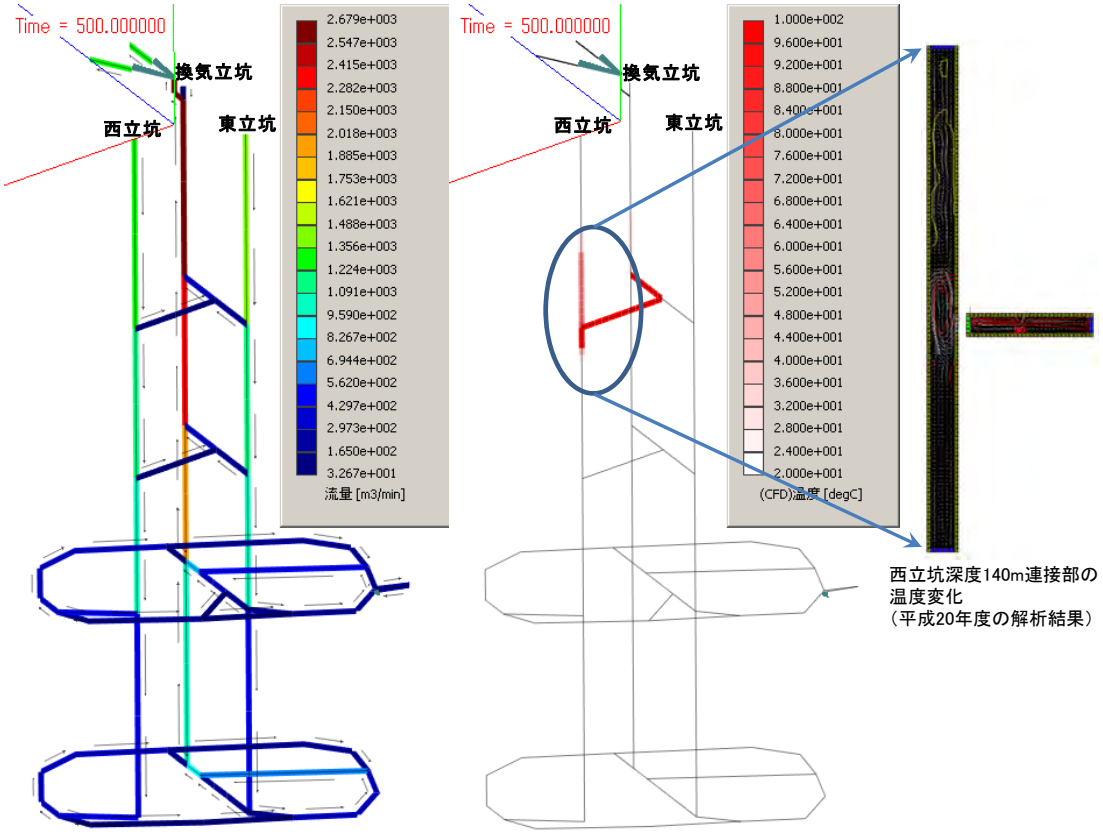
図 49　東立坑深度 160m の計測結果

坑道内における防災対策の信頼性向上を目的として、平成20年度までに実施した通気網解析手法の高度化について検討しました。具体的には、平成20年度に構築した火災時の通気解析システムに対して、解析条件（坑道のレイアウト、火源など）を容易に変更できるようにし、比較的短時間で解析計算が終了するようなシステムに改良しました。改良した解析システムを用いて、地下施設を想定した坑道レイアウトで、これまでの模型実験と同様の条件での通気解析を行いました。その結果、通常時の坑道の通気状態や、坑道連接部での火災時の通気挙動など、これまでの通気解析の結果が再現できることを確認しました（図 50）。

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*19を用いたグラウト*20材料について、溶液型（活性シリカコロイド系）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21年度は、平成20年度までに選定した配合を絞り込み、原位置への適用において最適と考えられる配合を選定しました。選定に当たっての評価指標は、溶液型については、耐久性、強度特性および供給安定性・コスト、超微粒子球状シリカについては、流動性、浸透性、強度特性および取り扱いの容易さとしました。

今後、選定した材料に対して、亀裂への浸透性に関わるグラウト材料

*19：二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。
*20：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。



(a) 坑道の通気方向および通気流量解析結果　(b) 坑道の温度変化解析結果

図 50　西立坑深度 140m 連接部火災モデルでの通気解析結果の例
（火災発生から 500 秒後）

の粒径と粘性の影響把握や、実際の岩盤中における適用性の確認に向けた原位置試験の検討などを継続する予定です。

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て、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20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、幌延地域における地質構造の変遷や最終氷期における気候の概要を把握しました[13]、[14]。

平成21年度は、サロベツ原野周辺の低地で地中レーダー探査を実施[15]するとともに、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気候・海水準変動や隆起・沈降などの地殻変動に関する情報を整理しました（表 1）[16]。表 1は、左端の列が時代区分を示しており、表の下側から上側に向かって過去から現在、すなわち時代が新しくなります。時代区分には、幌延地域よりもやや高緯度に位置するヨーロッパ北部での寒冷な時期（氷期/亜氷期）と温暖な時期（間氷期/亜間氷期）の区分も示しています。対象とした期間は、氷期・間氷期という非常に大きな気候の変動が繰り返される周期（氷期・間氷期サイクル）である13万年間です。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、植生、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13万年間は、現在よりも気温が低く、海水準の低い時期が大半であったこと、その海水準の変動に伴って、氷期には幌延町の沿岸域は利尻島の西方まで陸地であったこと、幌延地域とその周辺の地殻変動の傾向は過去13万年間でほとんど変化がなかったことなどが分かります。さらに時代をさかのぼって第四紀*21の気候の変動をみると、過去250万年間にわたり寒冷な時期が大半であったことが知られています（図 51）。このため、地下水の流れや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（涵養量、永久凍土、地形変化、海岸線の位置、山の高さなど）を考慮して数値解析などにおける解析条件を設定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(6)参照）を活用しつつ、幌延地域の地下水の年代[17]などを考慮し、過去数百万年間程度を対象として、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の整理を進めていく予定です。

---

*21：2009 年 6 月 30 日に IUGS（国際地質科学連合）執行委員会により、その始まりをこれまでの 181 万年前から 258 万年前に変更する新しい第四紀の定義が正式に批准されました。これにより、258 万年前から現在までの期間が第四紀と呼ばれる地質時代になります。

表 1　幌延地域における過去約 13 万年間の気候および地質現象の編年表[18]　海水準の変動曲線は Miller ほか（2005）[19]に基づき簡略化。

時代区分

年代（Gibbard & Kolfschoten,2004; 海津 ,1994）（千年前）

現在

7.8 ~ 5（日本では約 7）

約 10

約 11 ~ 10

約 11.8 ~ 11

約 12.1 ~ 11.8

約 13 ~ 12

約 15

約 20

30

42

約 110 ~ 70

約 130 ~110

名称

海洋酸素同位体ステージ（MIS; Martinson ほか ., 1987）

MIS1

MIS2

MIS4 ~ 3

MIS5

MIS5.5 (or 5e)

氷期・間氷期の区分（Gibbard & Kolfschoten,2004; 海津 ,1994）

後氷期

最終間氷期

晩氷期

最終氷期

植物遺体・花粉による区分（ヨーロッパ北部）

完新世

後期ヴァイクセル期

中期ヴァイクセル期

前期ヴァイクセル期

エーム期

（縄文海進）

アトランティック期（ヒプシサーマル）

新ドリアス期

アレレード期

古ドリアス期

ベーリング期

最古ドリアス期

（最終氷期最寒冷期）

気候および地質現象

気候

海水準

海水準の変動

低 ⟷ 高

海退

海進

現在の海水準＝0 m

0 m

海水準（現在比）

現在 ; 0 m

人為的な海水準の上昇 ; 1961 年以降 1.8±0.5 mm/ 年（IPCC, 2007）

+3 to 4 m（Sakaguchiほか ., 1985）

- 40 m（Sakaguchi ほか ., 1985）

?

- 40 m（Sakaguchi ほか ., 1985）

気候条件

○年降水量: 約1,300～1,600 mm（8月～11月, 2005年）*
○年平均気温**: 5.9℃
・1月平均気温**: −7.7℃
・8月平均気温**: 19.4℃
*太田ほか (2007)
**幌延町気象データ（1998–2005）

○海水面の温度（SST）: 現在比 +5 ℃（北部北海道の貝化石による）（松島・大嶋,1974）
○気温: 現在比 +1 ～ 2 ℃（海津,1994）

○気温: 現在比 −2 ～ 3 ℃（海津, 1994）

?

〈 1.4 ～ 1.2 万年前 〉
○年降水量*: 現在比 −750 ～ −1,000 mm
○年平均気温*: 現在比 −8℃
○1月平均気温*: 現在比 −12℃
○8月平均気温*: 現在比 −6℃
*幌延町北進地区の泥炭層における花粉分析による（新里ほか,2009）

〈 4.2 ～ 1.2 万年前 〉
○北海道北部では不連続的永久凍土帯が発達（三浦・平川,1995）
○幌延地域では地下約20mまで永久凍土が発達（新里ほか., 2007）

永久凍土および周氷河現象

−150 m まで低下（日本海の海底堆積物の分布による）（池原ほか., 1999）
−127±30 m（日本海のボーリング試料による）（大場, 1988）

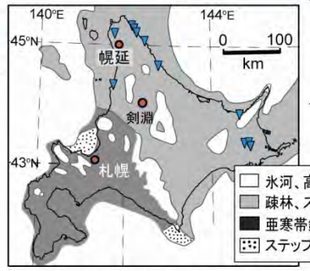


図. 最終氷期最寒冷期における植生と化石凍結割れ目の分布（五十嵐, 1991＆三浦・平川, 1995に基づき編図）

○亜間氷期: 約 −20 m
○亜氷期: 約 −50 m
→汎地球的海水準変動による（Siddallほか., 2007）
○ +7±4 m（中部日本沖から採取されたボーリング試料の古環境指標による）（Obaほか ., 2006）

〈 MIS5.5 〉
○現在比: +2 ℃（南極氷床コアの同位体比による; Petitほか., 1999）
○現在比: 夏季, +2～0 ℃
冬季, +2～+10 ℃（中央～東ヨーロッパの花粉分析による; Velichkoほか,2007）

植　生

○針広混交林の成立（モザイク上に針葉樹と広葉樹が交じる; 五十嵐,1991）

○剣淵盆地 ; グイマツの増加、トドマツの減少（五十嵐ほか, 1993）

○幌延地域: グイマツの減少とカバノキ属の増加（約1.2万年前; 新里ほか ,2009）

○剣淵盆地: グイマツとハイマツの顕著な減少（五十嵐ほか., 1993）.

○幌延地域: グイマツを伴うステップ（1.4 ～ 1.3万年前; 新里ほか ,2009.）

○剣淵盆地 ; 草原およびグイマツとハイマツを主とした疎林（2.5～1.6 万年前; 五十嵐ほか, 1993）.

○トッタベツ亜氷期
・標高にして最大 1,500 mまで山岳氷河が拡大（Sawagakiほか., 2004）

○ポロシリ亜氷期
・標高にして最大750 mまで山岳氷河が拡大（Sawagakiほか., 2004）

○剣淵
亜氷期（五十嵐ほか., 1993）

氷期中の温暖な時期（亜間氷期）および間氷期中のより温暖な時期

氷期中の寒冷な時期（亜氷期）

温暖期（間氷期）

寒冷（氷期）

古地理

幌延地域

図. 現在の北海道とその周辺海域の地理

※宗谷と間宮海峡は最終氷期には陸地
※現在の水深: 宗谷海峡, 約−50m
間宮海峡, 約−4～−20 m

（新里ほか,2007）

陸域
海域
幌延町市街地

堆積・削剥

サロベツ原野とその周辺の丘陵

サロベツ原野における最終氷期最寒冷期以降の堆積速度（MIS5.5に形成された海成段丘面の現在標高値による; 幌延地圏環境研究所,2007）

約5,000年前以降 ; 幌延沿岸部における砂丘列の形成（北沢,2009）
約1,900～670年前以降 ; 天塩川河口の南下（北沢・常盤,2010）

河川による侵食（下刻）: 0.3～0.8 m/千年
（MIS5.5に形成された海成段丘面の開析谷の深さによる）

堆積速度 : 6.6m/千年（サロベツ原野周辺の丘陵 ; MIS5.5に形成された海成段丘面の現在標高による）（太田ほか,2007）

削剥速度 : 0.17～0.66m/千年（過去約130万年間 ; 海成層の現在の標高とその年代値による）（太田ほか,2007）

北進地区

※北進地区は約130万年前以降から陸域（新里ほか,2007）

テクトニクス

隆起・沈降

サロベツ原野

沈降速度 : 最終氷期以降の堆積速度とほぼ同一 ?（サロベツ原野）

サロベツ原野周辺の丘陵

隆起速度 : 0.3 m/千年（サロベツ原野周辺の丘陵 ; MIS5.5に形成された海成段丘面の現在標高による）（太田ほか,2007）

断層運動

?

幌延沿岸域に分布するサロベツ断層帯の過去の活動
平均変位速度 : 0.7m/千年以上、平均活動間隔 : 4,000～8,000年
（地震調査研究推進本部 地震調査委員会,2007）

広域テクトニクス

○東西方向の圧縮応力場（ボーリング調査での初期応力測定、GPSデータの解析結果による（太田ほか ,2007）

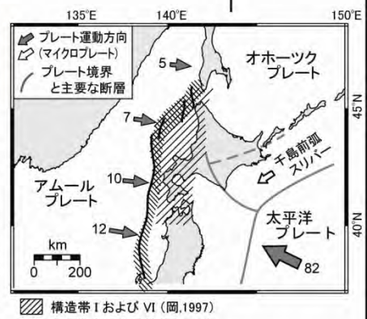


図. 北海道とその周辺海域における現在のテクトニクス（プレート運動の方向と速度は Wei & Seno, 1998による）

※東西方向の圧縮応力場（約230万年前以降、アムールプレートとオホーツクプレートの相互作用による; 平,2002）

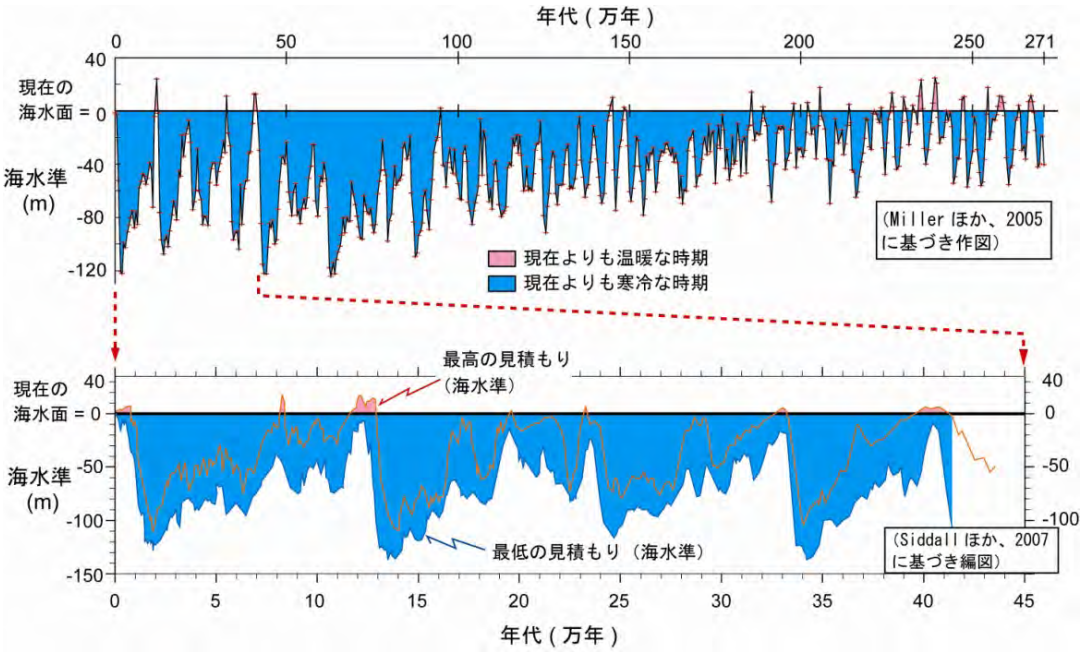


図 51　過去の海水準変動

（上）過去約 270 万年間[19]、（下）過去約 40 万年間[20]

(2) 地質環境の長期的変化モデル

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、幌延地域を事例として、これまでに実施してきた地下水流動解析[21]結果などを整理し、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)を整備しました。

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（図 52)。SMSでは、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ます（図 52右)。この初期モデルを出発点として、地形・地質構造の形状をある時間間隔（タイム・ステップ）で変化させつつ、海水準および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。

また、SMSを適用して得られた地下水流動解析の結果をアニメーション表示するための描画システムの開発を進めました。そのイメージを図 53

に示します。

平成21年度までに、幌延地域を事例として、地形・地質構造、海水準変動および涵養量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行い、その結果をアニメーション表示するまでの一連の技術を整備することができました。

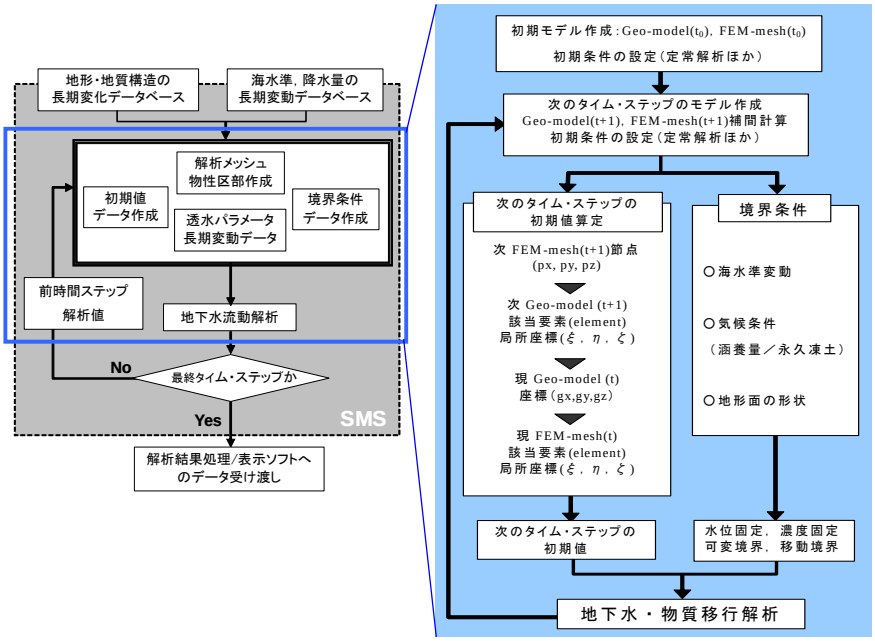


図 52　SMS における地下水流動解析の手順
（左）解析の大まかな流れ、（右）左図における青枠内の詳細

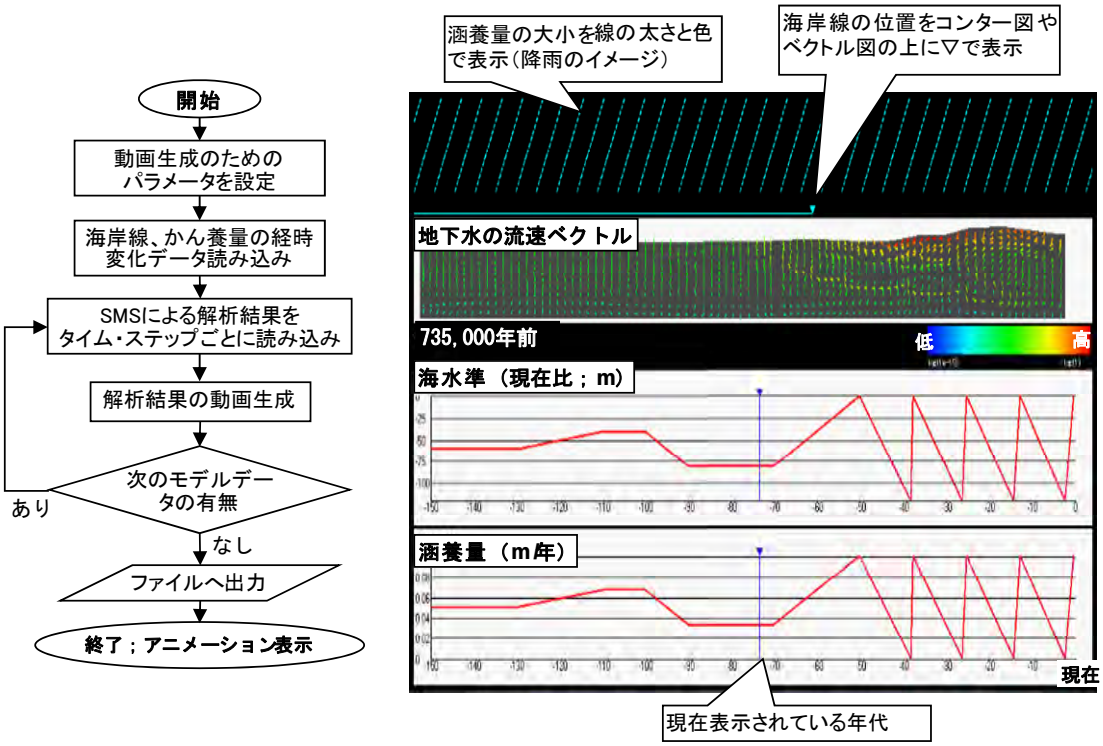


図 53　地下水流動の解析結果をアニメーション表示するための描画システムのイメージ

今後は、三次元での解析手法の検討を進めるとともに、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(6)参照）を活用しつつ、堆積岩が分布する沿岸域を対象とした地質環境の長期的変化を予測する手法の整備を進める予定です。

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て、断層活動が地質環境に与える影響について検討しています。

平成21年度は、幌延町内に設置している4箇所の地震観測点での連続観測を継続するとともに、断層活動が地質環境に与える影響を把握するための数値解析を行いました。

このうち、地震観測点での連続観測については、平成19年10月1日から平成21年9月30日までの観測データを使って、幌延地域周辺で発生した地震の震源位置の再決定を行いました。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*22も利用しました。図 54は、この期間に北海道北部地域で発生した地震の震源分布を表しています。

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。マグニチュードが小さい地震の地震波は、遠く離れた場所では観測しにくいため、原子力機構の観測点で観測された地震の震源のほとんどが幌延地域周辺に分布する結果となっています。これらの地震の震源位置は、これまでに決定されてきたものと同様の分布傾向を示しており、同じような場所で地震が発生していることを示しています。

---

*22：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。

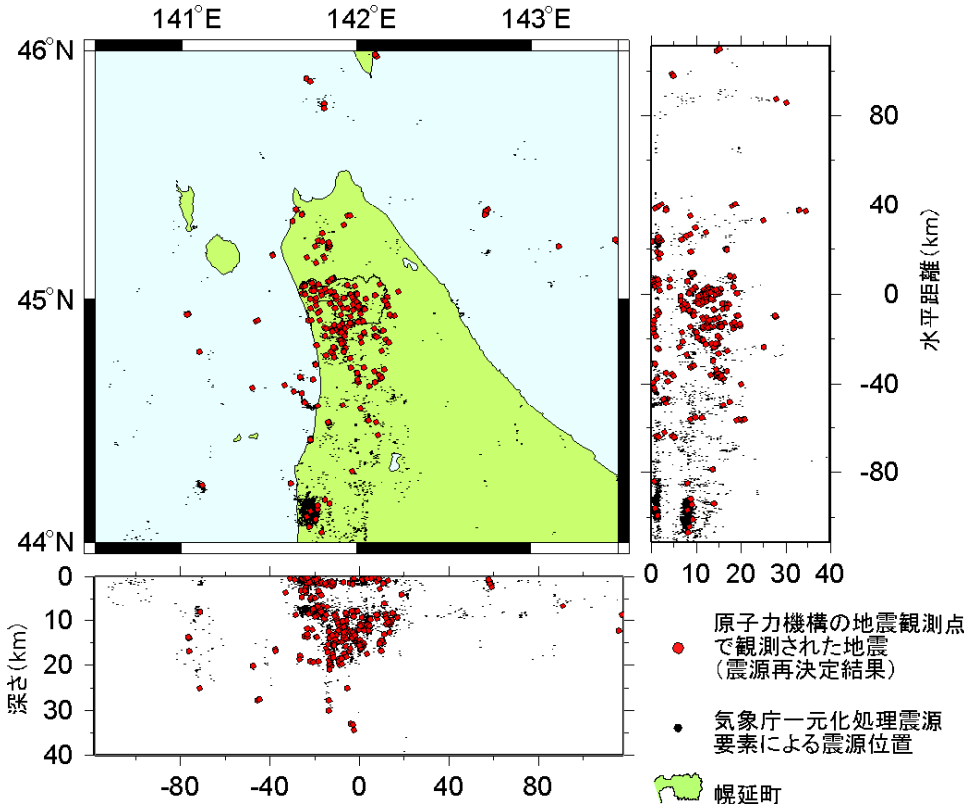


図 54　北海道北部地域で発生した地震の震源分布

断層活動が地質環境に与える影響を把握するために、断層の運動に伴って周辺の岩盤がどのように変形してきたかについて、主断層と副断層を仮定した数値解析による推定を行いました。図 55は、断層を挟んだ両側の岩盤のずれ（図 55において、断層の右側が左側に対して衝上する斜め横ずれ断層の運動）を想定した数値解析の結果です。断層の運動に伴う周辺の地面の動き方を推定したもので、地面の垂直方向の動き（隆起、沈降）は、それぞれ暖色系、寒色系の色で示しています。また、赤線、青線、緑線は岩盤にかかる力の向き（主応力軸の方向）を表しています。

図の中心付近、主断層と副断層の間には変動が小さい領域が見られます。岩盤にかかる力の向きをみると、全体としては東西方向を示す最大主応力軸の方向が断層近傍では異なる向きを示す様子が見られます。このような断層周辺の地面や岩盤の変化は地質構造の長期的な変化に深く関わっていると推測されます。

今後は、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、断層活動に関する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とともに、地震観測点での連続観測を継続して行う予定です。

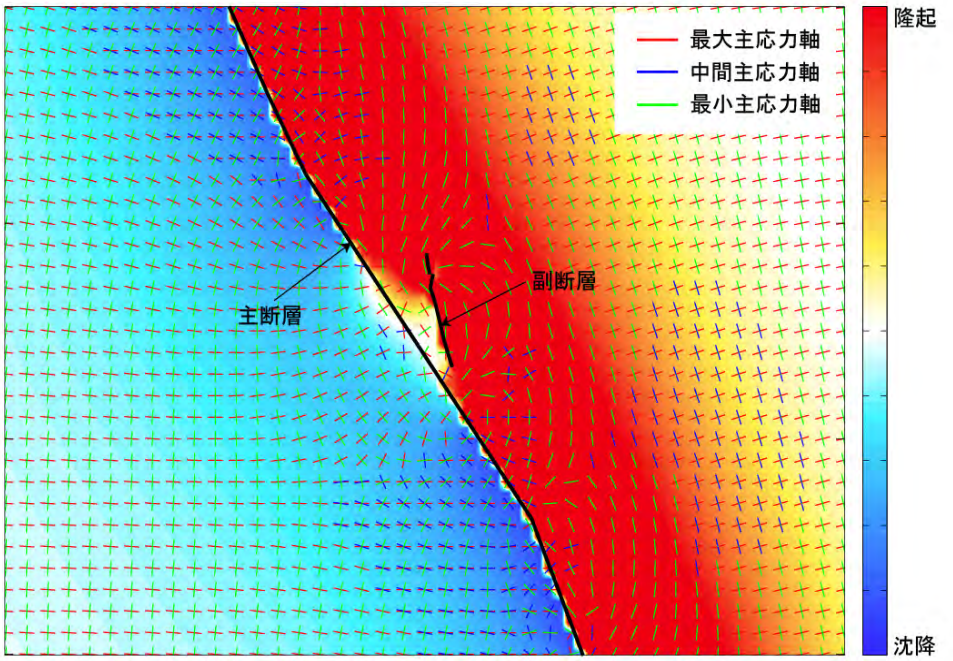


図 55　数値解析によって推定した地面の鉛直変動および応力軸の回転

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21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。

(1) 低アルカリ性コンクリート材料の開発

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[*23]）の開発を平成13年度から継続しています。平成20年度までに、室内試験などを通じて、HFSCを用いた吹付けコンクリートや覆工コンクリートの基本配合を検討しま

*23：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。

した[22]、[23]。

平成21年度は、地下施設の140m調査坑道において、HFSCを吹付けコンクリートとして施工しました。実際の施工に際しては、地下での試験に先立って、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試験練りを行い、これまでに設定した基本配合[22]を修正しました。表 2に基本配合および修正配合を示します。表 2の修正配合を用いて、地上での吹付け試験を行い、吹付けたコンクリートからコアを採取して、強度の確認を行った結果を表 3に示します。比較のため、普通ポルトランドセメント(OPC)の結果も示しました。表から、HFSCは地下施設の設計基準強度36N/mm^2（材齢28日）を満たすことが確認されました。また、吹付け試験の際に、実際の工事で使用している機材を使用して、施工性を確認しました。

次に、地上での試験結果を受けて、地下施設の140m調査坑道の一部（図 56）でHFSCの吹付けコンクリートを施工しました（図 57)。施工期間は約2カ月、総吹付け量は約522m^3、総延長は約73mです。施工中に、地上での試験と同様に吹付けコアを採取し、強度試験を行って地下での施工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)。施工性について、混合状態、脈動状態、粉じんおよび付着状態などの項目に対してOPCの場合と比較して評価を行った結果、HFSCはOPCと同等の施工性を示しました。特に、粉じんや付着状態についてはOPCよりも優れた評価となりました。以上のことから、HFSCの吹付けコンクリートは実際の地下坑道の施工に適用可能であることが示されました。

これまでに、低アルカリ性のコンクリート材料を用いた、小規模な施工試験は国外で事例がありますが[24]、本格的な地下施設の施工に用いたのは世界で初めてのことです。

今後は、HFSCの施工部分から、岩石およびコンクリートのコアや、坑道近傍の地下水を採取・分析し、周辺岩盤や地下水への影響について調査するとともに、250m調査坑道や深度300m以上の法定深度以深[*24]においても施工を行う計画です。

---

*24：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百十七号）に、地下 300m 以上の深さの地層と定められています。

表 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/m³)						
			水	結合材			細骨材	粗骨材	混和剤
				OPC	SF	FA			
HFSC 基本配合	35.0	59.7	175	200	100	200	935	628	5.25
HFSC 修正配合	30.0	59.7	150	200	100	200	974	655	3.25
OPC	43.3	56.9	173	400	－	－	1072	809	2.00

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

表 3　材齢28日での圧縮強度の比較

	地上での試験 (N/mm²)	地下での試験 (N/mm²)	設計基準強度 (N/mm²)
HFSC吹付けコア	38.2	44.8	36.0
OPC吹付けコア	44.5	37.2	

強度の値は、3回の試験の平均値

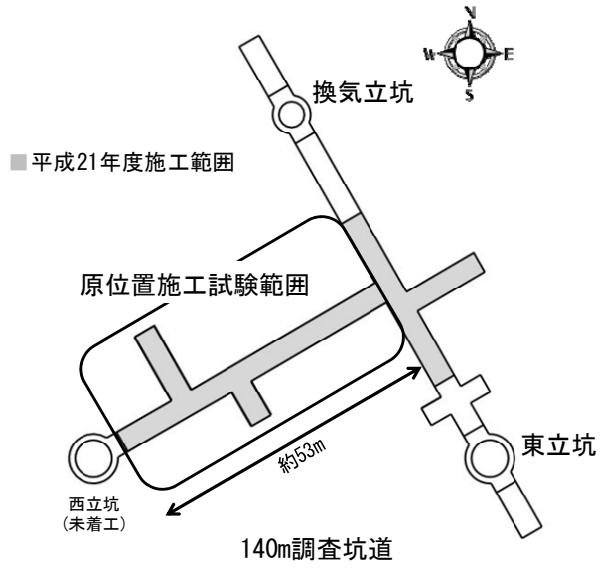


図 56　HFSCを用いた吹付けコンクリートの原位置施工試験範囲

図 57　原位置施工試験実施状況

(2) 低アルカリ性セメント系グラウト材料を用いた原位置試験

坑道掘削に伴い発生する湧水対策のための技術開発の一環として、250m換気側第1ボーリング横坑において、声問層と稚内層の遷移部に予想される高透水性の領域を対象とし、低アルカリ性セメント系グラウト材料を用いた岩盤へのグラウトに関する原位置試験を実施しました。図 58 に原位置試験のレイアウトを示します。試験は注入孔①、②においてグ

ラウト材料を注入し、確認孔①、②を注入孔間に配置して掘削し、透水性の変化およびグラウト材料の到達状況を調べました。また、これまでに開発してきた高水圧に対応するための機器(パッカー)の適用性の確認も行いました。

その結果、グラウト材料の注入前より岩盤の透水性が低減され、低アルカリ性セメント系グラウト材料の適用性が示されました。また、グラウト材料が岩盤中を移動する経路の特徴についてのデータを取得することができました。さらに、これまで開発してきた高水圧環境に対応するパッカーについて、十分な適用性能を有することを確認しました[25]。

なお、本原位置試験は、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業である、地下坑道施工技術高度化開発の一部として実施しました。

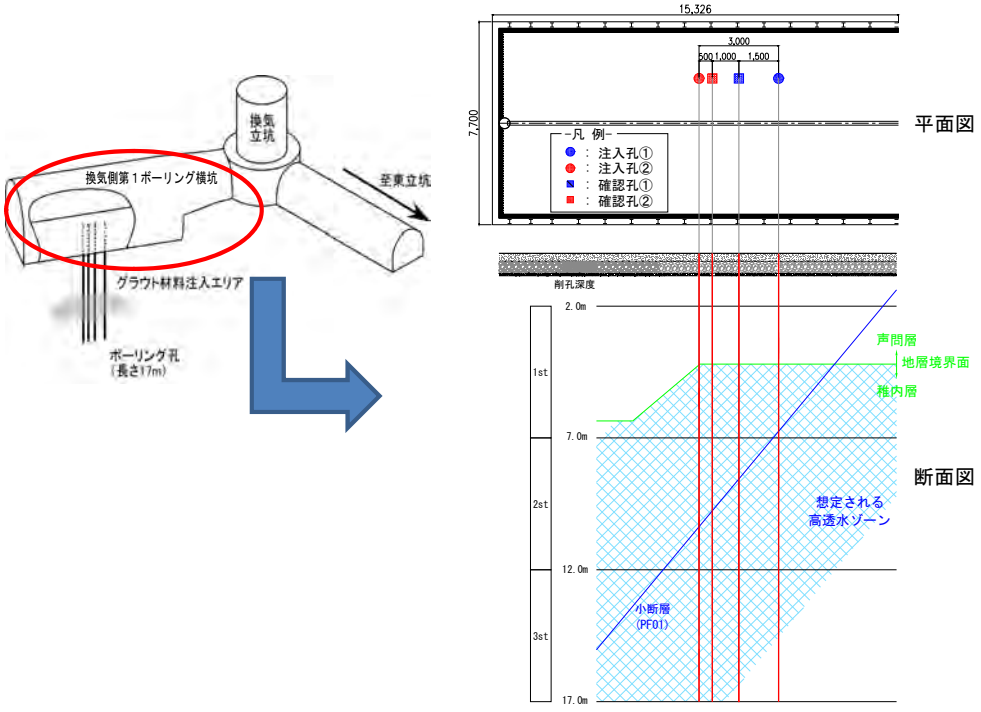


図 58　低アルカリ性セメント系グラウト材料の原位置試験レイアウト
（250m調査坑道 換気側第1ボーリング横坑）

(3) 緩衝材の定置試験・人工バリア長期挙動試験

平成20年度に引き続き、原子力環境整備促進・資金管理センター*25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

*25：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。

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、地上での設備として、操業技術に係る緩衝材の定置試験設備と人工バリアの長期挙動に係る再冠水挙動の試験設備についての試験計画の立案や設計を行い、緩衝材定置試験設備のうち、緩衝材ブロックなどを搬送するための走行台車を製作しました。図 59に緩衝材定置試験設備の概念図と製作した走行台車を示します。あわせて、平成20年度に製作した把持装置も示します。また、人工バリアの再冠水挙動について、緩衝材中の水の浸潤を可視化するための装置を製作し、試験方法について検討をしました[(26)、(27)]。

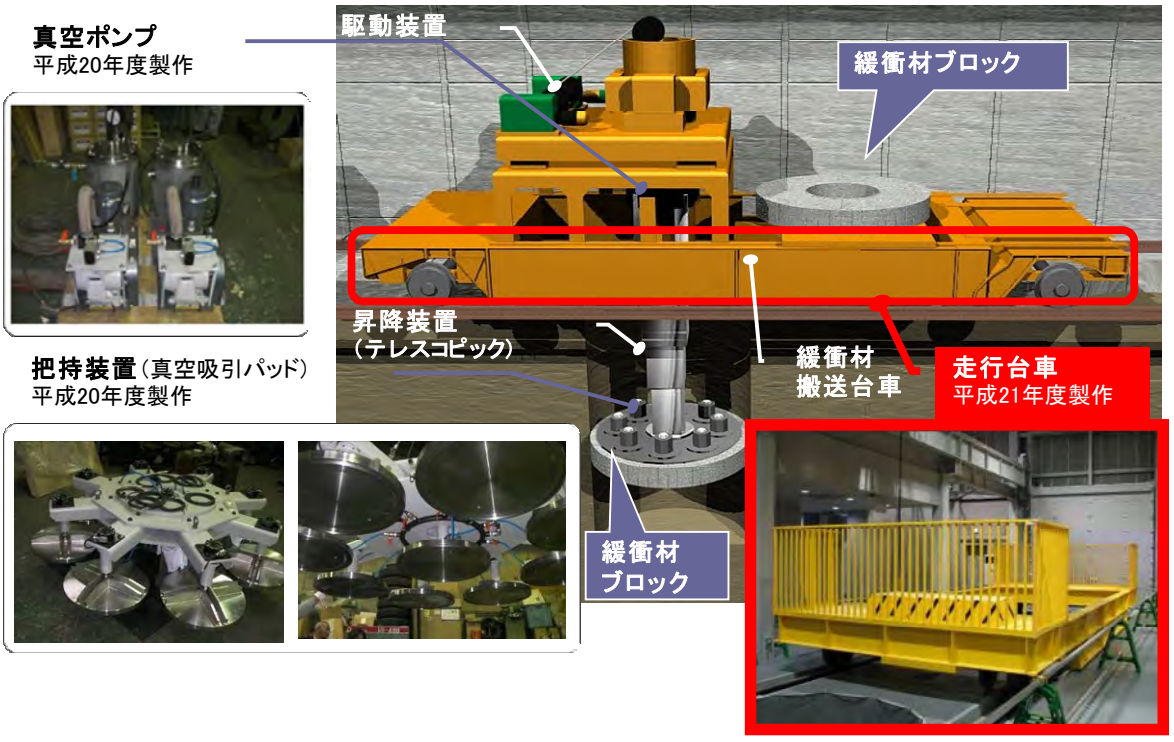


図 59　緩衝材定置試験装置製作状況

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*[26]）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

*26：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。

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、これまでに十分な基礎データが取得されていない塩水系地下水やセメントの影響を考慮した条件に対する人工バリアの構成材料の特性や挙動について、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）の開発などを進めるとともに、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。また、それらの情報を整理し、第1段階で取得した地質環境データおよび坑道掘削に伴い得られるデータを用いて、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[28]を原位置試験の仕様検討に適用します。

平成21年度は、緩衝材の膨潤特性、透水特性、オーバーパック材料の腐食特性のほか、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やモデルの検討を継続しました。膨潤特性については、ベントナイトが地下水と接触した際に発生する膨潤圧*27や膨潤による隙間充填特性（隙間を埋める性質）などについて、塩水系地下水やセメントの影響を考慮した条件でのデータ取得を継続しました。また、ベントナイトが様々な塩濃度の地下水と接触した際に発生する膨潤圧を、ベントナイトの種類や密度、あるいはケイ砂混合率などが異なった場合でも、接触する地下水の熱力学データ*28に基づいて計算できるモデルの開発を継続しました。具体的には、これまでに開発したモデル[29]、[30]に温度の影響を考慮したモデルの検討を行いました。これまでの研究で、膨潤圧に及ぼす温度の影響についてはほとんど報告されていませんが、ベントナイトが膨潤する原因でもある粘土鉱物表面の水の熱力学データから、温度上昇に伴って膨潤圧は低下すると推測されました。この傾向は、数少ない実測値[31]とも整合しています。

---

*27：ベントナイトは水と接触すると水を吸って膨らむ性質があり、その現象を膨潤と言います。膨潤しようとするベントナイトを膨らまないように拘束した時に発生する圧力を膨潤圧と言います。

*28：この解析で対象としている熱力学データは、地下水中の水の活量に着目しています。例えば、地下水の塩濃度が変化した場合、水分子は溶解しているナトリウムや塩化物イオンなどに水和することにより束縛され、活動度（活量）が低い水となります。この水の状態をエネルギーで表したものが熱力学データで、条件に左右されない普遍的な指標として取扱うことができます。

ベントナイトの透水特性については、塩水系地下水やセメントの影響を考慮した条件でのデータ取得を継続しました。従来の結果では、淡水系地下水の場合と比較して、塩水系地下水の方が高い透水係数となることが分かっており、これまでのところ、同様な傾向が得られています。

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腐食試験（局部腐食や応力腐食割れ試験）や、代替材料であるチタンと銅に対する幌延の地下水（HDB-6孔および10孔）やそれらの地下水を模擬した条件での腐食試験を継続しました。その結果、炭素鋼の局部腐食の程度は、中性からアルカリ性環境や様々な溶液条件で得られた過去のデータの範囲内であることが確認されました(32)。また、銅に対する応力腐食割れ試験（力を掛けながらの腐食試験）において、アンモニウムイオンを含む幌延の地下水では、弱い酸化条件において脆性的な亀裂が観察されました(33)。

また、ガスの移行特性については、地層中の透気特性に関するデータ拡充のため、コア試料（PB-V01孔）を用いたガスの移行試験を継続し、これまでに水や空気を用いて岩石の浸透率*29を測定しました。

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

第2段階では、実際の地質環境への安全評価手法の適用性を確認するため、これまでのボーリング調査や、地下施設における調査などで取得した岩石や地下水などを利用した室内試験を行います。その室内試験を通じて、安全評価における物質移動・遅延の解析に必要となる基礎データ（拡散係数*30、収着分配係数、間隙率、溶解度など）の取得を東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所と協力して継続します。また、物質移動・遅延に影響を及ぼすと考えられる要因（有機物、コロイド*31、

---

*29：浸透率は、媒体中を液体などの流体が透過する時の透過のしやすさの程度を表す指標で、温度や流体の種類によって変わる流体の粘性を補正した媒体固有の値です。大きいほど透過しやすいことを意味します。

*30：岩盤などの固相中を放射性核種などが、濃度の高い方から低い方へ移動していく際の速さを表す係数で、収着分配係数と同様、安全評価などに利用される重要なパラメータのひとつです。

*31：0.1～0.001 マイクロメートル程度の極微細な粒子が、液体・気体・固体などの中に分散している状態のことで、ここでは地下水中に分散した粘土鉱物などを想定しています。

微生物活動など）に関する基礎データの蓄積を進め、メカニズムや現象の理解を通じて、データの信頼性と精度の向上を図ります。

平成21年度は、平成18年度から実施している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の、岩石中での物質（セシウム、ヨウ素、重水*32など）の拡散特性と収着特性、ならびに有機物の特性評価に関する室内試験を継続しました。具体的には、稚内層の岩石（PB-V01孔）中のヨウ素に対する拡散試験を透過拡散法により行い、拡散係数を取得しました(34)。ヨウ素については、これまでにも報告されていますが、得られた拡散係数は、稚内層に対してこれまで報告されている値と一致しました。

また、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の、岩石や緩衝材中での物質の拡散特性や収着特性のほか、微生物や有機物などの特性評価に加えて、それらが物質移動に及ぼす影響やデータ取得方法の標準化に関する室内試験を継続しました。具体的には、稚内層の岩石（HDB-6孔およびHDB-10孔）を用いて、トリチウム、セシウム、セレン、トリウムなどの代表的な元素に対する拡散試験（枯渇法（トレーサー減衰法)、透過拡散法）を実施し、これらの取得事例を通じて堆積岩に対する拡散試験手法の適用性について検討しました。その結果、トリチウム、セシウム、セレンなどのように低収着性の元素に対しては、透過拡散法により信頼性の高いデータが取得できることが分かりました。一方、トリウムなどの高収着性の元素に対しては、枯渇法によりデータを取得しましたが、モデルによる予測と実測データが整合せず、モデルの改良が必要であることが分かりました。また、収着拡散特性に及ぼす有機物と高アルカリ性環境の影響を評価するため、フミン酸*33を共存させた条件でのユーロピウムに対するバッチ法による収着試験と枯渇法による拡散試験を実施

---

*32：水分子（H_2O）を構成する水素原子が通常の2倍の質量数を持つ2重水素（D：重水素）で置換されている水を重水と言い、D_2Oと表現します。また、片方の水素原子がDに置換されている場合、HDOと表現します。通常、濃度が薄い場合は、HDOになっています。この重水素原子と酸素原子間の結合による赤外線吸収の違いを分析することにより、HDOの濃度を求めることができます。

*33：植物などが微生物により分解される最終生成物のうち、酸性である無定形高分子物質のことで、腐植酸とも呼ばれます。

しました。稚内層の岩石（HDB-10孔）をアルカリ処理したものと未処理のものに対する試験結果から、ユーロピウムの収着分配係数は、フミン酸濃度の増加に伴い減少するとともに、アルカリ処理した方が低下することが分かりました。さらに、拡散係数もフミン酸濃度の増加に伴い減少することが分かりました。この原因は、フミン酸とユーロピウムが結合し、錯体を形成するためであると考えられました。

微生物については、平成20年度に引き続いて、地下水中の微生物の種類や生菌数などの定量評価手法について検討し、3種類の方法（培養法、リアルタイムPCR法、複合定量法）についてそれらの特徴を活かした微生物定量評価手法の標準化案を提示しました。また、岩盤の酸化還元緩衝能力に関わる模擬試験を実施し、微生物活動が還元環境の形成に寄与することが分かりました。

4.2.2 安全評価手法の適用性確認

安全評価では、表層部は人間の生活環境と地下深部の境界に位置する重要な領域です。地表から深度100m程度までの表層部を対象とした水理・物質移動については、これまで調査やモデル化・解析事例がほとんどないことから、これを把握するための方法論の整備を目的とした既存文献に基づくモデル化・解析の手順などの整理を行いました[35]。その結果、既存文献の情報によって概括的な水理・物質移動を把握することが可能であるとの見通しが得られ、そのために必要な情報の種類、さらに精度を上げるために必要と考えられる情報などを整理することができました。このことは、処分事業や安全規制におけるモデル化・解析に反映することができる重要な知見になるものと考えられます。今後、整理した手順に沿った具体的なモデル化・解析を通じて、表層部を対象とした調査から解析、評価にいたる方法論を整備していきます。

3.1.1(1)および3.1.2(1)で述べられているように、幌延町内に分布する地層のうち稚内層中に分布する割れ目については、層理面に高角に交差している割れ目が地下水の主要な水みちになることが確認されました。安全評価においては、このように水みちとして機能する割れ目（透水性割れ目）の特性を定量的に把握し、モデル化を行うことが重要です。

平成21年度は、地質環境調査で特定された、安全評価上重要な透水性割れ目について定量的に特性を評価し、その結果に基づいて透水性割れ目の三次元的な連続性・連結性の構造を不連続割れ目ネットワークモデルで構築しました。三次元割れ目ネットワークモデルの構築においては、割れ目の形状を円盤として近似し、割れ目の密度、方向、サイズ、水理特性を実測データに基づき統計的に評価することが必要となります。割れ目の密度については、地上からのボーリング調査結果を分析することにより、地下施設周辺における割れ目の三次元密度（単位体積中に存在する割れ目の表面積の総和）の分布を推定しました。割れ目の方向についても、同様に割れ目の走向と傾斜のデータを分析しました。図 60は透水性割れ目の走向と傾斜に関する下半球投影図です。図 60から分かるように、地下施設周辺においては方向の異なる2つの割れ目の組が存在することが推定できました。割れ目のサイズについては、露頭調査で観察した割れ目のトレース長*34および大曲断層の三次元構造のモデルに基づき推定したトレース長について、割れ目の累積数との関係を整理したところ、傾きが－1.5のべき乗則に従うことが確認されました（図 61）。

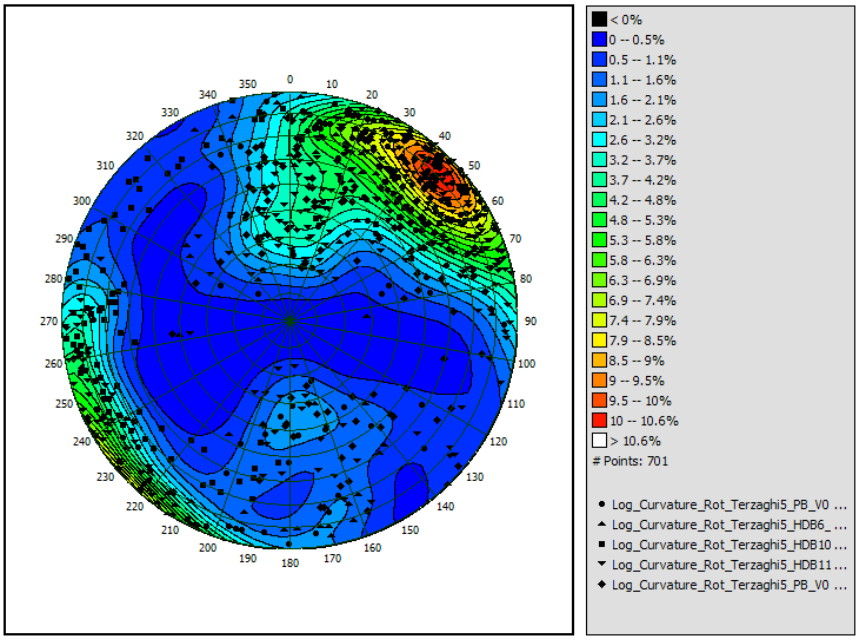


図 60　地下施設周辺に分布する透水性割れ目の方向性に関する下半球投影図の例

*34：露頭調査や坑道壁面調査などの二次元的な平面において観察される割れ目について、その始点から終点までをなぞる（トレース）ことによって得られる長さのことを言います。

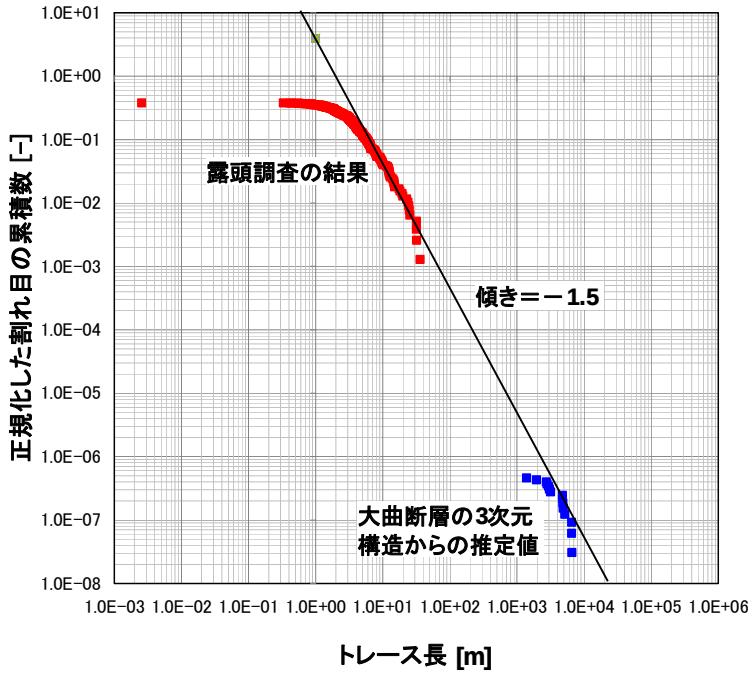
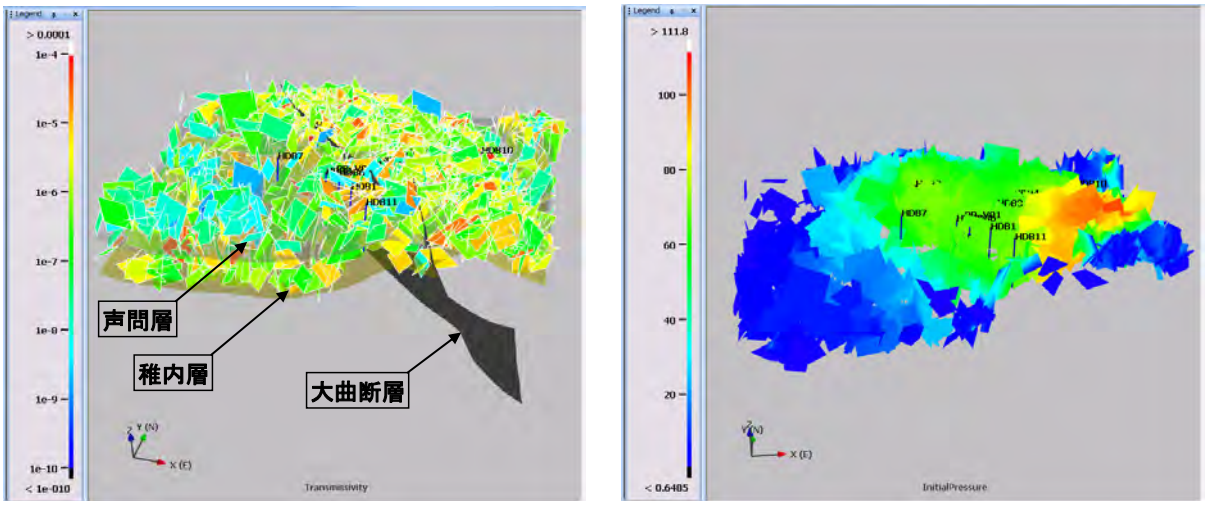


図 61　透水性割れ目のトレース長に関する累積分布図

透水性割れ目の水理特性である透水量係数については、地上からのボーリング調査において実施した電気伝導度検層と水理試験の結果を対比することにより推定しました。その結果、透水性割れ目の透水量係数は平均値1.72×10^{-6}（m^2/s）、標準偏差3.21×10^{-6}（m^2/s）の対数正規分布に従うことが分かりました。また、割れ目の開口幅については、割れ目中の地下水の流れが三乗則[*35]に従うと仮定することにより推定しました。これらの推定した割れ目の特性に基づき、三次元割れ目ネットワークモデルを構築しました。モデルの構築に際しては、地上からのボーリング調査で観察された透水性割れ目および研究所設置地区の南北方向に位置する大規模断層である大曲断層は決定論的に、その他の割れ目は確率論的にモデル化しました。モデル化の領域は、地下施設を中心とした5km四方の領域に分布する声問層と稚内層です。図 62(a)は、声問層と稚内層でモデル化した透水性割れ目のネットワーク構造です。また、図 62(b)は割れ目ネットワーク中の地下水流動解析を実施することにより得られた全水頭分布です。このように、声問層と稚内層中に分布する透水性割れ目の不連続な三次元ネットワーク構造を、等価な多孔質媒体として近

*35：亀裂を 2 枚の平行な板で近似できると仮定した場合、亀裂中の流量は亀裂開口幅の 3 乗に比例することからこの関係を三乗則と言います。



(a) 声問層および稚内層中の透水性割れ目のネットワーク構造　(b) 地下水流動解析により得られた全水頭分布

図 62　三次元不連続割れ目ネットワークモデル

似することなしに、割れ目の分布特性を考慮して、直接モデル化することにより、地下水の移行経路の偏在性や連続性を考慮して、地下水の移行経路の長さや移行時間が推定できるようになりました。今後は、地下施設での調査やボーリング調査により、新たに取得される透水性割れ目に関するデータを取り込むことにより割れ目ネットワークモデルの信頼性を向上させるとともに、それに基づく安全評価解析を試行することにより、堆積岩における安全評価の方法論を構築していく予定です。

5. 地下施設の建設

平成21年度は、平成17年度に開始した地下施設工事（第Ⅰ期）を継続しました。地下施設工事については東立坑を深度約220mまで掘削するとともに、深度140mにおける調査坑道の掘削を継続し、完成しました。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。140m調査坑道の状況を図 63に示します。

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)置場は土壌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21年12月撮影

図 63　140m 調査坑道の状況

平成21年8月25日撮影

図 64　掘削土(ズリ)置場の盛土・保管状況

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）を定期的に実施し、適切な管理を行いながら掘削を進めています。表 4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*36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。地下施設からの排水の水質については、7.2に分析項目と結果を示します。

表 4　掘削土(ズリ)モニタリング調査結果（土壌溶出量：公定分析）

分析項目	単位	換気立坑	東立坑	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	－	5.8～6.8	1	30
ヒ素		－	0.007～0.035	0.01	0.3
フッ素		－	<0.08	0.8	24
セレン		－	0.014～0.019	0.01	0.3
カドミウム		－	<0.001	0.01	0.3
鉛		－	0.002～0.007	0.01	0.3
シアン		－	不検出 (<0.1)	不検出	1
六価クロム		－	<0.005	0.05	1.5
水銀		－	<0.0005	0.0005	0.005
アルキル水銀		－	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21年4月から平成22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。なお、平成21年度は、換気立坑の掘削は行っていないため、分析を実施していません。

*36:「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。

6. 地上施設の建設

平成21年度は、国際交流施設の内外装工事、外構工事、電気機械設備工事および舞台設備や移動座席などの付帯設備工事を行い、平成21年9月に竣工しました。図 65(a)に平成21年7月時の工事状況（内装工事）および図 65(b)に国際交流施設の完成写真（外観）を示します。

本施設は、平成21年10月17日に開館し、国内外の研究拠点として会議や報告会などのほか、地域の皆様との交流の場として活用しています。

平成 21 年 7 月 24 日撮影

(a)工事状況（内装工事）

(b)完成写真(外観)

図 65　国際交流施設

7. 環境モニタリング

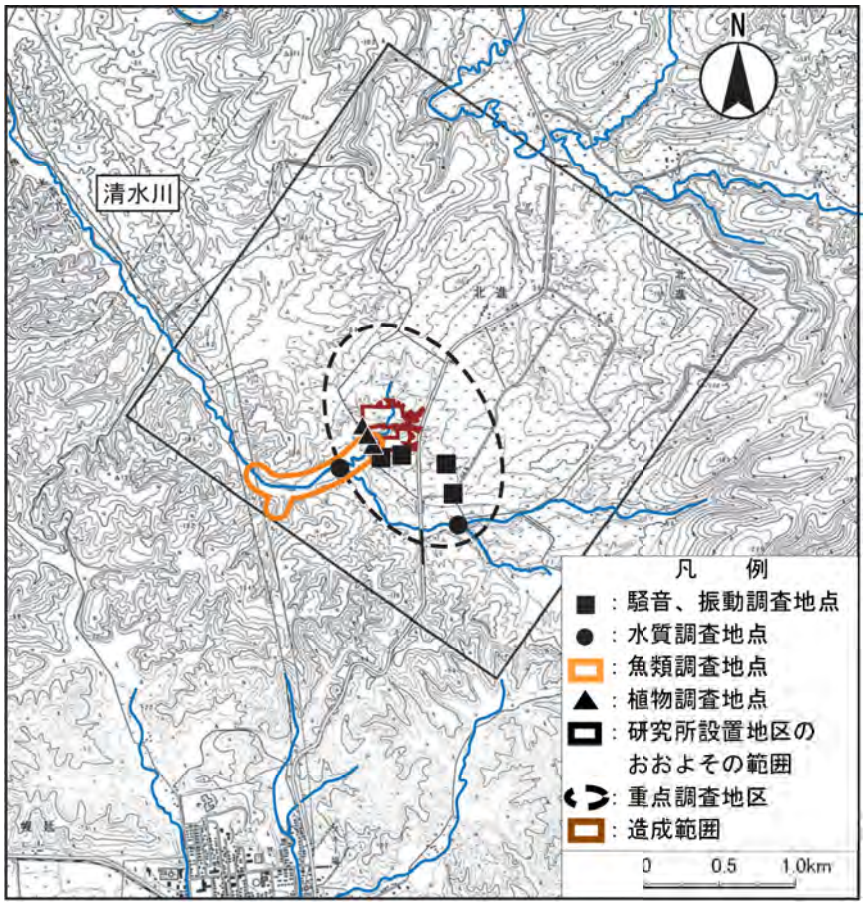
7.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査

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）より継続して実施しています。調査位置を図 66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」を対象としました。

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の移植先での生育状況の調査を継続しました。

調査の実施時期、調査方法を表 5に示します。



国土地理院発行2万5千分の1地形図「幌延」、「本流」を使用

図 66　環境モニタリング調査位置

表 5　環境モニタリング調査実施内容(平成 21 年度)

調査項目	調査実施日	調査方法
騒音	春季：平成21年 6月 2日～ 3日 夏季：平成21年 9月 1日～ 2日 秋季：平成21年10月28日～29日 冬季：平成22年 2月 2日～ 3日	「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」および「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」に示す方法
振動	春季：平成21年 6月 2日～ 3日 夏季：平成21年 9月 1日～ 2日 秋季：平成21年10月28日～29日 冬季：平成22年 2月 2日～ 3日	「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
水質 （清水川）	春季：平成21年 6月 1日 夏季：平成21年 9月 1日 秋季：平成21年11月 2日 冬季：平成22年 2月 1日	「水質汚濁に係る環境基準、生活環境の保全に関する環境基準（河川)」に示す方法
魚類	春季：平成21年 6月 1日 夏季：平成21年 9月 1日 秋季：平成21年10月13日	目視観察・採捕調査
ハイドジョウツナギ	春季：平成21年 6月 2日 夏季：平成21年 9月 2日	目視観察
植物群落	春季：平成21年 6月 2日 夏季：平成21年 9月 2日 秋季：平成21年10月13日	コドラート調査*37

騒音・振動および水質については、いずれもそれ以前と比較して大きな変化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見られず、6科7種が確認されました。法指定種や環境省のレッドリストなどで絶滅のおそれのある魚類を抽出したものを重要種として表 6に示します。確認された重要種は、スナヤツメ、サクラマス、エゾウグイ、エゾトミヨ、ハナカジカの計5種でした。ハイドジョウツナギは、移植地への活着および自生地の個体と同様の伸長成長が確認され、さらには平成20年度と同様に多数の繁殖個体（開花個体）も確認されました。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。

なお、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。

*37：1m×1m 程度の調査区（コドラート）を設定し、調査区内の植物の生育状況（種類、占有面積、生育密度など）を詳細に把握し、毎年度の調査によって、変化の状況を確認する方法です。

表 6　確認された重要種（魚類）

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

※1：重要種の選定根拠
① 「文化財保護法」（昭和 25 年　法律第 214 号）に基づく天然記念物および特別天然記念物
② 「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」（平成 4 年法律第 75 号）に基づく野生動植物種
③ 「改定・日本の絶滅のおそれのある野生生物－レッドデータブック－4 汽水・淡水魚類」（環境省 2003 年）の記載種
　VU：絶滅危惧Ⅱ類　　NT：準絶滅危惧
④ 「汽水・淡水魚類のレッドリストの見直しについて」（環境省 2007 年）の記載種
　VU：絶滅危惧Ⅱ類　　NT：準絶滅危惧
⑤ 「北海道の希少野生生物 北海道レッドデータブック 2001」（北海道 平成 13 年）の記載種
　R：希少種　　N：留意種
⑥ 「日本の希少な野生水生生物に関するデータブック（水産庁編）」（日本水産資源保護協会 1998 年）の記載種
　希：希少種　　減：減少種
⑦ 「緑の国勢調査－自然環境保全調査報告書－」（環境庁　昭和 51 年）に基づく選定種
⑧ 「第2回自然環境保全基礎調査報告書（緑の国勢調査）」（環境庁　昭和57年）に基づく選定種
　○：調査対象種
※2：④では「スナヤツメ北方種」として記載されている。※3：ヤマメが対象。※4：サクラマスが対象

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、春季～冬季を通じて、昼間は41～52デシベル、夜間は31～44デシベルでした。（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	春季～冬季を通じて、昼間は30未満～31デシベル、夜間は30未満～30デシベルでした。（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	対象分析項目について季節的な変動はあるものの、工事の影響と思われる大きな変化は見られませんでした。なお、冬季の水素イオン濃度（pH）が№1および№2ともに過年度と比較して高い傾向が見られました。
魚類	6科7種を確認しました。重要種はスナヤツメ、サクラマス（ヤマメ）、エゾウグイ、エゾトミヨ、ハナカジカの5種を確認しました。環境指標種としているサクラマス（ヤマメ）及びハナカジカの確認尾数に減少傾向は見られず、造成工事着手以前と同様に魚類の生息環境が維持されていると判断されました。
ハイドジョウツナギ	移植地においては順調に群落を拡大しており、開花・結実も確認され、生育は大変良好であると判断されました。 一方で、クサヨシ等の周辺植物が移植地内で群落を拡大させつつあり、他の大型草本から隔離された環境からクサヨシ等の大型草本が混生する環境に遷移しつつあることが確認されました。
植物	造成工事着手以前と比較するとほぼ同様の種構成が確認され、主要種について過年度と比較して被度・群度の大きな変化は認められませんでした。

7.2 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モニタリング調査については、立坑掘削に伴い発生する排水、掘削土(ズリ)置場からの浸出水、排水処理設備にて処理後の水、掘削土(ズリ)置場とその周辺の地表水、清水川河川水および排水の放流先である天塩川河川水について実施しました。また、研究管理棟および地下施設建設工事共同企業体現場事務所からの生活排水についてもモニタリング調査を行いました。図 67に地下施設排水の処理系統図を、図 68にセンター全体の排水系統図を、図 69に天塩川の水質モニタリング調査位置を示します。

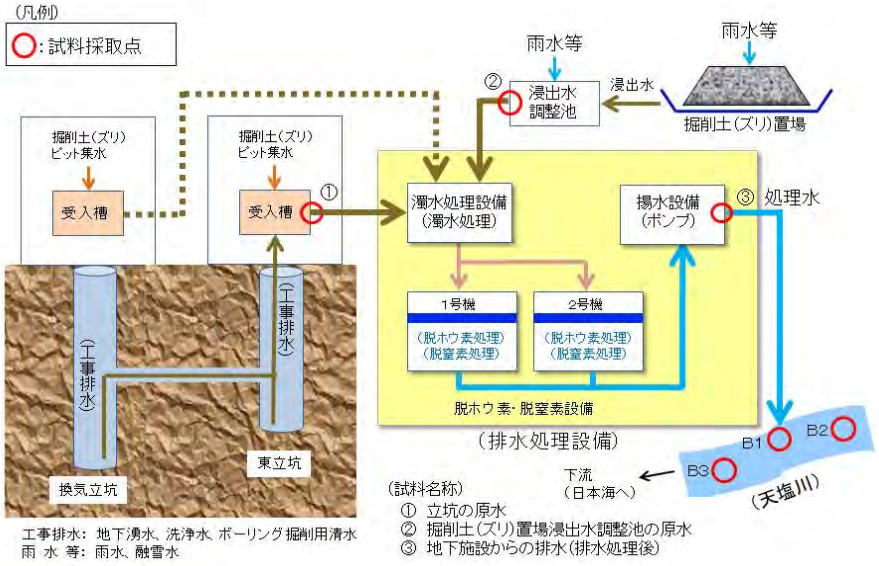


図 67　地下施設排水処理系統図

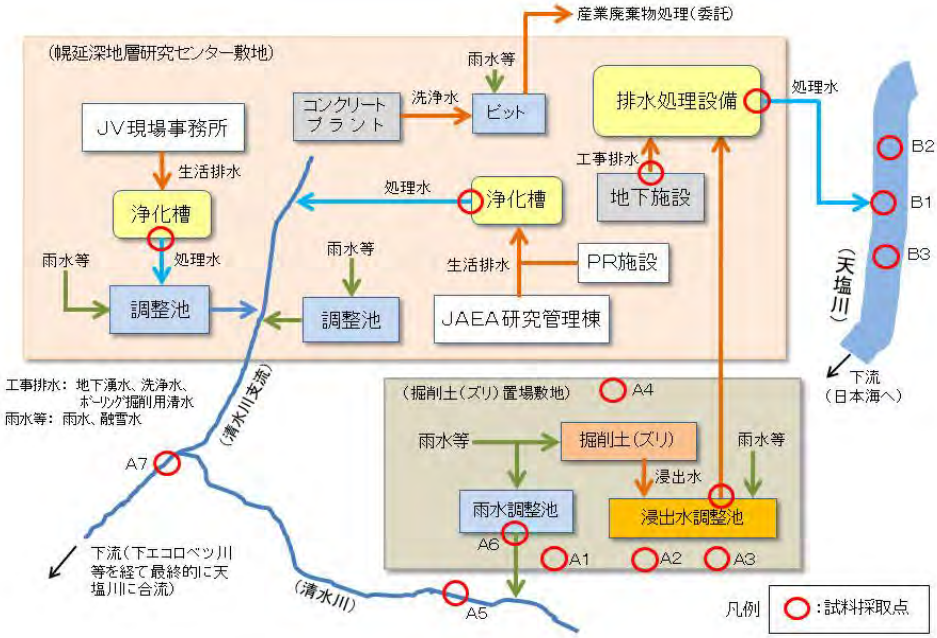


図 68　幌延深地層研究センター排水系統図

※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 69　天塩川の水質モニタリング調査位置

水質モニタリング調査の分析項目は、表 8に示すとおりであり、水質汚濁防止法の排水基準および北るもい漁業協同組合との協定書に記載されている分析項目などです。なお、モニタリングの分析項目が多いため、本報告書では表 8の「主要な分析項目」についてのみ結果を掲載しています。モニタリング調査の詳細な結果は、ホームページ*38で公開しています。平成21年度の調査結果について、以下に示します。

平成21年度の天塩川への排水量を表 9に示します。4月の排水量が多いのは掘削土(ズリ)置場浸出水調整池に融雪水が流入したことによる季節変動です。

地下施設からの排水に係るモニタリングの公定分析の結果を表 10に示します。立坑からの排水は、坑道からの湧水に含まれるホウ素が自然的由来（地下水に元から含まれているため）により高い値を示していますが、排水処理設備からの排水処理後の水は排水基準値以下となっています。

*38：幌延深地層研究センターホームページ URL；http//www.jaea.go.jp/04/horonobe/

表 8　地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査項目

調査対象	調査地点	調査頻度	主要な分析項目*
立坑からの排水	排水処理施設（原水槽）	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	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池		
排水処理設備にて処理後の水	排水処理施設（揚水設備）		
清水川	掘削土(ズリ)置場の近傍(A5地点)および幌延深地層研究センターの近傍（A7地点）（計2地点）		
天塩川	放流口前面（B1地点：河口から19km）および放流口の上流1km（B2地点）・下流1km（B3地点）の表層･中層･深層（計9地点）		ホウ素、全窒素、全アンモニア、pH、浮遊物質量、ほか
掘削土(ズリ)置場とその周辺の地表水	掘削土(ズリ)置場近傍の観測井（A1～A4地点）および掘削土(ズリ)置場雨水調整池（A6地点）	A1 ～ A4 地点：4回/年 A6地点：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

*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、別途、4回/年実施している（A1～A4地点を除く）。

表 9　天塩川への排水量（平成 21 年度）

		排水量（m^3）	日最大排水量（m^3）	日平均排水量（m^3）
平成21年	4 月	8,387	423	279.6
	5 月	3,302	312	106.5
	6 月	2,525	227	84.2
	7 月	5,915	350	190.8
	8 月	4,321	285	139.4
	9 月	4,179	347	139.3
	10 月	4,790	326	154.5
	11 月	5,235	328	174.5
	12 月	4,019	360	129.6
平成22年	1 月	3,336	222	107.6
	2 月	3,025	231	108.0
	3 月	4,821	355	155.5
合計		53,855	—	—

表 10　地下施設からの排水に係るモニタリング調査結果（水質分析：公定分析）

分析項目	単位	立坑からの排水	掘削土(ズリ)置場浸出水	排水処理設備にて処理後の水	参考値（水質汚濁防止法排水基準値）
カドミウム	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
ヒ素		<0.01～0.08	<0.01～0.02	<0.01	0.1
セレン		<0.01～0.02	<0.01～0.04	<0.01	0.1
フッ素		<0.8～3.5	<0.8	<0.8	8
ホウ素		42～62	2.0～9.9	0.1～0.8	10
pH	－	8.0～8.4	6.7～8.2	7.5～8.3	5.8～8.6
浮遊物質量	mg/l	6～26	6～48	＜1	200（日間平均150）
塩化物イオン		1,600～2,400	80～1,500	1,200～2,200	－

地下施設からの排水に係るモニタリングは平成21年4月から平成22年3月までの採水における調査分析結果を記載しています。

掘削土(ズリ)置場とその周辺の地表水の調査結果を表 11に示します。平成19年5月より掘削土(ズリ)置場へ掘削土(ズリ)の搬入を開始していますが、掘削土(ズリ)搬入前後でのA1～A4地点およびA6地点の水質分析結果については、季節変動があるものの、ほぼ同じような値と傾向を示しました。この結果から、掘削土(ズリ)搬入による周辺環境への影響はないものと考えられます。

表 12に清水川の水質モニタリング調査結果を示します。図 68に示したA5地点およびA7地点の水質分析結果は、掘削土(ズリ)の搬入前とほとんど変化が見られないことから、地下施設や幌延深地層研究センターからの環境への影響はないものと考えられます。

表 13に天塩川の調査結果を示します。5月の結果では、浮遊物質量などが協定値を満足しない箇所がありましたが、融雪による増水などの自然由来によるものと考えられます。また、その他の分析値においては、協定値を下回る結果となりました。天塩川への放流前後において、明瞭な変化が確認されないことから、放流口周辺環境への影響はないものと考えられます。

なお、研究管理棟および地下施設建設工事共同企業体現場事務所からの生活排水については、北るもい漁業共同組合との協定値をすべて満足していました。

表 11　掘削土(ズリ)置場とその周辺の地表水の水質モニタリング調査結果

分析項目	採水地点	平成18年6月～平成19年4月 掘削土(ズリ) 搬入前	平成19年5月～平成21年3月 掘削土(ズリ) 搬入後	平成21年			平成22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	<0.001	<0.001	<0.001
	A4			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A6			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ヒ素 mg/l	A1	<0.005～0.011	＜0.005～0.015	<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
	A6			<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
	A6			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 mg/l	A1	<0.1～0.7	＜0.1～1.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
	A2			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A3			<0.1	<0.1	0.1	0.1
	A4			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A6			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 mg/l	A1	<0.02～50.7	＜0.02～63.0	16	30	50	27
	A2			2.5	7.2	3.2	3.5
	A3			20	11	24	25
	A4			0.02	0.04	0.02	0.02
	A6			0.05	0.08	0.05	0.03
pH	A1	4.6～7.4	5.2～8.1	6.6	6.7	7.0	6.6
	A2			5.7	6.0	5.7	5.9
	A3			6.5	6.4	6.8	6.8
	A4			5.6	5.8	5.6	5.5
	A6			7.1	7.7	7.4	7.5
浮遊物質量 mg/l	A1	12～173	1～500	－	－	－	－
	A2			－	－	－	－
	A3			－	－	－	－
	A4			－	－	－	－
	A6			30	2	2	3
塩化物イオン mg/l	A1	5.1～2,910	5.8～2,930	1000	1800	2800	1600
	A2			280	470	270	180
	A3			1000	570	1200	1300
	A4			14	11	12	11
	A6			19	12	17	20

表 8に示した「主要な分析項目」のみを抜粋。平成21年度のA6地点の結果はA1～A4地点と同じ調査月のみを記載しています。

表 12　清水川の水質モニタリング調査結果

分析項目	採水地点	平成18年6月～平成19年4月掘削土(ズリ)搬入前	平成19年5月～平成21年3月掘削土(ズリ)搬入後	平成21年									平成22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	<0.001	<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	<0.005	<0.005	<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	<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
	A7			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 mg/l	A5	<0.1～0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A7			<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 mg/l	A5	0.03～0.3	0.03～0.44	0.08	0.05	0.13	0.13	0.12	0.25	0.25	0.17	0.11	0.20	0.16	0.10
	A7			0.09	0.05	0.12	0.14	0.11	0.22	0.24	0.19	0.12	0.26	0.21	0.09
pH	A5	6.4～7.1	6.5～7.3	6.7	6.3	7.2	7.1	6.9	7.1	7.2	7.1	7.0	6.9	6.8	6.8
	A7			6.7	6.5	7.1	7.0	7.0	7.2	7.2	7.0	7.0	6.9	6.8	6.4
浮遊物質量 mg/l	A5	1～20	1～270	1	9	3	3	4	3	2	2	2	1	14	3
	A7			1	11	3	3	4	2	2	2	2	3	1	2
塩化物イオン mg/l	A5	14.4～30.5	16.0～59.0	25	14	26	27	22	53	41	28	24	19	18	24
	A7			26	14	19	21	21	26	23	23	22	27	22	22

表 8に示した「主要な分析項目」のみを抜粋しています。

表 13　天塩川の水質モニタリング調査結果

分析項目	採水地点		平成18年6月～11月（放流前）	平成18年12月～平成21年3月（放流後）	平成21年 4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平成22年 1月	2月	3月	平成21年4月～平成22年3月	北るもい漁業協同組合協定値
ホウ素 mg/l	B1	表層	<0.02～3.35	<0.01～4.6	0.03	0.01	0.01	0.08	0.02	0.02	0.05	0.03	0.02	0.19	0.02	0.02	<0.01～4.4	5
		中層			0.03	<0.01	0.02	3.5	0.02	0.02	3.3	0.03	0.02	1.0	0.02	0.02		
		深層			0.03	0.01	2.6	4.3	0.01	1.5	4.2	0.03	0.03	3.7	0.02	0.03		
	B2	表層			0.03	0.01	0.01	0.06	0.01	0.02	0.04	0.03	0.04	0.08	0.02	0.02		
		中層			0.03	<0.01	0.01	0.11	0.01	0.02	3.7	0.03	0.04	1.4	0.02	0.02		
		深層			0.03	0.01	0.01	3.9	0.01	0.04	4.2	0.03	0.05	3.6	0.02	0.02		
	B3	表層			0.03	0.01	0.01	0.15	0.02	0.03	0.07	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02		
		中層			0.03	<0.01	0.03	0.81	0.02	0.76	2.5	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02		
		深層			0.03	<0.01	0.18	4.1	0.02	1.1	4.4	0.03	0.05	0.42	0.02	0.02		
全窒素 mg/l	B1	表層	0.37～1.50	0.11～2.3	1.8	1.0	0.68	0.29	0.79	0.51	0.38	0.65	1.0	0.91	0.93	1.9	0.26～2.1	20
		中層			2.0	1.2	0.78	0.69	1.3	0.79	0.92	0.70	1.3	0.82	0.84	1.9		
		深層			1.8	1.1	1.8	0.65	0.93	0.72	1.0	0.72	1.3	0.76	0.84	1.8		
	B2	表層			1.6	1.1	0.69	0.29	0.67	0.37	0.49	0.80	1.0	0.87	0.86	1.7		
		中層			1.9	1.2	0.60	0.33	0.72	0.43	1.1	0.69	1.0	1.4	0.87	1.7		
		深層			2.0	1.2	0.65	0.66	0.70	0.45	0.89	0.70	1.0	1.0	0.81	1.8		
	B3	表層			1.9	1.5	0.59	0.26	0.74	0.40	0.51	0.75	0.98	0.97	0.83	1.8		
		中層			2.0	1.6	0.50	0.45	0.83	0.54	0.95	0.67	1.0	0.94	0.82	1.8		
		深層			2.1	1.6	0.55	0.60	0.63	0.53	1.2	0.70	0.93	0.98	0.75	1.8		
全アンモニア mg/l	B1	表層	<0.01～0.35	<0.05～0.96	0.10	0.44	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	0.18	0.10	0.11	<0.05～0.84	2注)
		中層			0.11	0.84	0.09	0.08	<0.05	0.12	0.16	0.06	0.10	0.15	0.10	0.12		
		深層			0.09	0.41	0.29	0.16	<0.05	0.10	0.21	0.05	0.09	0.36	0.09	0.12		
	B2	表層			0.10	0.68	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.09	0.13	0.09	0.11		
		中層			0.11	0.41	0.08	0.06	<0.05	<0.05	0.24	0.05	0.07	0.21	0.09	0.18		
		深層			0.15	0.56	0.10	0.10	<0.05	<0.05	0.27	<0.05	0.06	0.43	0.09	0.14		
	B3	表層			0.11	0.55	0.09	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	0.08	0.11	0.08	0.10		
		中層			0.08	0.75	0.09	0.11	<0.05	<0.05	0.10	<0.05	0.07	0.11	0.09	0.14		
		深層			0.15	0.47	0.11	0.18	<0.05	0.05	0.15	<0.05	0.08	0.10	0.09	0.11		
pH	B1	表層	7.0～7.6	6.9～7.9	7.0	7.2	7.2	7.2	7.1	7.2	7.2	7.3	7.1	7.0	7.0	7.0	6.8～7.9	5.8～8.6
		中層			7.1	7.2	7.2	7.3	7.2	7.3	7.2	7.3	7.1	7.0	7.0	7.0		
		深層			7.2	7.3	7.1	7.8	7.1	7.1	7.4	7.3	7.2	7.1	7.1	7.0		
	B2	表層			7.1	7.2	7.3	7.3	7.2	7.5	7.9	7.4	7.2	7.2	7.1	7.0		
		中層			7.2	7.2	7.2	7.2	7.3	7.5	7.3	7.4	7.2	7.1	7.1	7.0		
		深層			7.1	7.2	7.2	7.6	7.3	7.3	7.4	7.4	7.2	7.0	7.1	7.0		
	B3	表層			6.8	7.2	7.2	7.5	7.3	7.4	7.6	7.4	7.2	7.3	7.1	7.0		
		中層			6.9	7.2	7.2	7.5	7.3	7.3	7.5	7.4	7.2	7.2	7.1	7.0		
		深層			7.0	7.2	7.1	7.8	7.3	7.3	7.5	7.4	7.2	7.1	7.1	7.0		
浮遊物質量 mg/l	B1	表層	3～86	<1～140	5	200	4	2	6	1	1	5	2	<1	<1	7	<1～320	20
		中層			10	280	5	2	7	1	2	5	2	1	<1	10		
		深層			5	230	3	2	13	3	4	6	2	5	<1	10		
	B2	表層			3	240	5	2	8	1	1	4	2	<1	<1	8		
		中層			9	220	9	3	10	1	1	6	2	1	<1	9		
		深層			12	260	8	2	10	1	2	6	3	1	<1	9		
	B3	表層			4	190	3	2	7	1	1	5	2	<1	<1	8		
		中層			5	290	5	2	10	2	2	5	2	1	<1	9		
		深層			11	320	4	1	10	2	1	8	2	1	1	10		

表 8に示した「主要な分析項目」のみを抜粋。採取地点の表層とは水面、深層とは河床上１m付近における採取場所です。中層は基本的に表層と深層の1/2の水深で採取しました。
注)北るもい漁業協同組合との確認により、放流口下流1km(B3)地点の値としています。

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、その他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21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 大学などとの研究協力

北海道大学・金沢大学

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と、地下水・岩石中の有機物特性に関する研究を共同で実施しました。

前者については、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、セメント中の物質移動経路やセメントとベントナイトが接触した条件でのベントナイト中のカルシウムの拡散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係数を取得しました。一方、セメントとベントナイトが接触した条件でのベントナイト中のカルシウムの拡散については、カルシウムはベントナイトの層間中のナトリウムと交換しながら層間や間隙を拡散するとともに、交換されたナトリウムはNaOHとして振る舞うことや、セメントとベントナイトの接触面から数mmのところでカルサイト（方解石）の析出が起こっている可能性などが示唆されました。

後者については、140m調査坑道において、地下水中および岩石中に含まれている有機物を濃縮回収し、それらの元素組成、蛍光特性の分析を行いました。また、主に岩石中の有機物と自然界に存在するユーロピウムとが共存する場合に、ユーロピウムが有機物と挙動をともにする割合を明らかにすることができました。今後は、地下水中の有機物を用いて同様の実験を行っていく予定です。

埼玉大学

ボーリングコアから抽出した炭化水素ガス（主にメタンガス）や炭酸

ガスの濃度と同位体比に基づいて、岩盤の健岩部や断層部のメタンガスの起源の推測を行いました。その結果、調査を行った深度約 500m までの岩盤中に存在するメタンガス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などが分かりました。今後は、大曲断層近傍においてメタンガスの分析を行い、断層周辺のメタンガスの同位体特性を調べていく予定です。

名古屋大学・静岡大学

精密制御定常信号システムデータの解析技術の高度化について、共同研究を行いました。平成21年度は、これまでに共同研究で開発してきたデータ解析技術を遠隔監視システムの観測データに適用して解析を行いました。その結果、弾性波アクロスで受信する波の到来方向や電磁アクロスデータを用いた地下の比抵抗の時間変化などが求められることが分かりました。

東京都市大学(旧武蔵工業大学)

微量元素の放射化分析手法を開発するための共同研究を行いました。平成21年度は、稚内層、声問層の岩石および大曲断層を対象として、鉱物分析や岩石中の微量元素の分析を行い、地質構造や岩石、鉱物の種類ごとに、微量元素の分布状態を確認しました。また、調査坑道で様々な試験を行うために必要な微量元素の移動状態と化学条件について確認しました。その結果、稚内層、声問層においては、微量元素濃度の不均質性が小さいことや大曲断層周辺の鉱物の変質状態が明らかになりました。

岡山大学

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21年度は、光ファイバー式ひずみ計を応用した新しい計測手法の検討などを行いました。光ファイバー式ひずみゲージを土壌水分の変化に対応させて伸縮させることで土壌水分を計測可能な受感部の材料を調査し、各材料の膨潤や伸縮特性を試験した結果、液体の合成ゴムを選定しました。さらに、センサーの構造を検討した上で、選定した

材料を用いてセンサー受感部の試作を行いました。

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。平成 21 年度は、放射光を用いた X 線吸収微細構造法（XAFS 法）により、ヨウ素およびセレンの化学種の同定に必要な基礎データの取得を行いました。また、地下水中のヨウ素およびセレンの化学種を分離検出する方法を確立しました。加えて、ヨウ素の移行挙動に及ぼす酸化還元状態の影響を調べるためのカラム実験を行い、岩石中と地下水中の様々な酸化還元状態に応じたヨウ素の化学形に関わる解析を行いました。

静岡大学

地下深部に生息する微生物の種類や性質を把握することを目的として、140m 調査坑道付近の地下水を採取し、その分析を行いました。その結果、微生物の種類や量、化学条件との関わりなどを明らかにすることができました。また、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）を知るために、現場培養法の検討を行い、酸化剤の還元速度などの増殖速度に関わる基礎的知見を得ることができました。

8.1.2 その他の機関との研究協力

幌延地圏環境研究所[*39]

「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、室内試験や種々の分析に必要な岩石コアや地下水の提供を行うとともに、定期的に研究に関する情報交換会や両機関の所有する試験設備を利用した技術的な交流を行いました。また、平成21年度より地下施設での具体的な研究が開始され、250m調査坑道において、初期地圧計測装置の適用性について調査しました。

---

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

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21年度は、掘削長900mまで掘削し、ほぼ水平の角度でコントロールボーリング技術（掘削と各種調査）の適用性を確認しました（HCD-3孔）。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を、深度140mの立坑や水平坑道から掘削したボーリング孔を用いて、比抵抗トモグラフィーや音響トモグラフィー、地下水の採水・分析などを行いました。今後、坑道の掘削に伴う変化のデータを取得していきます。

清水建設株式会社

化学平衡論解析を用いた地下水流動調査に関する共同研究および地質環境モデルの構築技術の高度化に関する共同研究を行いました。

前者は、地上で計測された地下水の物理化学パラメータ（pH、Eh、電気伝導度など）や水質データをもとに、原位置における地下水の化学条件を定量的に推定する手法を構築するために、化学平衡論解析に基づく地下水の化学条件推測手法に関する研究を行いました。その結果、地上で得られるデータに基づいて、原位置の化学条件を推測する際の誤差などを明らかにすることができました。また、深部地下水の化学条件について、中性のpH、還元状態にあることを確認することができました。

また、後者については、第1段階で得られた比抵抗データを用いた再解析と解析モデルの改良を行い今まで実施してきた地質環境モデルの構築技術に関して成果を取りまとめました。そして、平成20年度に原子力機構が地下施設周辺で取得した高密度電気探査結果を活用し、三次元比抵抗モデルと水質分布モデルの更新作業を実施しました。

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ことを目的に、研究所用地内の東立坑近傍で掘削したボーリング孔（SAB-1孔）にモニタリング装置を設置しました。さらに、幌延町北進地

区において、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-2孔）の掘削を実施しました。

北海道立地質研究所[*40]

幌延地域のような寒冷地域での地形変化、サロベツ原野などの低地における表層の地下水の流れ、人工湿地による水の浄化システムなどについて意見交換を実施しました。

原子力環境整備促進・資金管理センター

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

平成21年度は、4.1.1でも述べたように、平成20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、ゆめ地創館の隣接地に、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」を建設し、仮設の建屋と展示・公開していた実物大のオーバーパックと人工バリアシステムを設備建屋に移設しました。

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陸域と海域の電磁法探査を実施し、その領域の二次元（一部、三次元）比抵抗構造を推定しました。また、浜里地区で

---

*40：北海道立地質研究所は、地域資源の開発・利用・管理に関する研究、国土利用保全、地下環境保全に関する研究などを行っています。

ボーリング孔（DD-1孔およびDD-2孔）を掘削し、地層や地下水の水質分布に関する情報を把握しました。

8.2 国外機関との研究協力

Nagra[*41]（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21年度は、平成20年度に引き続き、これまでに取得した透水試験データの品質確認と数値解法による透水性の再解析を共同で実施し、約80点の透水試験データを再解析しました。その結果、各試験データから算出される透水性とその不確実性（とりうる値の最大値と最小値）を定量的に把握することができました。また、これらの作業を通じて、透水試験データの解析において考慮すべき様々な不確実性とその要因を明らかにすることができました。

また、幌延深地層研究計画で進めている地質環境の長期的変遷に関する研究について、地質環境特性の長期変遷を段階的に調査・評価するための方法論の整備を進めるとともに、過去から現在までの地下水の流れ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[*42]

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「難透水性堆積岩の地球化学的評価試験」および「鉄材料の腐食に関する原位置試験」に参加しています。

前者の試験においては、難透水性堆積岩中に存在する間隙水の地球化学特性の把握と、その形成プロセスを解明する手法の開発、ならびに地下水採取方法などの要素技術開発についての取りまとめを行い、試験を終了しました。

---

*41：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。

*42:堆積岩を対象とした地層処分研究に関する国際共同研究です。平成 22 年 3 月現在、原子力機構を含め 8 ヶ国から 14 機関が参加し、スイスのモンテリ・トンネル内において地層処分に関連する各種の原位置試験が実施されています。

後者の試験においては、鉄の腐食状況を観測するためのモニタリングシステムを設計・製作したほか、循環させる間隙水（地下水）を設定するとともに、モンテリ岩盤研究所の調査坑道内にボーリング孔を掘削し、原位置試験を開始しました。

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

上記のほか、ANDRA*43（フランス）やKAERI*44（韓国）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いました。

*43：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。

*44：Korea Atomic Energy Research Institute：韓国原子力研究院は、韓国における高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究の中核機関です。

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21年度調査研究計画”，JAEA-Review 2009-012.

(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) 日本原子力研究開発機構(2010)：“CoolRepH22”，http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/.

(4) 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.

(5) 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.

(6) 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.

(7) 横田秀晴，山本陽一，前川恵輔(2009)：“北海道幌延地域における浅層ボーリング孔を用いた地下水位観測”,日本地下水学会2009年秋季講演会講演要旨,pp.250～255.

(8) 山本陽一,横田秀晴,前川恵輔(2009):“北海道幌延地域における積雪水量調査”，日本地下水学会2009年秋季講演会講演要旨，pp.276～279.

(9) 操上広志(2007)：“幌延深地層計画における地下水流動解析”，JAEA-Research 2007-036.

(10)前川恵輔，石井英一，下茂道人，熊本創(2010)：“地質環境調査の進展に伴う地下水流動解析への影響に関する一考察　北海道幌延地域における事例”，日本原子力学会2010年春の年会.

(11) 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.

(12) 核燃料サイクル開発機構(2005)：“幌延深地層研究計画　地下施設実施設計　－設計報告書－”，JNC TJ5410 2005-002.

(13) 松井裕哉，中山雅，真田祐幸（編）(2007)：“幌延深地層研究計画　平成18年度調査研究成果報告”，JAEA-Research 2007-092.

(14) 中山雅，真田祐幸，杉田裕（編）(2008)：“幌延深地層研究計画　平成 19 年度調査研究成果報告”，JAEA-Research 2008-074.

(15) 北沢俊幸，常盤哲也（2010)：“天塩川河口砂州周辺における地中レーダー探査と OSL 年代測定”，日本堆積学会 2010 年大会（茨城大学)，2010 年 3 月.

(16)新里忠史，重野聖之，宮坂省吾，小板橋重一：“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

(17) 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.

(18) 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。

Gibbard, P., Kolfschoten, T. van.(2004)：“The Pleistocene and Holocene Epochs”，Gradstein, F. M.ほか(編)「A geologic time scale」，Cambridge University Press., pp.441-452.

幌延地圏環境研究所（2007)：“平成 17 年度地圏環境研究事業 研究成果報告書”，財団法人 北海道科学技術総合振興センター幌延地圏環境研究所，297p.

五十嵐八枝子（1991)：“完新世の森林と気候の変化”，小野有五，五十嵐八枝子(著)「北海道の自然史－氷期の森林を旅する－」，北海道大学図書刊行会，pp.181-205.

五十嵐八枝子ほか（1993)：“北海道の剣淵盆地と富良野盆地における 32,000 年間の植生変遷史”，第四紀研究，vol.32，pp.89-105.

池原研ほか（1999)：“天塩沖～宗谷海峡海域の表層堆積物”，池原　研，岡村行信(編)「北海道西方海域の環境変動に関する総合的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究 平成 10 年度研究概要報告書」，工業技術院地質調査所，pp.65-80.

北沢俊幸(2009)：“北海道北部天塩平野における海岸砂丘列の配列様式と年代”，日本堆積学会 2009 年大会（京都・枚方)，2009 年 3 月.

北沢俊幸，常盤哲也（2010)：“天塩川河口砂州周辺における地中レーダー探査と OSL 年代測定”，日本堆積学会 2010 年大会（茨城大学)，2010 年 3 月.

IPCC（Intergovermental Panel on Climate Change）(2007)：“Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis”，Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (編)，Cambridge University Press，1056p.

Martinson, D. G.ほか（1987)：“Age dating and the orbital theory of ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000 year chronostratigraphy”,Quaternary Research, vol.27, pp.1-29.

松島義章，大嶋和雄（1974)：“縄文海進期における内湾の軟体群集”，第四紀研究，vol.13, pp.135-159.

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.

新里忠史ほか（2009)：“北海道北部，幌延地域における最終氷期後期の古気候と地表環境”，日本地球惑星科学連合 2009 年大会，G122-P007.

大場忠道（1988)：“海水準変動に関するコメント”，第四紀研究，vol.26，pp.243-250.

Oba, T.ほか（2006)：“Paleoceanographic change off central Japan since the last 144,000 years based on high-resolution oxygen and carbon isotope records”, Global and Planetary Change,

vol.53, pp.5-20.
Oba, T., Banakar, V. K. (2007):“Comparison of interglacial warm events since the Marine Oxygen Isotope Stage 11”, The Quaternary Research, vol.46, pp.223-234.
岡孝雄 (1997):“北海道とその周辺海域のネオテクトニクスに関する諸問題－付，札幌付近での活断層の存在と地震発生についての考察－”，川村信人，岡　孝雄，近藤　務(編)，加藤誠教授退官記念論文集，pp.427-449.
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.
Petit, J. R.ほか (1999):“Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica”, Nature, vol.399, pp.429-436.
Sakaguchi, Y.ほか (1985):“Holocene marine deposits in Hokkaido and their sedimentary environments”, Bulletin of the Department of Geography, University of Tokyo, vol.17, pp.1-17.
Sawagaki, T.ほか (2004):“Late Quaternary glaciations in Japan”, Ehlers, J., Gibbard, P.L.(編)「Quaternary glaciations- extent and chronology (Development of Quaternary Science 2) part III」, Elsevier, pp.217-225.
Siddall, M.ほか(2007):“Eustatic sea level during past interglacials”, Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez Goñi, M. F. and Litt, T.(編)「The climate of past interglacials (Developments in Quaternary Science 7)」, Elsevier, pp.75-92.
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.
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.
海津正倫 (1994):“沖積低地の古環境学”，古今書院，270p.
Velichko, A.A.ほか (2007):“Comparative analysis of vegetation and climate changes during the Eemian interglacial in central and eastern Europe”, Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez Goñi, M. F. and Litt, T.(編)「The climate of past interglacials (Developments in Quaternary Science 7)」, Elsevier, pp.255-264.
Wei, D., Seno, T. (1998):“Determination of the Amurian plate motion”, Flower, M., Chung, S.L., Lo, C.H., Lee, T.T.(編)「Mantle Dynamics and Plate Interaction in East Asia」, Geodynamic Series, no.27, pp.337-346.

(19) Miller,K.G.ほか (2005):“The Phanerozoic record of global sea-level change”, Science, 310, pp.1293-1295.

(20) Siddall, M.ほか (2007):“Eustatic sea level during past interglacials”, Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez Goñi, M. F. and Litt, T.(編)「The climate of past interglacials (Developments in Quaternary Science 7)」, Elsevier, pp.75-92.

(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) 松田武，納多勝，入矢桂史郎，小西一寛，中山雅，小林保之(2008):“幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントの適用性に関する研究”，

JAEA-Research 2007-089.
(23) 中山雅，小林保之，野口聡，三浦律彦，納多勝，入矢桂史郎，人見尚(2009)：“幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントの適用性に関する研究(III)”，JAEA-Research 2009-036.
(24) Thomas FRIES, Hanspeter WEBER, Volker WETZIG(2007)： “Low pH shotcrete field test on Opalinus clay samples”, R&D on low-pH cement for a geological repository. 3rd workshop, Paris, June 13-14.
(25) 日本原子力研究開発機構(2010)：“平成 21 年度地層処分技術調査等委託費　高レベル放射性廃棄物処分関連　地下坑道施工技術高度化開発　報告書”.
(26) 原子力環境整備促進・資金管理センター(2010)：“平成 21 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”.
(27) 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：“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 21 年度成果報告-（共同研究)”，JAEA-Research（印刷中).
(28) 岩月輝希，佐藤治夫，棚井憲治，稲垣学，澤田淳，新沼寛明，石井英一，前川恵輔，戸村豪治，真田祐幸，國丸貴紀，浅森浩一，新里忠史，常盤哲也，杉田裕，山﨑雅直，中村隆浩，藤田朝雄，谷口直樹，小林保之，林克彦，斉藤雄也，舘幸男，飯島和毅，笹本広(2009)：“幌延深地層研究計画における第 2 段階の調査研究計画（H20-H21）”,JAEA-Research 2009-002.
(29) 佐藤治夫（2007)：“Thermodynamic understanding on swelling pressure of bentonite buffer”, Proceedings for the 15th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE15), April 22-26, 2007, Nagoya, Japan, ICONE15-10207 (pdf format).
(30) 佐藤治夫（2008)：“緩衝材及び埋め戻し材の膨潤圧の熱力学的計算”，第 10 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会（Sapporo Conference 2008）報告書，pp.145-155.
(31) 鈴木英明，藤田朝雄(1999)：“緩衝材の膨潤特性”，JNC TN8400 99-038.
(32) 谷口直樹，鈴木宏幸，内藤守正（2009)：“高 pH 化した海水系地下水環境における炭素鋼の局部腐食進展挙動”，JAEA-Research 2009-066.
(33) 谷口直樹，川崎学，内藤守正（2009)：“アンモニウム水溶液およびアンモニウ

ムイオンを含む地下水中における純銅の応力腐食割れ挙動”, JAEA-Research 2009-067.

(34) 下茂道人, 熊本創, 伊藤章, 唐崎健二, 澤田淳, 小田好博, 佐藤久 (2009) :“亀裂を有する堆積岩の水理・物質移行評価のためのデータ取得・解析 (Ⅲ)”, JAEA-Research 2009-060.

(35) 板津透, 加藤智子, 稲垣学, 前川恵輔, 鈴木祐二, 小山田潔(2010) :“生物圏評価モデルの構築を目的とした表層環境における地下水流動解析の試行”, 日本原子力学会 2010 年春の年会.

参考資料
(平成21年度外部発表資料)

***著者アルファベット順に記載**

阿部寛信，下山正，山﨑雅直，佐ノ木哲(2009)：“幌延深地層研究計画,深地層の工学技術の基礎の開発， 地下施設の防災対策についての検討(通気網解析)”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月.

Alexander，W.R.，太田久仁雄，新里忠史，國丸貴紀(2009)：“Palaeohydrogeology in coastal site characterization: a case study at Horonobe，Japan”，ゴールドシュミット国際会議，2009年6月.

天野健治，新里忠史，太田久仁雄(2010)：“幌延・沿岸域を対象とした地質環境特性の長期変遷の評価 (2) 地質環境の変遷と概念モデルの構築”，日本原子力学会2010年春の年会，2010年3月.

福井勝則，大久保誠介，稲垣大介，羽出山吉裕，山本卓也(2009)：“ブームヘッダの掘削体積比エネルギーと岩盤物性”，平成21年度資源・素材関係学協会合同秋季大会，2009年9月.

濱克宏，岩月輝希(2009)：“超深地層研究所計画地表からの調査予測研究段階(第1段階)の成果と今後の展望”，第54回地盤工学シンポジウム，2009年11月.

畑中耕一郎(2009)：“幌延深地層研究計画；調査研究の全体概要”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月.

畑中耕一郎，中山雅(2010)：“低アルカリ性セメントを用いた地下施設の本格的な施工；安全な地層処分実現に向けた新技術の実証”，コンクリートテクノ，Vol.29，No.2，pp.36-44，2010年2月.

平賀正人，石井英一，新沼寛明(2009)：“幌延深地層研究計画　地質環境調査技術開発―三次元可視化ソフトを用いた地質構造解析とその有効性―”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月.

井尻裕二，羽出山吉裕，名合牧人，里優，佐ノ木哲，國丸貴紀，杉田裕(2009)：“高精度傾斜計による岩盤・地下水挙動のモニタリング手法の開発”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月.

今井久，塩崎功，山下亮，前川恵輔，新里忠史(2009)：“地質環境の長期変遷を考慮した地下水流動解析手法の開発と課題”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月.

稲垣大介，佐野満昭，津坂仁和(2009)：“幌延深地層研究計画,深地層の工学的技術の基礎の開発；立坑掘削時における初期変形率を用いた覆工コンクリート応力の収束値の推定”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月.

石橋朋剛，永翁一代，勝山千恵，梨本裕晃，浅野貴博，佐々木祥人，岩月輝希，吉川英樹，加藤憲二(2009)：“深部地下圏における微生物の増殖と原生動物による捕食”，日本微生物生態学会第25回大会，2009年11月.

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 (in press).

石井英一，平賀正人，藪内聡，横田秀晴，古澤明(2009)：“堆積岩中における割れ目の形成過程に基づく高透水部の連続方向の推定；北海道北部,幌延地域の珪質泥岩の例”，日本地質学会第116年学術大会，2009年9月.

板津透，加藤智子，稲垣学，前川恵輔，鈴木祐二，小山田潔(2010)“生物圏評価モデルの構築を目的とした表層環境における地下水流動解析の試行”，日本原子力学会2010年春の年会，2010年3月.

岩月輝希，石井英一(2009)：“北海道幌延地域における地球化学環境の長期変遷にかかわるシステム解析”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月.

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，No.4，pp.700-716，2009年8月.

岩月輝希，石井英一，本多照幸(2009)：“北海道幌延地域における地球化学環境の長期変遷と微量元素分布”，2009年度日本地球化学会年会，2009年9月.

唐崎健二，伊藤一誠，Wu，Y.，下茂道人，澤田淳，前川恵輔，畑中耕一郎(2009)：“Uncertainty reduction of hydrologic models using data from surface-based investigation”，Proceedings of TOUGH Symposium 2009 (Internet)，2009年9月.

香西直文，大貫敏彦，岩月輝希(2009)：“SEC-UV-Vis-ICP-MS法を用いた幌延地下水の特性評価”，2009

年度日本地球化学会年会，2009年9月.
北川義人，山﨑雅直，萩原健司，南出賢司，関谷美智(2009)：“幌延深地層研究計画におけるサイクルタイムの分析”，土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会，2009年9月.
北沢俊幸，常盤哲也(2010)：“天塩川河口砂州周辺における地中レーダー探査とOSL年代測定”，日本堆積学会2010年大会，2010年3月.
小林保之，杉田裕，泉敦，戸井田克，笹倉剛(2009)：“地層処分におけるグラウト技術の高度化開発，10;原位置適用性試験計画”，土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会，2009年9月.
小松満，西垣誠，瀬尾昭治，平田洋一，國丸貴紀(2009)：“光ファイバー式圧力計を用いた土中水分量計測に関する研究”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月.
窪田健二，鈴木浩一，杉田裕，榊原淳一(2009)：“深度140mの坑道掘削前後における比抵抗トモグラフィー及び音響トモグラフィの繰り返し測定”，物理探査学会第121回(平成21年度秋季)学術講演会，2009年11月.
國丸貴紀，山中義彰(2009)：“深地層の科学的研究における地質環境調査のノウハウ・判断根拠等の分析・整理,6；沿岸域におけるボーリング調査技術に関する調査事例”，日本原子力学会2009年秋の大会，2009年9月.
國丸貴紀，太田久仁雄，天野健治，Alexander，W. R.，Lanyon，B. (2010)：“地上からの調査における間隙水水質データの品質管理システムの整備”，日本原子力学会2010年春の年会，2010年3月.
前川恵輔，戸村豪治，横田秀晴(2009)：“幌延深地層研究計画における表層水理調査―積雪寒冷地域における涵養量の測定手法について―”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月.
前川恵輔，三枝博光，稲葉薫，下河内隆文(2009)：“沿岸域を対象とした地下水流動評価手順・判断根拠等の整理”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月.
前川恵輔，三枝博光，稲葉薫，下河内隆文(2009)：“深地層の科学的研究における地質環境調査のノウハウ・判断根拠等の分析・整理,7；沿岸域における地下水流動解析事例”，日本原子力学会2009年秋の大会，2009年9月.
前川恵輔，三枝博光，平賀正人，常盤哲也，小坂寛(2009)：“幌延深地層研究計画；地質環境調査技術開発；沿岸域を対象とした地下水流動の評価手法”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月.
前川恵輔，石井英一，下茂道人，熊本創(2010)：“地質環境調査の進展に伴う地下水流動解析への影響に関する一考察；北海道幌延地域における事例”，日本原子力学会2010年春の年会，2010年3月.
松岡稔幸，宮本哲雄，藪内聡，浅森浩一，山中義彰，仙波毅(2009)：“次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発－国内外の沿岸域における物理探査・ボーリング孔での検層技術を対象としたノウハウ・判断根拠等の分析・整理－”，物理探査学会第121回（平成21年度秋季）学術講演会講演論文集，pp.243-245，2009年11月.
松崎達二，岩月輝希，國丸貴紀，太田久仁雄，茂田直孝(2009)：“地質環境総合評価技術高度化開発(ISIS)；沿岸域における調査計画立案手法の整理”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月.
宮原重憲(2009)：“幌延深地層研究計画,開かれた研究；幌延深地層研究計画における共同研究の実施状況”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月.
宮澤大輔，木山保，石島洋二，熊倉聡，杉田裕，真田祐幸(2010)：“軟岩を対象とした孔底変形法による測定装置の原位置適用化試験”，平成22年度(2010年)資源・素材学会春季大会，2010年3月.
宮澤大輔，木山保，石島洋二，杉田裕，真田祐幸(2009)：“間隙弾性論に基づく岩石挙動の検討”，平成21年度資源・素材関係学協会合同秋季大会，2009年9月.
森川佳太，岩月輝希，細谷真一(2009)：“深部地下水を対象とした複数電極による酸化還元電位測定手法の検討”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月.
中村隆浩，杉田裕，真田祐幸，加藤春實(2009)：“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”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月.
中田英二，杉田裕(2009)：“幌延深地層研究センター140m東側調査坑道でのEDZ調査”，日本応用地質学会平成21年度研究発表会，2009年10月.
中田弘太郎，長谷川琢磨，岩月輝希(2009)：“北海道幌延地域における4He・36Cl法による地下水年代推定の試み”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月.
中山雅，佐藤治夫，伊藤誠二(2009)：“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，5；幌延URLにおける原位置試験”，日本原子力学会2009年秋の大会，2009年9月．
中山雅，佐藤治夫，伊藤誠二(2009)：“幌延深地層研究計画,処分技術の信頼性向上；幌延URLにおける低アルカリ性セメントの吹付けコンクリートの原位置施工試験”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月．
中安昭夫,安江健一,新里忠史,道家亮介,重廣道子(2009)：“地質環境総合評価技術高度化開発（ISIS）幌延地域の地質環境調査事例を対象とした情報の抽出及び分析ー隆起速度の算出に焦点を当てた分析ー”，日本原子力学会バックエンド部会主催第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月．
南條功，國丸貴紀，岩月輝希，細谷真一，森川佳太(2009)：“坑道内地下水モニタリング装置の開発と適用試験”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月．
新里忠史，五十嵐八枝子，安江健一(2009)：“北海道北部，幌延地域における最終氷期後期の古気候と地表環境”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月．
新里忠史，安江健一，操上広志(2009)：“Impacts of natural events and processes on groundwater flow conditions: a case study in the Horonobe area, Hokkaido, northern Japan”, In: Stability and buffering capacity of the geosphere for long-term isolation of radioactive waste: application to crystalline rock,Proceedings of an NEA workshop,Manchester, United Kingdom, 13-15 November 2007,OECD/NEA, pp.269-275, 2009年4月．
新里忠史，安江健一，操上広志，川村淳，大井貴夫(2009)：“Synthesising geoscientific data into a site model for performance assessment: a study on the long-term evolution of the geological environment in and around the Horonobe URL, Hokkaido, northern Japan”, In: Approaches and challenges for the use of geological information in the safety case for deep disposal of radioactive waste,Third AMIGO workshop proceedings,Nancy, France,15-17 April 2008,OECD/NEA, pp.222-234, 2009年11月．
新里忠史，安江健一，中安昭夫，重廣道子(2009)：“深地層の科学的研究における地質環境調査のノウハウ・判断根拠等の分析・整理（4）幌延深地層研究計画における地質環境の長期安定性に関する調査事例”．日本原子力学会2009年秋の大会，2009年9月．
野口聡，中山雅，小林保之，三浦律彦，納多勝，入矢桂史郎(2009)：“低アルカリ性セメント場所打ちコンクリートの基礎物性に関する検討”，土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会，2009年9月．
野原壯(2009)：“Hydraulic and hydrochemical response to seismic events”, In: Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline Rock,Proceedings of an NEA workshop,Manchester, United Kingdom, 13-15 November 2007,OECD/NEA, pp.197-199, 2009年4月．
野原壯,小坂英樹,楮原京子,三輪敦志,常盤哲也,今泉俊文(2010)：“Examination of an investigation technique for activity on a fault-related fold in the Tenpoku region, northern Hokkaido, Japan.”, Hokudan 2010 International Symposium on Active Faulting, 2010年1月．
尾上博則，塩見哲也，徳楠充宏，平川芳明，草野友宏，安江健一，小坂寛，三枝博光，竹内竜史，野原壯,田力正好(2009)：“実データに基づく過去数十万年前の古地形及び古気候の推定手法の整備”，地盤工学会中国支部土質工学セミナー報告会，2009年7月．
岡崎啓史，嶋本利彦，上原真一，新里忠史(2009)：“北海道北部、幌延地域の新第三紀堆積岩における浸透率・間隙率に対する変形の影響”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月．
大里和己，山岡昌信，中嶋智，吉村公孝，岡崎幸司，茂田直孝，藪内聡，山中義彰(2009)：“幌延地域の沿岸域電磁法調査（その２）－調査結果とその解釈－”，物理探査学会第121回（平成21年度秋季）学術講演会講演論文集，pp.79-82，2009年11月..
大澤英昭，竹内真司，常盤哲也，新里忠史(2009)：“深地層の科学的研究における地質環境調査のノウハウ・判断根拠等の分析・整理，3;深地層の研究施設計画における調査手法の付加体地域への適用性検討”，日本原子力学会2009年秋の大会，2009年9月．
太田久仁雄，Alexander, W. R.，新里忠史，國丸貴紀(2009)：“Evolution of the hydrochemical system at Horonobe, Japan; An Indication from rock matrix porewater chemistry，ゴールドシュミット国際会議，2009年6月．
太田久仁雄，天野健治，新里忠史(2010)：“幌延・沿岸域を対象とした地質環境特性の長期変遷の評価（1）全体概要”，日本原子力学会2010年春の年会，2010年3月．
太田久仁雄，國丸貴紀，Alexander, W. R.（2009)：“A Quality assurance programme for rock matrix

porewater chemistry; An Example from Horonobe, Japan", ゴールドシュミット国際会議, 2009年6月.
坂井一雄, 小池真史, 青木智幸, 山本卓也, 羽出山吉裕, 山﨑雅直(2009):"ショートステップ工法による立坑掘削時の覆工及び周辺岩盤の挙動について", 土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会, 2009年9月.
坂下晋, 小西千里, 吉村公孝, 岡崎幸司, 茂田直孝, 藪内聡, 山中義彰(2009):"幌延地域の沿岸域電磁法調査（その３）－岩石物理学的解釈手法の検討－", 物理探査学会第121回（平成21年度秋季）学術講演会講演論文集, pp.83-86, 2009年11月.
真田祐幸, 松井裕哉, 藤井義明(2009):"Mechanical properties of siliceous rocks around Horonobe URL from triaxial compression and isotropic consolidation tests", International Symposium on Rock Mechanics ″Rock Characterization, Modelling and Engineering Design Methods″ (SINOROCK 2009), 2009年5月.
真田祐幸, 丹生屋純夫, 松井裕哉, 藤井義明(2009):"堆積履歴が幌延地域に分布する珪質岩の力学的特性や微視的構造変化に及ぼす影響", Journal of MMIJ, Vol.125, No.10,11, pp.521-529, 2009年7月.
真田祐幸, 丹生屋純夫, 松井裕哉, 藤井義明(2009):"幌延地域に分布する珪質岩に対する幾つかの岩盤応力測定法の適用性と推定された応力状態", Journal of MMIJ, Vol.125, No.10,11, pp.530-539, 2009年7月.
真田祐幸, 杉田裕, 大丸修二, 松井裕哉, 柏井善夫(2009):"幌延深地層研究計画,地質環境調査技術開発; 光ファイバーを利用した多段式地中変位計の開発", 日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー, 2009年7月.
真田祐幸, 杉田裕, 藤井義明(2009):"Deformation and failure behavior of rock mass around the ventilation shaft in Horonobe URL", Proceedings of 3rd International Workshop and Conference on Earth Resources Technology 2009, pp.149-158, 2009年5月.
真田祐幸, 杉田裕, 國丸貴紀, 岩野圭太, 森川誠司, 瀬尾昭治, 並川正(2009):"幌延深地層研究計画における140m東側調査坑道での掘削影響; MBCモデルによる水平坑道掘削の試解析について", 平成21年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2009年9月.
佐野満昭, 関谷美智(2009):"幌延深地層研究計画; 地下施設建設の現状", 日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー, 2009年7月.
佐藤治夫(2009):"A Thermodynamic analysis on the effect of salinity on interlayer space of sodium-montmorillonite", 14th International Clay Conference (ICC-14), 2009年6月.
佐藤治夫(2009):"A Thermodynamic model on the effect of salinity on the micropore structure of Na-montmorillonite", 12th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration'09), 2009年9月.
佐藤治夫(2009):"Modelling on the swelling of Na-bentonite in the saturated condition based on the thermodynamic properties of interlayer water in Na-montmorillonite", 12th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration'09), 2009年9月.
佐藤治夫(2009):"Quantification of exchangeable cations in interlayer of Tsukinuno sodium-montmorillonite", Materials Research Society Symposium Proceedings", 33rd International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management (MRS'09), 2009年5月.
佐藤治夫(2009):"幌延深地層研究計画,処分技術の信頼性向上; 緩衝材の膨潤圧に関する熱力学解析", 日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー, 2009年7月.
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実用性検討-幌延URLにおける深度140m調査坑道での原位置試験-", 第12回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2010) ,2010年3月.
仙波毅, 宮本哲雄, 藪内聡, 松岡稔幸, 浅森浩一, 山中義彰(2009):"地質環境総合評価技術高度化開発(ISIS); 国内外の沿岸域における物理探査・ボーリング孔での検層技術を対象とした情報の抽出及び分析", 日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー, 2009年7月.
仙波毅, 松岡稔幸, 宮本哲雄, 藪内聡, 浅森浩一, 山中義彰(2009):"次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発;国内外の沿岸域における物理探査・ボーリング孔での検層技術を対象としたノ

ウハウ・判断根拠等の分析・整理”, 社団法人物理探査学会第121回(平成21年度秋季)学術講演会講演論文集, 2009年11月.
仙波毅, 水野崇, 濱克宏, 岩月輝希(2009):“Development of advanced support system for site investigation”, American Geophysical Union 2009 Fall Meeting, 2009年12月.
杉田裕, 真田祐幸, 松井裕哉(2009):“Geomechanical model for sedimentary soft rock based on surface-based investigations”, International Symposium on Rock Mechanics ″Rock Characterization, Modelling and Engineering Design Methods″ (SINOROCK 2009), 2009年5月.
杉田裕, 真田祐幸, 國丸貴紀(2009):“幌延深地層研究計画における140m東側調査坑道での掘削影響;原位置試験計画と水平坑道掘削前の初期値について”, 平成21年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2009年9月.
杉田裕, 中村隆浩, 真田祐幸, 國丸貴紀(2009):“140m調査坑道掘削影響評価試験の計画と現状”, 日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー, 2009年7月.
竹田宣典, 桑江ひとみ, 中山雅, 小林保之(2009):“ポゾラン高含有鉄筋コンクリートの長期海洋暴露試験”, コンクリート工学年次大会2009, 2009年7月.
瀧谷啓晃, 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):“ポルトランドセメントペーストにおける水の拡散の水セメント比依存性”, 日本原子力学会2010年春の年会, 2010年3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):“Effect of ionic strength on Migration of chloride ions and water in compacted montmorillonite by electrokinetic method”, 4th International Meeting on the Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, 2010年3月.
寺島元基, 清田佳美, 岩月輝希, 飯島和毅, 吉川英樹, 油井三和, 長尾誠也(2009):“Eu(III) binding abilities of dissolved humic substances isolated from deep groundwater in Horonobe area, Hokkaido, Japan”, 12th International Conference on the Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration ’09), 2009年9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(2009):“北海道幌延地域の深部地下水から分離・精製した溶存腐植物質に対するEu(III)の結合特性”, 日本腐植物質学会第25回講演会, 2009年11月.
常盤哲也, 新里忠史, 前川恵輔, 浅森浩一, 阿部寛信(2009):“幌延深地層研究計画 地質環境の長期安定性に関する研究－地下水流動の長期変遷および断層運動に伴う影響の予測に向けた取り組み－”, 日本原子力学会バックエンド部会主催第25回バックエンド夏期セミナー, 2009年7月.
常盤哲也, 石井英一, 舟木泰智, 津坂仁和, 真田祐幸(2009):“Relationship between fault system estimated by fault-striation analysis of drilling cores and rock mass behavior induced by shaft excavation in Horonobe area, northern Japan”, 3rd International Workshop and Conference on Earth Resources Technology 2009, pp.159-168 (CD-ROM), 2009年5月.
常盤哲也, 浅森浩一, 石井英一, 舟木泰智(2009):“GPS観測と小断層解析を用いた応力変遷; 北海道北部幌延地域の例”, 日本地質学会第116年学術大会, 2009年4月.
鶴田忠彦, 松岡稔幸, 田上雅彦, 栗原新, 天野健治, 山田泰広, 小池克明(2010):“地質構造の空間モデリング手法の開発; 瑞浪超深地層研究所における取り組み”, 平成22年度(2010年)資源・素材学会春季大会, 2010年3月.
津坂仁和(2009):“幌延深地層研究所の水平坑道の内空変位計測結果に基づく支保工規模の評価”, 土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会, 2009年9月.
津坂仁和 (2010): “堆積軟岩における立坑掘削の内空変位計測に基づく岩盤挙動分類の提案”, 土木学会論文集F, Vol.66, No.1, pp.181-192, 2010年3月.
津坂仁和, 山﨑雅直, 稲垣大介(2009):“幌延深地層研究計画,深地層の工学的技術の基礎の開発; 幌延深地層研究所の立坑掘削に基づく岩盤挙動分類の提案”, 日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー, 2009年7月.
津坂仁和, 山﨑雅直, 羽出山吉裕(2009):“Relationship between rock deformation and support load in shaft excavation in Horonobe Underground Research Laboratory”, Rock Engineering in Difficult Ground Conditions; Soft Rocks and Karst (EUROCK 2009), 2009年10月.
上原真一, 松本拓真, 嶋本利彦, 岡崎啓史, 新里忠史(2009):“新第三紀泥質岩中の亀裂の透水性の深度依存性：北海道北部幌延地域の例”, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月.

藪内聡，國丸貴紀(2009)：“幌延深地層研究計画における140m東側調査坑道での水理特性調査－水平坑道掘削の影響について－”，日本地下水学会2009年秋季講演会講演要旨，pp.300-303，2009年10月．
藪内聡，國丸貴紀，横田秀晴，山本陽一，前川恵輔，石井英一，平賀正人(2009)：“幌延深地層研究計画　地質環境モニタリング技術開発－地下施設建設時の地質環境モニタリングの現状（地下水観測と予測解析）－”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月．
藪内聡，山中義彰(2009)：“深地層の科学的研究における地質環境調査のノウハウ・判断根拠等の分析・整理　(5)沿岸域における物理探査事例”，日本原子力学会2009年秋の大会予稿集(CD-ROM)，p.645，2009年9月．
山本陽一，横田秀晴，前川恵輔(2009)：“北海道幌延地域における積雪水量調査”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月．
山本陽一，前川恵輔，横田秀晴(2009)：“幌延深地層研究計画,地質環境調査技術開発；表層水理調査とその評価に向けた取組み”，日本原子力学会バックエンド部会第25回バックエンド夏期セミナー，2009年7月．
山西毅，関谷美智，稲垣大介，羽出山吉裕，北川義人“幌延深地層研究計画における大深度立坑掘削の実績と今後の課題”，北海道土木技術会トンネル研究委員会，2010年2月．
山西毅，関谷美智，鈴木達也，北川義人，齋藤綾佑，横田大輔(2009)：“管理型掘削土(ズリ)の性状と今後の課題”，土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会，2009年9月．
山﨑雅直，福井勝則，南出賢司，羽出山吉裕(2009)：“泥岩を対象とした掘削体積比エネルギーと割れ目頻度に関する一考察”，土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会，2009年9月．
山﨑雅直，羽出山吉裕，山本卓也，福井勝則(2009)：“軟岩用自由断面掘削機の掘削体積比エネルギーを利用した岩盤強度の推定”，第44回地盤工学研究発表会，2009年8月．
横田秀晴，戸村豪治，前川恵輔(2009)：“Study of estimation of hydrogeological structures based on fluctuation of groundwater pressure at Horonebe area, Hokkaido, north Japan”，3rd International Workshop and Conference on Earth Resources Technology 2009，pp.169-178 (CD-ROM)，2009年5月．
横田秀晴，山本陽一，前川恵輔(2009)：“浅層ボーリング孔で観測された地下水位と地質構造の地下水流動への影響に関する一考察”，日本地質学会第116年学術大会，2009年4月．
横田秀晴，山本陽一，前川恵輔(2009)：“北海道幌延地域における浅層ボーリング孔を用いた地下水位観測”，日本地下水学会2009年秋季講演会，2009年10月．
横田秀晴，藪内聡，戸村豪治，前川恵輔(2009)：“幌延深地層研究計画における地下水の長期モニタリング-坑道掘削による水圧低下について-”，日本地球惑星科学連合2009年大会，2009年5月．
吉村公孝，岡崎幸司，大里和己，中嶋智，大澤健二，藪内聡，山中義彰，茂田直孝(2009)：“沿岸域の地質構造調査に向けた海底電磁法技術の高度化開発その４：幌延沿岸域における適用試験”，日本原子力学会2009年秋の大会予稿集(CD-ROM)，p.650，2009年9月．
吉村公孝，岡崎幸司，大里和己，中嶋智，大澤健二，藪内聡，山中義彰，茂田直孝(2009)：“沿岸域の地質構造調査に向けた海底電磁法技術の高度化開発,4；幌延沿岸域における適用試験”，日本原子力学会2009年秋の大会，2009年9月．
吉村公孝，岡崎幸司，大里和己，大澤健二，山岡昌信，中嶋智，茂田直孝，藪内聡，山中義彰(2009)：“幌延地域の沿岸域電磁法調査（その１）－調査の概要－”，物理探査学会第121回（平成21年度秋季）学術講演会講演論文集，pp.75-78，2009年11月．
吉村公孝，若松尚則，安藤賢一，橋本秀爾，藪内聡，茂田直孝(2010)：“沿岸域の水理地質構造に着目した塩淡境界に関する地下水流動解析”，日本原子力学会2010年春の年会，2010年3月．