

幌延深地層研究計画  
平成 18 年度調査研究成果報告

平成 19 年 6 月

日本原子力研究開発機構  
幌延深地層研究センター

本資料の全部又は一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

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 : 01632-5-2033

# 目次

1. はじめに .....	1
2. 平成 18 年度の主な調査研究の進め方 .....	2
3. 地層科学研究 .....	4
3.1 地質環境調査技術開発 .....	4
3.1.1 地質環境データの取得 .....	4
(1) 地質構造 .....	4
(2) 岩盤の水理 .....	8
(3) 地下水の地球化学 .....	11
(4) 岩盤力学 .....	12
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 .....	15
(1) 地質構造モデル .....	15
(2) 岩盤の水理モデル .....	16
(3) 地下水の地球化学モデル .....	20
(4) 岩盤力学モデル .....	21
3.1.3 調査技術・調査機器開発 .....	24
3.2 地質環境モニタリング技術開発 .....	30
3.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発 .....	30
3.2.2 遠隔監視システムの開発 .....	33
3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発 .....	36
3.4 地質環境の長期安定性に関する研究 .....	43
3.4.1 地質環境の長期的変遷に関する研究 .....	43
3.4.2 地震研究 .....	49
4. 地層処分研究開発 .....	55
4.1 処分技術の信頼性向上 .....	55
4.1.1 人工バリア等の工学技術の検証 .....	55
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 .....	60
4.2.1 安全評価手法の適用性確認 .....	60

5. 地下施設の建設 .....	62
6. 地上施設の建設 .....	68
7. 環境モニタリング .....	69
7.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査 .....	69
7.2 地下施設の建設に伴うモニタリング調査 .....	72
8. 開かれた研究 .....	74
8.1 国内機関との研究協力 .....	74
8.1.1 大学等との研究協力 .....	74
8.1.2 その他の機関との研究協力 .....	76
8.2 国外機関との研究協力 .....	77
引用文献 .....	79

## 参考資料

## 図リスト

- 図1 調査位置
- 図2 換気立坑における壁面の地質観察結果
- 図3 東立坑における壁面の地質観察結果
- 図4 換気・東立坑近傍の地下浅部の地質構造の概念
- 図5 表層水理調査位置
- 図6 河川流量観測および気象観測結果
- 図7 地下水位観測地点の位置（研究所設置地区およびその周辺地区）
- 図8 町道6号線および町道1号線沿いの地下水位観測地点の地下水位の変化の例
- 図9 地下施設近傍の地下施設観測地点における地下水位の変化の例
- 図10 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
- 図11 等方圧縮試験結果
- 図12 等方圧縮試験データに基づく透水係数と有効封圧との関係
- 図13 等方圧縮試験前後の岩石供試体内部構造の変化（声問層）
- 図14 岩石の力学的異方性に関する一軸圧縮試験結果の例（稚内層：HDB-11孔）
- 図15 地下施設周辺および換気・東立坑の地質構造モデル
- 図16 更新した岩盤の水理モデルに基づいた地下水流動解析と実測値から推定した地下水の流れの比較
- 図17 全水頭の実測値との比較
- 図18 坑道掘削に伴う湧水量や水圧の変化を予測するための解析の一例
- 図19 岩盤中に存在する割れ目の影響を考慮した解析のための条件設定の例
- 図20 平成17年度と平成18年度のモデル化・解析の違い
- 図21 立坑壁面近傍における応力・変形の深度変化
- 図22 各深度における立坑壁面近傍の変位と切羽進行との関係
- 図23 コントロールボーリングの軌跡
- 図24 坑道掘削による緩んだ領域の透水性を調べるための試験装置の設計の例
- 図25 亀裂や断層などの透水性を調べるための試験装置の概念図

- 図26 坑道内用地下水の水質モニタリング装置
- 図27 開発した光ファイバー式地中変位計の模式図
- 図28 電気探査の測線配置
- 図29 電気探査で得られた見掛比抵抗分布（平成18年度）
- 図30 既存の地上電磁探査および深層試錐孔における比抵抗検層結果と電気探査結果との比較
- 図31 HDB-11孔における間隙水圧観測区間
- 図32 HDB-9孔における地下水の間隙水圧の測定例
- 図33 採水した地下水の水質分析結果の例（HDB-4孔）
- 図34 地下水の揚水量とそれに伴う水圧の経時変化の例（HDB-10孔）
- 図35 遠隔監視システムの観測データ処理・解析フロー
- 図36 遠隔監視システムの観測機器配置
- 図37 遠隔監視システムの観測記録の例
- 図38 日常管理計測およびステップ管理計測の主要な項目および取得データの解析評価の流れ
- 図39 日常管理計測およびステップ管理計測の実施予定位置
- 図40 情報化施工プログラムに基づく計測データの解析評価結果の反映先
- 図41 坑内火災を模擬した通気試験装置
- 図42 坑内火災を模擬した通気試験結果の一例
- 図43 過去約250万年間の地質構造の変遷
- 図44 最終氷期の最寒冷期（1.8万年前）における植生の分布と化石凍結割れ目の分布
- 図45 トナカイ観光牧場付近の泥炭層に含まれる花粉
- 図46 GPS、電磁観測点の位置および地震の震央位置
- 図47 HDB-1孔観測点と各GEONET観測点との基線長の変化
- 図48 北星園観測点で観測された比抵抗の変化
- 図49 幌延町周辺に設置されている地震計の位置
- 図50 北海道北部地域における地震の震源分布
- 図51 北海道とその周辺で発生した被害地震の分布
- 図52 HFSCを用いたコンクリートの圧縮強度試験結果（材齢28日）

- 図53 水平坑道における低アルカリ性セメントの施工性に関する原位置試験のフロー
- 図54 スメクタイトの部分密度に対する膨潤圧の実測データと計算値
- 図55 地下施設関連設備
- 図56 掘削土（ズリ）置場の整備状況
- 図57 排水管路敷設ルートおよび敷設状況
- 図58 排水処理設備
- 図59 排水処理の手順と現状の処理性能
- 図60 地上施設
- 図61 環境モニタリング調査位置
- 図62 掘削土（ズリ）置場およびその周辺の水質モニタリング調査位置
- 図63 天塩川の水質モニタリング調査位置

## 表リスト

- 表 1 情報化施工プログラム策定時に抽出した計測項目と計測の目的
- 表 2 掘削土（ズリ）モニタリング調査結果（土壌溶出量：公定分析）
- 表 3 地下水モニタリング調査結果（水質分析：公定分析）
- 表 4 環境モニタリング調査実施内容（平成 18 年度）
- 表 5 確認された重要種（魚類）
- 表 6 モニタリング調査項目と結果
- 表 7 水質モニタリング調査結果



## 1. はじめに

独立行政法人<sup>\*1</sup>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」<sup>\*2</sup>に示された「深地層の研究施設」計画の1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」と述べられており、幌延深地層研究計画の重要性が示されています。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）<sup>\*3</sup>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していく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あります。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、これまで「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」と呼ばれ、1956年以来、概ね5年ごとに計9回にわたって日本における原子力の研究、開発及び利用について、今後どのように進めるかを策定してきました。（<http://www.fepec.or.jp/shikihou/shikihou33/p04-09.html>）

\*3：中期目標の対象としている期間は平成17年(2005年)10月1日から平成22年(2010年)3月31日までの4年6ヶ月間です。

## 2. 平成 18 年度の調査研究の進め方

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。平成 18 年度は、平成 17 年度から開始した第 2 段階の 2 年目にあたります。

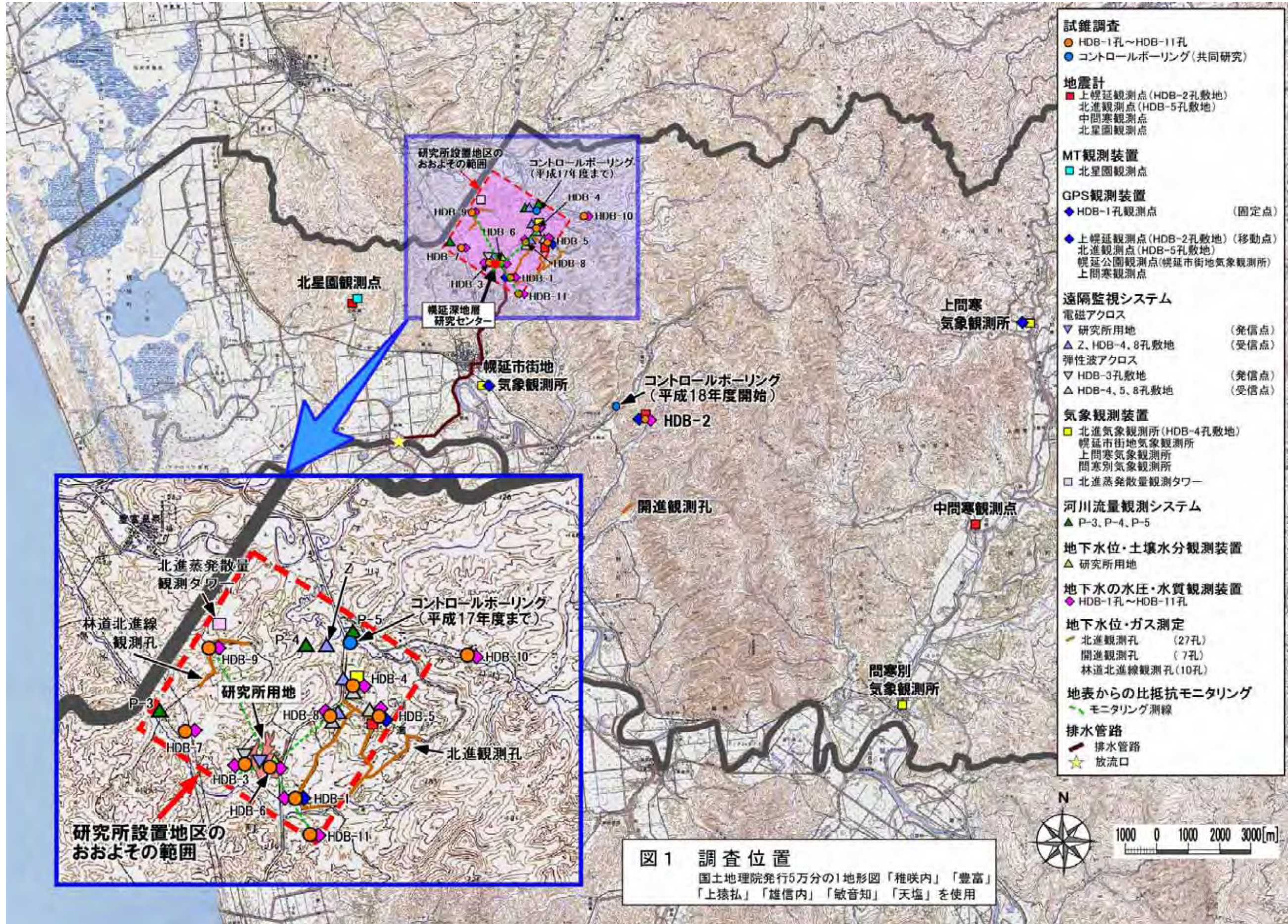
平成 18 年度は、「幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究計画」<sup>(1)</sup>に従って、調査研究および地上施設と地下施設の建設を進めました。研究開発は、従来通り、「地層科学研究」と「地層処分研究開発」に区分して行いました。具体的には、「地層科学研究」では、地質環境調査技術開発、地質環境モニタリング技術開発、深地層における工学的技術の基礎の開発、地質環境の長期安定性に関する研究、という研究課題を設定し、「地層処分研究開発」では、処分技術の信頼性向上として、人工バリア等の工学技術の検証、設計手法の適用性確認を、安全評価手法の高度化として、安全評価モデルの高度化と安全評価手法の適用性確認、という研究課題を設定しています<sup>(2)</sup>。

原子力機構が幌延町内で行っている調査研究に係わる観測地点などの調査位置を図 1 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ていきます。また、研究開発業務の透明性・客観性を確保する観点から、研究計画の策定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ていきます。

以下に平成 18 年度の調査研究の主な成果について報告します。







### 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

平成 17 年度までの地質構造に関する調査において、地下水の流れに大きな影響を与えていると推定された不連続構造（例えば、小規模な断層が密集する断層帯）の連続性や、大曲断層の地表推定位置付近において確認されたガスの起源が今後の課題として残されました。

平成 18 年度は、第 1 段階で予測した地質・地質構造の確認や不連続構造の分布を詳細に把握することを目的に、坑道（立坑）壁面における地質観察を開始しました。加えて、地下施設近傍の地下水位観測のために掘削した浅層試錐孔から得られたコアの観察も行いました。また、ガスの起源を推測するために、大曲断層の地表推定位置付近で採取したガスの組成と同位体の分析を行いました。

図 2 に換気立坑の深度約 51m まで、図 3 に東立坑の深度約 41m までの壁面の地質観察結果を示します。観察の結果、換気立坑では深度 22m 付近まで、東立坑では深度 20m 付近まで角礫層が分布し、それ以深には換気立坑および東立坑ともに珪藻質泥岩（声問層）が分布していることを確認しました。また、図 4 に立坑周辺の浅層試錐孔の調査結果に基づく地下浅部の地質構造概念（立坑掘削前）と換気立坑および東立坑の壁面観察結果に基づく地下浅部の地質構造概念（立坑掘削後）を示します。先行して実施した浅層試錐孔のコア観察の結果から声問層の物理的風化部と判断していた岩相は、立坑における壁面の地質観察の結果から、礫同士が接し合う礫支持の角礫層であることなどがわかりました。このように立坑の壁面を詳細に観察することで、試錐調査では予測できなかった岩盤の状態を知ることができ、試錐調査での予測結果を立坑で確認することの重要性が改めて示されたと言えます。

また、換気立坑の深度約 30～36m には北西-南東走向で南西傾斜の断層が存在していることがわかりました（図 2）。

なお、壁面の地質観察では、壁面からの湧水箇所についても調べましたが、換気立坑および東立坑とも、顕著な湧水を示す割れ目などは認められませんでした。

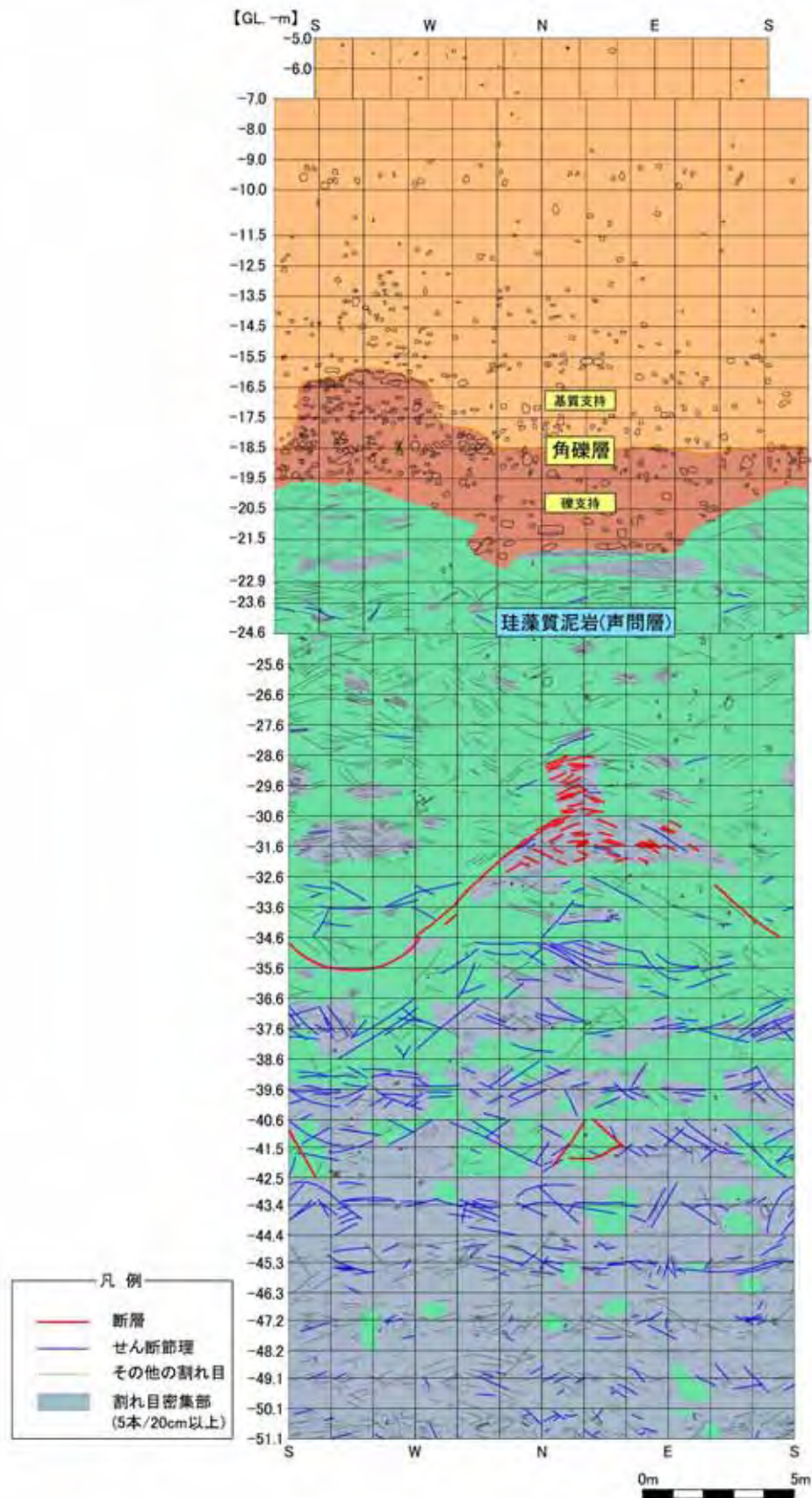


図2 換気立坑における壁面の地質観察結果  
(円柱状の立坑壁面の南方向を両端に展開した図)

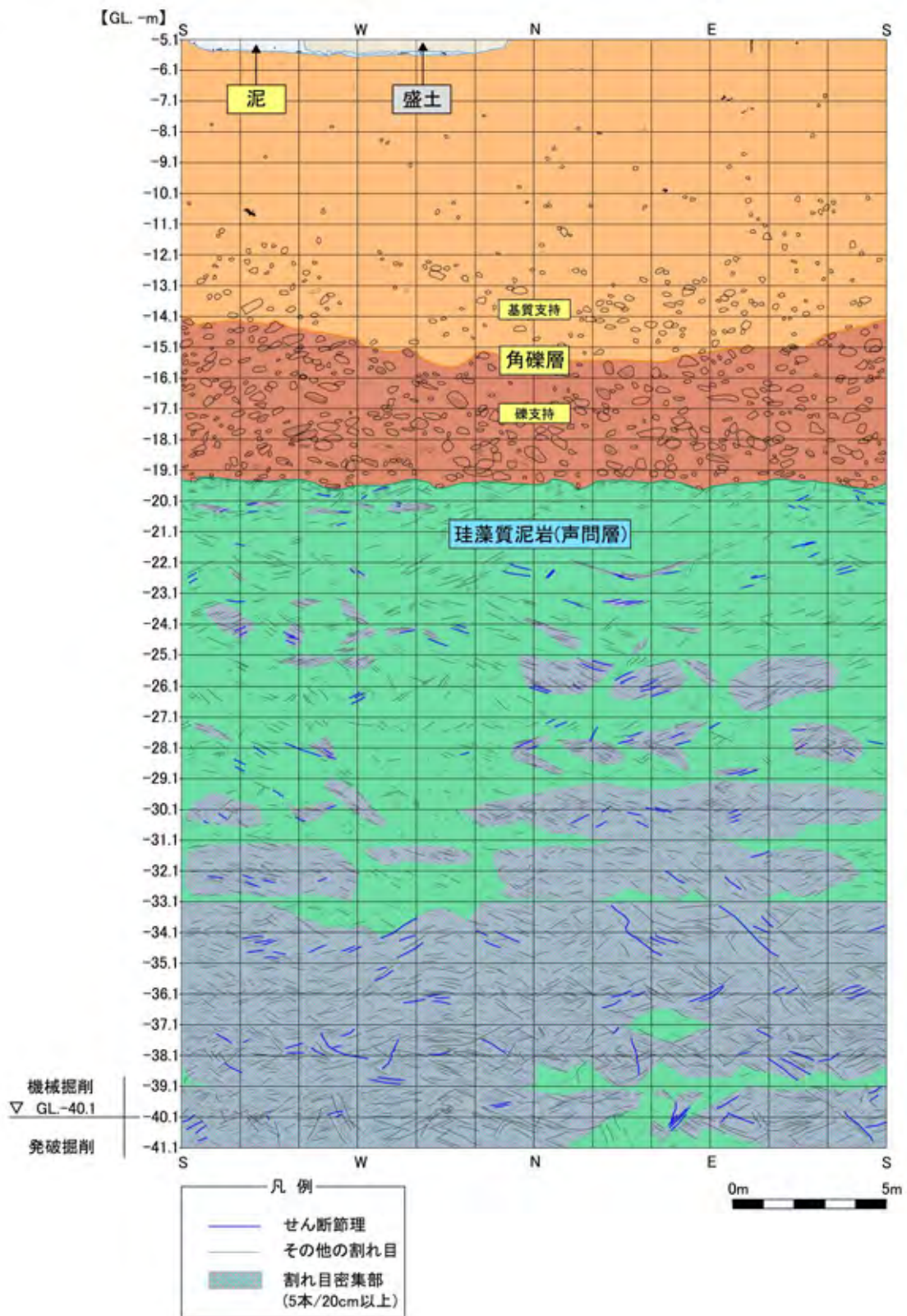
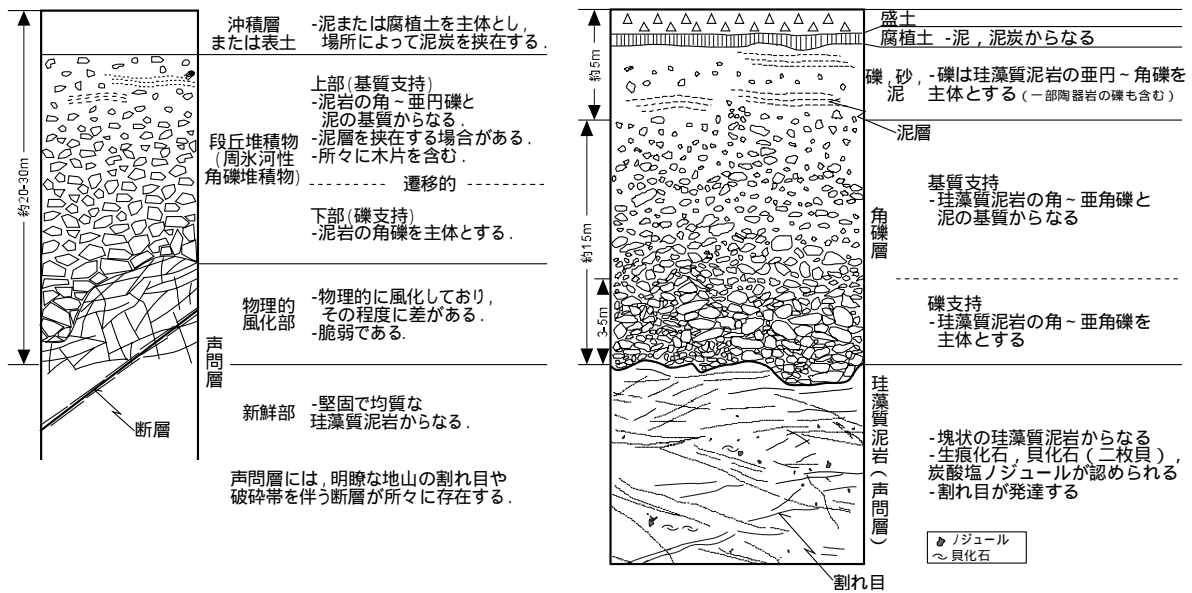


図3 東立坑における壁面の地質観察結果  
(円柱状の立坑壁面の南方向を両端に展開した図)





(a) 立坑掘削前に構築した地質構造の概念 (立坑周辺の浅層試錐孔の調査結果に基づく) (b) 立坑掘削後に見直した地質構造の概念 (換気立坑および東立坑の壁面の地質観察結果に基づく)

図4 換気・東立坑近傍の地下浅部の地質構造の概念

今後も壁面の地質観察や坑道内から掘削する試錐孔のコア観察を行い、第1段階で予測した地質・地質構造を確認するためのデータを取得していく予定です。

一方、ガスの調査においては、浅層試錐孔(32箇所)で主にガスの組成とその同位体の分析を行いました。その結果、大曲断層の地表推定位置付近の試錐孔では、大気的气体組成と比較して、明らかにメタンガス濃度の高い試錐孔が複数認められました。また、メタンガスに含まれる炭素安定同位体比は-50~-95%<sup>\*4</sup>と求められ、地下深部の有機物の熱分解により発生するメタンガスの炭素安定同位体比(約-15~-55%)と微生物によるメタン発酵で生じるメタンガスの炭素安定同位体比(約-60%以下)の両方の特徴を有していました。濃度の高い地点においては、有機物の熱分解により発生するメタンガスの同位体的特徴が顕著であり、熱分解起源のメタンガスに微生物起源のメタンガスが混入していると考えられました。これらのことから、断層や断層に付随する断層破碎帯が地下深部からのメタンガスの移動経路になってい

\*4: 炭素原子はほとんどが質量数12の<sup>12</sup>Cですが、わずかに質量数13の安定同位体<sup>13</sup>Cが含まれています。炭素安定同位体比は、国際的に定められた標準物質中の<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>Cに対するサンプルの<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>Cの偏差として表されます。この値は非常に小さいので1000分偏差(‰:パーミル)で表されます。たいていの物質は標準物質よりも<sup>13</sup>Cが少ないので同位体比はマイナスの値になります。

ることが推測されました。また、この結果から、幌延地域では表層（地表付近の地層）部における地中ガスの調査が、大規模断層の位置の推定に活用できる可能性が示されました。

## (2) 岩盤の水理

平成 17 年度までに整備した気象観測所や河川流量観測地点（図 5）における観測を継続し、降水が地下にしみ込む量（地下水涵養量）の推定を行いました。図 6 に、図 5 に示す各観測地点での降水量および積雪量、気温、河川流出高<sup>\*5</sup>の観測結果を示します。

平成 17 年 10 月から平成 18 年 9 月までの 1 年間のデータを用いて、地下水涵養量を試算した結果、年間降水量は約 1,620mm、年間河川流出高は約 1,200mm、年間蒸発散量<sup>\*6</sup>は約 280mm であり、降水量から河川流出高と蒸発散量を減じた値として求められる年間地下水涵養量は、約 140mm であると試算されました。この値は、降水量の年変動などを考慮すると、平成 17 年度に算定した値（120mm/年）とほぼ同じと考えられます。

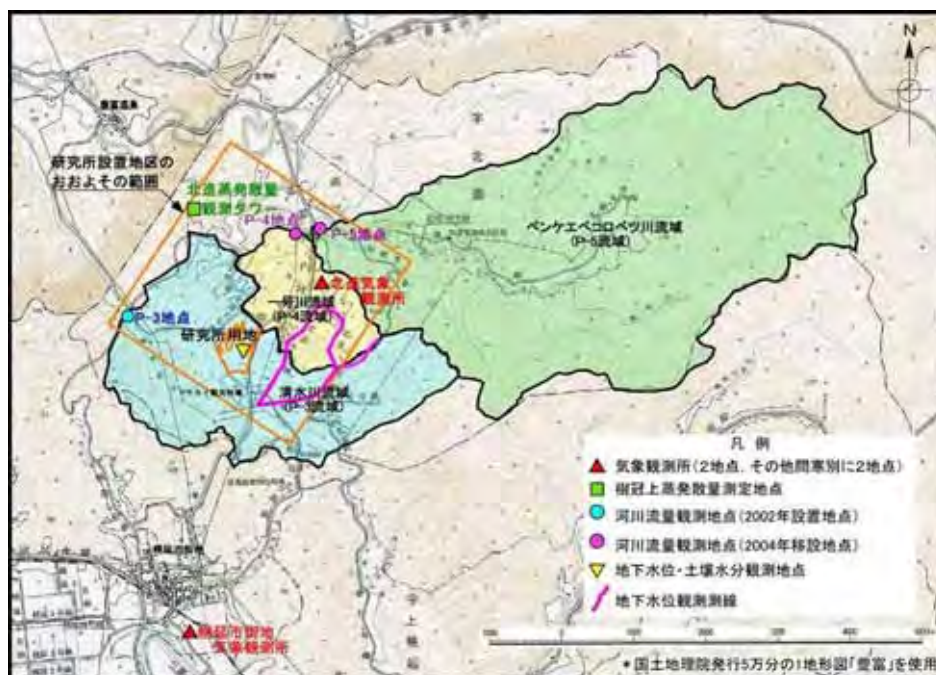


図 5 表層水理調査位置

\*5：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。今回の試算では、P-3、P-4、P-5 流域からの流出高の加重平均値を用いています。

\*6：蒸発散とは、湖沼などからの水面蒸発、土壌からの蒸発と、主に植物の葉からの蒸散の総称です。また、蒸発散量は、風速、気温、湿度などの気象データから推定することができます。



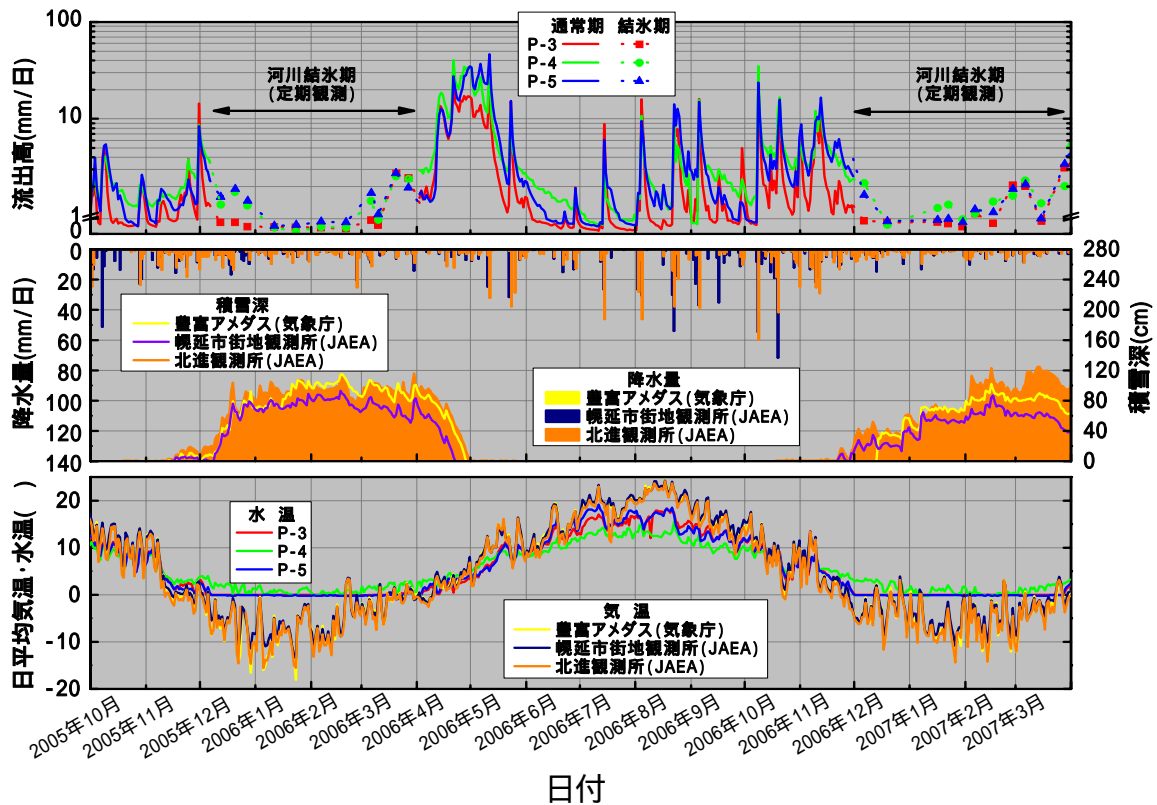


図6 河川流量観測および気象観測結果

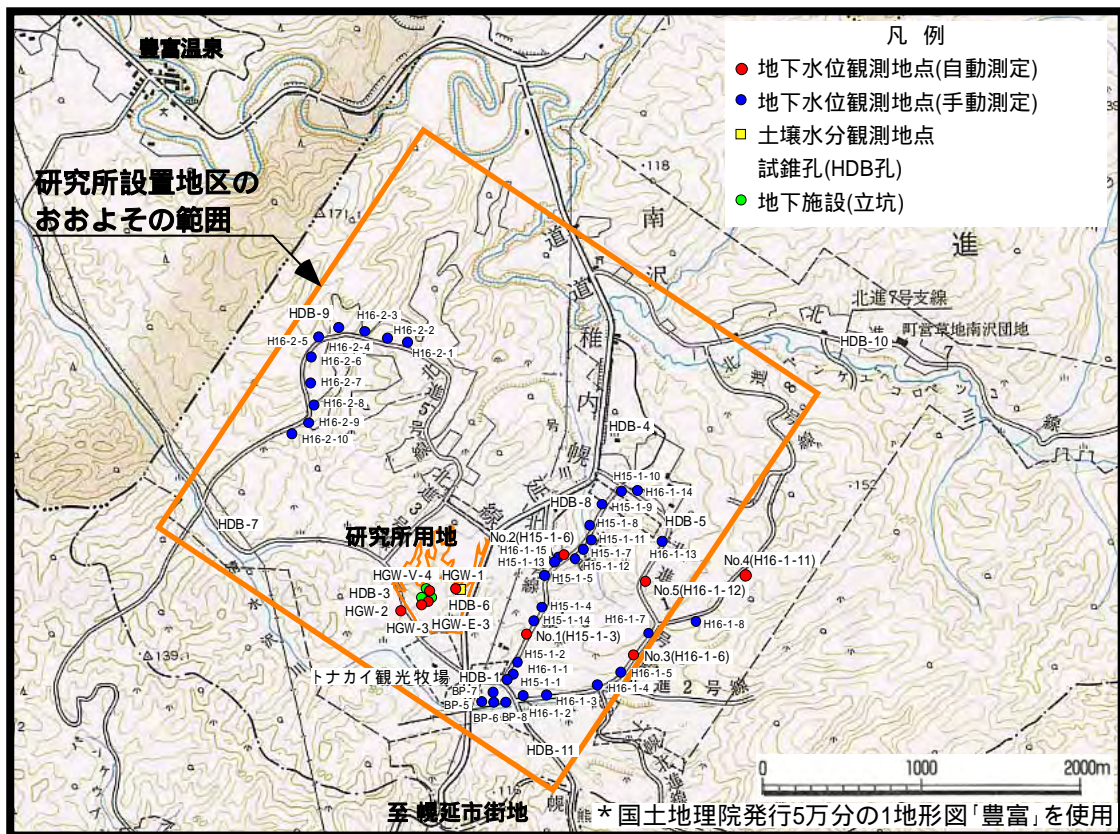


図7 地下水位観測地点の位置(研究所設置地区およびその周辺地区)

また、地下水位の平面的な分布とその季節変動から表層部における地下水流動系を把握することを目的として、研究所設置地区およびその周辺地区において浅層試錐孔（図 7）を利用した地下水位観測を実施しました。地下水位の測定は、手動または自動計測機能を有する水位計を用いて行いました。

図 8 に、図 7 に示した浅層試錐孔における地下水位の測定結果の例を示します。平成 18 年度までの測定の結果、地下水位は、冬期の積雪時に低下し、春先の雪解けとともに上昇することや、降雨の影響と考えられる短期的な変動も認められることなどがわかりました。また、地下水位の分布からペンケエベコロベツ川流域では東側から西側に向かう動水勾配が大きく、東側の山が主な涵養域となっていることや、夏期は冬期に比べて動水勾配が大きいことなどがわかりました。

図 9 に平成 18 年度より新たに観測を開始した地下施設近傍の浅層試錐孔（図 7）における地下水位の経時変化を示します。現在までのところ、換気立坑の掘削を開始した 8 月からの地下施設近傍における地下水位の低下量は最大で 80cm 程度であり、主に冬期に地下水位が低下する傾向が見られます。このような地下水位の低下は、図 8 に示すように地下施設近傍以外の箇所でも確認されていることから、積雪期の地下水涵養量が減少するためと考えら

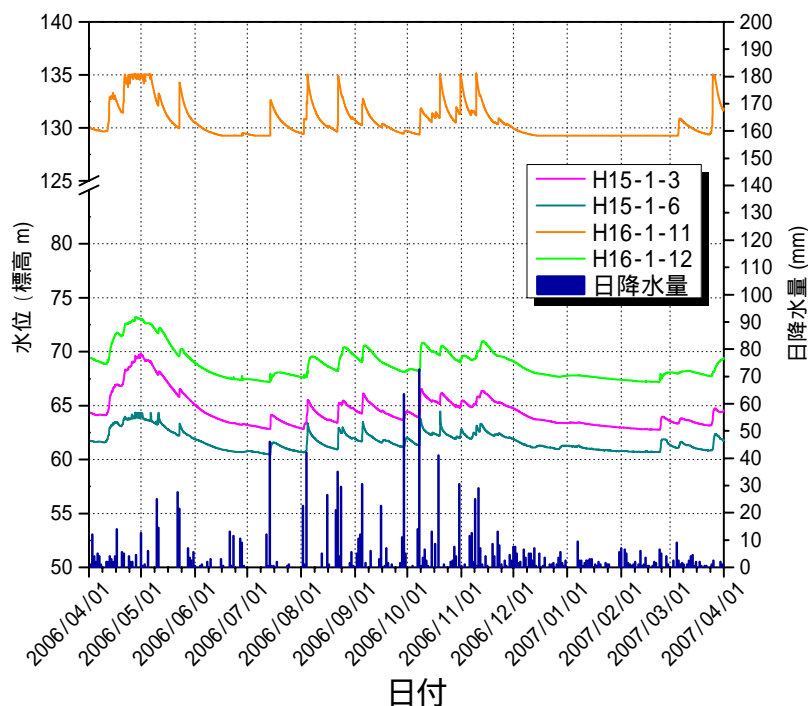


図 8 町道北進 6 号線および町道北進 1 号線沿いの地下水位観測地点の地下水位の変化の例

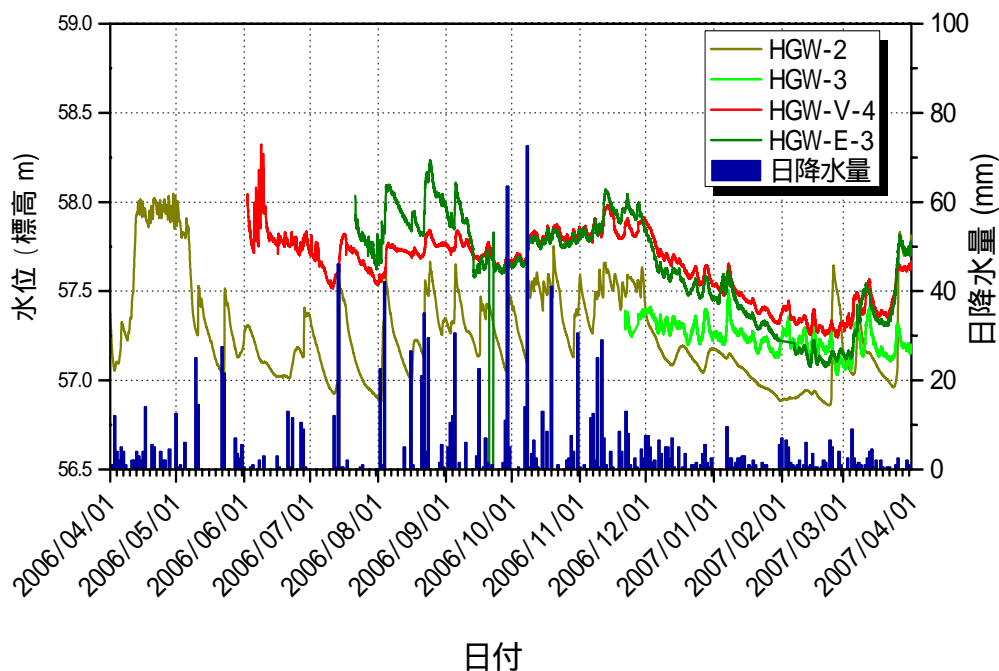


図9 地下施設近傍の地下水位観測地点における地下水位の変化の例

れ、従って、地下施設建設に伴う地下水位の低下はほとんどみられていないといえます。これは、換気立坑および東立坑の周囲にそれぞれ深度28mおよび深度25mまで止水壁<sup>\*7</sup>を施工しているためと考えられます。また、3.1.1(1)で述べたように地下施設において顕著な湧水を伴う割れ目などは認められていません。

今後は、各観測を継続してデータを蓄積し、地下水涵養量の推定についての精度を向上させるとともに、地下施設建設が地下水流動に与える影響についても検討を行っていく予定です。

### (3) 地下水の地球化学

平成18年度は、地下施設建設に伴って立坑内へ湧出する地下水を採取して分析しました。その結果、立坑の支保工として使用しているコンクリートと地下水との反応により、立坑内へ湧出する地下水がpHの高い水質に変化していることがわかりました。なお、換気立坑は深度約51mまで掘削が終了していますが、立坑内への湧水は掘削前に予測したとおり、溶存成分濃度の低い地下水であることがわかりました。

\*7：止水壁は、透水性が高い地盤中の水の流れを止水するためのものです。地盤中にセメント系の材料を用いて連続的に壁を作るように地盤を改良し、不透水性の地盤を構築します。

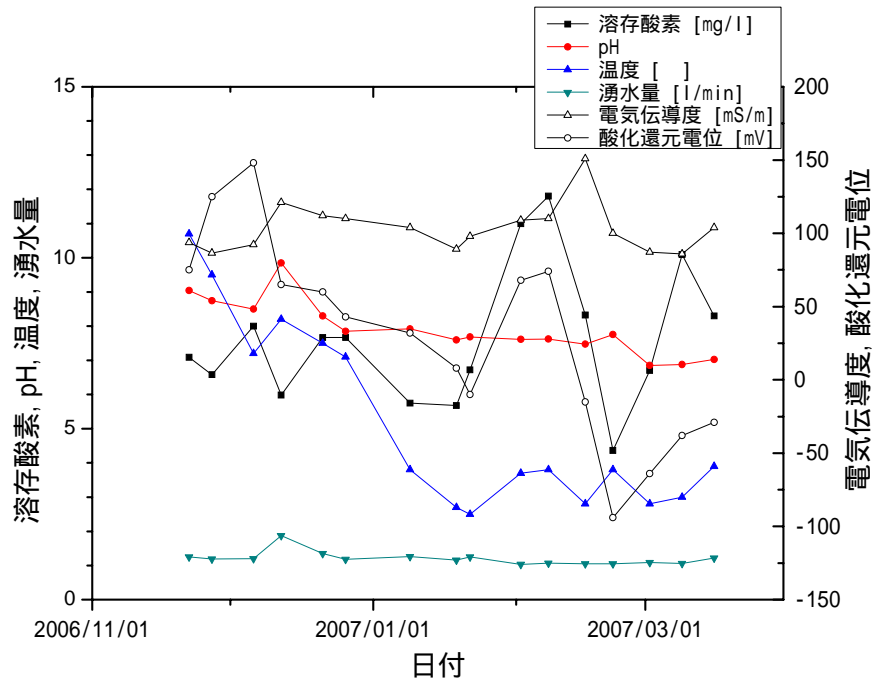


図 10 換気立坑の集水リングにおける地下水の水質モニタリング

また、図 10 に換気立坑の深度 28.5m に設置した集水リングによる水質モニタリング結果を示します。データは比較的大きく変動しており、立坑内への湧水量が少なく、集水リング内で地下水がよどんでいることが推定できます。東立坑においても同様の調査を行いました。冬期間は集水リング内の地下水が凍結していたため、安定した結果は得られていません。

#### (4) 岩盤力学

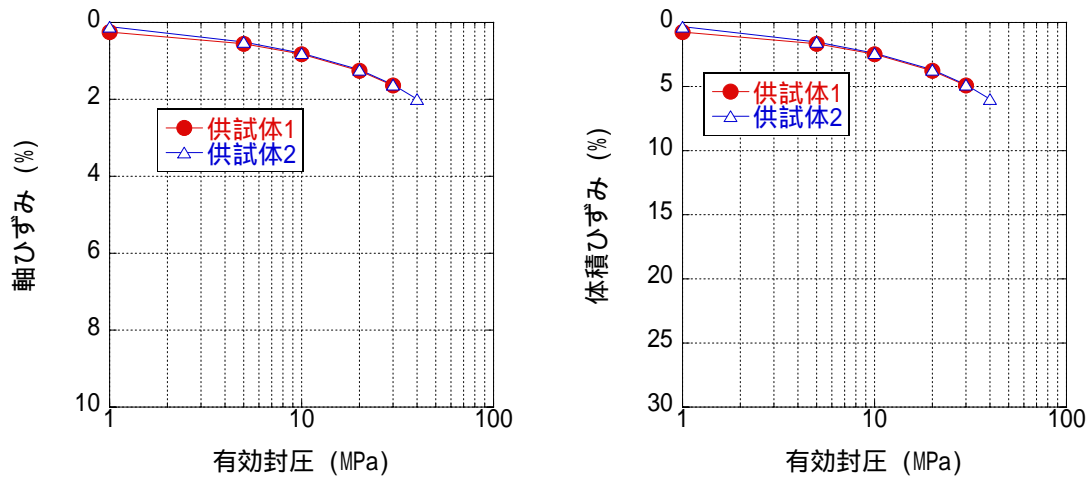
平成18年度は、平成17年度までの試錐調査で得られたコアを用い、坑道掘削中・掘削後の短期・長期的な岩盤の変形のメカニズムを把握することを目的とした室内試験を実施しました。この室内試験では、特に等方圧縮状態での岩石の挙動と力学的異方性について検討しました。

図 11 に、HDB-6 孔の声問層と HDB-11 孔の稚内層についての等方圧縮試験の結果を示します。稚内層の岩石は、50MPa 近い圧力をかけても岩石の挙動に大きな変化が生じませんが、声問層の岩石は 10MPa 程度の等方圧縮で岩石が塑性<sup>\*8</sup>化する可能性のあることがわかりました。また、図 12 に等方圧縮試験データに基づく透水係数と有効封圧との関係を示します。この結果では、

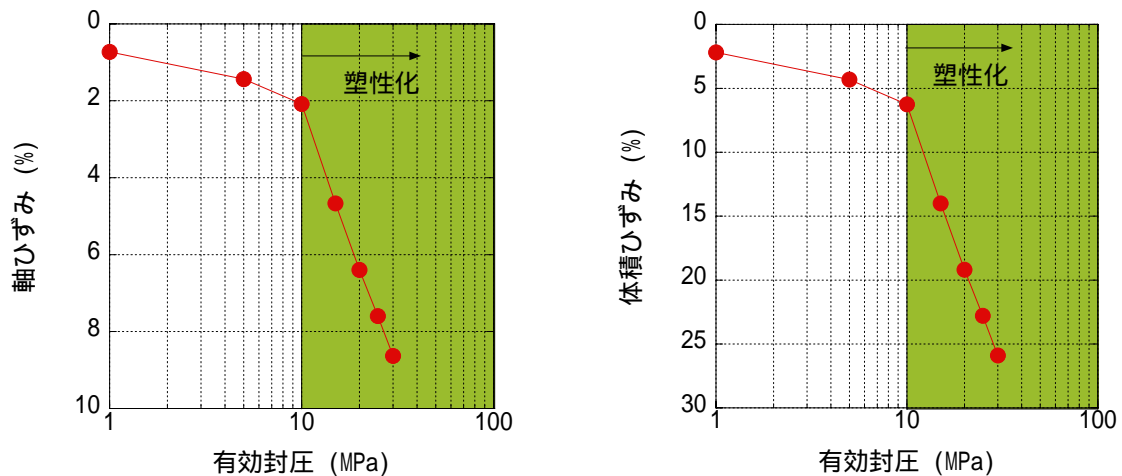
\*8：力を加えて変形させたとき、変形したままの状態になる物質の性質のことです。



声問層の岩石は稚内層の岩石より透水係数が低くなっていますが、これは、  
 図 13 の電子顕微鏡写真から、声問層中の大きな空隙が押しつぶされたことによ  
 るものと考えられます。



(a) 稚内層供試体 (採取位置: HDB-11 孔、深度 672m 付近)



(b) 声問層供試体 (採取位置: HDB-6 孔、深度 186m 付近)

図 11 等方圧縮試験結果  
 (左図: 軸ひずみ、右図: 体積ひずみ)

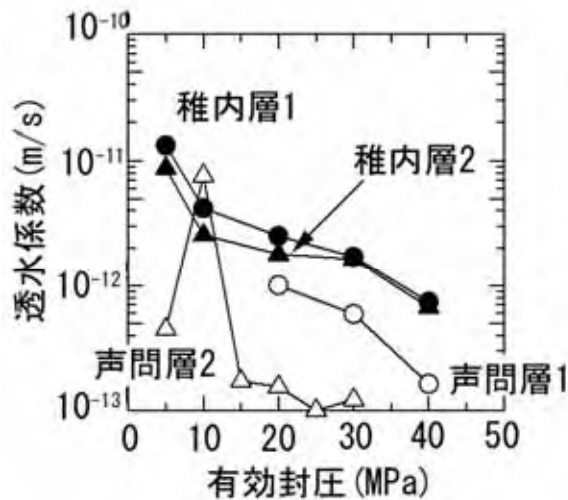
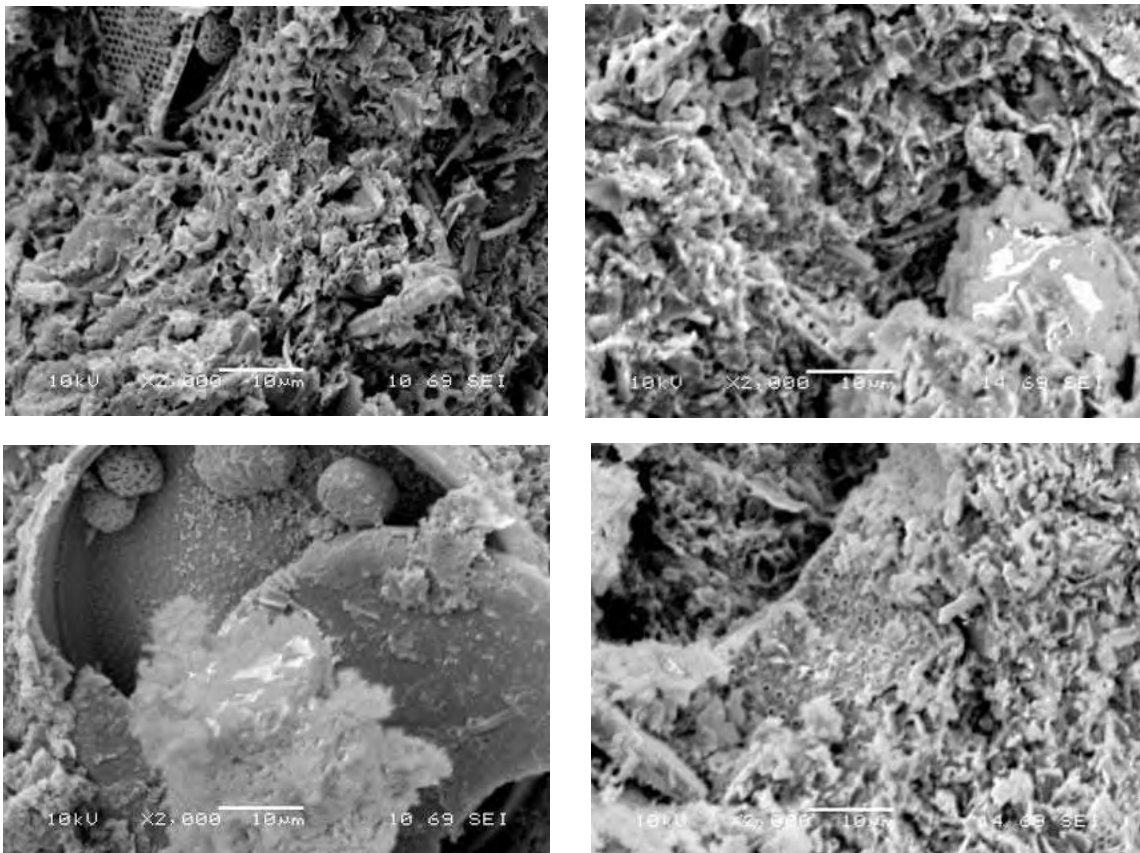


図 12 等方圧縮試験データに基づく透水係数と有効封圧との関係  
(声問層、稚内層において、2 個ずつ試験を実施した)



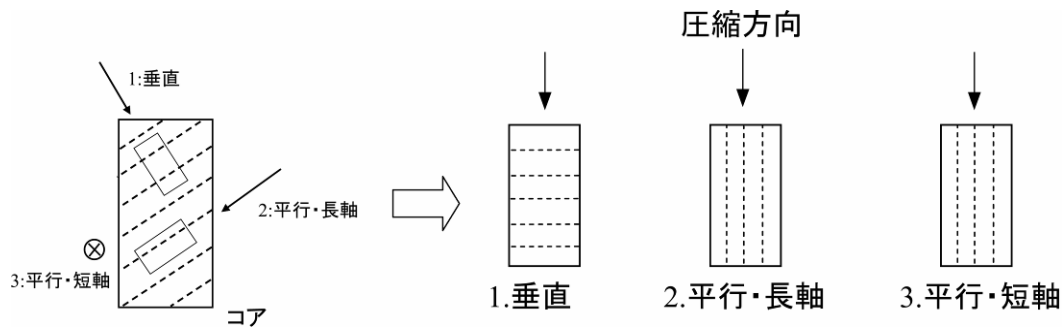
(a) 圧縮前試料の電子顕微鏡写真

(b) 圧縮後試料の電子顕微鏡写真

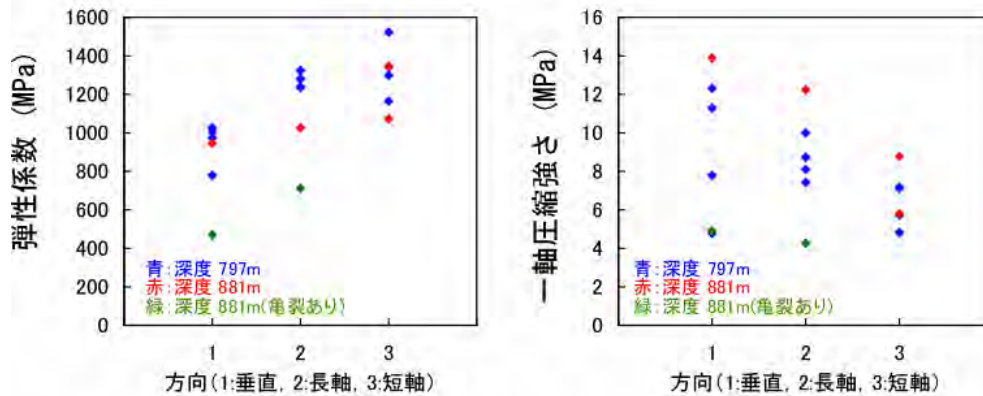
図 13 等方圧縮試験前後の岩石供試体内部構造の変化（声問層）

(a)で見られた空隙が(b)では押しつぶされている

図 14 に岩石の力学的異方性を調べる一軸圧縮試験結果の例を示します。声問層のコアでは層理面が目視では明瞭に確認できなかったため、コアの鉛直方向および水平方向に対して試験を行い、稚内層のコアでは確認された層理面に対して垂直および平行な方向（図 14(a)）に対して試験を行いました。この試験から、声問層の岩石は鉛直方向よりも水平方向が、稚内層の岩石は層理面に平行な方向よりも垂直な方向が力学的に強いことがわかりました。



(a) 荷重方向と層理面方向（图中破線）との関係



(b) 方向別の一軸圧縮試験結果（弾性係数、一軸圧縮強さ）

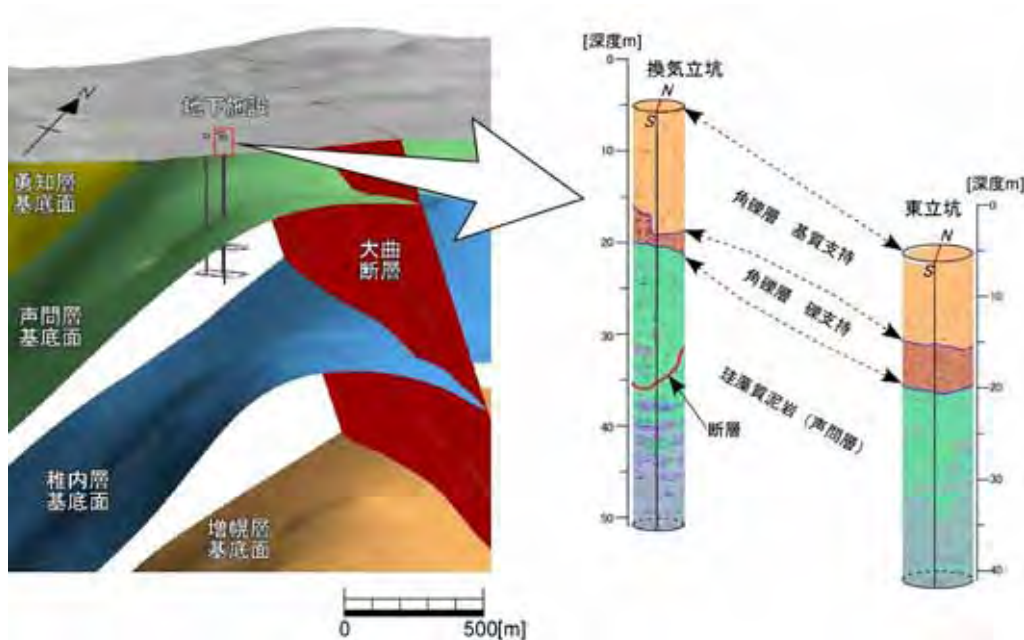
図 14 岩石の力学的異方性に関する一軸圧縮試験結果の例  
（稚内層：HDB-11 孔）

### 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

平成 18 年度は、これまでに実施した地表調査、試錐調査および坑道(立坑)壁面における地質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。また、地質構造モデル上に地下施設のレイアウトを組み込み、地下施設近傍の地質・地質構造を詳細に可視化する作業を開始しました。図 15 には坑道(立坑)壁面における地質観察の結果に基づき、地下施設のレイアウト、地下施設周辺の地層境界の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、今後実施される地下施設内での調査試験位置の選定や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きます。



(a) 地下施設周辺の地層境界の分布

(b) 換気・東立坑の地質構造モデル

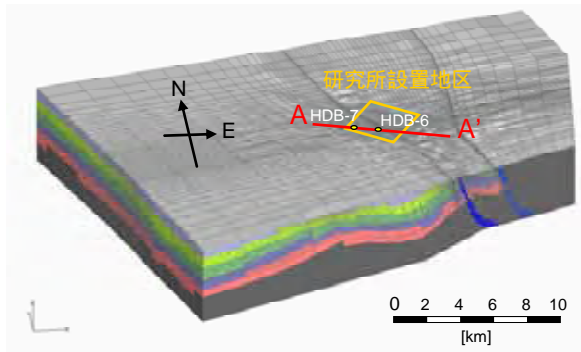
図 15 地下施設周辺および換気・東立坑の地質構造モデル

## (2) 岩盤の水理モデル

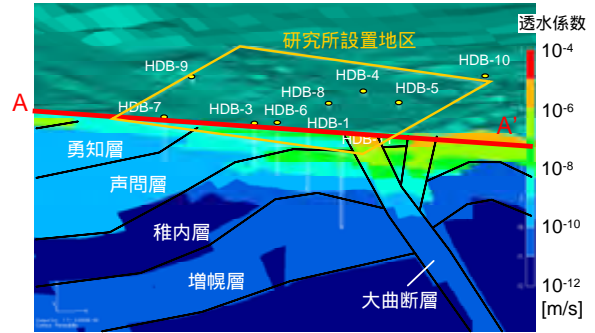
平成 17 年度までの試錐調査における水理試験や流体検層結果に基づき、既存の岩盤の水理モデルを更新し、地下水流動解析を実施しました。具体的には、声問層、稚内層の透水係数などのデータの増加に伴い、平成 17 年度までに検討したそれらの地層の透水係数や、その深度依存性(深くなるにつれて透水性が小さくなる傾向)の見直しを行いました。更新したモデルに基づく地下水流動解析では、HDB-8 孔などで相違が大きくなったものの、全体的にやや被圧した状況について以前の解析よりも実際の地下水の水圧分布をより良く表現できました(図 16、図 17)。

また、坑道掘削時の立坑への湧水量や周囲の水圧変化を予測するための解析の 1 つとして、立坑掘削前に実施した立坑周辺の浅層試錐孔を利用した地質構造概念(図 4(a))に基づき、立坑周辺の東西 100m × 南北 100m × 深度 200m の範囲を対象としたモデルを別途構築し、地下水流動解析を実施しました(図 18)。その結果、立坑の周囲に設置した止水壁の透水係数を適切に設定することで実際の湧水量を再現できることがわかりました。

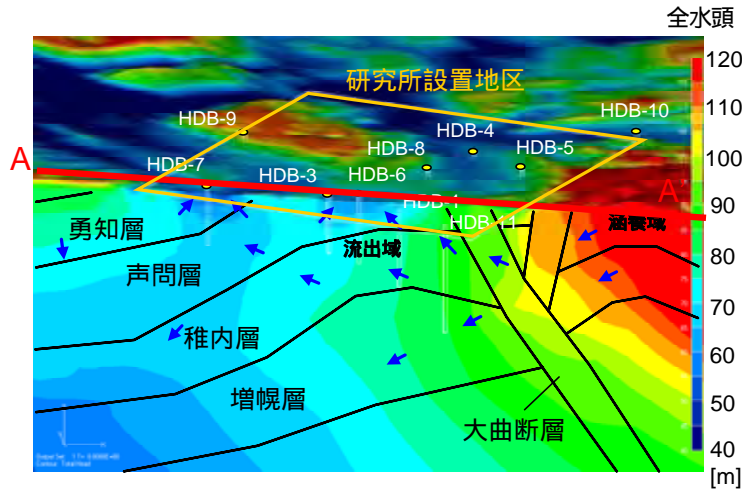




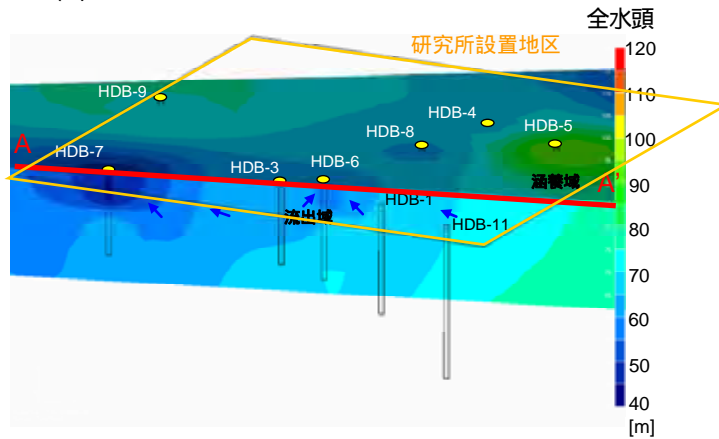
(a) 解析メッシュ



(b) 透水係数の分布



(c) 解析により得られた全水頭<sup>\*9</sup>分布と地下水の流れ



(d) 実測値から推定された全水頭分布と地下水の流れ

図 16 更新した岩盤の水理モデルに基づいた地下水流動解析と実測値から推定した地下水の流れの比較

\*9: ある地点にかかる水圧を水柱の高さで表したものです。

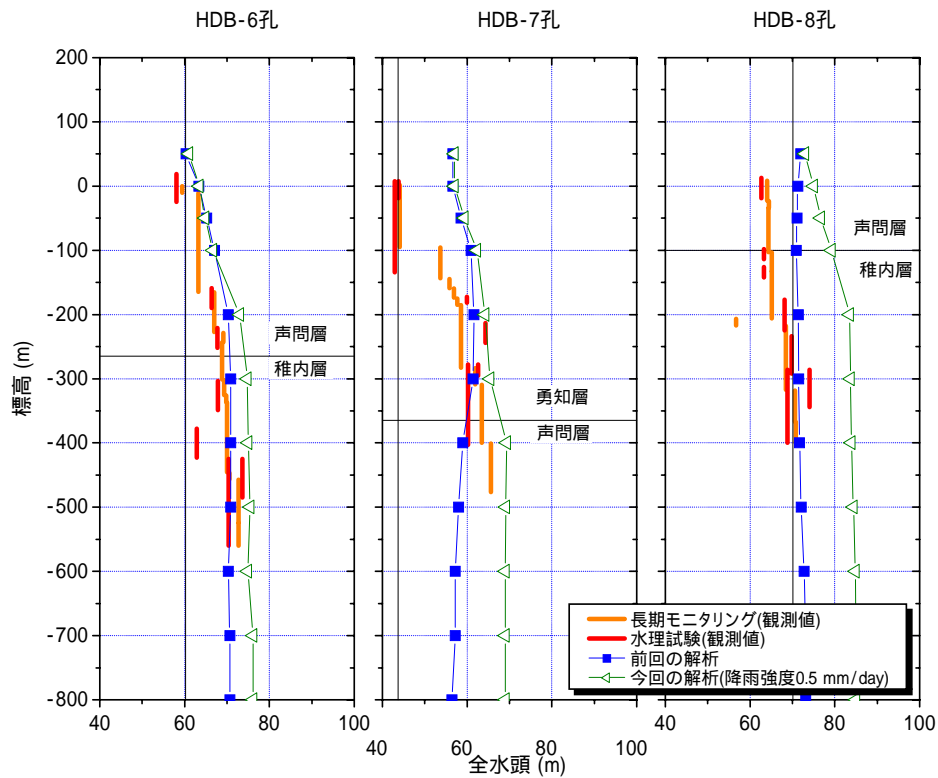
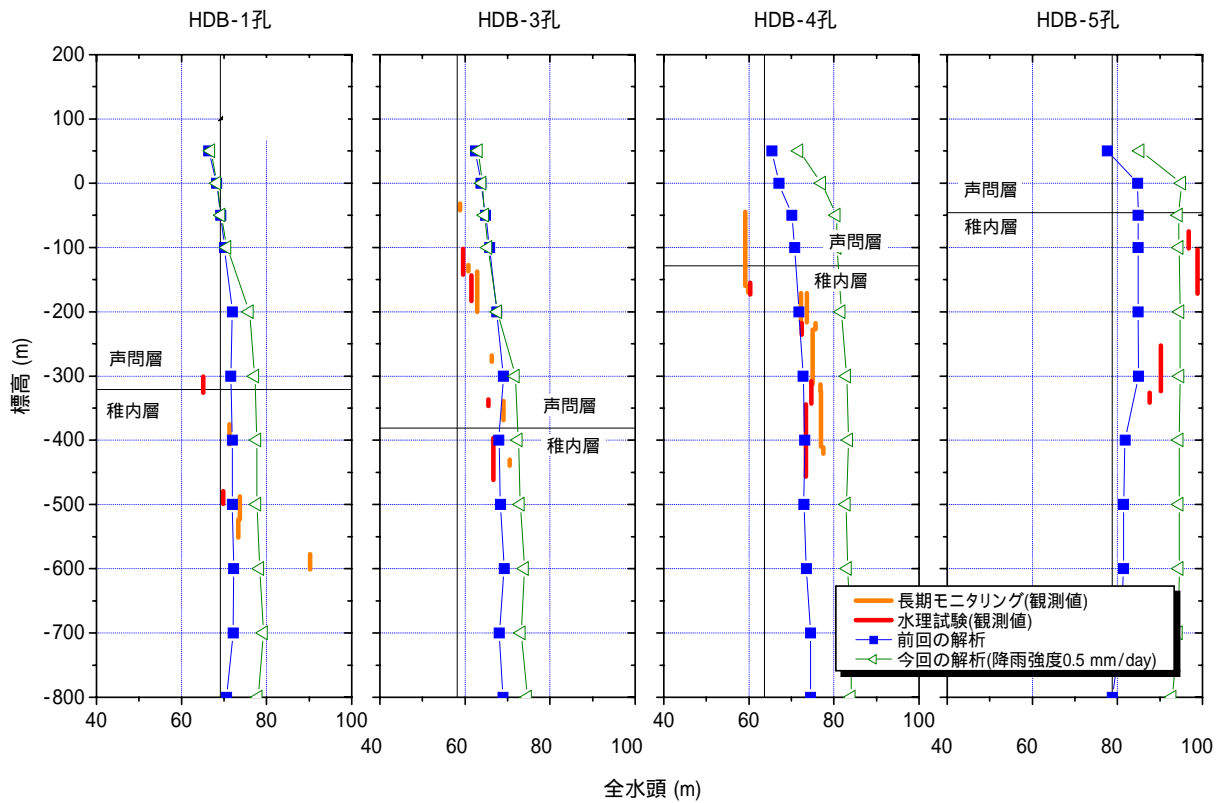


図 17 全水頭の解析結果と実測値との比較 (1/2)

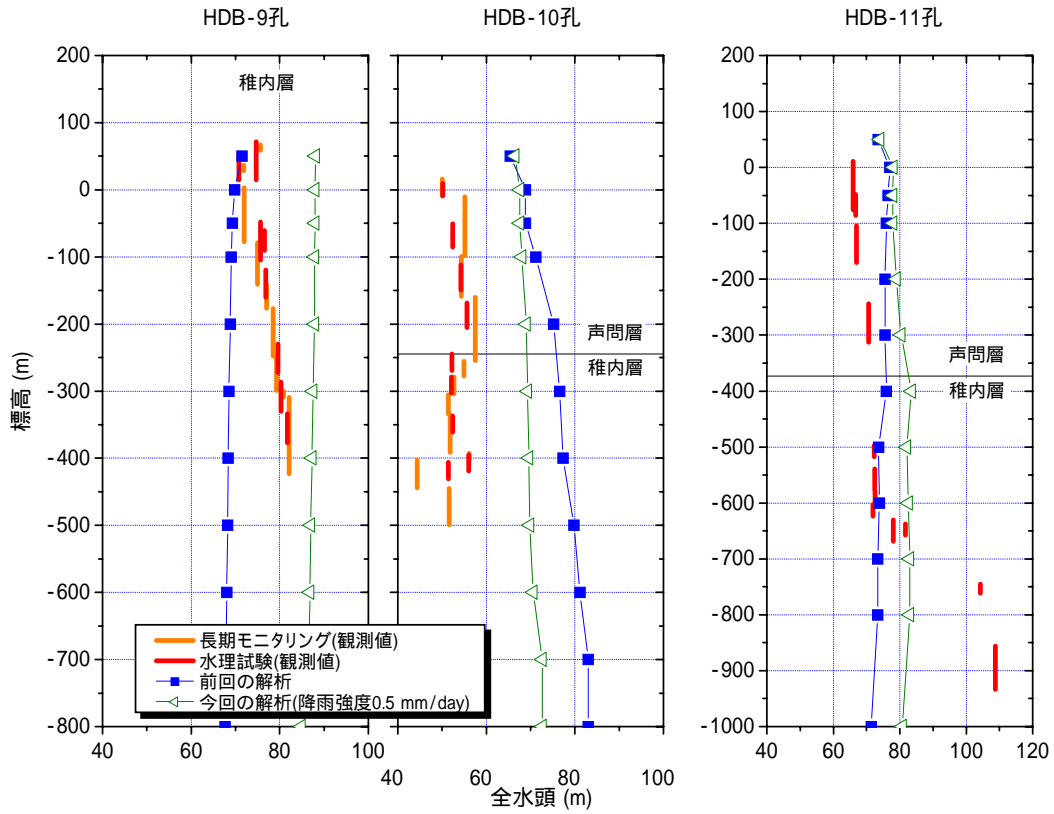


図 17 全水頭の解析結果と実測値との比較 (2/2)

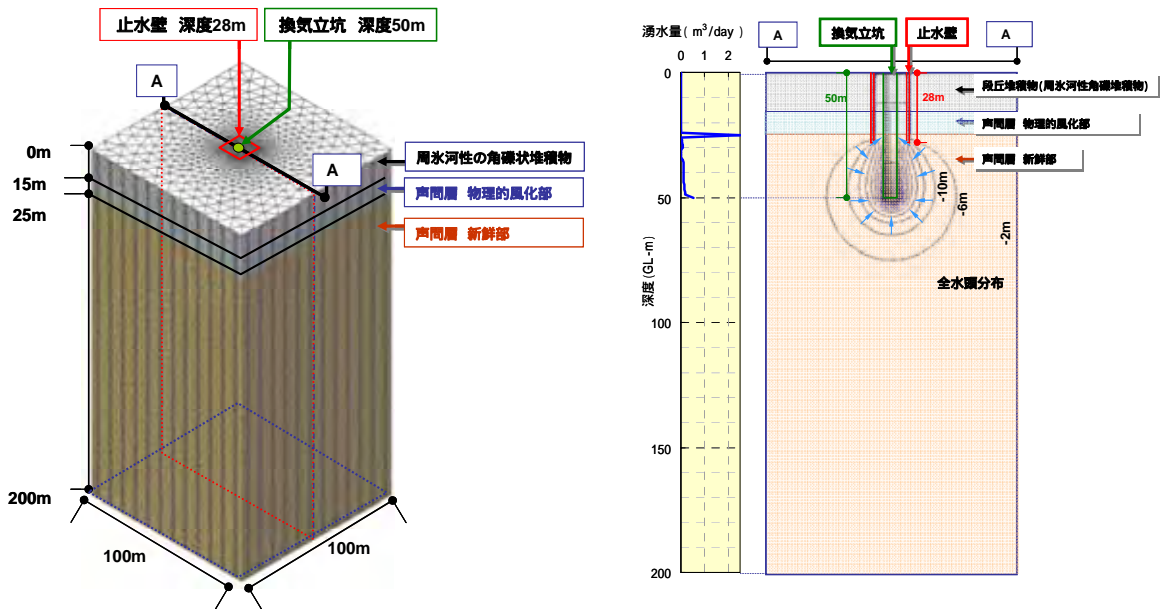


図 18 坑道掘削に伴う湧水量や水圧の変化を予測するための解析の一例  
立坑掘削前に実施した解析のため、地質構造は図 4 (a) の分類に基づきます

### (3) 地下水の地球化学モデル

平成 17 年度までの調査や解析により、研究所設置地区およびその周辺地区の地下水は、表層付近に溶存成分濃度が低い淡水系の地下水が分布し、深度が深くなるにつれて塩水系の地下水へ変化することがわかりました。また、地下水中にはメタンガスや二酸化炭素などの溶存ガスが存在し、特に二酸化炭素が脱ガスすると pH が変化すると考えられています。pH の変化は、鉱物の生成や溶解を生じ、地下水中の溶存イオンの濃度や存在状態を変化させることから、地下施設の近傍に存在する地下水の水質に影響を与えると考えられます。

平成 18 年度は、岩盤中に存在する割れ目の影響を考慮しつつ、立坑の掘削に伴う地下水の水質変化と地下水流動の変化を同時に解析できるモデルを新たに検討しました（図 19）。さらに、地下水の水質変化、地下水流動、および溶存ガスの組成を同時に考慮して、地下施設の建設に伴ってその周辺で生じる地下水の水質変化を予測する技術の開発に着手しました。

今後は、地下水の地球化学モデルで予測した地下水の水質変化と、実際の岩石の化学分析や鉱物分析の結果などと比較することにより、開発した解析技術の適用性について確認する予定です。

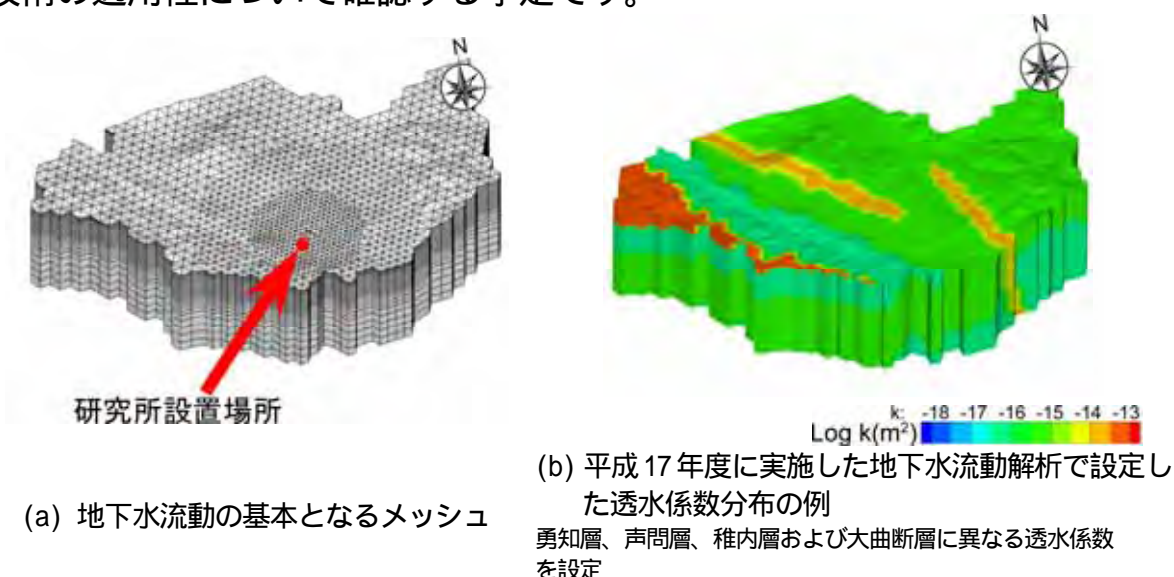
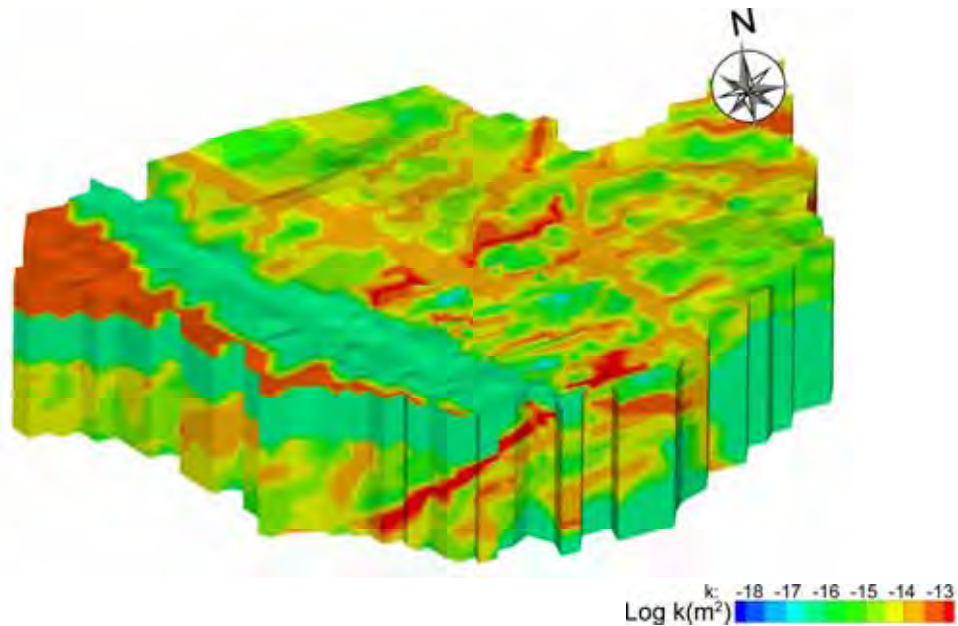


図 19 岩盤中に存在する割れ目の影響を考慮した解析のための条件設定の例(1/2) (解析の領域は約 4km × 4km と設定)



(c) 平成 18 年度に実施した地下水流動解析で設定した透水係数分布の例  
 (勇知層、声問層、稚内層および大曲断層に加えて、割れ目を考慮した透水係数を設定)

図 19 岩盤中に存在する割れ目の影響を考慮した解析のための  
 条件設定の例(2/2) (解析の領域は約 4km × 4km と設定)

#### (4) 岩盤力学モデル

平成18年度は、平成17年度までに取得した岩盤力学のデータに基づき、坑道掘削に伴って生じる周辺岩盤の物性変化の発生メカニズムやその範囲・変化の程度を詳細に検討しました。具体的には、平成17年度の解析で認められた岩盤の物性の深度変化を地表付近から深度500mまでの範囲を考慮したモデル(図20)により解析を実施しました。

その結果、掘削により立坑近傍に生じる塑性領域の影響により、図21に示すように大きな物性変化が生じるゾーン(黄色部分)の前後で特に大きな岩盤の変形が見られる可能性があることがわかりました。また、坑道の周辺岩盤の変形に関する解析からは、図22に示すように掘削面が計測位置から坑道径の3倍以上離れても影響の及ぶ可能性のあることがわかりました。

今後は、この解析結果に基づき、周辺岩盤中に生じる可能性がある岩盤物性変化の範囲やその程度を検討していきます。

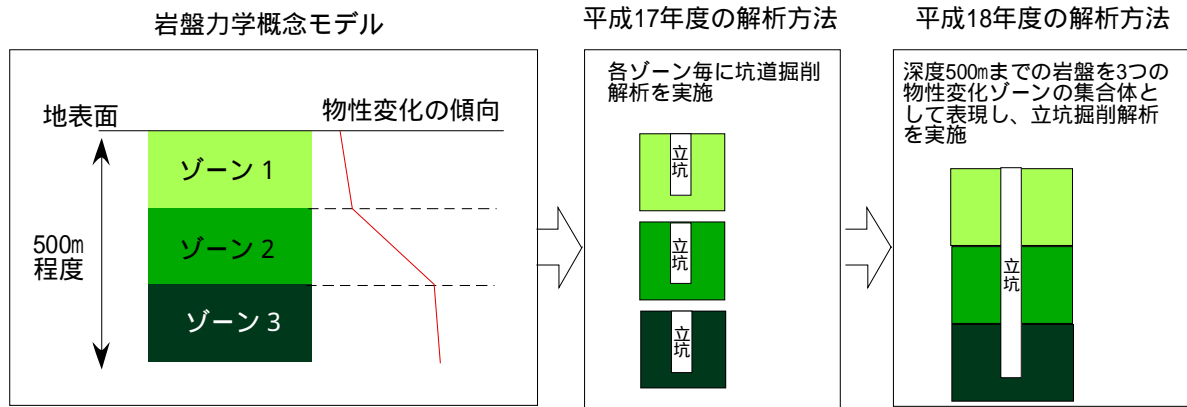


図20 平成17年度と平成18年度のモデル化・解析の違い

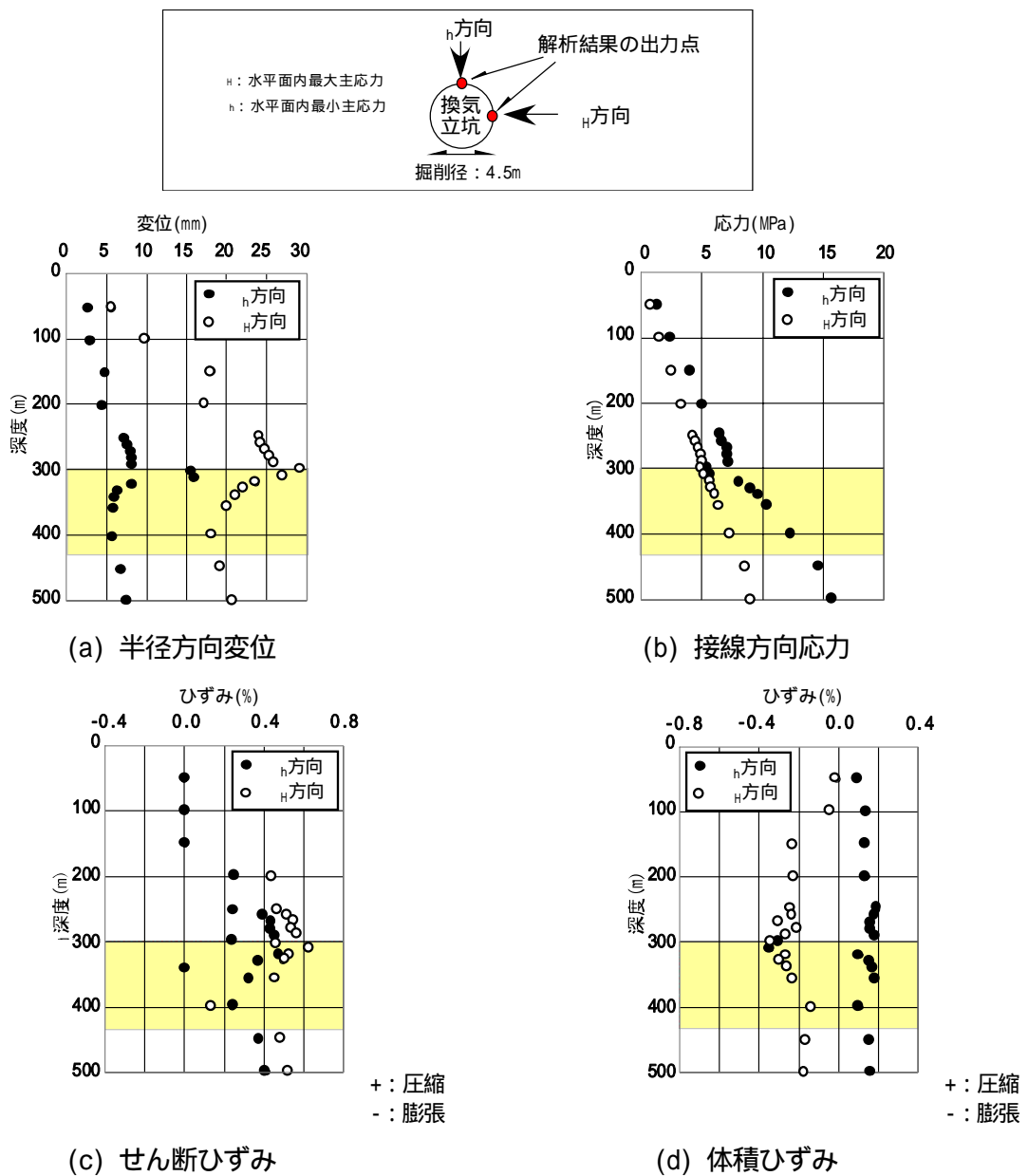


図21 立坑近傍における応力・変形の深度変化  
黄色の部分は図20のゾーン2に相当



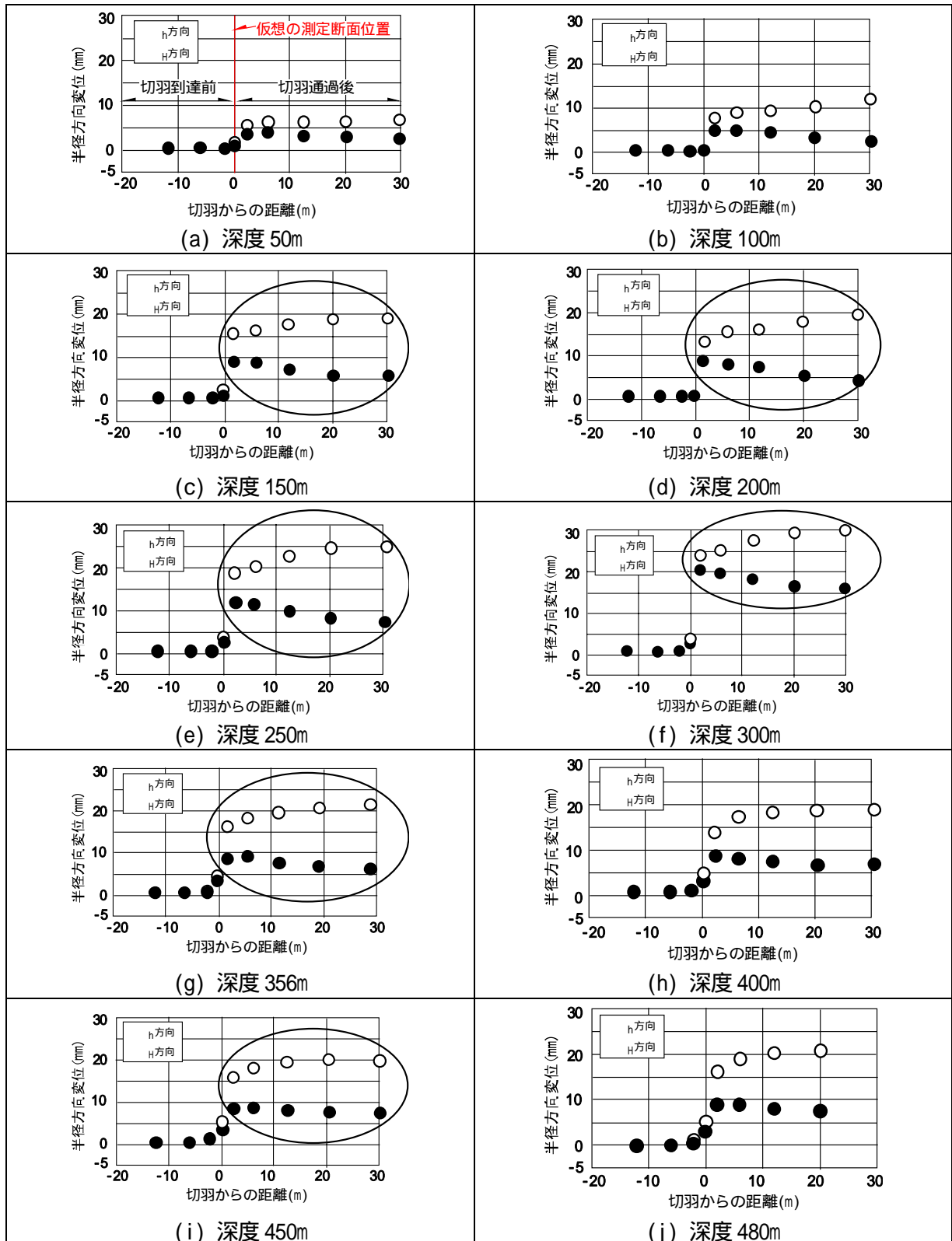


図 22 各深度における立坑壁面近傍の変位と切羽進行との関係

+ : 坑道内側への変位、- : 坑道から岩盤側への変位

坑道切羽面が測定断面深度を通過後 3D (D : 坑道径=4.5m) 以上離れても測定断面位置に変位が生じている部分を で示します。

### 3.1.3 調査技術・調査機器開発

地表からの調査技術開発の継続として、財団法人電力中央研究所との共同研究で、上幌延地区において大曲断層の断層破碎帯を対象に、試錐孔の方向や角度を制御して掘削を行うコントロールボーリング技術の開発を行いました(図 23)。試錐孔の掘削中、稚内層(掘削長約 210、300 および 400m)において、岩盤の透水性を調べるための水理試験を行い、コントロールボーリングにおいても岩盤の透水性を通常の鉛直ボーリングと同様に調査できることを確認しました。平成 18 年度は掘削長約 400m までの掘削を行いました。

岩盤の水理に関する調査機器開発では、坑道近傍の岩盤の透水性を調べるための試験装置の設計と試作を行いました(図 24)。また、坑道内において岩盤の割れ目や断層などの連続性とその透水性を調べるための透水試験装置の設計と製作に着手しました(図 25)。

地下水の地球化学に関する調査機器開発では、坑道から掘削する試錐孔で、地下水の pH、酸化還元電位、温度、圧力などをモニタリングすることが可能な装置を設計・製作し、その作動確認を行いました(図 26)。

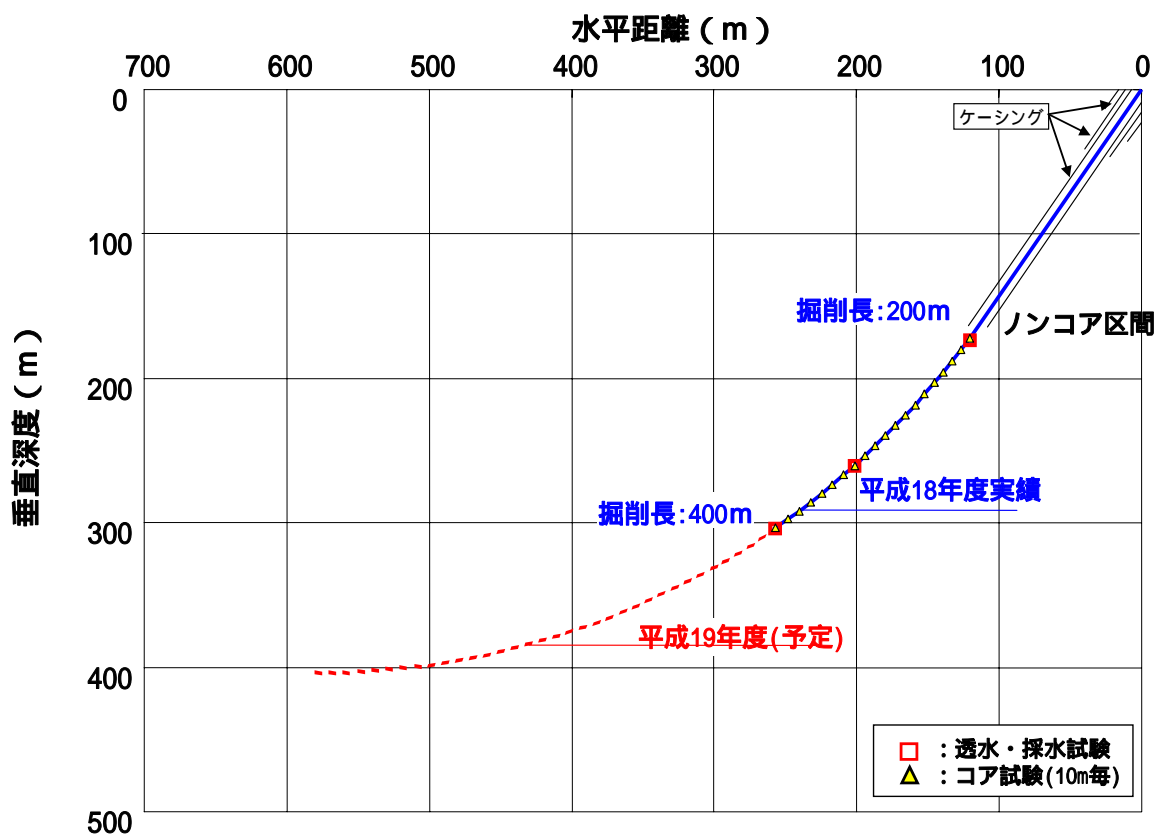


図 23 コントロールボーリングの軌跡



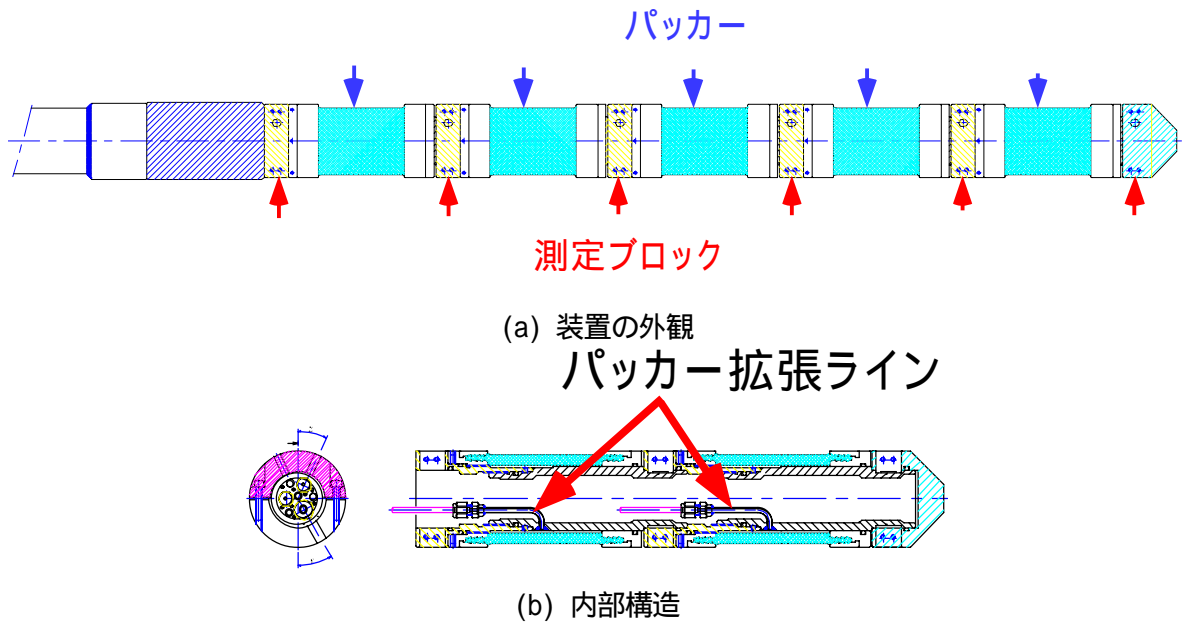


図 24 坑道掘削による緩んだ領域の透水性を調べるための試験装置の設計の例

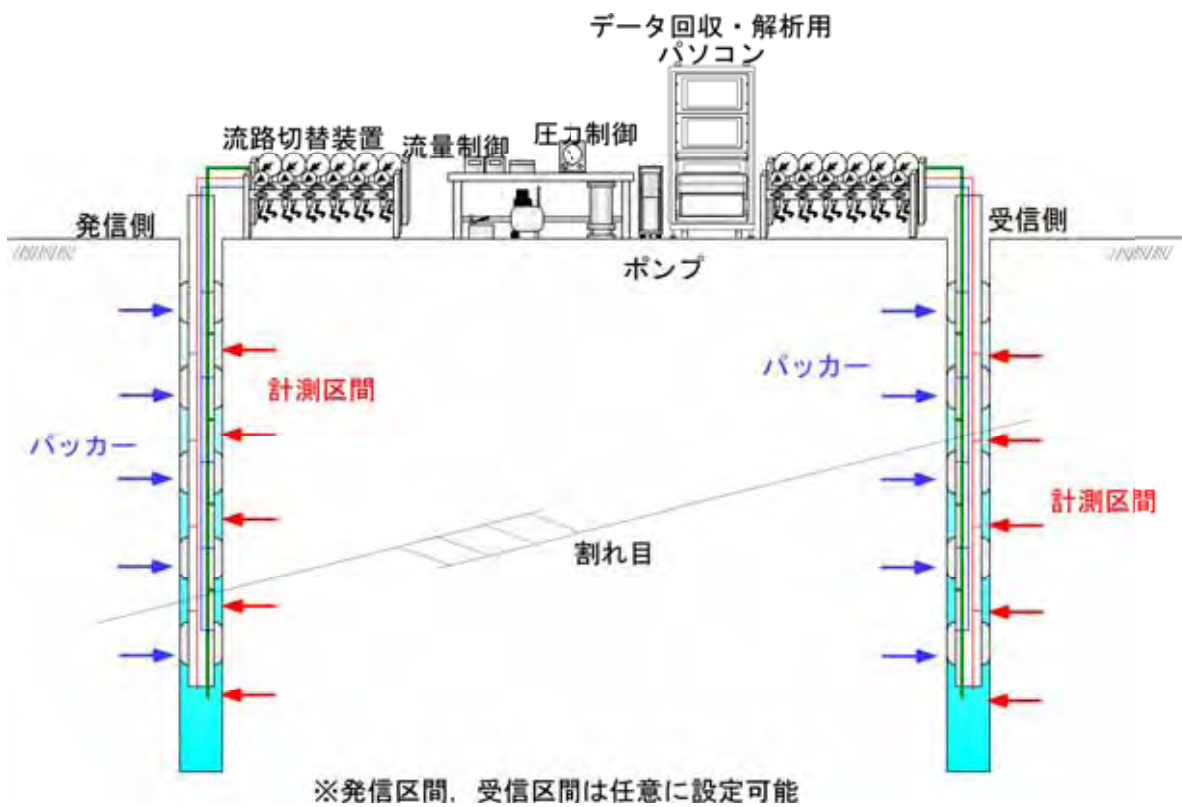


図 25 割れ目や断層などの透水性を調べるための試験装置の概念図

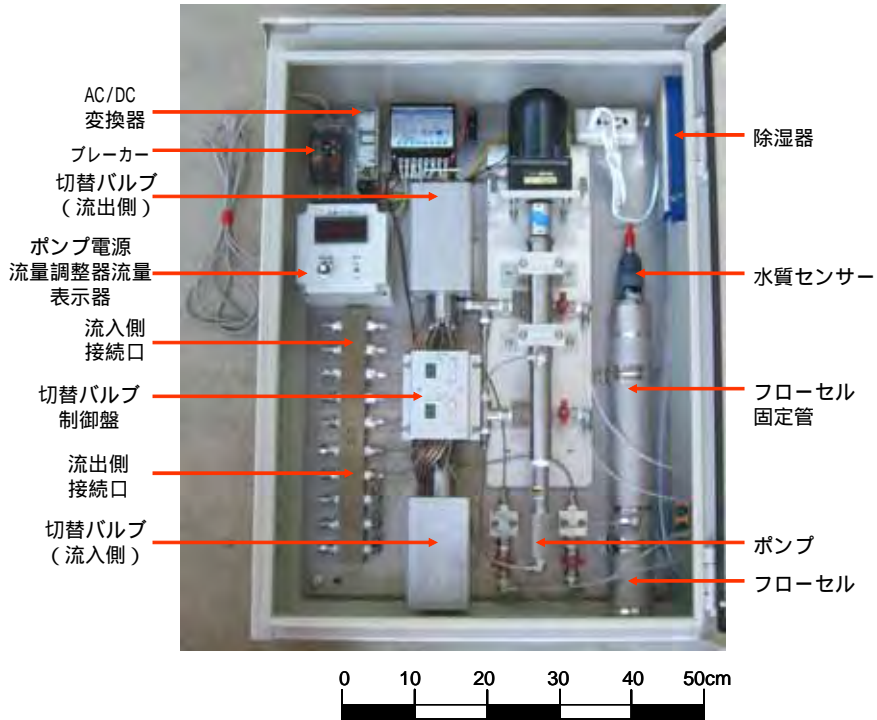


図 26 坑道内用地下水の水質モニタリング装置

岩盤力学に関する調査機器開発では、坑道掘削直後からの岩盤の変形を長期的に安定して計測できる光ファイバー式地中変位計の開発を行いました（図 27）。測定装置は、岩盤の大きな変形を測定するための浅部の測定装置と、小さい変形を測定するための深部の測定装置で構成されます。各測定部に光ファイバーを用いていますが、光ファイバーは電線などに比べ湿度が高い環境でも長期間安定して動作することや大量のデータを長距離伝送できるという特徴があります。この装置の性能を確認するため、岩盤中に試錐孔を掘削して実際に装置を設置し、強制的に岩盤に変位を与える試験を行い、その性能を確認しました。

また、第 1 段階の調査研究の結果から、岩盤中の見掛比抵抗と地下水水質に良好な相関があることがわかったため、地下施設建設に伴う周辺地下水の水質モニタリングを目的として、図 28 に示すような既存の深層試錐孔間を結ぶ測線を配置して電気探査を実施し、地下施設の建設が本格化する前の岩盤中の見掛比抵抗分布の初期値を把握しました（図 29）。得られた岩盤中の比抵抗分布は、平成 17 年度までに実施した地表電磁探査や深層試錐孔における比抵抗検層結果<sup>(3)</sup>と整合していることを確認しました（図 30）。今後、年 1～2 回程度同じ測線上で電気探査を実施し、地下施設建設に伴う岩盤中の比抵抗の変化を観測していく予定です。

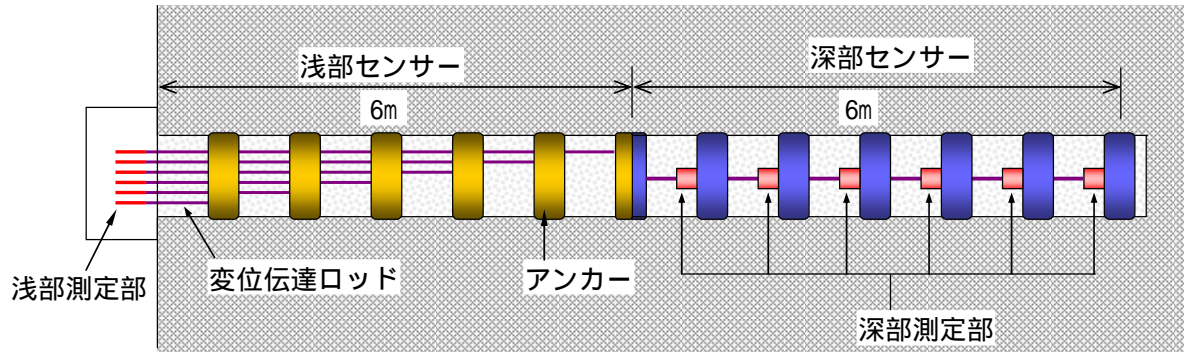


図 27 開発した光ファイバー式地中変位計の模式図

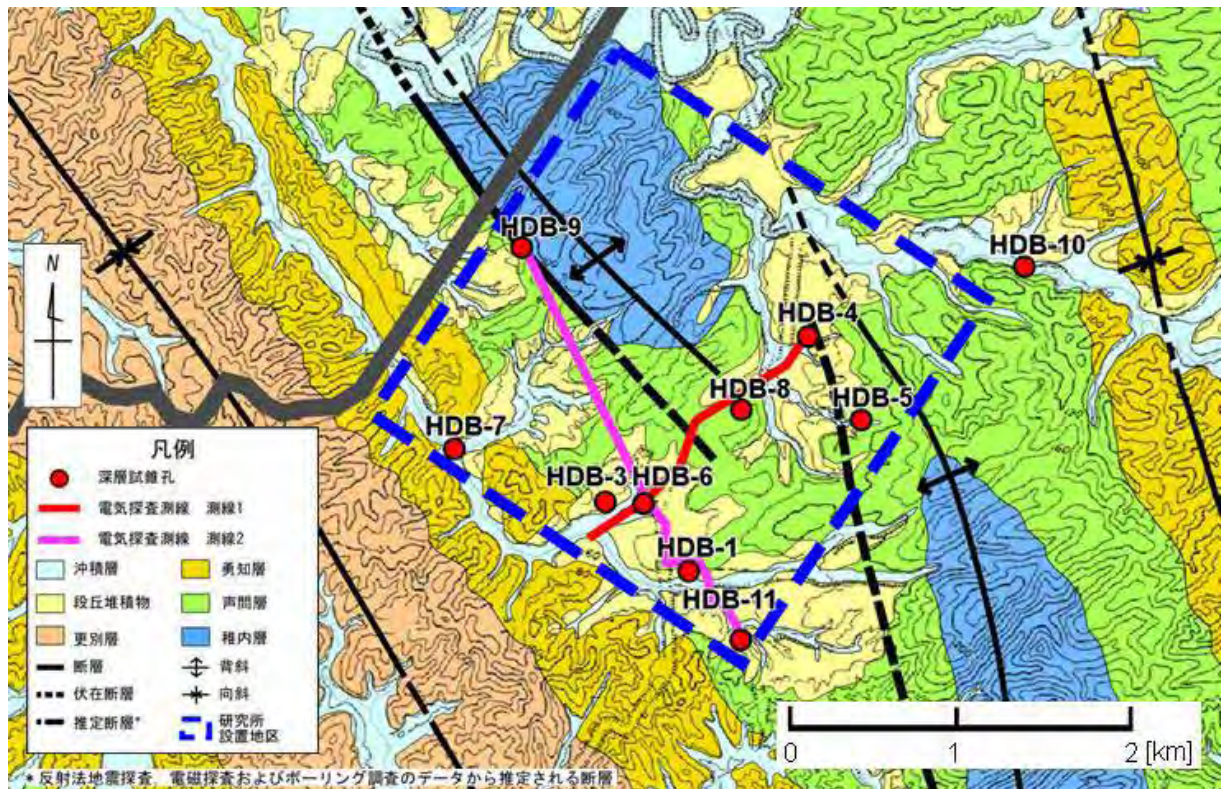
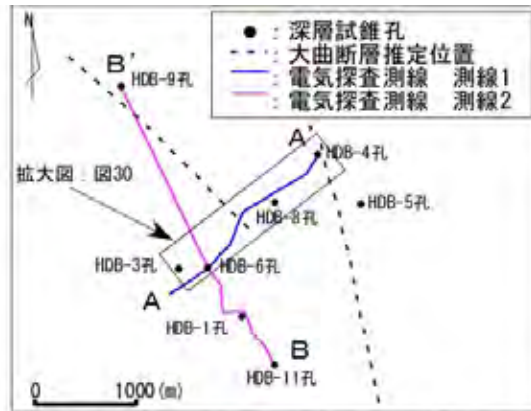
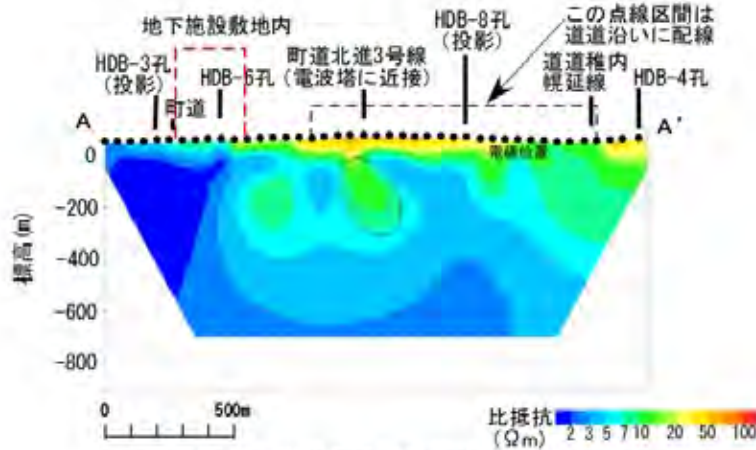


図 28 電気探査の測線配置

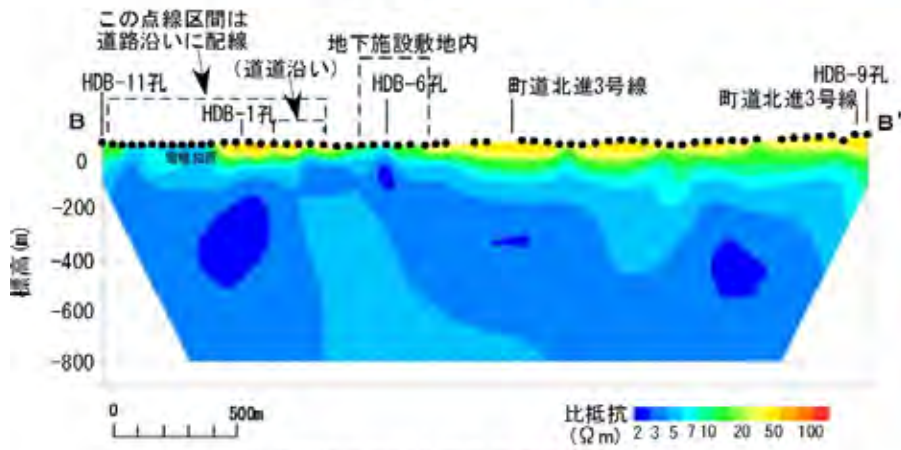




(a) 電気探査測線と深層試錐孔および断層推定位置との関係

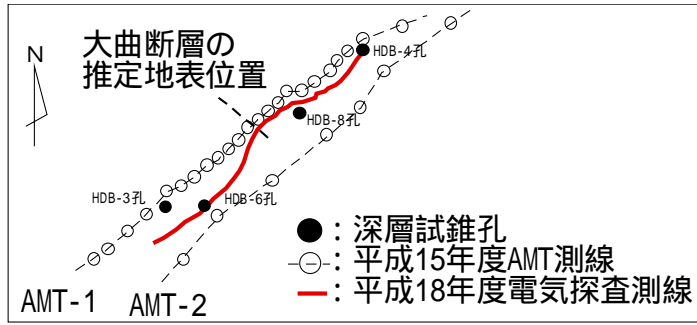


(b) 測線1における見掛比抵抗分布

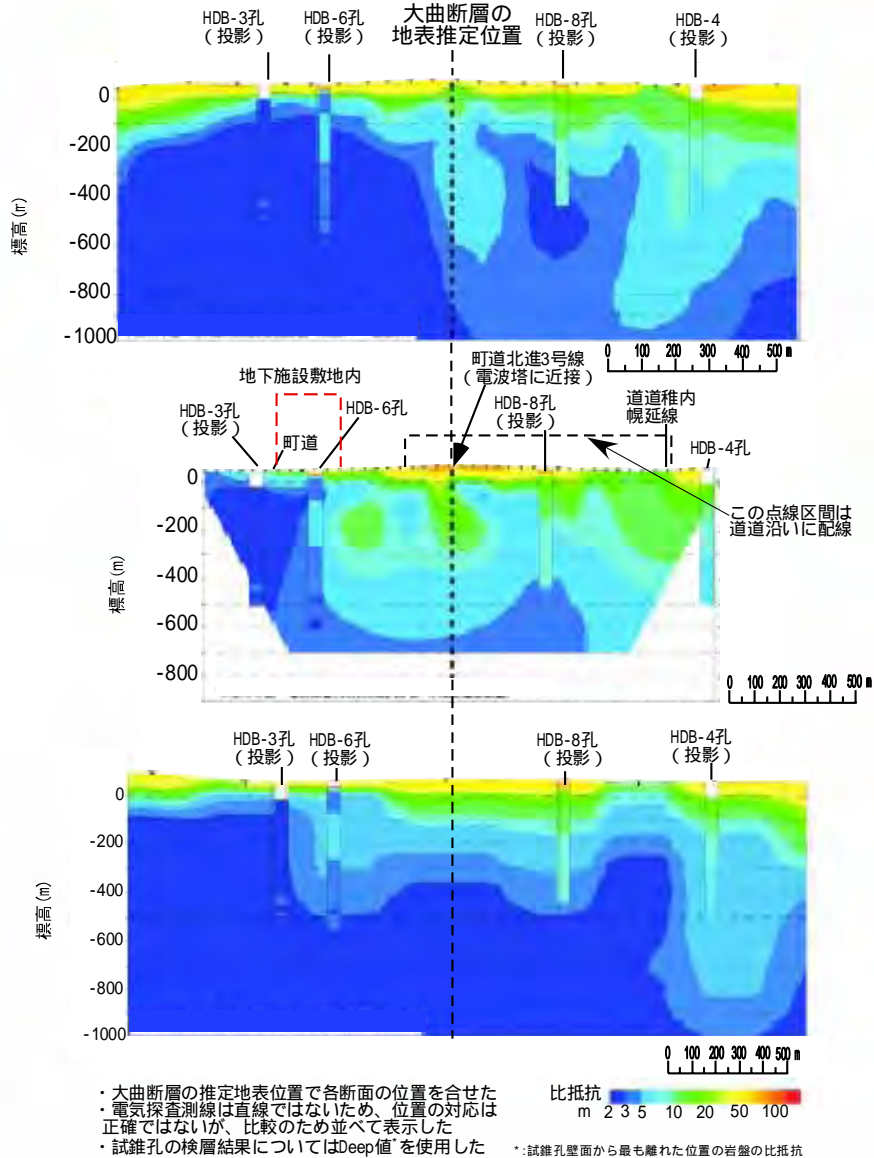


(c) 測線2における見掛比抵抗分布

図 29 電気探査で得られた見掛比抵抗分布 (平成 18 年度)



(a) 調査測線の位置関係（平面図：図29(a)中の長方形領域の拡大図）



(b) 既存の電磁探査および比抵抗検層結果と電気探査結果の比較  
 (上段) 平成15年度 AMT法二次元比抵抗断面 (AMT-1より抜粋)  
 (中段) 平成18年度 電気探査二次元比抵抗断面 (2極法電極配置)  
 (下段) 平成15年度 AMT法二次元比抵抗断面 (AMT-2より抜粋)

図 30 既存の地上電磁探査および深層試錐孔における比抵抗検層結果と電気探査結果との比較

### 3.2 地質環境モニタリング技術開発

#### 3.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発

地下施設の建設が地下水の水圧・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、平成 17 年度までに、HDB-1～3 孔および HDB-6～10 孔に地下水の水圧・水質の長期モニタリング装置（以下、長期モニタリング装置）を設置し、モニタリングを開始しました。また、孔壁保持のために設置したケーシングやケーシング設置時に使用したセメントが地下水水質に及ぼす影響について調べるため、HDB-4 孔では、採水・分析を継続して実施しました。

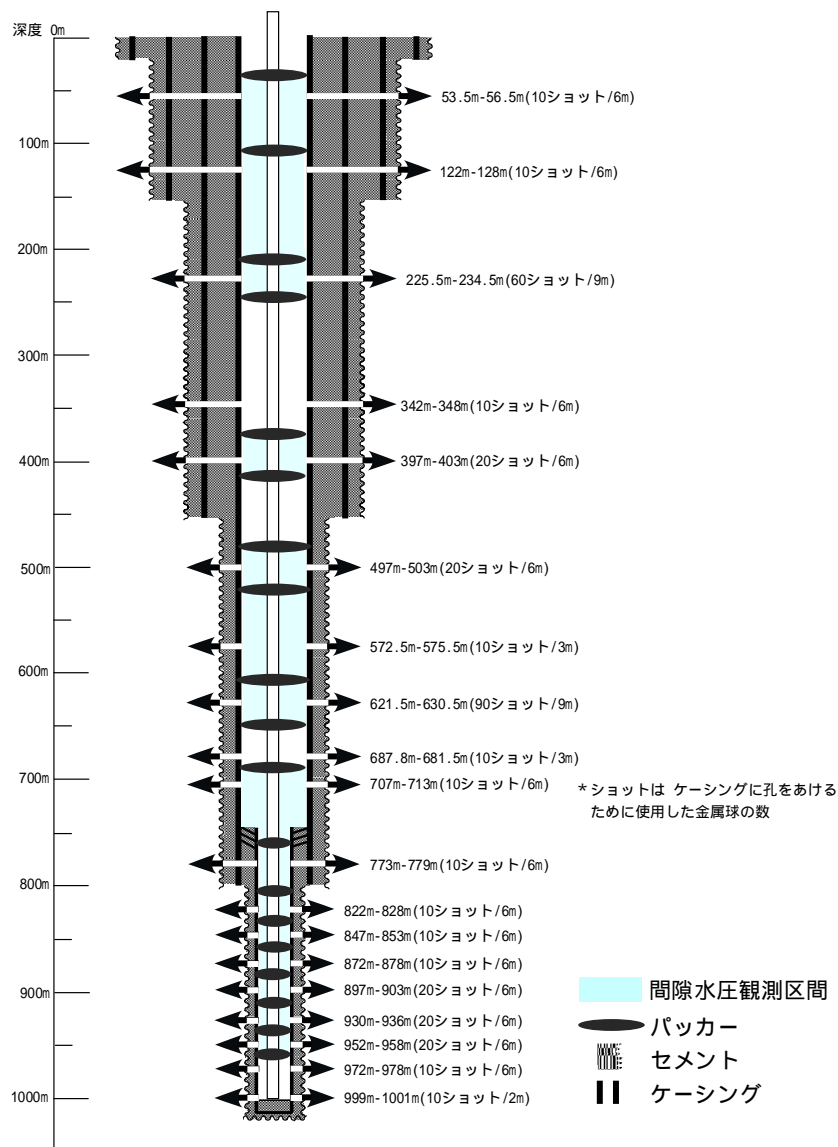


図 31 HDB-11 孔における間隙水圧観測区間

平成 18 年度は、HDB-1～3 孔および HDB-6～10 孔での地下水圧の連続観測および、HDB-4 孔における地下水の採水・分析を行いました。また、HDB-11 孔に長期モニタリング装置を設置し、図 31 に示した深度と区間を対象に水圧の連続観測を開始しました。

図 32 に HDB-9 孔 ( 孔口標高 97.188m ) の地下水圧のモニタリング結果を示します。HDB-9 孔の間隙水圧は、深度 34.02m の測定区間において積雪地域に見られる雪解け時期の水圧上昇と、降雨による水圧の上昇が観察され、その他の計測区間ではほぼ安定しています。また、これまでの各孔のモニタリングデータの結果から、地下施設周辺の水圧の分布は、静水圧から少し被圧した状態であることが確認されました。

長期モニタリングでは 5～15 分の間隔でデータを取得していますが、定期的にデータを回収する必要があります。この回収頻度は、データロガーのメモリー容量とバッテリー寿命を考慮し、月 1 回程度としています。ただし、短期的なインパクト ( 地震、発破作業など ) の水圧変化を計測するには、メモリー容量の増設やデータの書き込み速度の高速化が必要であり、今後これらの事象に対処するため、装置の改良を検討する予定です。また、これまでに設置した地下水の水圧・水質の長期モニタリング装置の観測結果について、観測データに含まれる様々なノイズ ( 地震、大気圧の変動、潮汐変動など )

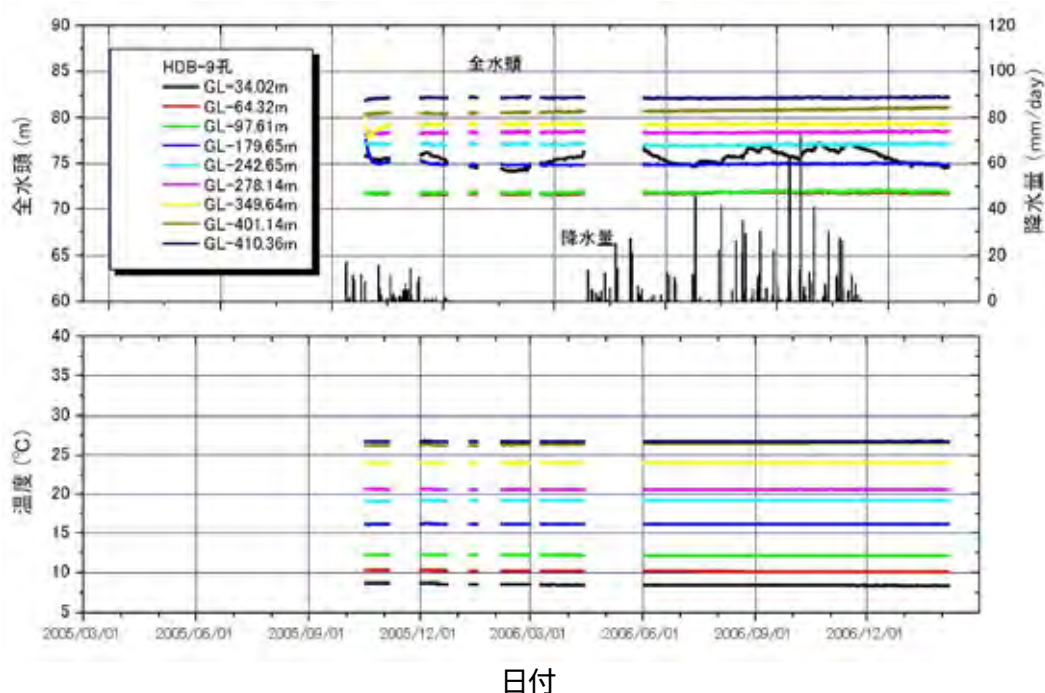


図 32 HDB-9 孔における地下水の間隙水圧の測定例



を除去する解析手法を構築し、観測データの解析を進める計画です。

一方、水質の観測については、HDB-4 孔における地下水の水質観測を引き続き行いました。本孔での水質観測は試錐工掘削時から継続しており、平成 16 年頃からほとんど変化していないことがわかりました（図 33）。平成 18 年度の結果においても水質は安定していることを確認しました。

また、HDB-10 孔に設置したモニタリング装置は、地下水を汲み上げながら、地下で水圧を同時にモニタリングする機能を有していることから、それらの性能を確認するとともに、深度 500～550m の区間において地下水の採水を行いました。この区間は、他の試錐孔と異なりセメントやケーシングを設置していない裸孔状態です。その結果、地下水を揚水しながら試験の対象区間の

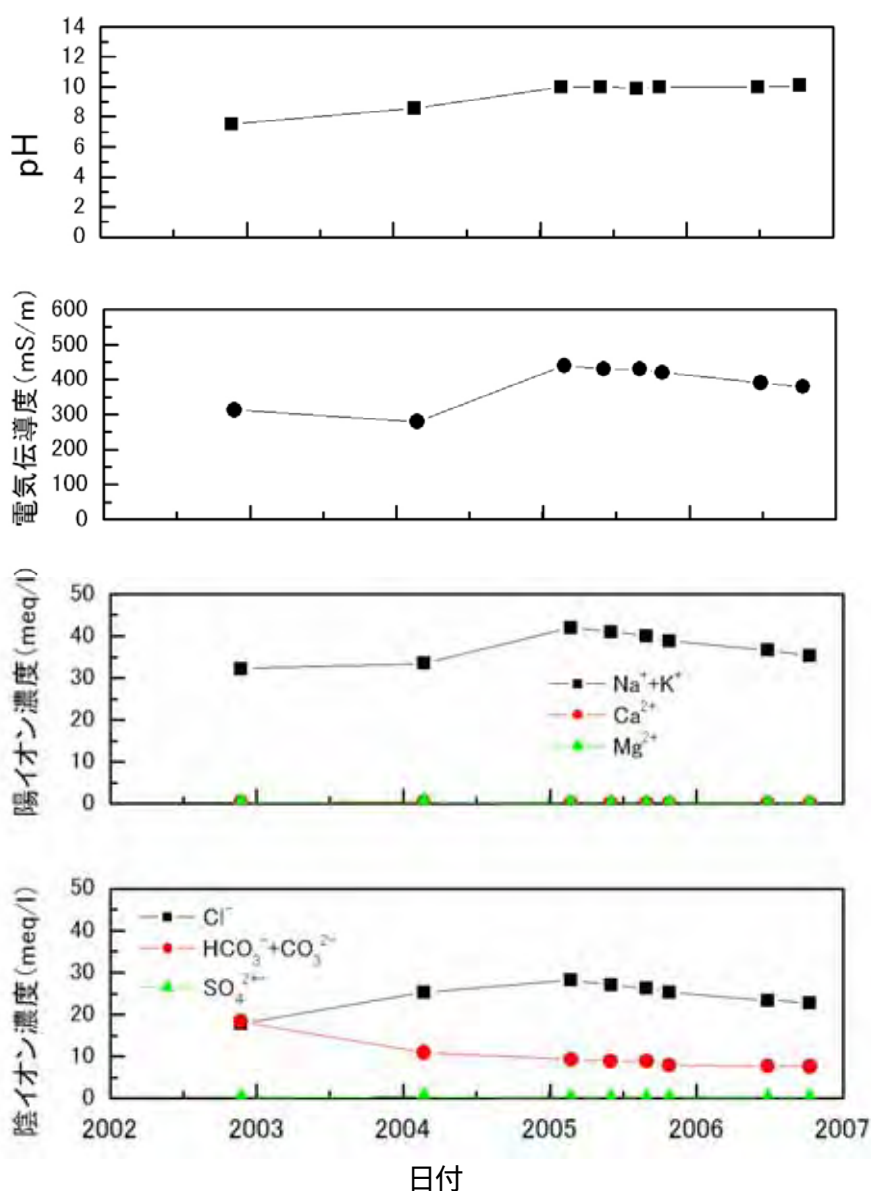


図 33 採水した地下水の水質分析結果の例（HDB-4 孔）



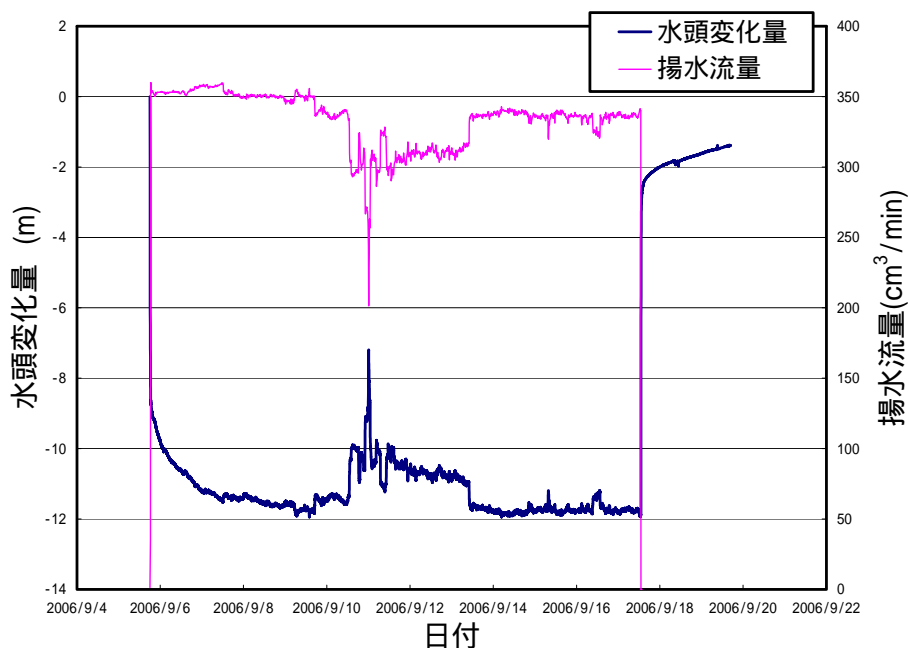


図 34 地下水の揚水量とそれに伴う水圧の経時変化の例 (HDB-10 孔)

水圧変化を計測できることを確認しました(図 34)。今後は、HDB-10 孔においても地下水水質の連続観測を行う計画です。

### 3.2.2 遠隔監視システムの開発

遠隔監視システムの開発は、アクロス<sup>\*10</sup>を応用した地下施設の建設に伴う地質環境の変化(地下水位の変動や岩盤の力学的物性の変化など)を地表から観測する技術の確立を目標としています。アクロスは、精密に制御した弾性波と電磁波の連続信号を用いるシステムで、既存の物理探査システムよりも精度良く地下の構造や物性の変化に関する情報を取得することが期待できます。

平成 17 年度までに、弾性波アクロスと電磁アクロスによって構成される遠隔監視システムを設置しました。平成 18 年度は、この遠隔監視システムを用いて観測を行うとともに、取得したデータの処理・解析の方法について検討しました。

遠隔監視システムにおける観測データの処理・解析の大まかなフローを図 35 に示します。また、遠隔監視システムの観測機器の配置を図 36 に示します。弾性波・電磁アクロスともに、送信点は地下施設付近に設置しています。

\*10: アクロス(ACROSS)は、「精密制御定常信号システム」の英訳、Accurately Control led Rout inely Operated Signal System の頭文字をつないだ略語です。

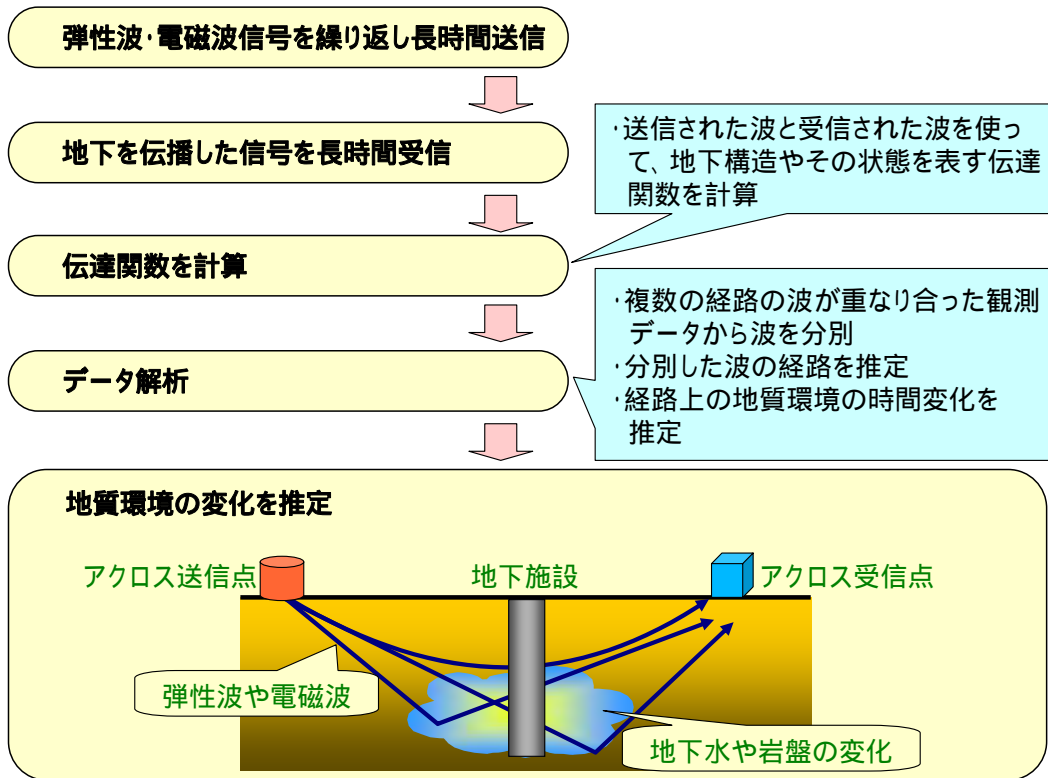


図 35 遠隔監視システムの観測データ処理・解析フロー

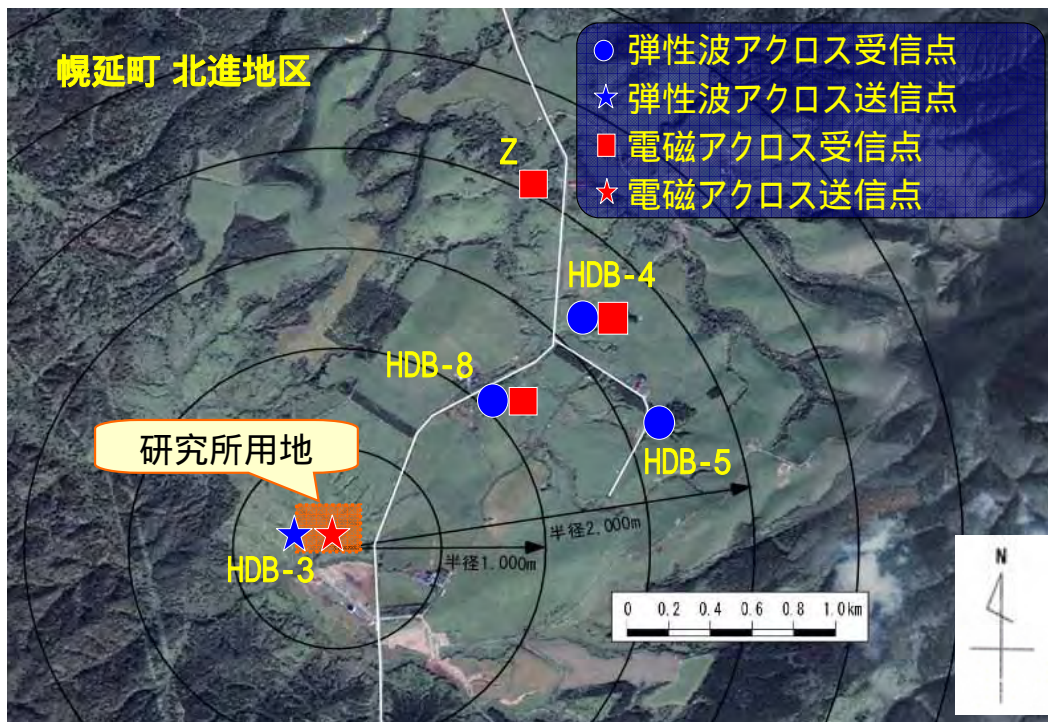


図 36 遠隔監視システムの観測機器配置  
(IKONOS 衛星画像データ<sup>\*11</sup>を利用)

\*11 : IKONOS 衛星画像データの所有権・著作権は日本スペースイメージング(株)にあり、正規登録ユーザーとしての利用許諾を得て、これを使用したものです。

また、弾性波・電磁アクロスそれぞれの受信点を、送信点近傍（送信モニター点）とZおよびHDB-4、5、8孔敷地に設置し、長期の観測を継続しています。

図 37(a)と(b)に弾性波アクロスの観測データとデータ処理の例をそれぞれ示します。図 37(a)のような時系列データとして HDB-5 受信点で観測された弾性波の記録を周波数で分別し、さらに1時間分の記録を足し合せて整理することによって図 37(b)のデータ処理結果（振幅スペクトル<sup>\*12</sup>）を得るこ

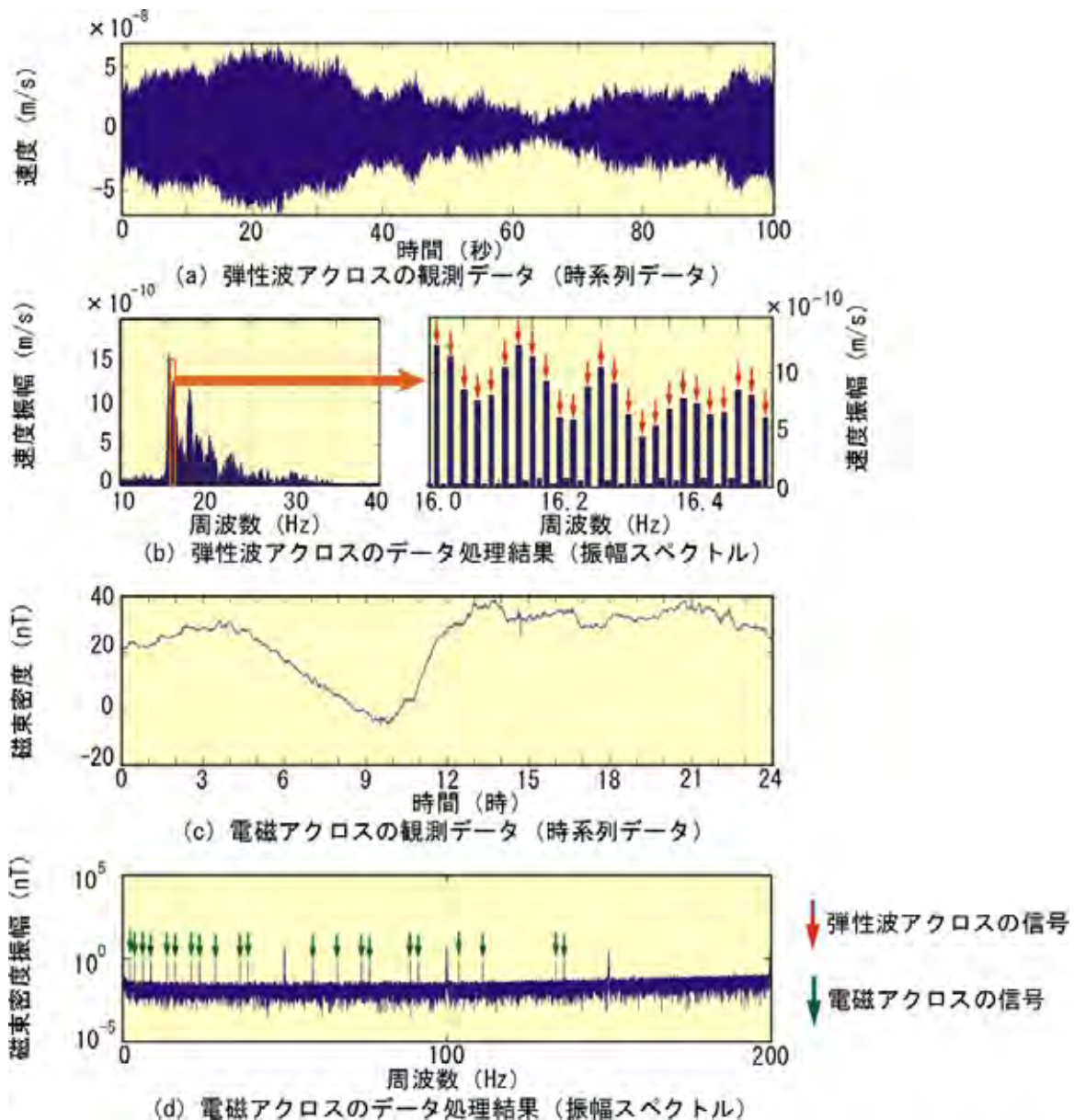


図 37 遠隔監視システムの観測記録の例

(a)および(b)は平成 18 年 8 月 2 日に HDB-5 受信点において観測されたデータ  
(c)および(d)は平成 18 年 8 月 24 日に Z 受信点において観測されたデータ

\*12：グラフの横軸を、時間領域から周波数領域に変換して波の性状を示したものです。

とができました。図 37(b)左図の 15Hz から 30Hz の間でグラフが盛り上がっているように見える部分が弾性波アクロスの信号です。このうち、一部分を拡大したものを図 37(b)右図に示します。この図のように、矢印で示される弾性波アクロスの信号が 0.02Hz おきに観測され、それ以外のものとうまく識別できることがわかります。また、これと同じように電磁アクロスの Z 受信点で取得した 1 日分の時系列データを図 37(c)に、データ処理結果（振幅スペクトル）を図 37(d)に示します。図中に矢印で示す部分が電磁アクロスの信号です。このような処理を行うことによって、アクロスの信号をそれ以外のものとうまく識別することができました。また、送信点から約 1km ないし 2km 離れた他の受信点でも同じようにデータ処理することで信号が識別できることを確認しています。これらの結果から、上記の例のような振幅スペクトルを観測し、その時間変化を見ることで、地質環境の変化を推定できる可能性が示されたと考えられます。

今後は観測を継続しつつ、地下施設建設に伴う地質環境の変化が観測結果にどのような形で現れるかを検討し、必要に応じて変化をよりの確に捉えられるように観測システムや解析手法を調整・改良していきます。

### 3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

平成 18 年度は、第 1 段階で実施した地下施設実施設計<sup>(4)</sup>の妥当性を確認するためのデータ取得と、次の掘削段階における設計・施工方法の最適化を図るための情報化施工<sup>\*13</sup>プログラムの作成を行いました。

具体的には、第 1 段階での地下施設実施設計の考え方を踏まえ、上記の目的に照らして坑道掘削時に取得すべき坑道周辺岩盤や設置した支保工の状態を判断するためのデータの種類や取得方法などを表 1 に示すように取りまとめました。次に、抽出した計測項目を、図 38 に示すように日常的なデータ取得（日常管理計測）および、ある頻度でのデータ取得（ステップ管理計測）に区分し、第 1 段階の設計で使用した地山区分などを考慮したデータ取得の頻度・位置などについて検討しました(図 39)。取得したデータは、図 38 に示した流れで解析評価を行った後、次の掘削・施工の最適化に用いるとともに、事前設計の妥当性の確認にも用います。坑道掘削中に得られたデータが

\*13：坑道を実際に掘削している段階で、岩盤や支保工に作用する圧力やそれらの変形を計測し、当初設計の妥当性を確認するとともに、必要に応じて設計や施工方法を修正しながら施工に反映させる、施工管理方法のことを言います。



地下施設のどの部分の施工にフィードバックされるかを実施設計時の地下施設建設工程に関して具体的に示したものが図 40 です。

本技術開発にかかわる計測は、平成 18 年度の換気立坑および東立坑の掘削工事より本格的に開始しています。今後は、作成した情報化施工プログラムに基づき、データ取得と解析評価を行い、第 1 段階における設計の妥当性検討および次の掘削・施工方法の最適化を図っていく予定です。

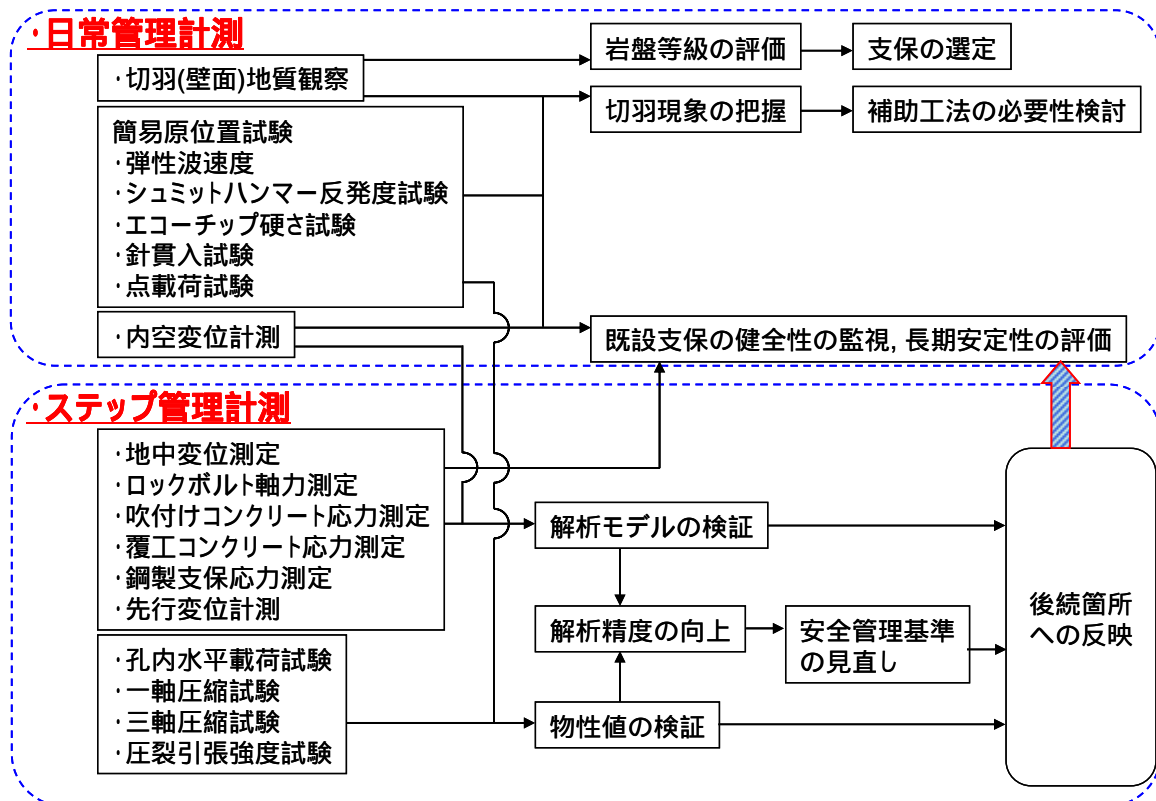
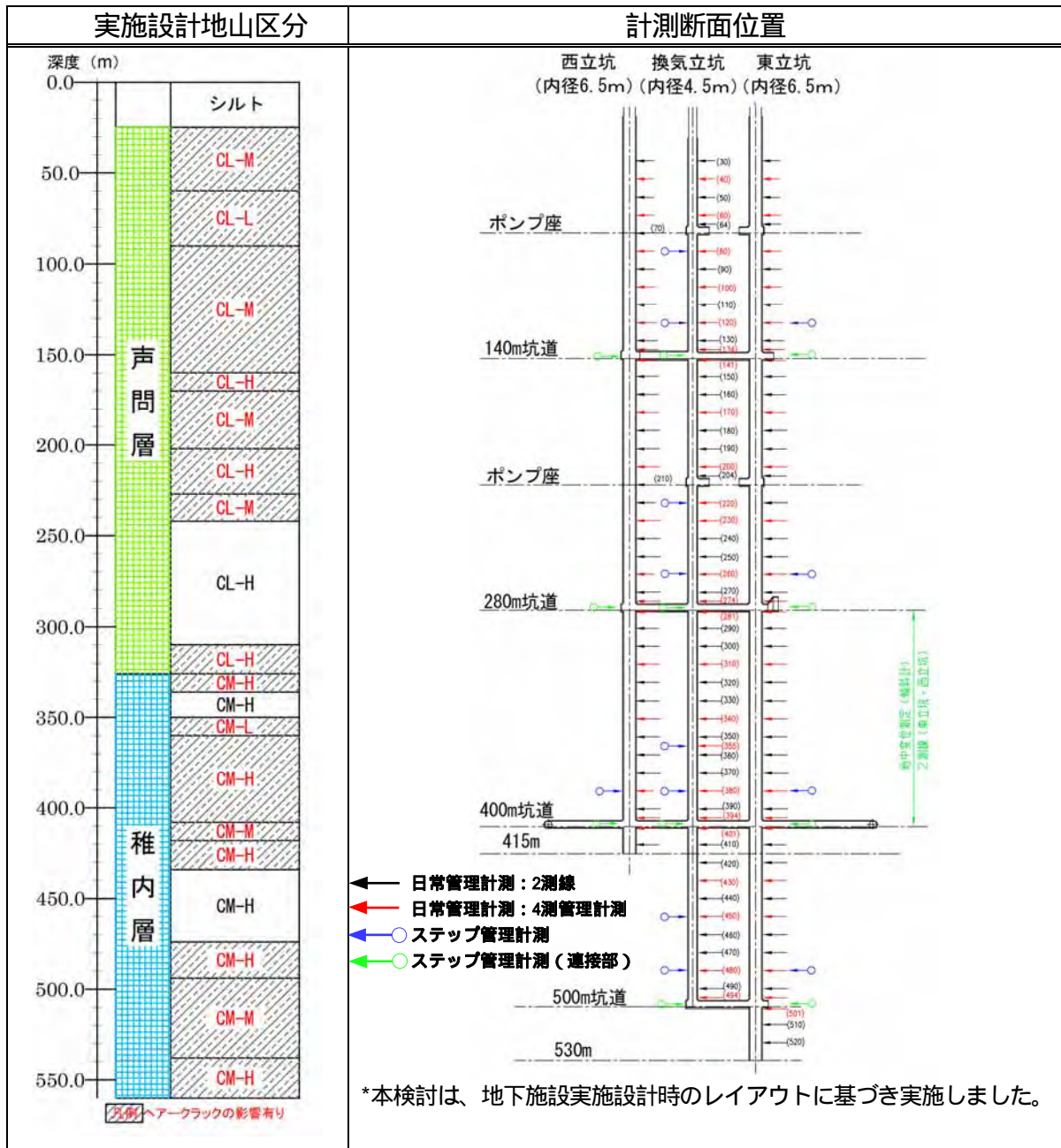


図 38 日常管理計測およびステップ管理計測の主要な項目および取得データの解析評価の流れ

表1 情報化施工プログラム策定時に抽出した計測項目と計測の目的

観察・計測項目	観察・計測方法	成果の活用先(項目)											(凡例) :主に検討に活用する項目 :検討時に利用する項目 :検討時に参考とする項目			
		地下施設の建設			地下施設の設計・施工技術の高度化に関する研究開発					地質研究						
		日常	ステップ													
切羽(壁面)観察調査	目視(地山評価シート・地質記載シート・割れ目記載シート)															観察結果に基づき、地質展開図を作成 支保選定根拠の基礎データとなる 岩種および岩相境界、色調、粒度および粒度区分、 堆積構造、風化、不連続面について、観察シート(地 山評価シート、地質記載シート、割れ目記載シート) に従い、地質データを取得 B計測断面では、切羽面観察を含む 切羽通過後の壁面変位量を計測 覆工コンクリート打設後にレーザー変位計に替替
内空変位計測	コンバーゼン スメジャー レーザー変位計															切羽通過後の壁面変位量を計測 覆工コンクリート打設後にレーザー変位計に替替
地中変位測定	多段式岩盤変 位計(自動)															B計測断面で計測 切羽通過後の岩盤内変位量を計測 坑道閉塞まで計測を継続
ロックボルト軸力測定	ロックボルト軸 力計(ひずみゲ ージ) (自動)															B計測断面で計測 切羽通過後のロックボルト軸力分布を計測 坑道閉塞まで計測を継続
吹付けコンクリート応力測定	コンクリート有 効応力計(自動)															B計測断面で計測 切羽通過後の吹付けコンクリート応力を計測 坑道閉塞まで計測を継続
覆工コンクリート 応力測定	コンクリート有 効応力計(自動)															B計測断面で計測 切羽通過後の覆工コンクリート応力を計測 坑道閉塞まで計測を継続
鋼製支保工応力測定	ひずみゲージ															B計測断面で計測 切羽通過後の鋼製支保工発生応力計測 坑道閉塞まで計測を継続
先行変位測定	自動挿入型傾 斜計															東・西立坑の280~400m区間で計測 切羽通過前後の変位量を計測
簡易弾性波探査 試験	弾性波速度測 定器															壁面観察時に測定
シュミットハンマ ー試験	シュミットロッ クハンマー															壁面観察時に壁面を打撃
エコーチップ硬さ 試験	エコーチップ試 験機															壁面観察時に壁面を打撃
針貫入試験	針貫入試験機 (軟岩ベネトロ 計)															壁面観察時に測定
点荷試験	点荷式圧裂 引張試験機															壁面観察時に供試体採取し地上で試験
孔内水平載荷試 験	等圧分布載荷 方式															B計測断面の鉛直孔にて実施
一軸圧縮試験	岩石一軸圧縮 試験機															B計測断面の鉛直孔採取コアを利用
三軸圧縮試験 (CD)	岩石三軸圧縮 試験機															B計測断面の鉛直孔採取コアを利用
圧裂引張試験	岩石一軸圧縮 試験機															B計測断面の鉛直孔採取コアを利用
ウォーターリング 湧水量測定および 水質分析	熱線式流量計 ポータブル水質 計															区間湧水量の測定 水温、溶存酸素濃度、水素イオン濃度(pH)、酸化還 元電位(Eh)、電気伝導度(EC)を測定
ガス濃度測定 (切羽)	携帯式ガスセン サー (手動)															可燃性ガス、有毒ガス、酸素濃度を切羽毎に計測
断面計測	レーザースカ ン (2m間隔)															試験孔で確認されたボアホールブレイクアウト現象 に類する破壊現象が発生するかを確認する。
切羽(壁面)湧水量 測定および水質 分析、サンプリ ング	メスシリンダー ポータブル水質 計 ポリ容器															特定箇所からの湧水量および切羽全体湧水量を推 定(目視) 水温、溶存酸素濃度、水素イオン濃度(pH)、酸化還 元電位(Eh)、電気伝導度(EC)を測定 物理化学パラメータ測定用と保存用を採水。
岩石試料採取	計測用サンプリ ング (定期)															エコーチップ(供試体を打撃)、土色計を測定 薄片、XRF、XRD、微化石分析、有機物分析、 SEM画像、細孔径分布、透水係数、パラフィン保存 のための定点サンプリング 凝灰岩層(FT年代測定)、断層岩、 大型化石の特異点サンプリング



ボーリングコアでの岩盤等級区分

地層	岩盤等級区分	割れ目	ヘアークラック	岩石コアの特徴
声問層	D	-	-	岩石は軟質で、カッターの刃が2 mm以上刺さる。コアは角礫状～岩片状～粘土状を示す。
		L	-	岩石は、カッターの刃が1 mm程度刺さる硬さを有し、コアは角礫状～岩片状を示す。
	CL	M	有・無	岩石は、カッターの刃が1 mm程度刺さる硬さを有し、コアは概ね10 cm未満の短柱状を主体とする。
		H	有・無	岩石は、カッターの刃が1 mm程度刺さる硬さを有し、コアは概ね10 cm以上の長柱状～棒状を主体とする。
稚内層	CM	L	-	岩石は、カッターの刃で傷が付く程度の硬さを有し、コアは角礫状～岩片状を示す。
		M	有・無	岩石は、カッターの刃で傷が付く程度の硬さを有し、コアは概ね10 cm未満の短柱状を主体とする。
		H	有・無	岩石は、カッターの刃で傷が付く程度の硬さを有し、コアは概ね10 cm以上の長柱状～棒状を主体とする。

\*ヘアークラックの有無の判定は、ボーリングコア10m区間において、ヘアークラックが存在する区間が10%以上を占めるものを「有」とした。割れ目頻度に関する区分は、L(角礫状～岩片状)・M(概ね10cm未満の短柱状)・H(概ね10cm以上の長柱状～棒状)とした。

図 39 日常管理計測およびステップ管理計測の実施予定位置

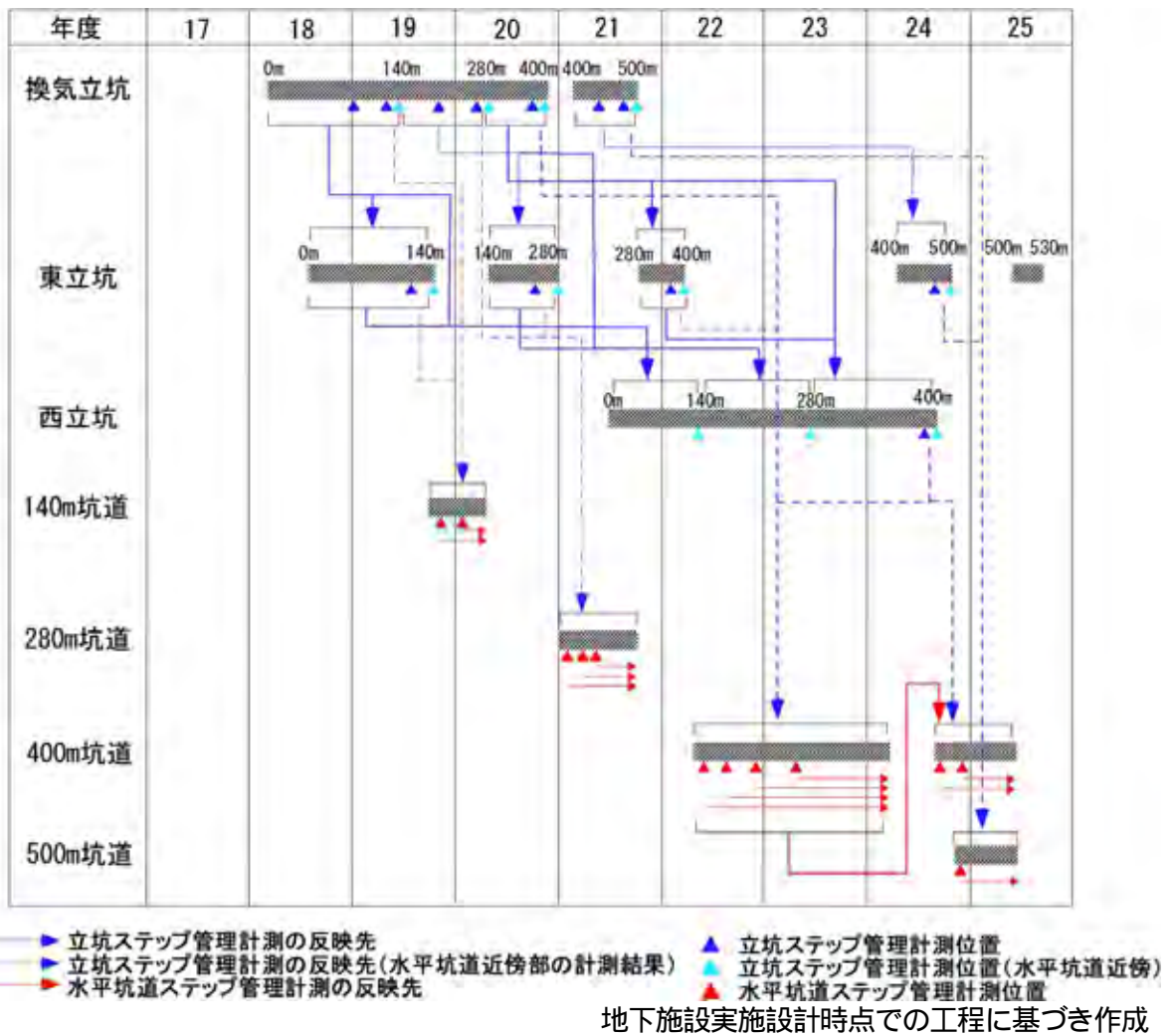


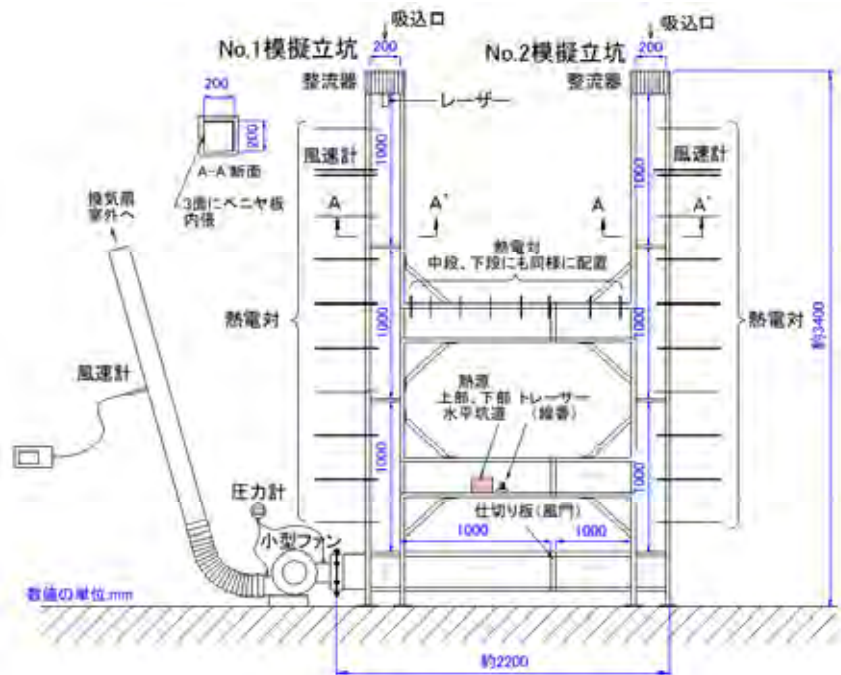
図40 情報化施工プログラムに基づく計測データの解析評価結果の反映先

また、平成17年度に続き、地下施設内における防災対策の信頼性向上を目的として、坑内火災時の通気挙動を把握するため、より現実的な坑道配置に対して室内試験を行いました。図41に室内試験に使用した装置を示します。平成17年度の試験装置に新たに1本の模擬水平坑道部分を付加し、坑内火災を模擬した空気の流れを調べました。

その結果、図42に示す各水平坑道部において熱源を設け風門制御を行わない場合の試験では、通気の逆転現象がすべての試験ケースで確認されました。これは、火災時の風門制御の重要性を示していると考えられます。

今後も、上記のような室内試験により、坑内火災時の複雑な通気挙動に関する基礎的データを収集するとともに、それを解析評価するためのモデル化手法の開発を行っていきます。





(a) 試験装置の概要



(b) 試験装置の概観

図 41 坑内火災を模擬した通気試験装置

実験パターン	初期風速 m/s	火源位置	風門の開閉状況			測定・記録		備考	
			上段 坑道	中段 坑道	下段 坑道	映像	温度 上昇 分布		
⑥ 風門開閉しない時の通気挙動 Case1	0.15 (56Hz)	下段水平坑道 中央	開	開	開	○	○	○	立坑壁面 3面ベニヤ張り
Case2	0.15 (56Hz)	中段水平坑道 中央	開	開	開	○	○	○	立坑壁面 3面ベニヤ張り
Case3	0.15 (56Hz)	上段水平坑道 中央	開	開	開	○	○	○	立坑壁面 3面ベニヤ張り

注：○は実施実験、測定項目。映像と温度上昇は同時記録。風速は必要に応じ測定。  
初期風速欄の( )内Hz数はファン周波数。オリフィスはφ10m×5孔。

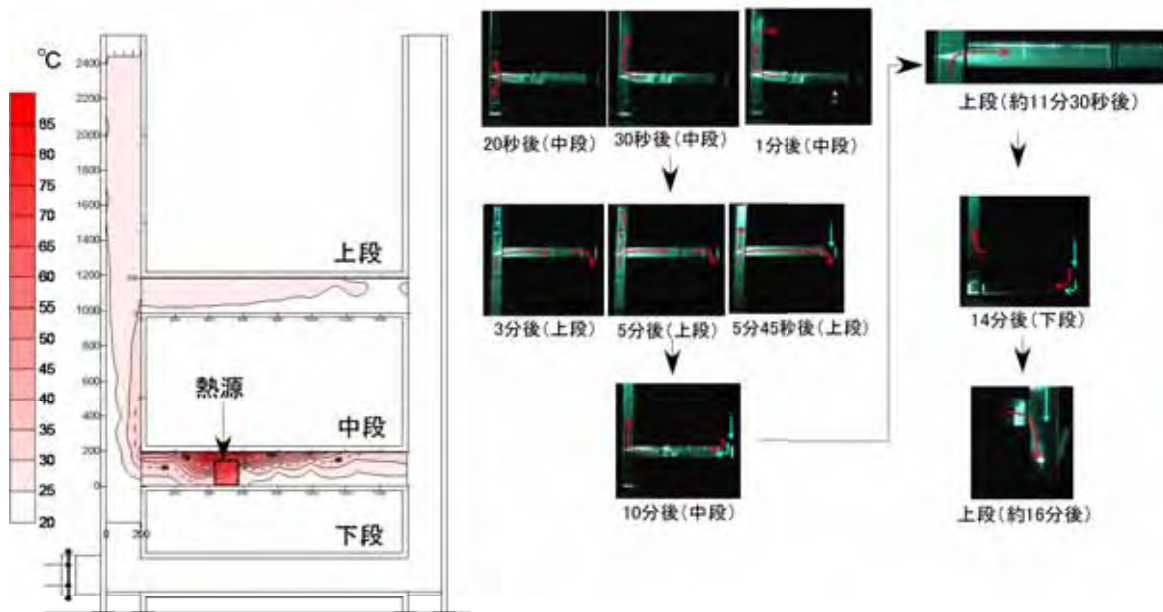
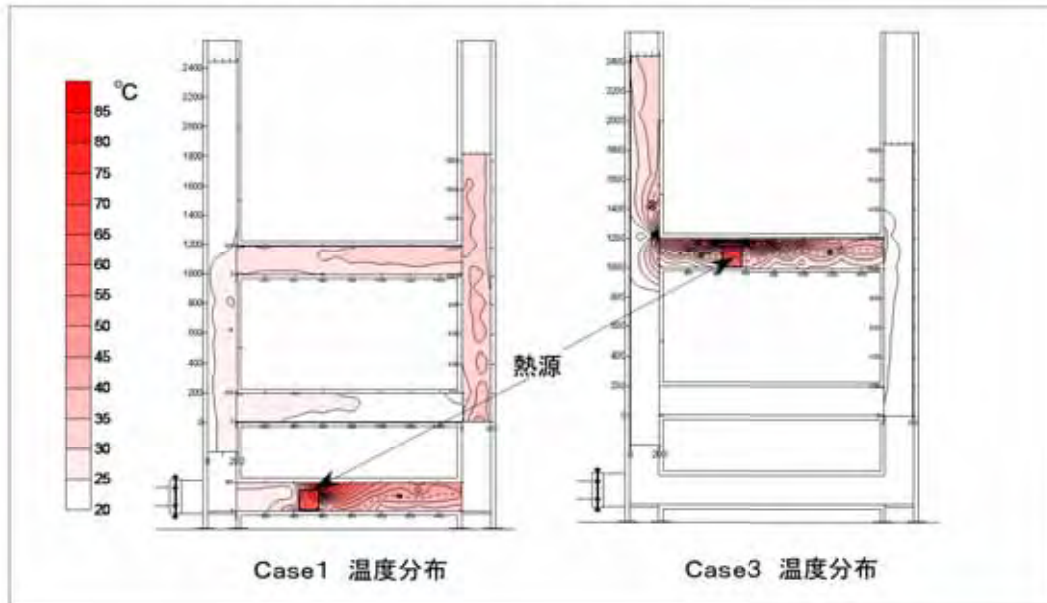


図 42 坑内火災を模擬した通気試験結果の一例

### 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

第2段階では、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の流動などに関する調査・解析手法とを組み合わせ、将来の天然現象に伴う地質環境の変化を予測する手法の検討を行います。その取り組みの初めとして、平成18年度は以下の調査研究を実施しました。

##### (1) 過去から現在に至るまでの地質構造の変遷に関する解析

平成17年度までに、既存文献を用いた調査や空中写真判読、地質調査を実施して、幌延町内における段丘面や地層の分布、形成時期を把握するとともに、試錐調査の結果を統合して、過去数百万年間に於ける幌延地域の古地理の変遷を明らかにしました。

平成18年度は、幌延地域における断層やしゅう曲構造などの地質構造の形成史および地層の堆積や埋没史を明らかにするため、既存の海底地質図や反射法地震探査データを対象とした既存文献を用いた調査を実施しました。また、研究所設置地区とその周辺地区における断層やしゅう曲構造の分布、地層の分布とその堆積時期などに関する調査結果を統合して、幌延地域における過去数百万年間の地質構造の変遷について検討しました。

図43は、それらの調査結果に基づいて作成した過去約250万年間に於ける地質構造の変遷です。これらの図から、利尻島の東側から幌延町の市街地にかけて、第四紀の地層が厚く堆積している場所（堆積盆）のあることがわかります。また、その堆積盆が時間とともに徐々に深くなってきたことや、断層やしゅう曲構造が東から西に向かって形成されてきたことなどがわかります。

今後は、幌延地域の過去数百万年間の古地理と地質構造の変遷を統合して幌延地域の地史を明らかにするとともに、その地史に基づき、幌延地域における将来の海や陸の分布および地質構造の変化を予測する方法について検討していく予定です。

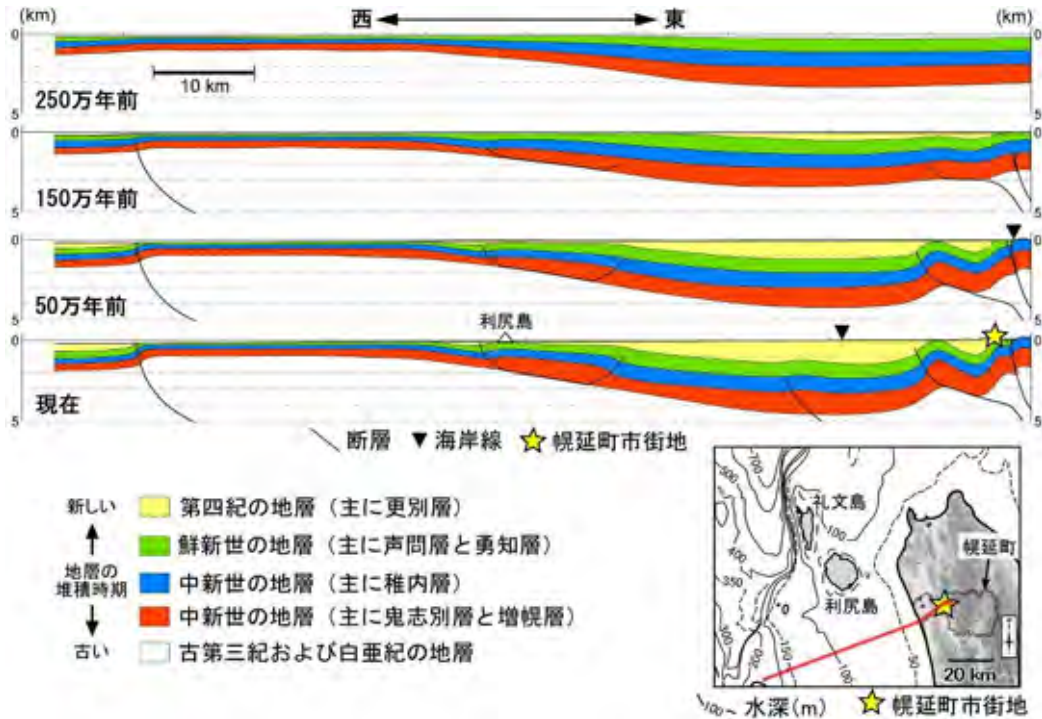


図 43 過去約 250 万年間の地質構造の変遷

幌延地域西部から、利尻・礼文島沖に至る東西方向の地質断面を復元。地質断面の復元は、右下図に示した赤線の箇所を対象に実施した。右下図の地形陰影図は、国土地理院刊行の数値地図(標高)<sup>(6)</sup>を使用した。

## (2) 古気候の調査

気候の変動は、海岸線の位置や降水量の変化などを通じて、地下水の流れ方などに影響を及ぼします。このため、過去の気候変動の検討に基づいて、将来の気候変動を推定する手法の構築を目指した研究を進めています。

気候変動の周期や変動の大きさについては、地層や地形および氷床に残された証拠から推定することができます。例えば、深海底(水深 3,000 ~ 5,000m 程度)の地層中に含まれる底棲有孔虫という微化石の殻の酸素同位体比は、大陸上における氷河の量と海水温により変化し、氷期に大きく間氷期に小さくなることが知られています<sup>(5)</sup>。第四紀以降の汎地球的な気候変動は、主にこの方法によって推定されており、寒冷な時期である氷期と温暖な時期である間氷期とが、一定の周期で繰り返したことが明らかとなっています<sup>(5)</sup>。また、北海道のようにある限定された地域を対象とした場合には、花粉化石や地形の分析結果に基づいて過去の植生や地形を復元し、それにより過去の気候を推定することが行われています。

平成 18 年度は、過去の植生などに関する既存文献の調査とともに、地質調査で採取した花粉化石の分析を実施しました。



図 44 は、既存の文献を用いた調査に基づき作成した最終氷期最寒冷期（氷期のうちで最も寒い時期；約 1.8 万年前）における植生と化石凍結割れ目の分布図です。この図から、幌延を含む北海道北部地域には、現在のサハリン北部に見られるような亜寒帯の針葉樹林が広がっていたことがわかります。

また、稚内やオホーツク沿岸地域および根釧平野には、凍結割れ目が分布していたことがわかりました。この凍結割れ目は、著しく寒冷な気象条件によって地面が収縮することにより形成されます。現在、凍結割れ目が分布する地域は、永久凍土が発達するような著しく寒冷な地域やその周辺地域です。このため、凍結割れ目が存在したということは、当時の気候が著しく寒冷であったことを示します。

花粉分析は、研究所用地に隣接するトナカイ観光牧場敷地内から採取した泥炭層を用いて実施しました（図 45）。放射性炭素法による年代測定の結果、泥炭層は約 1.4 万年前から 1.2 万年前にかけて堆積したことがわかりました。また、泥炭層の下部から中部にかけて、グイマツの花粉が非常に多く含まれ



図 44 最終氷期の最寒冷期（約 1.8 万年前）における植生の分布と化石凍結割れ目の分布（既存文献を用いた調査に基づき作成）<sup>(7) (8)</sup>

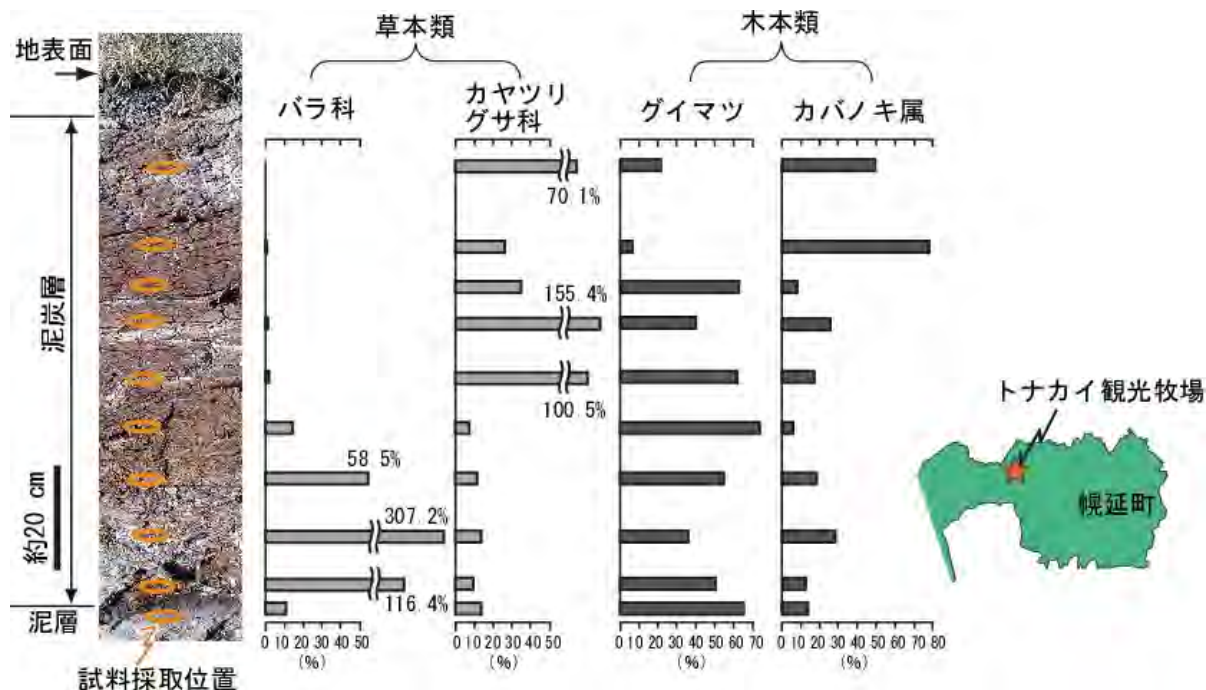


図 45 トナカイ観光牧場付近の泥炭層に含まれる花粉  
 横軸：花粉の産出率（木本類の花粉総数に対する各植物の花粉数の割合）

ていることがわかりました。このことは、泥炭層が堆積した当時、ほぼグイマツだけからなる植生が分布していたことを示唆しています。現在、そのような植生が分布する地域は、サハリンよりもさらに北の地域です。このため、泥炭層の堆積した当時の気候は、著しく寒冷であったと推定されます。

今後は、得られた植生分布などから過去の気温や降水量、永久凍土の厚さなどを推定するとともに、汎地球的な気候の変動と合わせて、幌延地における過去の気候条件を検討する予定です。

### (3) 現在の地殻変動の調査

幌延町を含む北海道北部地域における地殻変動の特徴を把握するため、平成 15 年度までに、幌延町内の HDB-1 孔敷地内に GPS 観測装置を設置して連続観測を行っています。

平成 18 年度は、連続観測を継続するとともに、過去 4 年間に取得したデータを使って、観測期間における幌延地域の変位（地殻変動）の傾向を調べました。この解析には、HDB-1 孔敷地内に設置した GPS 観測装置（HDB-1 孔観測点）のデータ、国土地理院により日本全国に設置されている GPS 連続観測システム（GEONET 観測点）の観測データのほか、IGS (International GPS Service : 国際 GPS 事業) のグローバル観測網（図 46）の観測データを用いま

した。また、GPS 観測データの解析ソフトウェアは、アメリカのマサチューセッツ工科大学(MIT)とスクリプス海洋研究所で開発された GAMIT(GPS software at MIT)を使用しました。

図47は、北海道において過去4年間に発生した比較的規模の大きな地震(平成15年(2003年)十勝沖地震、平成16年(2004年)留萌支庁南部で発生した地震)の前後で、HDB-1孔観測点と稚内および遠別の GEONET 観測点との基線長(HDB-1孔観測点との距離)がどれくらい変化したかを調べた結果です。この図より、平成15年(2003年)十勝沖地震(図46)の発生前後においてHDB-1孔観測点と稚内および遠別の GEONET 観測点との距離が変化したことがわかります。しかし、平成16年(2004年)に留萌支庁南部で発生した地震(図46)の際にはほとんど変化が認められませんでした。平成15年(2003年)十勝沖地震は、マグニチュードが8.0、幌延町での震度が1、幌延町と震央までの距離が約400kmでしたが、留萌支庁南部で発生した地震は、マグニチュードが6.1、幌延町の震度が2、幌延町と震央までの距離が約100kmでした。このことから、震源位置やマグニチュードおよび幌延町から震源までの距離の違いによって、地震の発生に伴った地殻変動の特徴が異なることがわかり

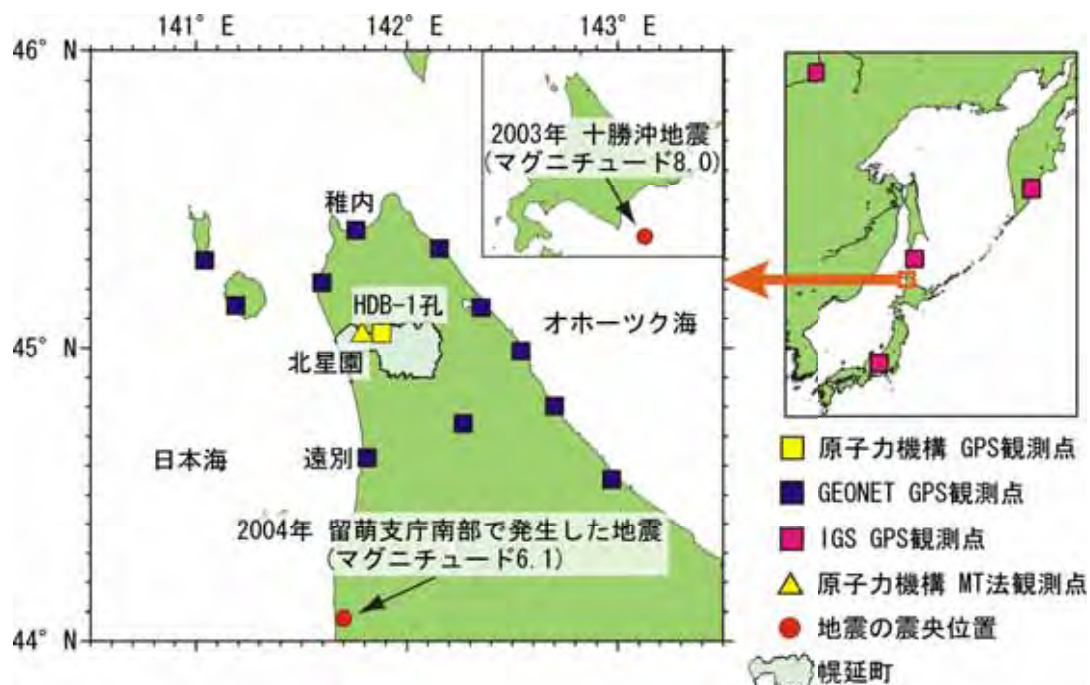


図46 GPS、電磁観測点の位置および地震の震央<sup>\*14</sup>位置  
(Generic Mapping Tools (GMT)<sup>(9)</sup>により作図)

\*14：震央は通常地下にある震源の位置を地表面に投影した位置のことです。



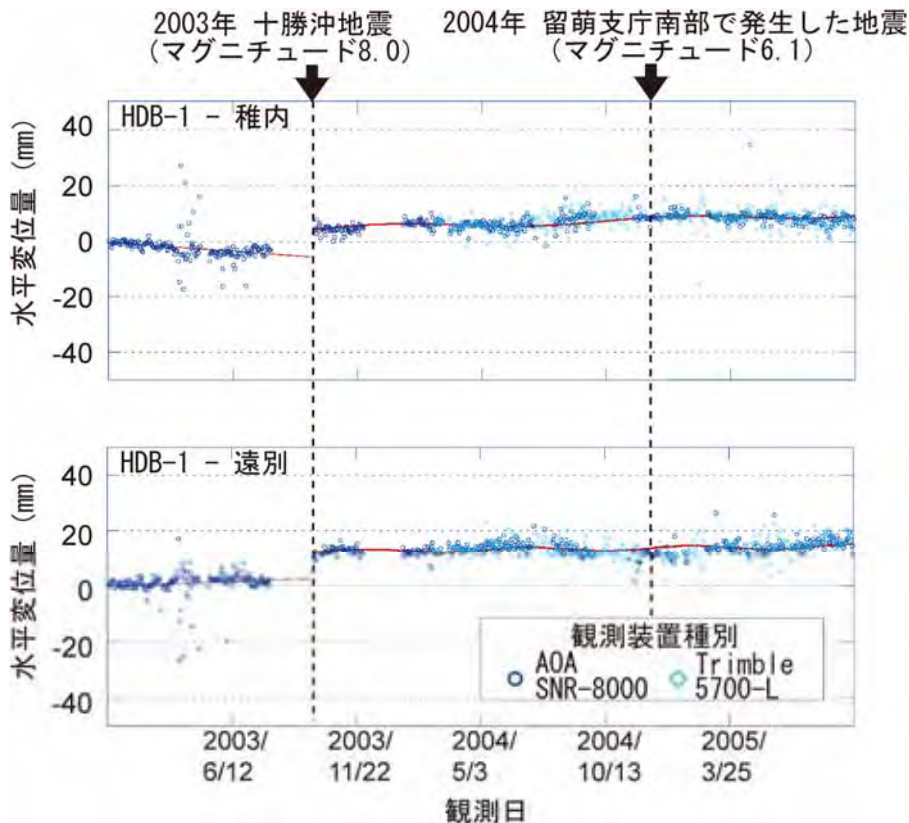


図 47 HDB-1 孔観測点と各 GEONET 観測点との基線長の変化

平成16年（2004年）2月にHDB-1孔観測点のGPS観測装置をAllen Osborne Associates社製SNR-8000 Benchmark with ACTからTrimble社製5700に変更しています。

ました。

今後とも GPS 観測機器による観測を継続して地殻変動量の解析を行うとともに、得られた結果を地震活動や地下構造と比較することによって、研究所用地周辺に分布する断層やしゅう曲の活動性を把握する手法の検討を進めていく予定です。

#### (4) 地殻変動にともなう地質環境特性変化の調査

地震が発生する場の比抵抗特性や地震発生時の比抵抗変化を把握するため、電磁探査機器を平成14年11月にHDB-1孔に隣接する地点に設置してMT法<sup>\*15</sup>による連続観測を開始しました。平成15年9月からは研究所用地の造成に伴い発生する電磁気的なノイズを避けるため、電磁探査機器を幌延町北西部の北星園に移設して連続観測を継続しています（図46）。

平成18年度は、引き続き連続観測を実施するとともに、地震の発生と、こ

\*15：MT（Magnetotelluric）法は、時間によって変動する地磁気とそれによって誘導される地電流を測定し、地下の比抵抗分布を求める電磁探査法です。



れまでに得られた観測データから計算した地下の比抵抗変化との関連性について検討を行いました。

図 48 は、北海道において近年発生した比較的規模の大きな地震（平成 15 年（2003 年）十勝沖地震、平成 16 年（2004 年）留萌支庁南部で発生した地震）の前後で、北星園観測点の電磁観測データをもとに、周波数ごとの見掛比抵抗<sup>\*16</sup>がどれくらい変化したかを調べた結果です。見掛比抵抗はその測定に使用した周波数が低いほど、より地下深部までの情報を含んでいます。北星園観測点の場合には、周波数 3Hz、0.0176Hz および 0.00293Hz は、それぞれ深度 400m、4km および 15km 程度までの比抵抗の分布を反映しています。このため、複数の周波数の見掛比抵抗の変動から、様々な深度における地下の比抵抗の変化を推定することができます。ただし、一般に見掛比抵抗を計算する際に使用するセンサーの向きによって、計算値に反映される領域が異なり、計算結果も少し異なります。

この図では、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震や平成 16 年（2004 年）の留萌支庁南部で発生した地震（図 48）の前後において、数日間以上継続するような比抵抗の明瞭な変化が認められません。地下の比抵抗は、岩石の違いや地下水の水質によって変わることが知られています。GPS による観測では、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震の発生に伴った地殻変動が捉えられましたが（3.4.1.(3)）、同時期の電磁観測の結果からは、地下水の水質には大きな変化がなかったと考えられます。

今後も、これまでに取得したデータに基づいて、地震の発生と地下の比抵抗変化との関連性について検討していく予定です。

### 3.4.2 地震研究

#### (1) 現在の地震活動

幌延町を含む北海道北部地域で発生する地震の震源位置を精密に推定することによって、当該地域における地震・断層活動域を把握するため、平成 14 年度から平成 15 年度にかけて幌延町内に合計 4 箇所地震観測点を設置し、連続観測を実施しています（図 49）。

---

\*16：実際には不均質な地下の環境を均質と仮定して、形式的に算出した比抵抗のことです。

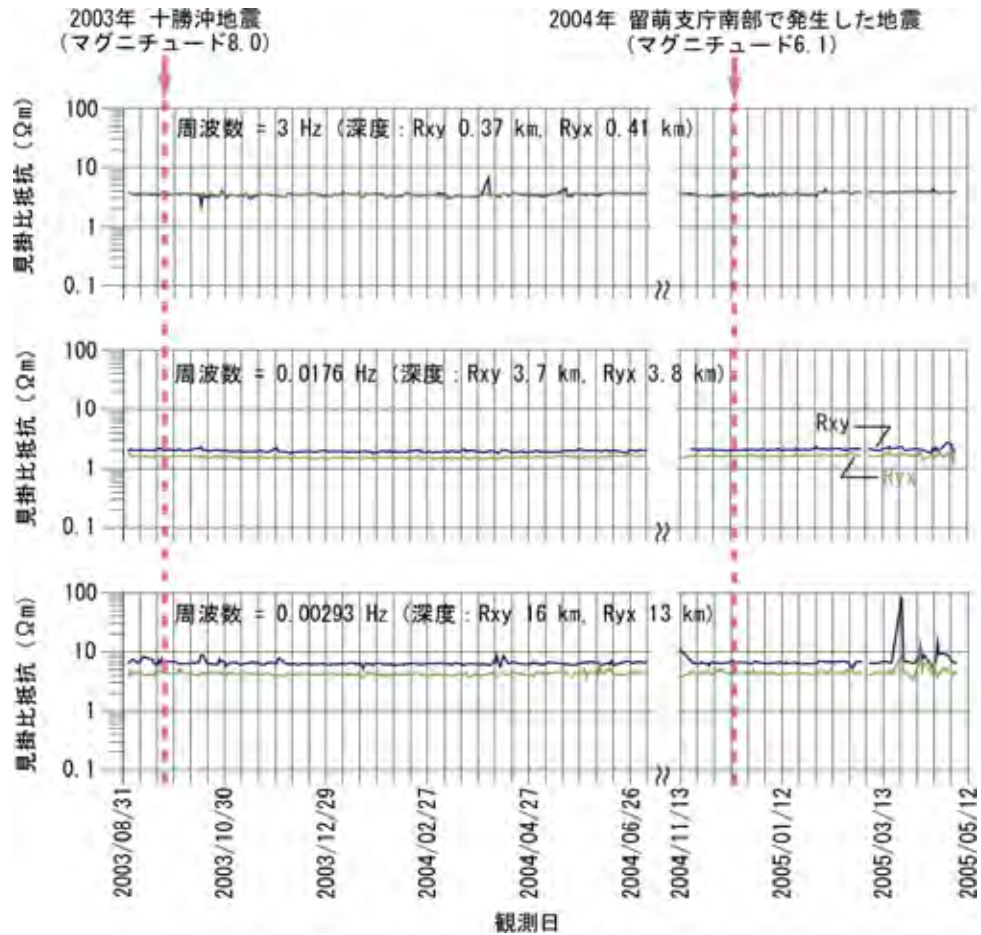


図 48 北星園観測点で観測された比抵抗の変化  
 (Rxy と Ryx は測定に使用したセンサーの向きの違いを表しています)



図 49 幌延町周辺に設置されている地震計の位置

平成 18 年度は、地震観測点で記録された平成 14 年 12 月 20 日以降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を推定しました。なお、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、独立行政法人防災科学技術研究所が取得した観測データも利用し、震源位置を高精度で推定することができるマルチプレット・クラスタリング解析<sup>(10)</sup>を使って解析を行いました。

図 50 に、平成 14 年 12 月 20 日から平成 18 年 9 月 30 日にかけて北海道北部地域で発生した地震の震源分布を示します。この図において、赤丸は原子力機構の観測点で観測されたデータを使って震源位置を計算し直した地震を表しており、ほとんどの地震はマグニチュードが 3 よりも小さい地震でした。

原子力機構の観測点で観測されたデータを使って解析した結果、幌延地域周辺における地震の震源はおおよそ北北東 - 南南西方向に延びた分布をしており、特に幌延町東部ではその傾向が顕著にみられることや、平成 14 年 12 月の観測開始以来、同じような場所で地震が発生していることがわかりました。また、それらの地域には活断層や活しゅう曲の存在が知られており<sup>(11)</sup>、

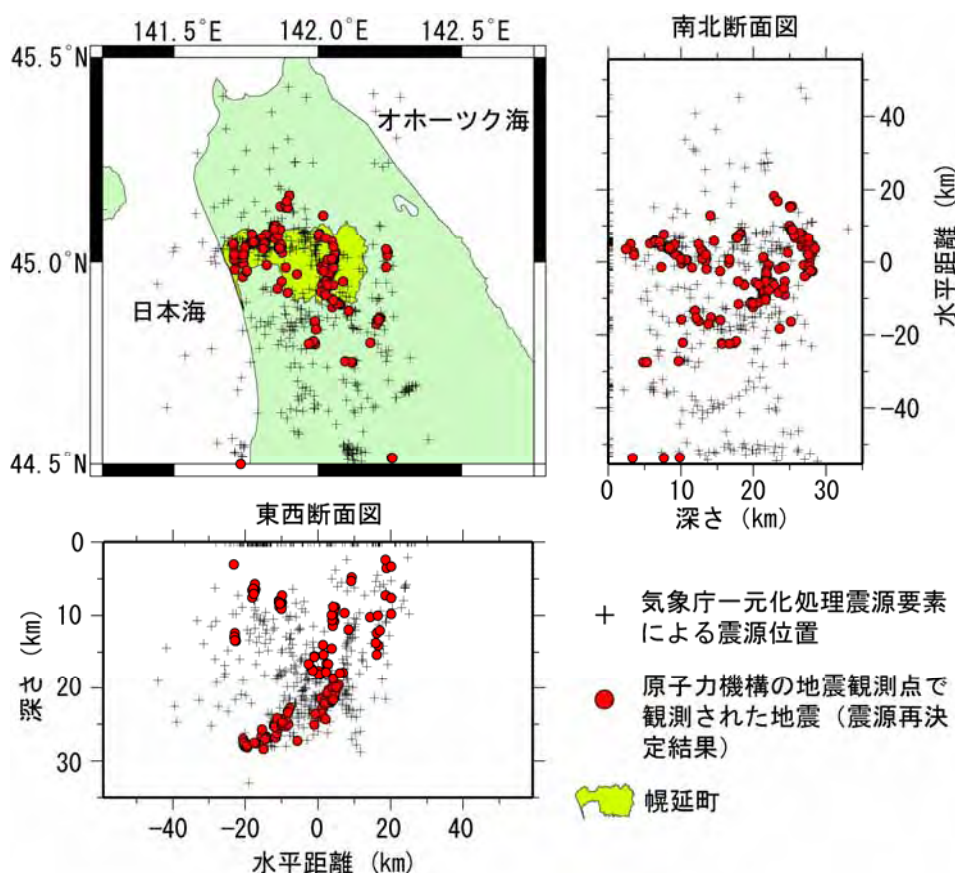


図 50 北海道北部地域における地震の震源分布  
断面図における深さと水平距離の比は 1:2、GMT<sup>(9)</sup>により作図

これらの地震活動との関連が推測されます。一方で、気象庁により推定されている震源分布はこの結果に比べて空間的にばらついており、今回の解析では既存の震源分布と比べて高い位置精度の震源分布を得ることができました。なお、地震計を使って観測する地震波は、規模(マグニチュード)が小さく、遠く離れた場所で発生した地震であるほど捉えることが難しくなります。そのため、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は、幌延地域周辺に分布しています。

今後は、これまでに蓄積した地震観測データを使って幌延地域周辺の地下構造を推定し、地下構造と地震活動との関連性を検討していく予定です。

## (2) 過去の地震活動

原子力機構では、過去に発生した地震の地域性や発生周期の検討に基づいて、将来の地震活動を予測する手法の構築を目指して、過去の地震活動に関する研究を進めています。

過去の地震活動を把握する手法としては、文献史料を対象とした被害地震や被害津波に関する歴史記録の調査、活断層の活動履歴の調査、地震に伴い発生する津波や液状化現象により形成された堆積物の分布や形成時期の調査などが挙げられます。

平成 18 年度は、平成 17 年度に引き続き、被害地震に関する歴史記録を調べるため、既存の被害地震総覧や地震記録が記された学術論文、松前藩や津軽藩の古文書、寺社に保管されている史料などを対象とした既存の文献を用いた調査を行いました。平成 15 年(2003 年)の十勝沖地震(マグニチュード 8.0)の発生前後には、幌延町から震央までの距離が 400km 以上あるにもかかわらず幌延町内の地下水圧や GPS 観測データに変化が認められました<sup>(12)</sup>。このため、既存の文献を用いた調査に際しては、北海道とその周辺で発生した地震を対象としました。

図 51 をみると、当初は道南の地震のみが記録されていましたが、安永 9 年(1780 年)に道東、寛政 4 年(1792 年)に道央の地震が記録されるようになっていきます。文化 13 年(1816 年)以降は、厚岸での地震記録が増加し、その後は日高地方などの内陸で発生する地震とともに、全道で地震が記録されるようになっていきます。一方、北海道の歴史についてみると、慶長 9 年(1604



年)松前藩の成立、寛永元年(1624年)から正保元年(1644年)にかけての厚岸場所<sup>\*17</sup>開設、そして宝暦4年(1754年)には国後場所が開設されています<sup>(13)</sup>。文化13年(1816年)以降は、自然災害も含めた厚岸周辺の様子が厚岸国<sup>こく</sup>泰寺<sup>たいじ</sup>の住職により「日鑑記」として記録されるようになり、その後、明治中期から大正時代にかけて開拓民が全道に移住し、気象台の地震観測網が充実しました。このため、時代ごとに異なる地震記録の偏りと記録数の増加は、道内への和人の進出に対応したものであり、地震発生そのものの地域性

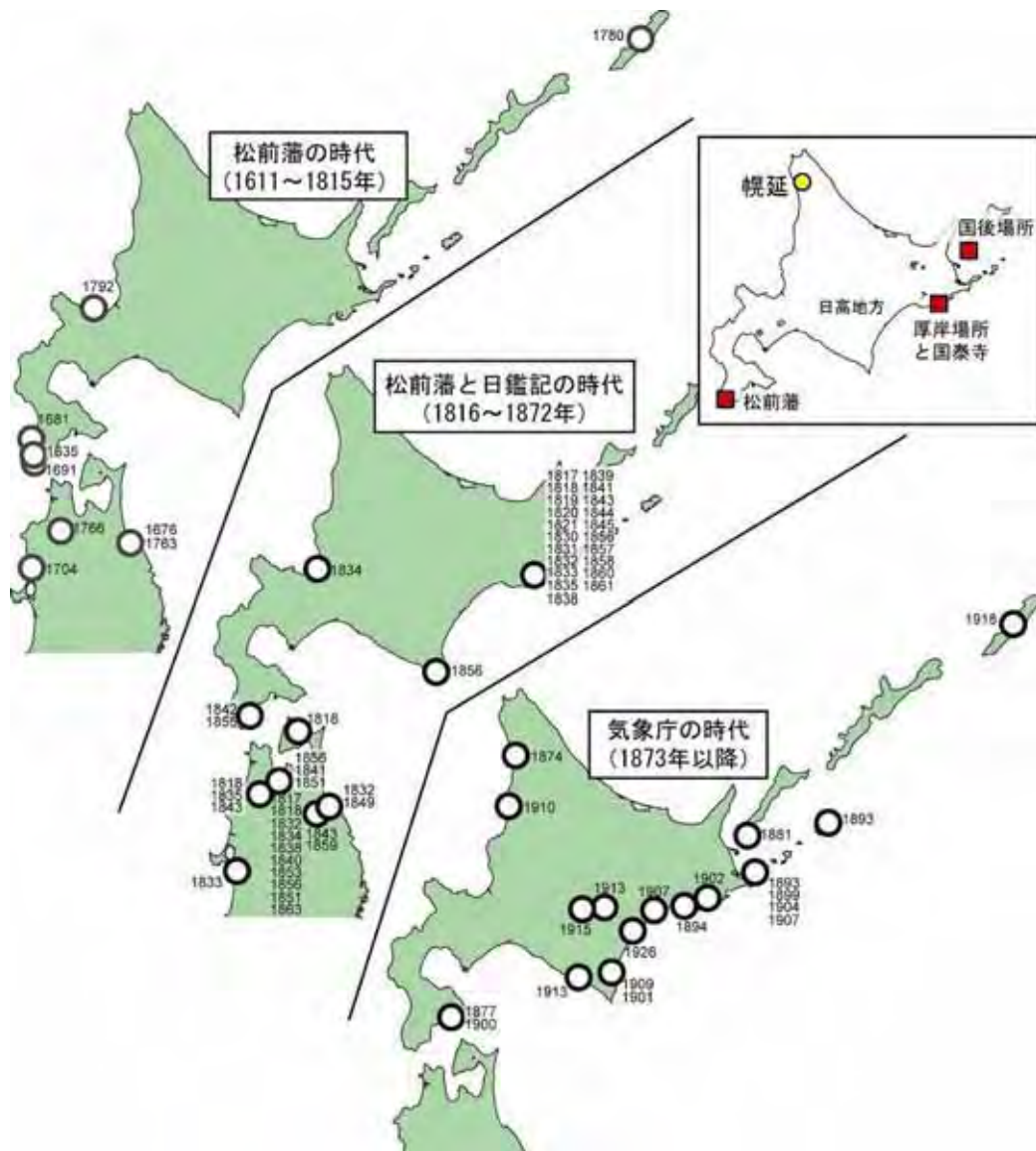


図 51 北海道とその周辺で発生した被害地震の分布

(白丸プロットは、被害地震が記録された位置を示し、白丸プロットに添えた4桁の数字は、地震の発生した年代を示します。「厚岸場所」、「国後場所」の位置は、河野(1996)<sup>(15)</sup>に基づきます。)

\*17: 江戸時代の北海道では米が取れなかったため、松前藩では、主だった家臣に蝦夷地をいくつか分割してその一部を与え、そこでアイヌの人々と交易することを認めました。これを「場所」といいます<sup>(14)</sup>。

や発生頻度を代表するものとは考えにくいと思われます。しかし、すべての時代を総合すると、地震の記録は道南や道東の太平洋沿岸地域で多く、日本海沿岸やオホーツク海沿岸地域では少ないことがわかります。

今後は、地震に伴って発生する津波や液状化現象で形成された堆積物および活断層の活動履歴に関する既存の文献を用いた調査も行い、地震の発生周期などを検討していく予定です。

## 4. 地層処分研究開発

### 4.1 処分技術の信頼性向上

#### 4.1.1 人工バリア等の工学技術の検証

地下施設を建設する際には、コンクリート材料を支保工として使用するため、セメントの間隙水が pH12～13 程度の高アルカリ性となり周辺の岩盤や緩衝材に影響を及ぼす可能性があります。そこで、その影響を緩和するため、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(低アルカリ性セメント：HFSC<sup>\*18</sup>)の開発を平成 13 年度から継続して行っています。平成 17 年度までに、HFSC を用いたコンクリートが吹付けコンクリートおよび場所打ちコンクリートとして、施工に必要な流動特性や初期強度などの基本的要件を有することを確認し、地下施設の設計基準強度を上まわる配合などについて検討しました<sup>(16)</sup>。

平成 18 年度は、第 2 段階で計画している地下施設における施工試験(原位置試験)に HFSC を使用する上で必要な検討を行いました。具体的には、平成 17 年度までに選定した地下施設の支保工に要求される強度を満足する HFSC の配合に基づき、地下施設の工事に使用されている材料を用いて、その強度を満たしうる HFSC の配合検討を行い、所定の強度が得られることを確認しました。また、水平坑道で予定している原位置試験の計画を検討しました。

コンクリート材料は、セメント、骨材(砂利、砂など)などから構成される複合材料であり、HFSC はそれに加えて、目標とする pH を達成するために、シリカフュームなどの混和材を添加したものです。そのため、これらの材料のメーカーや、採取場所、さらには坑道壁面への吹き付けに使用する機械などによって、強度が大きく変化する可能性があります。平成 18 年度は、実際に地下施設の工事で使用されている材料を用い、平成 17 年度に検討した配合(HFSC424N、HFSC424H：N は普通ポルトランドセメント、H は早強セメントをベースにした HFSC を表します)での吹付けコンクリートの配合選定試験を行いました。それぞれの配合に対して、水セメント比を 35%、40%、45%とした計 6 ケースの配合について、得られたコンクリートの強度などを調べました。

---

\*18：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。  
ここで、“HFSC424”とは、セメント(C)を 4、シリカフューム(S)を 2、フライアッシュ(F)を 4 の割合で配合して作製したセメントを意味します。

結果の一例を図 52 に示します。比較のために、平成 17 年度に行った試験結果も併せて示します。図中の点線は材齢 28 日での目標強度 (46.8N/mm<sup>2</sup>) を示します。

図 52 から、水セメント比が低いものほど強度が上がっている傾向は平成 17 年度と同様でしたが、これまでの試験で用いた材料よりも地下施設の工事で使われる材料の方が強度が低くなることがわかりました。これは、骨材を砕石から玉砂利に変えたことが主な原因と考えられます。また、この結果から、地下施設工事で使用している材料を用いて HFSC を施工する際には、水セメント比を 35%程度にする必要があることがわかりました。

また、実際の原位置試験に向けて、詳細な試験計画を検討しました。図 53 に検討した水平坑道における原位置試験のフロー図を示します。地下施設での原位置試験の計画では、地下施設工事で使用する吹き付け機械などを用いて、地上での配合選定試験および強度確認試験を行い、その後に水平坑道での施工試験を実施することとし、施工後はコンクリート材料が地下水に与える影響やコンクリート材料の耐久性についての試験を 10 年程度にわたって継続することとしました<sup>(17)</sup>。

今後は、検討した試験計画に従って、水平坑道での原位置試験に向けた検討を行っていく予定です。

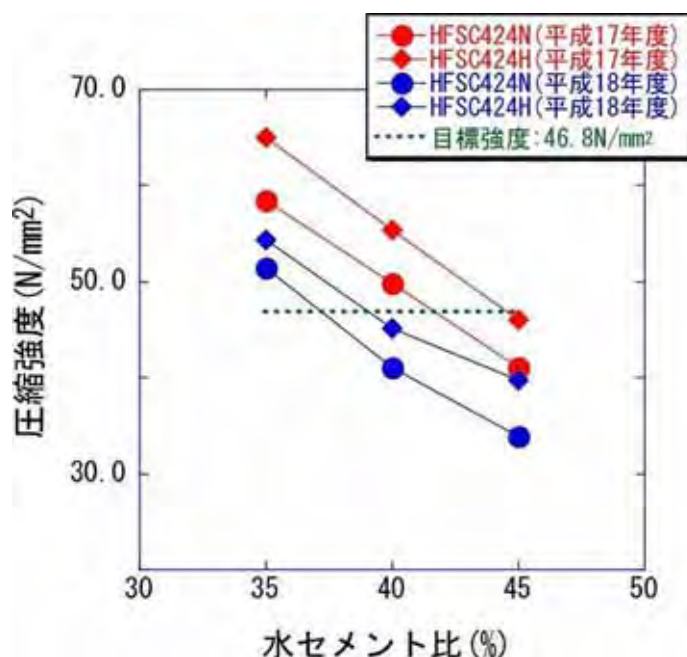


図 52 HFSC を用いたコンクリートの圧縮強度試験結果 (材齢 28 日)



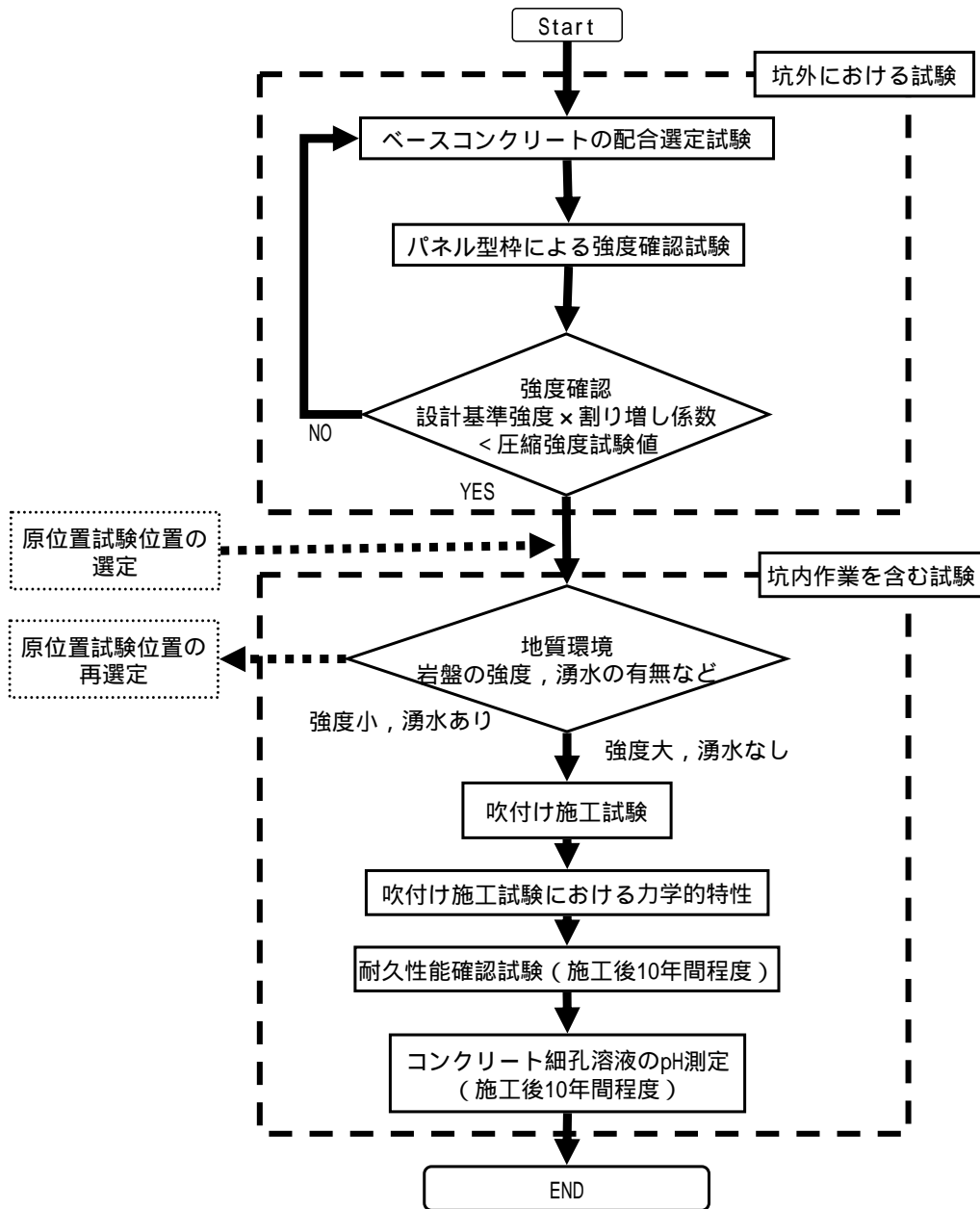


図 53 水平坑道における低アルカリ性セメントの施工性に関する原位置試験のフロー

#### 4.1.2 設計手法の適用性確認

幌延の地下施設で実施することが予定されている原位置試験のうち、人工バリア試験や坑道閉鎖試験などでは、緩衝材（ベントナイト<sup>\*19</sup>）を用いる予定です。しかし、緩衝材は幌延地域にみられるような塩水系の地下水に対しては、淡水系の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、

\*19：ベントナイトは粘土鉱物の一種で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材料です。

第1段階では、塩水系地下水を用いて、緩衝材や金属材料（オーバーパック材料）などの人工バリア構成材料の特性や挙動に関する基礎データ取得のための室内試験を実施しました。また、これまでに得られた室内試験結果や地上からの調査で取得した地質環境データなどに基づき、第2次取りまとめ<sup>(18)</sup>で示された人工バリアなどの設計手法の適用性を検討し、更新しました。

第2段階では、不足している塩水系地下水に対する緩衝材や金属材料などの人工バリア構成材料の特性や挙動に関する基礎データの取得を引き続き行い、それらの特性や挙動に関するメカニズムの理解やより一般化されたモデルの開発などを進めるとともに、人工バリアおよびその周辺岩盤の長期挙動について検討します。また、それらの情報を整理し、第1段階で更新した設計手法を原位置試験の仕様の検討に適用します。

平成18年度は、HDB-10孔およびHDB-11孔のコアを用いて岩盤クリープ<sup>\*20</sup>に関する室内試験を実施しました。稚内層のコアを用いて強度回復試験を行った結果、一軸圧縮強さの小さい試料の方が、強度回復が大きいことがわかり、これまでの研究で定性的に推定されていた特性<sup>(19)</sup>が確認できました。今後、試料の採取場所の違いによる影響を評価して行く予定です。

人工バリア構成材料については、緩衝材（ベントナイト）の膨潤特性、透水特性、オーバーパック材料の腐食特性に関する室内試験やモデルの検討を行いました。膨潤特性については、緩衝材が地下水と接触した際に発生する膨潤圧について、ベントナイトに含まれる粘土鉱物（スメクタイト）表面の水の熱力学特性に基づき、使用されるベントナイトの種類や密度、あるいは珪砂混合率などが異なっても適用可能なより一般化されたモデルを検討しました<sup>(20)、(21)</sup>。また、これまでに報告されている緩衝材の膨潤圧の実測データと比較することにより、その適用性について検証しました。スメクタイトの部分密度<sup>\*21</sup>に対する膨潤圧の実測データと計算値を図54に示します<sup>(20)、(21)</sup>。

図54には、外国産のベントナイト（MX-80）と国内産のベントナイト（クニゲルV1、クニピアF、クニピアP）のほか、珪砂を混合したものなど、材料が異なるものも同時に示していますが、計算値と実測値とは、ほぼ同一の

\*20：クリープは、一定加重または応力が作用している状態で、時間の経過とともに材料の変形（ひずみ）が進行する現象を一般に指しますが、材料として岩石（岩盤）を用いた場合を特に岩盤クリープと言います。

\*21：ベントナイトは、粘土鉱物のスメクタイトと石英などの他の鉱物から構成されていますが、ベントナイト中のスメクタイトの含有率を考慮してスメクタイトのみに着目した時の密度をスメクタイト部分密度と言います。

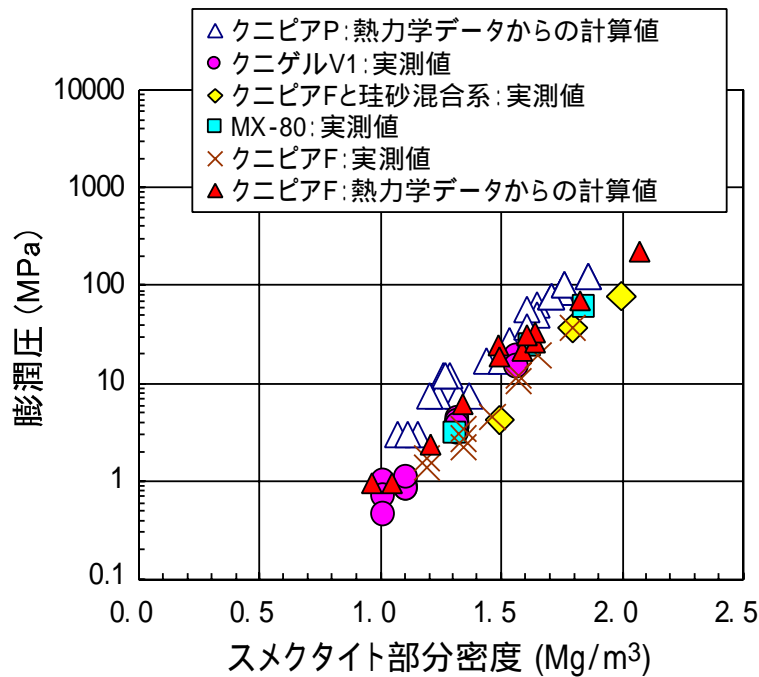


図 54 スメクタイトの部分密度に対する膨潤圧の実測データと計算値<sup>(20)、(21)</sup>

直線上にあることがわかり、モデルの適用性が検証されました。平成 18 年度は淡水系の地下水に対するモデルの開発と適用性について検討しましたが、今後は塩水系の地下水や温度の影響のほか、間隙が地下水で満たされていない条件（不飽和条件）での膨潤特性についても検討する予定です。

ベントナイトの透水特性については、塩水系の地下水条件に対するデータ拡充のため、HDB-6 孔から採水した地下水を用いてベントナイトの透水試験を実施しました。その結果、蒸留水などを用いた場合と比較して、透水係数は増加する傾向であることがわかりました。

オーバーパック材料の腐食特性については、HDB-6 孔から採取した地下水を用いて候補材料の炭素鋼や代替材料のチタンに対する腐食試験を実施しました。その結果、炭素鋼の最大腐食深さは、従来の推定値よりも小さいこと、チタンの腐食挙動は、従来の試験結果<sup>(22)</sup>と整合していることがわかりました。

さらに、フィンランドにおいて現在建設中である地下岩盤特性調査施設（ONKALO）の検討例<sup>(23)</sup>を参考に、人工バリアとその周辺岩盤の長期安全評価に影響を及ぼすと考えられる項目を抽出するとともに、幌延の地下施設の建設に用いられる工学材料に対する影響項目の抽出結果と比較することにより、長期性能に影響を及ぼす要因や低減方法、留意すべき事項、検討課題などを整理しました<sup>(24)</sup>。また、地下施設の建設において特に多く使用されるセメン

トについて、「第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ」<sup>(25)</sup>の評価結果に基づいて、普通ポルトランドセメントと低アルカリ性セメントの適用範囲の設定方法を検討するとともに、それに基づいて、硬岩と軟岩に対する両セメント材料の配置適用範囲について検討しました<sup>(24)</sup>。

## 4.2 安全評価手法の高度化

### 4.2.1 安全評価手法の適用性確認

#### (1) 安全評価モデルの高度化

第1段階の調査研究では、試錐調査で得られたコアと試錐孔から採取した地下水を用いて物質移動・遅延に関する室内試験を行いました<sup>(26)</sup>。これまでに、岩石への物質（セシウムやセレンなどの元素）の収着分配係数を取得したほか、それらの収着メカニズムについて検討しました<sup>(27)</sup>。その結果、セシウムは岩石中の粘土鉱物（スメクタイトやイライト）とのイオン交換反応により岩石に収着すること、その中でも特にイライトへの収着が重要であることがわかりました。一方、セレンは岩石中の有機物や鉄鉱物（黄鉄鉱）の部分に濃集していたことから、酸化還元反応により岩石に収着すると推定しました。

第2段階の調査研究では、平成17年度までの試錐調査や坑道掘削時の調査などで取得した岩石や地下水を利用した室内試験により、安全評価における物質移動・遅延の解析に必要な基礎データ（収着分配係数、拡散係数、間隙率、溶解度など）の取得を引き続き行うほか、物質移動・遅延に影響を及ぼす要因（有機物、コロイド<sup>\*22</sup>、微生物など）やそのメカニズムを考慮した解析手法についても検討します。

平成18年度は、HDB-6孔およびHDB-11孔から採取したコアと浅層試錐孔から採取した地下水を用いて岩石の拡散特性、有機物およびコロイドに関する室内試験を開始しました。具体的には、岩石中での物質（セシウム、ヨウ素、重水<sup>\*23</sup>）の拡散試験、地下水中の有機物の定量と特性評価、地下水中の

---

\*22：0.1～0.001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。

\*23：水分子（H<sub>2</sub>O）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<sub>2</sub>O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。



コロイドの定量と特性評価を実施しました。なお、これらの試験は東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所の試験施設で行いました。

## (2)安全評価手法の適用性確認

平成 17 年度に幌延の地質環境を事例として試行した、地質環境中での物質移動に関する解析の結果<sup>(28)</sup>に基づき、地下水流動や物質移動解析の結果に大きな影響を及ぼす地質環境の特性やパラメータなどの信頼性を向上させるための検討を行いました。

具体的には、堆積岩の鉱物粒子の間に分布する間隙を地下水や物質が移動するという多孔質媒体の概念に基づいた場合、重要なパラメータとなる水理学的有効間隙率について、他の研究事例などを参考にその算出方法の検討を行いました。さらに、堆積岩中の割れ目を地下水や物質が選択的に移動するという亀裂性媒体の概念に基づいた場合、水みちとなる割れ目の空間分布や形状、透水性などが重要となることから、第 1 段階の調査研究で取得した地質環境データをもとに、それらの情報について再解析・検討を行うとともに、地質構造および水理地質構造の概念モデルの見直しを行いました。

また、安全評価手法の適用性確認に関する今後の調査や解析などの取り組みについて、計画書を作成し、その進め方をより具体化しました。

今後の調査研究においては、この計画書に基づき調査・解析などを進め、特にモデルの妥当性やデータの精度などの向上を図り、物質移動解析を試行するとともに、その過程で得られた知見を整理・統合することにより安全評価手法の高度化を進めていく予定です。

## 5. 地下施設の建設

平成 18 年度は、平成 17 年度から継続している地下施設工事（第 期）のうち、地下施設関連設備（立坑掘削に必要となる設備）を整備するとともに、坑口下部工<sup>\*24</sup>までの掘削を完了し、換気立坑は深度約 51m、東立坑は深度約 41m まで掘削しました。

ここで、地下施設関連設備のうち、これまでに整備が終了したものは、以下のとおりであり、すでに運用を開始しています。なお、<sup>やぐら</sup>櫓設備、スcaffolding および巻上機の設置作業は、平成 19 年 3 月から開始しました。

- ・ 排水処理設備（濁水処理設備、脱ホウ素設備、脱窒素（アンモニア）設備）
- ・ コンクリート製造設備
- ・ 電気設備（特別高圧受変電設備、高圧受変電設備、非常用発電設備）
- ・ 火薬庫
- ・ 排水設備（地上部設備）
- ・ 給水設備
- ・ 換気設備

立坑掘削は、初めに<sup>やぐら</sup>櫓設備の基礎となる坑口上部工<sup>\*25</sup>を施工したのち、引き続き坑口下部工の掘削を行いました。換気立坑においては、その付属施設として、扇風機坑道の掘削を行いました。坑口下部工の掘削では、可燃性ガスの存在を考慮し、防爆仕様の機器の採用や、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。平成 19 年 4 月 18 日現在の地下施設関連設備の状況を図 55 に示します。

また、立坑の工事進捗に伴い発生する湧水量の的確な予測を事前に行い、適切な排水処理設備の増設計画および効率的な湧水抑制対策計画を策定するため、立坑近傍にて先行ボーリング調査を実施することとしました。

また、立坑掘削に伴い発生する掘削土（ズリ）には、土壤汚染対策法の溶出量基準値を超える重金属が含まれていることが事前調査により確認されたため、掘削土（ズリ）の保管場所として掘削土（ズリ）置場を整備しました。

---

\*24：坑口下部工は、坑口上部工の下部にあたり、スcaffolding が納まる範囲のことをいいます。この範囲の掘削は、<sup>やぐら</sup>櫓設備やスcaffolding を使用せず、地上からクレーン設備などを利用して掘削します。

\*25：坑口上部工は、立坑入り口部にあたる鉄筋コンクリート構造物のことです。この設備は立坑を掘削するための<sup>やぐら</sup>櫓設備の基礎を兼用する部分にもなります。

図 56 に示すように、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ました。なお、立坑からの湧水や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）を定期的の実施しており、適切な管理を行いながら掘削を進めています。表 2 および表 3 に掘削土（ズリ）と地下水モニタリングの公定分析の結果を示します。



図 55 地下施設関連設備

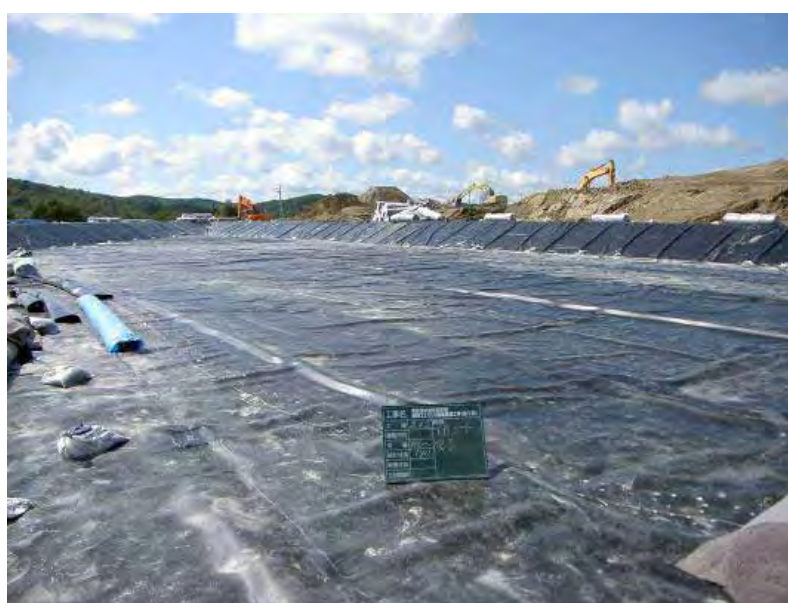


図 56 掘削土（ズリ）置場の整備状況

表2 掘削土（ズリ）モニタリング調査結果（土壌湧出量：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	0.2～1.2	0.5～7.3	1	30
ヒ素		0.020～0.048	0.023～0.058	0.01	0.3
フッ素		0.11～0.41	<0.08～0.18	0.8	24
セレン		<0.001～0.021	0.005～0.023	0.01	0.3
カドミウム		<0.001	<0.001	0.01	0.3
鉛		<0.001～0.003	0.001～0.007	0.01	0.3
シアン		不検出(<0.1)	不検出(<0.1)	不検出	1
六価クロム		<0.005	<0.005	0.05	1.5
水銀		<0.0005	<0.0005	0.0005	0.005
アルキル水銀		不検出(<0.0005)	不検出(<0.0005)	不検出	不検出

表3 地下水モニタリング調査結果（水質分析：公定分析）

分析項目	単位	立坑からの湧水 (排水処理前)	地下施設からの排水 (排水処理後)	参考値
				(水質汚濁防止法排水基準値)
ホウ素	mg/l	<0.1～58	<0.1～3	10
ヒ素		<0.01～0.02	<0.01	0.1
フッ素		<0.08～0.21	0.09～0.21	8
セレン		<0.01	<0.01	0.1
カドミウム		<0.01	<0.01	0.1
鉛		<0.01	<0.01～0.01	0.1
塩化物イオン		20～1380	38～1660	-

掘削土（ズリ）の分析結果（表2）から、ホウ素、ヒ素およびセレンは自然的原因により溶出量基準値を超えていますが、いずれも第2溶出量基準値以下でした。立坑からの湧水は、ホウ素が自然的原因により排水基準値を超えていますが、排水処理後の水は排水基準値以下となっています（表3）。

掘削に伴い発生する湧水については、排水処理設備にて処理した後に天塩川へ放流します。そのため、排水を天塩川まで導水する排水管路の敷設を行いました。排水管路は、地下施設工事エリア内に設置した揚水設備により圧送され、道道稚内幌延線および幌延町道を經由し、天塩川河口から上流19.0km地点の右岸側に放流する、延長約8.4kmの管路です。排水管路の敷設ルートおよび排水管路設備の施工状況を図57に示します。排水管路を用いた天塩川への放流は平成18年12月から開始しました。排水管路が完成するまでの間に発生した立坑からの湧水は、産業廃棄物として適切に処理しました。図58および図59に排水処理設備と排水処理の手順をそれぞれ示します。

一方、換気立坑および東立坑近傍の浅層試錐孔における調査において、換気立坑周辺では地表から約27mの範囲に、東立坑周辺では地表から約25mの



範囲にわたり高透水性の層があることがわかりました。これらの層から多量の湧水の可能性があるため、換気立坑と東立坑の周囲に止水壁を構築しました。



(国土地理院5万分の1地形図を使用)

(a) 排水管路の敷設ルート



(b) 排水管路敷設状況



(c) 放流口

図 57 排水管路敷設ルートおよび敷設状況



(a) 濁水処理設備



(b) 脱ホウ素設備



(c) 脱窒素（アンモニア）設備

図 58 排水処理設備

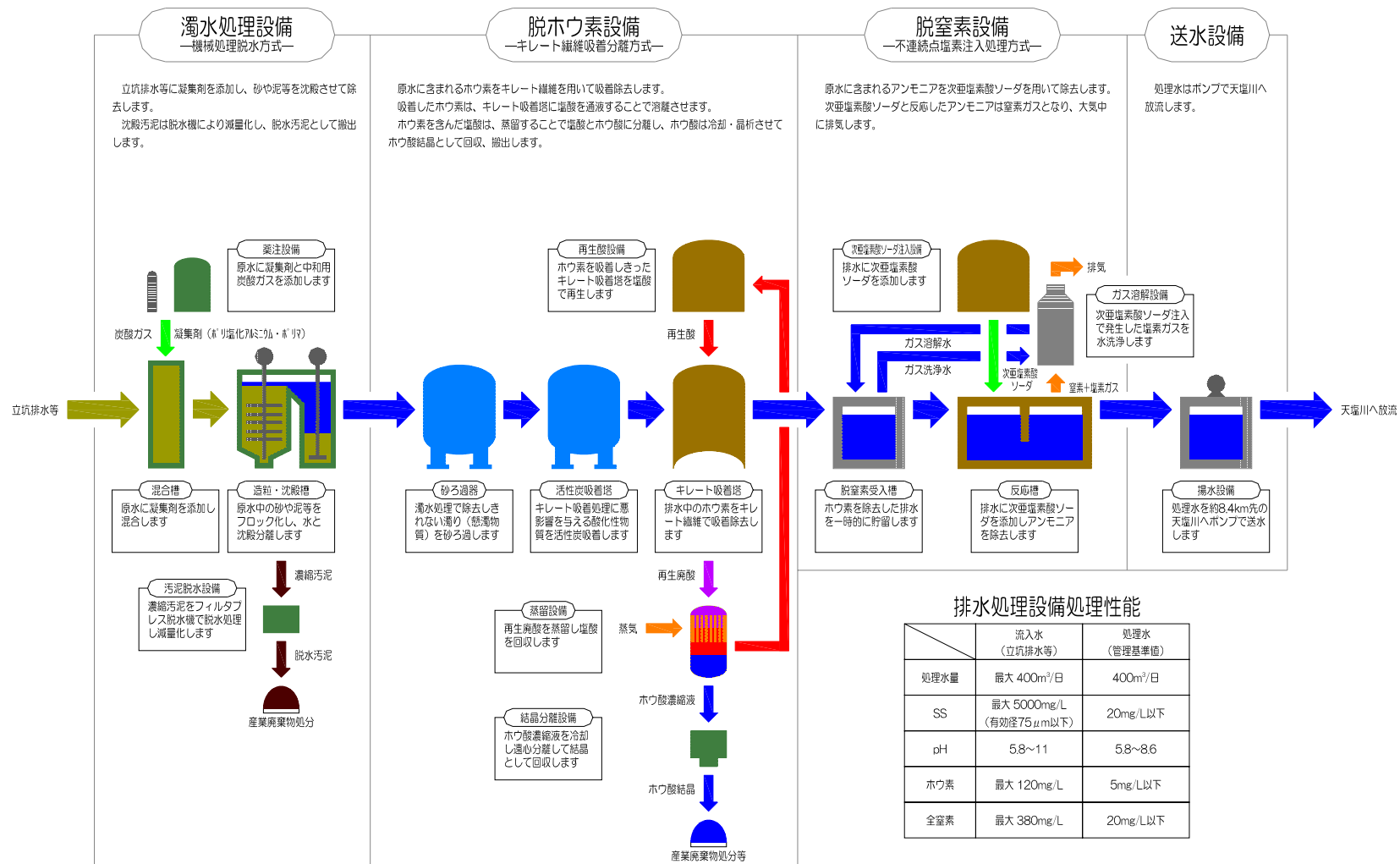


図 59 排水処理の手順と現状の処理性能

## 6. 地上施設の建設

研究管理棟および試験棟には、平成 18 年 2 月下旬に旧事務所から移転していましたが、雪解け後、周辺構造物の完成状態の確認をもって、平成 18 年 5 月に竣工しました。

PR 施設は、展望タワーを含む建物本体の工事がほぼ終了するとともに、電気設備、冷暖房換気設備ならびに消火設備などの試験調整を行いました。また、展示物の製作、据付工事にも着手しました。PR 施設は、平成 19 年 5 月に竣工しました。なお、PR 施設は原子力機構が幌延町で行う深地層研究の目的や研究内容を一般に公開する場であり、参加体験型の展示物を備えており、開館は夏頃を予定しています。さらに、原子力に関わる学術的研究および学習の場と地元住民との交流の場を目的とする国際交流施設の基本設計を行いました。図 60 は研究管理棟、試験棟および PR 施設の外観ならびに PR 施設の展望階からの景観です。



(a) 研究管理棟



(b) 試験棟



(c) PR 施設の外観



(d) PR 施設展望階から南西方向を望む

図 60 地上施設



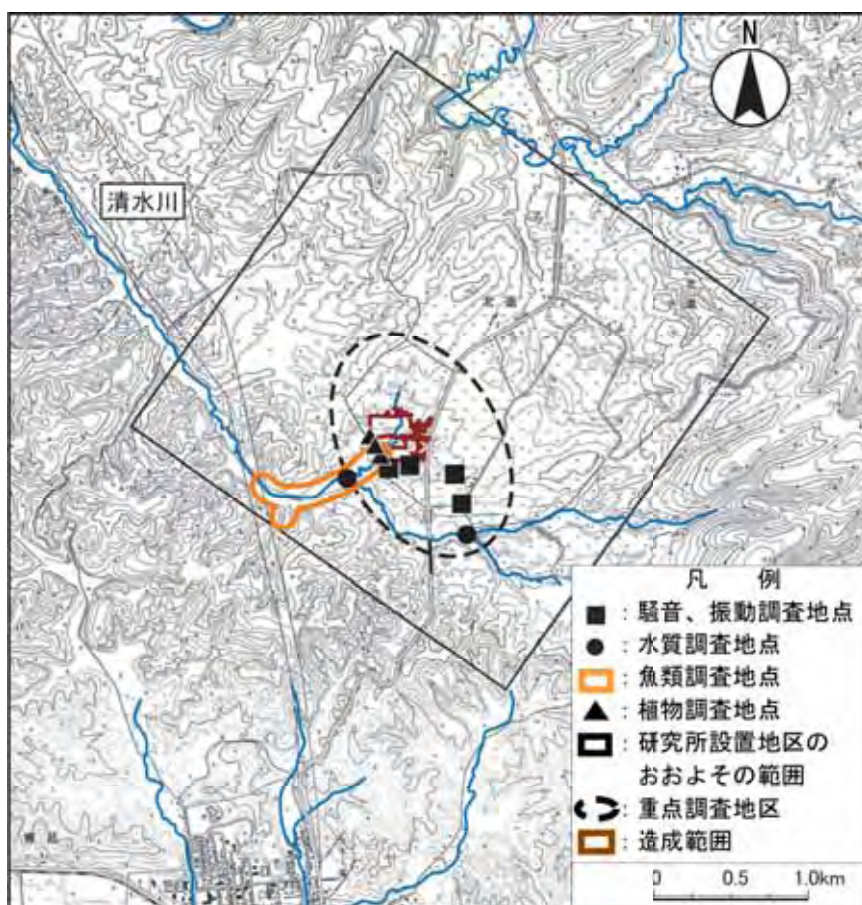
## 7. 環境モニタリング

### 7.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング

平成 18 年度は、平成 17 年度のモニタリング調査に引続き、研究所設置地区を対象として、モニタリング調査を実施しました。モニタリング調査位置を図 61 に示します。

調査項目は、造成工事、地上施設工事および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る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を調査しました。調査の実施時期、調査方法を表 4 に示します。

平成 18 年度は、地下施設や PR 施設の建設工事が本格化しましたが、騒音・振動や水質については、いずれも工事の着手前と比較して変化が認められませんでした。



国土地理院 1/25,000 地形図「幌延」「本流」を使用

図 61 環境モニタリング調査位置

表4 環境モニタリング調査実施内容(平成18年度)

調査項目	調査実施期日	調査方法
騒音	春季：平成18年 6月 1日～ 2日 夏季：平成18年 8月31日～ 9月 1日 秋季：平成18年11月15日～ 16日 冬季：平成19年 1月31日～ 2月15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18年 6月 1日～ 2日 夏季：平成18年 8月31日～ 9月 1日 秋季：平成18年11月15日～ 16日 冬季：平成19年 1月31日～ 2月15日	「特定建設作業の規制に関する基準」に示す方法
水質	春季：平成18年 5月31日 夏季：平成18年 8月30日 秋季：平成18年11月 8日 冬季：平成19年 1月30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18年 5月30日 夏季：平成18年 8月29日 秋季：平成18年10月 3日	目視観察・採捕調査
ハイドジョウツナギ	春季：平成18年 5月30日 夏季：平成18年 8月25日	目視観察
植物群落	春季：平成18年 5月30日 夏季：平成18年 8月25日 秋季：平成18年10月 3日	コドラート調査 <sup>*26</sup>

魚類に関するモニタリング調査の結果、5目6科7種が確認されました。法指定種や環境庁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5に示します。確認された重要種は、スナヤツメ、ヤマメ、エゾウグイ、エソトミヨ、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 of 個体と同様の伸長成長が確認され、さらには昨年同様に多数の繁殖個体(開花個体)も確認されました。

植物群落は、主要種において造成工事などの着手前と比較して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、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。

以上のモニタリング調査項目と結果を、表6にまとめて示します。

\*26：1m×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5 確認された重要種（魚類）

目	科	種	選定根拠 <sup>*27</sup>					
ヤツメウナギ	ヤツメウナギ	スナヤツメ			VU		希	
サケ	サケ	ヤマメ (サクラマス)				N <sup>*28</sup>	減 <sup>*29</sup>	
コイ	コイ	エゾウグイ				N		
トゲウオ	トゲウオ	エゾトミヨ			NT	R		
カサゴ	カジカ	ハナカジカ				N		

表6 モニタリング調査項目と結果

調査項目	調査結果
騒音	等価騒音レベルでは春季～秋季を通じて、昼間は40から56デシベル、夜間は35から48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～秋季を通じて、昼間は35デシベル以下、夜間は30デシベル未満以下でした。(工事着手前：昼間39～53デシベル 夜間30未満～37デシベル)
水質	造成工事着手以前と同様に、水質が維持されていると判断されました。
魚類	6科7種を確認しました。 重要種はスナヤツメ、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。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、さらには多数の繁殖個体(開花個体)も確認されました。生育は良好であると判断されました。
植物	植物群落は、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、主要種について被度・群度の大きな変化は認められませんでした。造成工事による生育地の改変や植物への影響は見られず、植生環境は造成工事着手以前と同様に維持されていると判断されました。

\*27：重要種の選定根拠

- ：「文化財保護法」(昭和25年 法律第214号)に基づく天然記念物および特別天然記念物
- ：「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」(平成4年 法律第75号)に基づく野生動植物種
- ：「改定・日本の絶滅のおそれのある野生生物 - レッドデータブック - 4 汽水・淡水魚類」(環境省 2003年)の記載種  
EN：絶滅危惧 IB類 VU：絶滅危惧類 NT：準絶滅危惧
- ：「北海道の希少野生生物 北海道レッドデータブック 2001」(北海道 平成13年)の記載種  
Cr：絶滅危機種 R：希少種 N：留意種
- ：「日本の希少な野生水生生物に関するデータブック(水産庁編)」(日本水産資源保護協会 1998年)の記載種  
危：危急種 希：希少種 減：減少種
- ：「緑の国勢調査 - 自然環境保全調査報告書 - 」(環境庁 昭和51年)に基づく選定種
- ：「第2回自然環境保全基礎調査報告書(緑の国勢調査)」(環境庁 昭和57年)に基づく選定種  
：調査対象種

\*28：ヤマメが対象

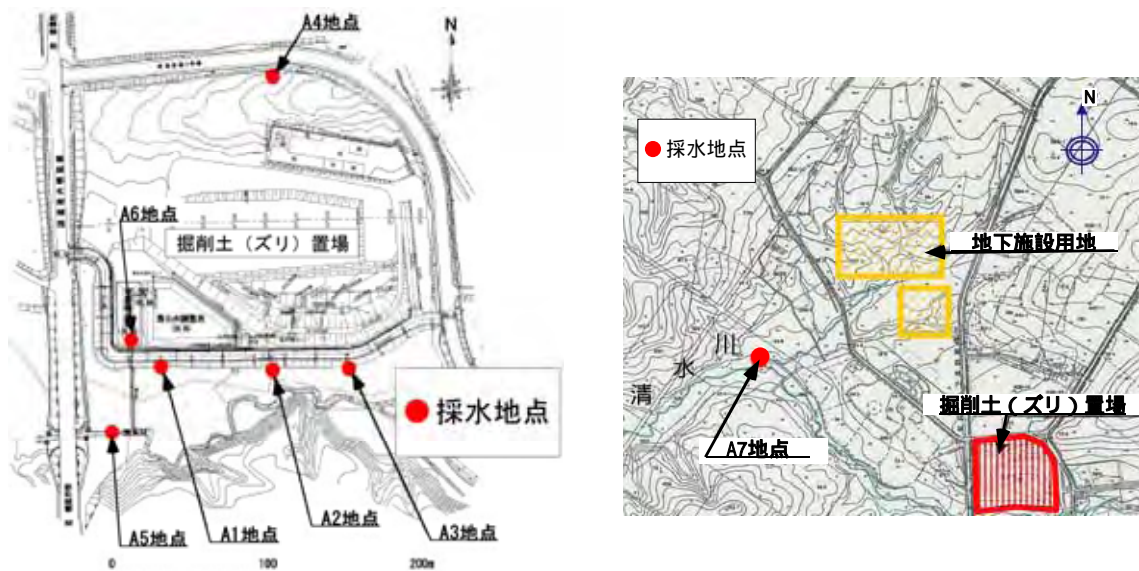
\*29：サクラマスが対象

## 7.2 地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査

研究所設置地区およびその周辺地区の地表水、すなわち掘削土（ズリ）置場およびその周辺の地表水および排水の放流先である天塩川において、掘削土（ズリ）の掘削土（ズリ）置場への搬入前および排水の放流開始前の状況調査を行いました。また、平成 18 年 12 月より地下施設工事からの排水の放流を開始したため、排水の水質モニタリング調査を開始しました。掘削土（ズリ）置場およびその周辺の水質モニタリング調査位置を図 62 に、天塩川の水質モニタリング調査位置を図 63 に示します。

水質モニタリングの調査項目は、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に記載されている分析項目に準拠しています。モニタリングの結果はホームページで公開しています。

掘削土（ズリ）の搬入前および排水の放流開始前における、水質モニタリング調査結果を表 7 に示します。掘削土（ズリ）置場周辺の浅い地下水において、ホウ素および鉛で環境基準値を超える値が検出されました。また、清水川では、~~ヒ素、フッ素およびホウ素が環境基準値をわずかに超えた値を示しました。~~ホウ素およびフッ素が微量ながら検出されました。天塩川では、10月に塩水の遡上が確認され、時期により浮遊物質量が環境基準値を超えることが分かりました。これらはいずれも自然的要因によるものです。



(a) 掘削土（ズリ）置場の水質モニタリング位置 (b) 清水川における水質モニタリング位置

図 62 掘削土（ズリ）置場およびその周辺の水質モニタリング調査位置



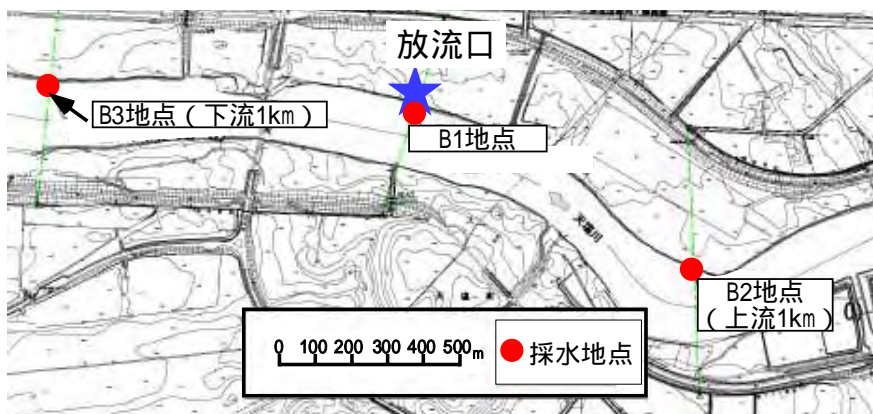


図 63 天塩川の水質モニタリング調査位置  
(放流口の位置については図 57(a)を参照)

表 7 水質モニタリング調査結果

(掘削土(ズリ)置場供用前、天塩川への放流開始前の結果)

分析項目	単位	掘削土(ズリ) 置場周辺の 浅い地下水	清水川	天塩川	参考値 (環境基準値)
浮遊物質	mg/l	-	2~12	1~120	25
ホウ素		<0.02~50.7	<0.02~0.3	<0.02~3.35	1
ヒ素		<0.005	<0.005~ <del>0.014</del>	<0.005	0.01
フッ素		<0.1~0.4	<0.1~0.1	<0.1~0.4	0.8
セレン		<0.002	<0.002	<0.002	0.01
カドミウム		<0.001~0.004	<0.001	<0.001	0.01
鉛		<0.005~0.171	<0.005	<0.005~0.013	0.01
塩化物イオン		9.7~2,910	1~109	6.1~17.2	-
電気伝導度	mS/m	4.6~909	11.3~24.4	8.4~3,730	-

## 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、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 18 年度に実施した主な研究協力は以下のとおりです。

### 8.1 国内機関との研究協力

#### 8.1.1 大学等との研究協力

##### 北海道大学

「圧縮ベントナイト中の溶存ガスおよび溶存物質の移動経路の評価に関する研究」のテーマで研究協力を行いました。平成 18 年度は、水の動きを見るためのトレーサとして  $H_2^{18}O$  を使用<sup>\*30</sup>し、ベントナイトに含まれる主要な粘土鉱物であるモンモリロナイト中の拡散試験と電位勾配をかけた電気浸透試験を実施しました。水のトレーサとして従来から用いられているトリチウム水<sup>\*31</sup>と比較した結果、同じ条件ではほぼ同程度の拡散係数であることがわかりました。また、両試験から、 $H_2^{18}O$  を水のトレーサとして用いることができることを確認するとともに、モンモリロナイト中には移動可能な間隙水が存在することがわかりました<sup>(29)</sup>。今後、モンモリロナイトの密度や間隙水の塩濃度を変えながら、物質の移動に寄与する間隙水の割合やどの部分の間隙水が移動するのかなどについて詳細に検討する予定です。

##### 筑波大学

本研究では、幌延の岩石や地下水およびセメントなどとの化学反応がどのように生じるかを、室内試験や化学分析の結果をもとに検討しています。平成 18 年度は、これまでに取得したコアを用いて、岩石の鉱物組成、化学組成や空隙率などの分析を行いました。また、コアを粉末状にしたものを筒状のガラス管に入れ、上部から水を流すカラム試験を行い、化学反応に関する検討を行いました。

以上の試験結果をもとに今後の試験計画を検討しました。

---

\*30：水分子 ( $H_2O$ ) を構成する酸素原子のほとんどは質量数が 16 ですが、この研究では、質量数が 18 の酸素原子に置換された特殊な水を使用します。この酸素原子の質量数の違いを分析することにより、水の動きを測定します。

\*31：水分子 ( $H_2O$ ) を構成する水素原子が通常の 3 倍の質量数を持つ 3 重水素 (T: トリチウム) で置換されている水をトリチウム水と言います。T は低いエネルギーの  $\beta$  線を放出することから、この  $\beta$  線を検出することにより水の動きを見るためのトレーサとして様々な研究に使用されています。

## 東京大学

「地質環境モデルの構築と解析手法の評価」というテーマで共同研究を行いました。本研究では、地下水中の塩素の安定同位体に着目し、地下水の流れの速さを推定しています。また、地下水の流れを解析により推定した結果と比較をすることにより、解析方法を高度化していきます。

## 静岡大学

弾性波アクロスと電磁アクロスを使って取得されるデータの処理・解析方法に関する検討会を実施しました。その成果を遠隔監視システム（地質環境の変化を観測するアクロスの応用技術）による観測データの処理・解析に活用し、観測データから信号を精密に識別することができました。

## 京都大学

「断層帯及び亀裂を考慮した堆積岩地盤の水理学的構造の決定と地下水の移動解析」というテーマで共同研究を行いました。平成 18 年度は、平成 17 年度までの試錐調査で採取した稚内層、声問層、勇知層の岩石コアを対象として、各地層の透水係数や間隙率と、各地層が過去に受けた応力との関係について、室内試験などを通じて調べました。

また、「ボーリングコアを用いた堆積軟岩の AE<sup>\*32</sup>特性の分析および原位置測定手法に関する研究」というテーマで共同研究を実施しました。平成 18 年度は、個別剛体要素法と呼ばれる解析手法によって HDB-11 孔で見られたボアホールブレイクアウト現象を再現し、その適用性を確認するとともに、堆積軟岩を対象とした掘削影響評価の手法として AE 法による原位置計測および個別剛体要素法により解析評価を組み合わせた原位置試験の概念を構築しました。

## 山口大学

「溶存メタンガスセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究」というテーマで共同研究を行いました。平成 18 年度は、開発したメタンガスセンサーの原位置での適用性および溶存メタンガス濃度の解析方法の適用性を

---

\*32 : AE とは Acoustic Emission の略で、岩盤の内部で微小破壊が生じる際にでる音を意味しており、この破壊音の測定が、構造物や岩盤の破壊現象の監視や岩盤にかかっている力の測定などに応用されています。

確認するために、HDB-5 孔を用いて試験を行いました。その結果、研究開始当初に比べ約 1/4 の時間で、地下水中の溶存メタンガス濃度を計測できる技術を開発することができました。今後は、溶存メタンガスセンサーの長期耐久性を確認するための研究を継続する計画です。

### 8.1.2 その他の機関との研究協力

#### 電力中央研究所<sup>\*33</sup>

「地質・地下水環境特性評価に関する研究」というテーマで共同研究を継続して実施しました。平成 18 年度は、コントロールボーリング技術の実用化に向け、大曲断層の断層破碎帯を対象とした掘削技術の適用性を確認するため、上幌延地区においてコントロール掘削を行いました。平成 18 年 12 月までに掘削長 400m まで掘削を行いました。今後も掘削を継続し、平成 19 年度は掘削長 800m 程度まで掘削を行う予定です。

#### 原子力環境整備促進・資金管理センター<sup>\*34</sup>

「地質環境調査技術開発の適用検討に関する研究」というテーマで共同研究を行いました。高精度物理探査技術の技術的な検証を目的として、幌延町内の北進、幌延、下沼の各地区において、あらかじめ定めた約 40 箇所の地点で現地適用試験を実施しました。また、地下施設立坑周辺の地質構造をモデル化し、溶存ガスの影響を考慮した立坑への湧水量の評価解析を行いました。

#### 産業創造研究所<sup>\*35</sup>

「地下水の水質・水理モデルの信頼性向上に関する研究」というテーマで共同研究を行いました。幌延深地層研究計画で取得した地質環境特性データや知見を用いて、地下水の水質やその分布の形成過程を地層のできかたや、地下水の流れ方の長期的な変遷を考慮して検討を行いました。その結果、幌延地域の地下水は水質の特徴やその分布位置により、3～4 つのグループに分

---

\*33：財団法人 電力中央研究所は、電力技術の専門研究機関として設立されました。電力技術の研究として、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発を実施しています。

\*34：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。

\*35：財団法人 産業創造研究所は、産業技術の創造と新しい社会システムの創造に関する調査・試験研究を行うことを目的として設立され、核燃料サイクル分野などの研究開発を実施してきましたが、平成 19 年 4 月に解散しました。



類される可能性が示されました。

#### 幌延地圏環境研究所<sup>\*36</sup>

「(財)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幌延地圏環境研究所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。

#### 北海道立地質研究所<sup>\*37</sup>

現在進行している地形変化の様式について、幌延町北進地区と上幌延地区に分布する地形を対象に、現地討論会を実施しました。また、幌延町字幌延に分布する地層を対象として、その地層が堆積した当時の環境を復元しました。

#### 清水建設株式会社

「地盤統計学的手法を用いた地質環境モデル構築手法に関する研究」というテーマで共同研究を行いました。本研究で、平成17年度までに構築した三次元比抵抗分布モデルにHDB-11孔のデータを加えてモデルの更新を行うとともに、その結果に基づいて地下水の水質の分布などを推定しました。

## 8.2 国外機関との研究協力

### Nagra<sup>\*38</sup> (スイス)

幌延深地層研究計画における第1段階研究成果報告書<sup>(30)</sup>の作成にあたり、その作成方針についての技術検討会を行いました。

また、調査の進め方や第2段階以降の調査研究計画に関する意見交換を適宜行いました。

---

\*36：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ます。

\*37：北海道立地質研究所は、北海道の地質と地下資源に関する研究機関（北海道立地下資源調査所）として設立されました。現在、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、地質災害の要因解明と防止に関する研究、地学情報のセンター機能の充実などを行っています。

\*38：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

Nagra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、スイス国内の地下研究施設（グリムゼルなど）や幌延と同種の堆積岩のサイトにおいて地層処分に係る様々な調査研究も行っていきます。

## モンテリ・プロジェクト<sup>\*39</sup>（スイス）

モンテリ・プロジェクトで実施されている各種の原位置試験のうち、原子力機構は「難透水性堆積岩の地球化学的評価試験」へ参加しています。平成18年度は、モンテリ岩盤研究所の調査坑道に設置しているモニタリング装置およびその周辺で、岩石や水質がどのように変化しているかを調査するための試験計画を策定しました。また、今後の幌延深地層研究計画へ反映するために、モンテリ岩盤研究所で行う試錐に関する計画を策定しました。

上記の他にも、埼玉大学とガスの分析などについて情報交換を行い、ANDRA<sup>\*40</sup>（フランス）については、具体的な研究協力項目についての意見交換を行いました。また、産業技術総合研究所<sup>\*41</sup>については、天然事象に関する研究と原位置および室内透水試験に関する意見交換を行いました。

---

\*39：モンテリ・プロジェクト（Mont Terri Project）は、堆積岩を対象とした地層処分研究に関する国際的な原位置試験プロジェクトです。現在、原子力機構を含め6ヶ国から12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。

\*40：Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs（National radioactive waste management agency）：放射性廃棄物管理公社

ANDRA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、現在、幌延と同種の岩石である堆積岩を対象に深地層の研究施設計画を進めています。

\*41：独立行政法人 産業技術総合研究所は、通商産業省工業技術院などを経て、平成13年の独立行政法人化により発足しました。産業技術の広い分野におけるさまざま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。現在の研究分野は「ライフサイエンス」、「情報通信・エレクトロニクス」、「ナノテクノロジー・材料・製造」、「環境・エネルギー」、「地質」、「標準・計測」の6分野に大別されます。

## (引用文献)

\*本文中引用した順に記載

- (1) 松井裕哉, 新里忠史, 山口雄大(編) (2006): “幌延深地層研究計画平成 18 年度調査研究計画”, JAEA-Research 2006-073 .
- (2) 核燃料サイクル開発機構(2005): “平成 16 年度研究開発課題評価(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) 核燃料サイクル開発機構(2004): 幌延深地層研究計画における電磁法による大曲断層調査, JNC TJ5410 2004-002 .
- (4) 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 .
- (5) 町田洋, 大場忠道, 小野昭, 山崎晴雄, 河村善也, 百原新 (2003): “第四紀学”, 朝倉書店 .
- (6) 国土地理院(2001): “数値地図 50m メッシュ(標高)日本 - I”(CD-ROM), 国土地理院 .
- (7) 五十嵐八枝子 (1991): “完新世の森林と気候の変化”, 北海道の自然史, 北海道大学図書刊行会, pp.181-205 .
- (8) 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, 104, pp.189-224 .
- (9) Wessel, P. and W. H. F. Smith (1991): “Free software helps map and display data”, EOS Trans. Amer. Geophys. U., 72, 441, pp.445-446.
- (10) Moriya, H., Niitsuma, H. and Baria, R. (2003): “Multiplet-Clustering analysis reveals structural details within the seismic cloud at the Soultz geothermal field, France”, Bulletin of the Seismological Society of America, vol.93, pp.1606-1620. (日本語による解説は、[http://www.ied.eng.tohoku.ac.jp/moriya/moriya\\_index-j.htm](http://www.ied.eng.tohoku.ac.jp/moriya/moriya_index-j.htm) 「マルチプレット・クラスタリング解析について」にあり)
- (11) 中田高, 今泉俊文(2002): “活断層詳細デジタルマップ(+DVD2 枚+付図), 東京大学出版会, 東京.
- (12) 核燃料サイクル開発機構 (2004) “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 - 平成 15 年度報告 - ”, JNC TN1400 2004-007.
- (13) 北海道編 (1992): “新北海道史年表”, 北海道出版企画センター .
- (14) アイヌ民族博物館編 (1993): “ひとびとのあゆみ”, アイヌ文化の基礎知識, 草風館,

pp.31-52 .

- (15)河野本道(1996):“アイヌ史ノ概説”,北海道出版企画センター .
- (16)小西一寛,中山雅,三原守弘,吉田泰,入矢桂史郎,秋好賢治,納田勝(2006):“幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの施工性に関する研究”,JAEA-Research 2006-040.
- (17)小林保之,山田勉,中山雅,松井裕哉,松田武,小西一寛,入矢桂史郎,納田勝(2007):“低アルカリ性セメントを用いたコンクリートに関する原位置試験計画案”,JAEA-Research 2007-007.
- (18)核燃料サイクル開発機構(1999):“わが国における高レベル放射性廃棄物処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ - 分冊2 地層処分の工学技術”,JNC TN1400 99-022 , p.111-2.
- (19)大久保誠介(2005):“ニアフィールド岩盤の長期安定性評価手法に関する研究”,JNC TJ8400 2004-018.
- (20)佐藤治夫(2006):“スメクタイト表面の水の熱力学特性の膨潤圧への適用”,日本原子力学会「2006年秋の大会」予稿集 B43, p.43.
- (21)Sato, H.: “Thermodynamic Data of Water on Smectite Surface and Those Application to Swelling Pressure of Compacted Bentonite”,OECD/NEA Report(印刷中).
- (22)鈴木宏幸,谷口直樹(2006):“低酸素濃度下におけるチタンの腐食速度と水素吸収挙動”,材料と環境,Vol.55, No.11, pp.485-494.
- (23)Vieno, T., Lehtikoinen, J., Löfman, J., Nordman, H. and Mészáros, F. (2003):“Assessment of Disturbances Caused by Construction and Operation of ONKALO”,POSIVA 2003-06.
- (24)山田勉,平本正行,小林保之,油井三和,佐藤治夫,松井裕哉(2007):“処分場建設の際に持ち込まれる材料の長期性能評価の観点からの留意点”,JAEA-Review 2007-008.
- (25)核燃料サイクル開発機構,電気事業連合会(2005):“TRU 廃棄物処分技術検討書 - 第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ - ”,JNC TY1400 2005-013.
- (26)核燃料サイクル開発機構(2005):“幌延深地層研究計画 平成16年度調査研究成果報告”,JNC TN5400 2005-001.
- (27)Xia, X., Shibata, M. and Kamei, G. (2004):“海水系地下水条件下での堆積岩に対するセレンの収着”,日本原子力学会バックエンド部会,第20回バックエンド夏期



セミナー資料集，ポスター7-1～7-9.

- (28)核燃料サイクル開発機構(2005)：“地質環境の調査から物質移行解析にいたる一連の調査・解析技術”，JNC TN1400 2005-021.
- (29)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 (2007)：“圧縮 Na 型モンモリロナイトにおける  $H_2^{18}O$  の拡散と電気浸透”，日本原子力学会「2007 年春の年会」予稿集 141，p.421.
- (30)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.

# 參考資料

## (平成 18 年度外部発表資料)

\*著者アルファベット順に記載

- 天石文, 高畑陽, 川又睦, 國丸貴紀, 帆秋利洋(2006): “ 深部地下水中の微生物解析結果 ”, 日本微生物生態学会第 22 回大会, 2006 年 10 月.
- 天羽美紀, 鈴木徳行, 篠田敏夫, Ratnyake, N.P., 高橋一晴(2006): “ Pristene, phytene, and sterenes in immature Horonobe diatomaceous sediments as potential indicators of paleo-temperature and depositional environment. ”, 17th International Sedimentological Congress, 2006 年 8 月.
- 天羽美紀, 鈴木徳行, 篠田敏夫, Ratnyake, N.P., 高橋一晴(2006): “ Diagenesis and distribution of sterenes in Late Miocene to Pliocene Horonobe marine siliceous rocks, Hokkaido, Japan ”, CHEMICAL GEOLOGY, (印刷中).
- 青木謙治, 水戸義忠, 黒川進, 松井裕哉, 丹生屋純夫, 南将行(2007): “ AE 計測と DEM 解析に基づく大深度堆積軟岩の破壊過程に関する研究 ”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム, 東京, 2007 年 1 月.
- 舟木泰智, 石井英一(2006): “ 幌延地域に分布する堆積岩中の水みちとなり得る地質構造 ”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 舟木泰智, 安江健一, 國丸貴紀, 尾留川剛, 名合牧人(2006): “ 周氷河作用を被った地域における表層部の水理地質構造 - 北海道北部、幌延地域における例 - ”, 日本地質学会第 113 年年会 (高知大会), 2006 年 9 月.
- 畑中耕一郎(2006): “ 堆積岩に関する地質環境評価手法に関する研究 ”, 「安全研究成果報告会」 - 放射性廃棄物の地層処分について - , 2006 年 3 月.
- 濱克宏, 國丸貴紀, 操上広志, 舟木泰智(2007): “ 幌延深地層研究計画 ( 3 ) 地上からの地質環境調査結果と今後の課題 ”, 日本原子力学会「2007 年春の年会」, 2007 年 3 月.
- 濱克宏, 國丸貴紀, Metcalfe, R., Martin, A.J.(2007): “ The hydrogeochemistry of argillaceous rock formations at the Horonobe URL site, Japan. ”, Physics and Chemistry of the Earth, vol.32, pp.170-180,
- 本多眞, 桜井英行, 岩佐健吾, 鈴木誠, 松井裕哉(2006): “ 地球統計手法による各種比抵抗探査データの統合と水理地質・水質分布モデルの構築 ”, 資源素材学会春季大会, pp.49-52, 2006 年 3 月.
- 本多眞, 鈴木誠, 桜井英行, 岩佐健吾, 松井裕哉(2006): “ 調査段階の進展に伴う水理地質モデルの信頼度に関する考察 - 地球統計手法を用いた透水係数分布の推定 - ”, 地盤工学研究発表, pp.51-52, 2006 年 7 月.
- 兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 山本陽一, 佐々木勝司, Masson, M. (2006): “ 地層内容メタン測定のためのセンサー開発とその諸特性について ”, 第 41 回地盤工学研究発表会, 2006 年 7 月.
- 兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 山本陽一, 佐々木勝司, Masson, M. (2006): “ 溶存メタンセンサーによる地層内メタン濃度測定 その 1 測定値に及ぼすガス種、水流の影響 ”, 平成 18 年度土木学会全国大会, 第 61 回年次学術講演会, 2006 年 9 月.
- 兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 山本陽一, 佐々木勝司, Masson, M. (2006): “ 溶存メタンセンサーによる地層内メタン濃度測定 その 2 幌延における孔内測定試験 ”, 平成 18 年度土木学会全国大会, 第 61 回年次学術講演会, 2006 年 9 月.
- 石井英一(2006): “ 水 - 岩石反応の地質学的証拠からみた海成堆積物地下浅部における淡水浸透領域の長期的変遷 ”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月.
- 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,

- pp.280-291, 2006年12月.
- 石井英一, 濱克宏, 國丸貴紀, 佐藤治夫(2007):“海成堆積物の地下浅部における天水の浸透に伴う地下水のpH変化”, 地質学雑誌, Vol.113, pp.41-52, 2007年2月.
- 石井英一, 安江健一, 田中竹延, 津久井朗太, 松尾公一, 杉山和稔, 松尾重明(2006):“北海道北部, 幌延地域における大曲断層の三次元分布と水理特性”, 地質学雑誌, Vol.112, pp.301-314, 2006年5月.
- 入矢桂史郎, 中山雅, 小西一寛, 三原守弘(2006):“フライアッシュ高含有シリカフェームコンクリートの施工性”, コンクリート工学年次大会2006, Vol.28, No.1, pp.173-178, 2006年7月.
- 岩月輝希, 太田久仁雄, 濱克宏, 國丸貴紀(2007):“幌延深地層研究計画(6)第2段階における調査研究の現状と今後の計画”, 日本原子力学会「2007年春の年会」, 2007年3月.
- 川村淳, 大井貴夫, 牧野仁史, 梅田浩司, 新里忠史, 石丸恒存, 瀬尾俊弘(2006):“Study on evaluation method for potential impacts of “natural phenomena” on a HLW disposal system”, Proceedings of 2006 East Asia Forum on Radwaste Management Conference (2006 EAFORM Conference), pp.350-367, 2006年11月.
- 川村淳, 大井貴夫, 新里忠史, 安江健一, 梅田浩司, 牧野仁史, 石丸恒存(2006):“高レベル放射性廃棄物処分における隆起・侵食に起因するシナリオの検討”, 日本地質学会第113年年会(高知大会), 2006年9月.
- 川村淳, 牧野仁史, 大井貴夫, 梅田浩司, 新里忠史, 石丸恒存(2006):“放射性廃棄物処分に係わる天然現象影響評価に関する影響解析パラメータの設定手法の検討”, 日本地球惑星科学連合2006年大会, G150-012, 2006年5月.
- 川村淳, 牧野仁史, 梅田浩司, 大井貴夫, 新里忠史, 石丸恒存(2006):“「火山活動」を例とした放射性廃棄物処分に係わる影響解析パラメータの設定”, 日本地球惑星科学連合2006年大会, G150-P019, 2006年5月.
- 國丸貴紀, 細谷真一(2006):“採水深度における間隙水圧と水質の同時モニタリングを可能としたモニタリングシステムとその適用性”, 日本地下水学会2006年秋季講演会, 2006年10月.
- 國丸貴紀, 福島龍朗, 武田精悦(2007):“幌延深地層研究計画(2)研究所設置場所を決定するまでのあゆみ”, 日本原子力学会「2007年春の年会」, 2007年3月.
- 熊本創, 下茂道人, 操上広志(2007):“幌延深地層研究計画における地下研究施設掘削に伴う地下水流動予測解析 ~地上からの調査結果に基づく水理地質構造のモデル化と解析~”, 日本地下水学会, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム発表論文集, pp.43-50, 2007年1月.
- 操上広志, 國丸貴紀, 藪内聡, 瀬尾昭治, 下茂道人, 熊本創(2006):“Hydrogeological model in Horonobe Underground Research Laboratory Project”, GeoProc 2006, pp584-589, 2006年5月.
- 操上広志, 國丸貴紀, 舟木泰智(2006):“幌延深地層研究計画第1段階における水理地質環境モデル構築”, 日本原子力学会 第22回バックエンド夏期セミナー, pp.ポスター1-1, 2006年7月.
- 操上広志, 安江健一, 新里忠史, 今井久, 塩先功, 山下亮(2007):“気候・海水準変動が地下水流動に与える影響に関する解析的検討 - 幌延地域を例として -”, 日本地下水学会 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム, 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム発表論文集, pp.59-66, 2007年1月.
- 松井裕哉, 青柳茂男, 宮野前俊一(2006):“新第三紀珪質岩の風化特性に関する実験的検討”, 第41回地盤工学研究発表会, pp.495-496, 2006年7月.
- 森岡宏之, 松井裕哉(2006):“幌延深地層研究計画における地下施設建設の概要”, 土木学会岩盤力学委員会ニューズレター, No.11, <http://www.rocknet.japan.org/topics/News.html>, 2006年11月.
- 森谷祐一, 新里忠史, 北村至, 堀田光, 大原英史(2006):“マルチプレット・クラスタリング解析による北海道北部幌延地域の微小地震解析”, 物理探査学会第115回(平成18年度秋季)学術講

- 演会, 物理探査学会第 115 回学術講演会論文集 (2006), pp.46-49, 2006 年 10 月.
- 新里忠史, 重野聖之, 高清水康博(2006): “北海道における地震に関するアイヌの口碑伝説と歴史記録”, 歴史地震, No.21, pp.121-136, 2006 年 4 月.
- 新里忠史, 重野聖之, 高清水康博(2006): “北海道周辺地域における歴史地震について - アイヌの口碑伝説と歴史記録に基づく検討 - ”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P006, 2006 年 5 月.
- 丹生屋純夫, 松井裕哉(2006): “塩水環境下に分布する新第三紀珪質岩の強度変形特性”, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.497-498, 2006 年 7 月.
- 大原英史, 津久井朗太, 國友孝洋, 中島崇裕, 新里忠史, 青木和弘, 熊澤峰夫(2006): “幌延深地層研究計画 - 遠隔監視システム (アクロス) の概要と進捗について - ”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 0106-P009, 2006 年 5 月.
- 太田久仁雄(2006): “堆積岩に関する地質環境評価手法に関する研究”, 原子力安全委員会, 放射性廃棄物安全研究分科会第 1 回ヒアリング, (追加資料), 2006 年 12 月.
- 太田久仁雄, 濱克宏, 棚井憲治, 前川恵輔(2007): “幌延深地層研究計画 (1) 第 1 段階における調査研究成果の取りまとめの概要”, 日本原子力学会「2007 年春の年会」, 2007 年 3 月.
- 小川豊和, 青木智幸, 城まゆみ, 松井裕哉, 堀井秀之(2007): “地山の時間依存性挙動を考慮した坑道掘削時の安定性解析”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.39-44, 2007 年 1 月.
- 尾留川剛, 小島亘, 白戸伸明, 斉藤敏樹(2006): “石炭灰 (フライアッシュ) の高強度吹付けコンクリートへの適用性”, コンクリート工学年次大会 2006, コンクリート工学年次論文集第 28 巻, pp.1637-1642, 2006 年 7 月.
- 尾留川剛, 森岡宏之, 西山誠治(2006): “幌延深地層研究計画における地下研究坑道の耐震性能照査”, 第 41 回地盤工学研究発表会, 第 41 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1739-1740, 2006 年 7 月.
- 尾留川剛, 森岡宏之, 山上光憲, 村川史朗(2006): “幌延深地層研究計画における地下研究坑道の概要と支保設計”, 電力土木技術協会誌, No.324, pp.82-86, 2006 年 7 月.
- 坂井哲郎, 畠山信也, 布施正人, 成田譲(2006): “幌延深地層研究計画におけるガス湧出量の予測 (第 2 報)”, 資源・素材関係学協会合同秋季大会 資源・素材 2006, 福岡市, 企画発表・一般発表(A)(B)講演資料, p.101, 2006 年 9 月.
- 真田祐幸(2007): “幌延深地層研究計画の現状及び原位置と室内試験に基づいた第三紀珪質岩盤の力学モデル構築”, 第 9 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2007), 2007 年 3 月.
- 佐藤治夫(2006): “スメクタイト表面の水の熱力学特性の膨潤圧への適用”, 日本原子力学会「2006 年秋の大会」予稿集 B43, p.43, 2006 年 9 月.
- 佐藤治夫(2006): “圧縮ベントナイト間隙水の熱力学特性の膨潤圧への適用”, 連携重点研究ワークショップ - 緩衝材物性と微生物活動を指標とした処分環境の理解 -, 2006 年 8 月.
- 佐藤治夫(2007): “ベントナイト及び岩石中に於ける拡散現象に関する情報交換会 - 地層処分の安全評価を目指して - ”, 日本原子力学会誌 (会議報告), Vol.49, NO.1, pp.51-52, 2007 年 1 月.
- 佐藤治夫(2006): “Activation Energies of Diffusion for I and Cs in Compacted Smectite”, International Information Exchange Meeting on Diffusion Phenomena in Bentonite and Rock -Aiming at the Safety Assessment of the Geological Disposal, 2006 年 7 月.
- 佐藤治夫(2007): “Thermodynamic Data of Water on Smectite Surface and Those Application to Swelling Pressure of Compacted Bentonite”, International Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, Final Programme and Abstracts, 2007 年 1 月.
- 佐藤治夫(2007): “Activation Energies of Diffusion for I and Cs in Interlayer of Smectite”,



International Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, Final Programme and Abstracts, 2007年1月.

佐藤治夫：“放射性廃棄物処分に於ける易動性核分裂生成物及び放射化生成物に関する国際ワークショップ”, 日本原子力学会誌(会議報告),(印刷中).

佐藤治夫(2007)：“スメクタイト中のイオンの拡散の活性化エネルギー”, 粘土ワークショップ, 2007年3月.

佐藤治夫(2007)：“スメクタイトの層間中のI及びCsの拡散の活性化エネルギー”, 第9回放射性廃棄物地層処分に於ける情報交換会(Sapporo Conference 2007), 2007年3月.

瀬尾昭治, 戸井田克, 小林一三, 田中真弓, 松井裕哉, 國丸貴紀, 操上広志(2006)：“難透水性岩石を対象とした閉鎖型フローポンプ式室内透水試験法の適用性”, 日本地下水学会 2006年秋季講演会, 2006年10月.

瀬尾昭治, 新里忠史, 操上広志, 安江健一, 藪内聡, 原稔, 國丸貴紀, 中山雅, 舟木泰智, 山口雄大(2006)：“浮流土砂流量に基づく侵食量の予測手法の検討 - 北海道北部幌延町における調査事例 -”, 日本地球惑星科学連合 2006年大会, G150-P001, 2006年5月.

瀬谷正巳, 畑中耕一郎, 福島龍朗(2006)：“幌延深地層研究計画の概要と現状について”, 佐藤工業技術研究所報, No.31, pp.49-56, 2006年11月.

瀬谷正巳, 森岡宏之, 福島龍朗(2006)：“幌延深地層研究センター地下施設の建設について”, 佐藤工業技術研究所報, No.31, pp.57-62, 2006年11月.

高橋一晴, 新里忠史, 安江健一, 天羽美紀, 鈴木徳行(2006)：“北海道北部幌延町新第三紀珪質岩の地球化学的特徴からみた侵食量および隆起時期(2)”, 日本地球惑星科学連合 2006年大会, G150-P002, 2006年5月.

高橋一晴, 新里忠史, 安江健一, 天羽美紀, 鈴木徳行(2006)：“北海道北部幌延地域に分布する珪質岩の地球化学的特徴による侵食量の推定”, 第24回有機地球化学シンポジウム(2006年松本シンポジウム), 2006年8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(2007)：“圧縮Na型モンモリロナイトにおける $H_2^{18}O$ の拡散と電気浸透”, 日本原子力学会「2007年春の年会」予稿集 141, p.421, 2007年3月.

徳永朋祥, 木村ゆき, 井尻裕二, 本島貴之, 國丸貴紀, 高本尚彦, 嶋田純, 細野賢一(2006)：“幌延地域における塩素安定同位体比を用いた塩水淡水挙動評価”, 日本地下水学会 2006年秋季講演会, 2006年10月.

山口真基, 藤井義明, 福田和寛, 松井裕哉(2006)：“DSCA法を用いた幌延珪藻質泥岩の初期応力測定”, 平成18年度 資源・素材関係学協会合同秋季大会 資源・素材 2006, 福岡市, pp.55-56, 2006年9月.

山本肇, 國丸貴紀, 操上広志, 下茂道人, Xu, T(2006)：“Long-term simulation of ambient groundwater chemistry at Horonobe URL, Japan -Application of coupled hydrogeochemical model-”, GeoProc 2006, pp.382-387, 2006年5月.

山本肇, 下茂道人, 國丸貴紀, 操上広志(2007)：“幌延深地層研究計画における立坑掘削時の地下水からの脱ガスの予察解析”, 第36回岩盤力学に関するシンポジウム, 2007年1月.

安江健一, 秋葉文雄, 大平寛人, 石井英一(2006)：“北海道北部, サロベツ背斜付近に分布する声問層上部の鮮新統上部珪藻化石帯とフィッション・トラック年代”, 地質学雑誌, Vol.112, pp.284-293, 2006年4月.

安江健一, 新里忠史, 千葉昭彦(2006)：“地中レーダ探査による極浅部の地質構造調査 - 北海道北部, 大曲 - 豊富断層の例 -”, 日本地球惑星科学連合 2006年大会, 0106-P007, 2006年5月.

安江健一, 新里忠史, 千葉昭彦(2006)：“地中レーダ探査による沖積・段丘面下の地質構造調査”, 日本地質学会第113年年会(高知大会), 2006年9月.

安原英明, 操上広志, 木下尚樹, 岸田潔(2007)：“圧力溶解現象を考慮した珪藻質岩石の透水性評価”, 第36回岩盤力学に関するシンポジウム, 第36回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文

集, pp.283-286, 2007年1月.

吉村公孝, 坂下晋, 大久保秀一, 山根一修, 瀬谷正巳(2006):“地層処分における電磁法解析技術の開発(その6) - 北海道幌延町におけるAMT法3次元調査 -”, 物理探査学会第115回(平成18年度秋季)学術講演会, 物理探査学会第115回学術講演会論文集, pp.209-212, 2006年10月.