

幌延深地層研究計画  
平成 17 年度調査研究成果報告

平成 18 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  
総務課

〒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 17 年度の調査研究の進め方 .....	2
3. 平成 17 年度の主な調査研究結果 .....	3
4. 地層科学研究 .....	6
4.1 地質環境調査技術開発 .....	6
4.1.1 地質環境データの取得 .....	6
(1) 物理探査 .....	6
(2) 地質調査 .....	8
(3) 表層水理調査 .....	11
(4) 試錐調査 .....	15
4.1.2 地質環境のモデル化と地下施設建設に伴う地質環境の変化の 予測 .....	22
(1) 地質構造モデル .....	23
(2) 岩盤の水理モデル .....	23
(3) 地下水の地球化学モデル .....	25
(4) 岩盤力学モデル .....	27
4.1.3 調査技術・調査機器開発 .....	34
(1) 試錐孔を用いた調査試験のための技術 .....	34
(2) 試錐孔掘削のための技術 .....	38
4.2 地質環境モニタリング技術の開発 .....	39
4.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発 .....	39
4.2.2 遠隔監視システムの開発 .....	42
4.3 地質環境の長期安定性に関する研究 .....	45
4.3.1 地震研究 .....	45
4.3.2 天然現象の研究 .....	48

5. 地層処分研究開発 .....	58
5.1 処分技術の信頼性向上 .....	58
5.1.1 人工バリア等の工学技術の検証 .....	58
5.1.2 設計手法の適用性確認 .....	60
5.2 安全評価手法の高度化 .....	64
5.2.1 安全評価手法の適用性確認 .....	64
(1) 安全評価モデルの高度化 .....	64
(2) 安全評価手法の適用性確認 .....	64
6. 第2段階の調査研究 .....	66
6.1 第2段階の調査研究の目標 .....	66
6.2 調査研究の概要 .....	66
6.2.1 地層科学研究 .....	66
(1) 地質環境調査技術開発 .....	66
(2) 地質環境モニタリング技術の開発 .....	67
(3) 深地層における工学的技術の基礎の開発 .....	68
(4) 地質環境の長期安定性に関する研究 .....	68
6.2.2 地層処分研究開発 .....	69
(1) 処分技術の信頼性向上 .....	69
(2) 安全評価手法の高度化 .....	70
7. 地上施設・地下施設・環境調査 .....	71
7.1 地上施設 .....	71
7.2 地下施設 .....	72
7.3 環境調査 .....	75
8. 開かれた研究 .....	79
引用文献 .....	82
参考資料	

## 図リスト

- 図 1 研究所用地とその周辺
- 図 2 調査測線位置
- 図 3 電気探査結果
- 図 4 研究所設置地区周辺の地質図
- 図 5 小断層帯を観察した剥ぎ取り露頭の写真
- 図 6 ガス測定結果（調査ルートは図4を参照）
- 図 7 表層水理調査位置図
- 図 8 河川流量観測および気象観測結果
- 図 9 樹冠上蒸発散量観測概念図
- 図10 広葉樹林の手法別蒸発散量の比較（例）
- 図11 地下水位・土壌水分観測結果（例）
- 図12 試錐調査実施位置とケーシングプログラム
- 図13 地質柱状図および流体検層結果（HDB-11孔）
- 図14 地質柱状図および物理検層結果（HDB-11孔）
- 図15 一軸圧縮強度の深度分布（HDB-11孔）
- 図16 岩石物性の比較
- 図17 水理調査結果（HDB-11孔）
- 図18 地下水と間隙水の酸素・水素同位体比の特徴
- 図19 断層に関する地質構造の概念モデル
- 図20 地下水流動解析結果の一例
- 図21 これまでに取得された分析結果より推定した地下水水質分布
- 図22 坑道周辺における地下水の地球化学的变化のイメージ（pHの変化）
- 図23 各試錐孔における物理検層・室内試験結果の相互比較
- 図24 各試錐孔における初期応力測定結果の比較
- 図25 研究所設置地区とその周辺地区の岩盤力学概念モデル
- 図26 地下施設建設時の掘削影響予測解析の考え方
- 図27 解析モデル（三次元解析）
- 図28 解析で得られた塑性領域分布および立坑掘削時の変形（三次元解析）

- 図29 地下水流向・流速計測装置の試作機概念図
- 図30 地下水流向・流速計装置の計測部
- 図31 間隙水の抽出圧力と水質の関係
- 図32 間隙水抽出前後での岩石組織の電子顕微鏡写真（声問層）
- 図33 地下深部と地上での計測結果の比較
- 図34 HDB-9, 10孔における間隙水圧観測区間
- 図35 HDB-6孔における地下水の間隙水圧の測定例
- 図36 採水した地下水水質の経時変化の例（HDB-4孔）
- 図37 遠隔監視システムの観測機器配置図
- 図38 弾性波アクロスの概念図
- 図39 電磁アクロスの観測記録の例（Z地点:2006/3/25）
- 図40 幌延町周辺に設置されている地震計の位置
- 図41 幌延地域における地震の震源分布（期間:平成14年12月20日～平成17年9月30日）
- 図42 北海道とその周辺で発生した被害地震の分布
- 図43 過去約300万年間の古地理の変遷
- 図44 調査範囲位置図
- 図45 地中レーダ探査の解析断面（開進地区）
- 図46 解析に使用したGPS観測点
- 図47 HDB-1観測点と各GEONET観測点との基線長の変化（期間:平成15年1月1日～平成18年1月13日）
- 図48 平成15年十勝沖地震発生前後における各GEONET観測点の模式的な変位方向
- 図49 平成17年に北海道で発生した大きな地震
- 図50 地下深部の比抵抗値の変化
- 図51 水セメント比40%のベースコンクリートの一軸圧縮強度の推移
- 図52 吹付け試験の様子（HFSC424N）
- 図53 サイト選定から処分場建設地選定までの概略的な流れと平成17年度の検討範囲（赤破線内）
- 図54 第2次取りまとめで示した処分場設計の基本的な流れ

- 図55 全体設計フロー（図54）をベースに更新した処分場設計の基本的な流れ
- 図56 更新した全体設計フローに対する緩衝材仕様の検討フロー
- 図57 研究管理棟および試験棟の外観
- 図58 PR施設のイメージ
- 図59 立坑掘削手順（換気立坑の例）
- 図60 地下施設仮設備の配置
- 図61 立坑模型実験
- 図62 環境モニタリング調査位置図

## 表リスト

- 表 1 解析用物性値 (三次元モデル)
- 表 2 地下水流向・流速測定結果
- 表 3 環境モニタリング調査実施内容 (平成17年度)
- 表 4 確認された重要種 (魚類)
- 表 5 モニタリング調査項目と結果

## 1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構（旧核燃料サイクル開発機構と旧日本原子力研究所が統合し平成17年10月に発足した独立行政法人<sup>\*1</sup>；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月に公表された「原子力政策大綱」<sup>\*2</sup>に示された「深地層の研究施設」計画の一つであり、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、平成12年11月に示された「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」の考え方を基本的に踏襲し、「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。

平成17年10月に文部科学省と経済産業省が公表した「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）」<sup>\*3</sup>（以下、中期目標）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ました。今後の調査研究は、中期目標に従って進めていくこととなります。

---

\*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.fepc.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ヶ月間とされています。

## 2. 平成 17 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 17 年度は、平成 13 年 3 月から開始した第 1 段階の最終年度であるとともに第 2 段階の初年度にあたります。

平成 17 年度は、平成 17 年 3 月に公表しました「幌延深地層研究計画平成 17 年度調査研究計画」<sup>(1)</sup>に従って調査研究を進めました。また、第 2 段階の研究開発課題<sup>(2)</sup>として、「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の開発、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 つの研究開発課題を設定しました。また、「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ました。

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。

### 3. 平成 17 年度の主な調査研究結果

平成 17 年度は、第 1 段階の最終年度として、主に北進地区にある研究所設置地区（主たる調査研究の展開場所、2～3km 四方程度）とその周辺地区において調査研究を実施しました。また、現場での調査と並行して、コアや地下水を利用した室内試験、各種の解析を行いました。

地質環境調査技術開発では、地表物理探査、地表露頭における割れ目の観察などの地質調査、表層水理観測を実施するとともに、HDB-11 孔での試錐調査を終了しました。また、平成 17 年度までに取得したデータに基づき、地質構造・岩盤の水理・地下水の地球化学・岩盤力学の各分野においてモデルを構築し、地下施設建設に伴う影響予測を実施しました。また、試錐孔を用いた調査技術やコントロール掘削技術に関する適用性の確認を行いました。

地質環境モニタリング技術の開発では、平成 16 年度までに設置した長期モニタリング機器による観測を継続し、地下水の水圧観測などを行うとともに、平成 16 年度に掘削した試錐孔(HDB-9, 10 孔)へ長期モニタリング機器を設置しました。また、遠隔監視システムの設置および試験観測を行いました。

地質環境の長期安定性に関する研究では、幌延地域の地殻変動の変遷を明らかにするため、幌延地域の地質の調査、地中レーダ探査などを行いました。また、平成 16 年度までに設置した地震計、GPS (Global Positioning System: 汎地球測位システム)、電磁探査機器による観測を継続しました。

処分技術の信頼性向上では、第 2 段階以降に地下施設で行う試験計画を具体化するために、低アルカリ性コンクリート材料に関する室内試験や実規模模擬トンネルにおける吹付け試験を実施しました。また、第 1 段階で取得した地質環境データを用いて既存の設計手法の適用性を検討しました。

安全評価手法の高度化では、コアを用い物質の収着<sup>\*4</sup>試験を行うととも

\*4: 固体表面と原子、分子あるいは粒子との反応です。一般に、収着には吸収(固体内の空隙内に取り込まれる現象)および吸着(固体表面に固定される現象)が含まれます。収着現象は、化合物の生成を引き起こすと同程度の力(化学結合)による化学収着とファンデルワールス力などの弱い分子間力による物理吸着に大きく分けられます(「H17 取りまとめ」(サイクル機構技術資料 JNC TN1400 2005-014)“用語の説明”を一部修正)。

に、第1段階で得られた地質環境の情報を一例として物質の移動に関する解析を試行しました。

なお、上記の作業と並行して、平成16年度までの研究成果を考慮した概括的な第2段階の研究計画を策定しました。地上施設(図1)については、造成工事完了後、研究管理棟および試験棟(「試験棟」の旧名:コア倉庫・ワークショップ棟)の建設を行い、平成18年2月より供用を開始しました。また、PR施設の建設工事に着手しました。



図1 研究所用地とその周辺

地下施設については、試錐調査で一部の地層から有害物質が検出されたことなどを踏まえ、環境保全のための付帯施設(掘削土(ズリ)仮置場)を整備するとともに、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の掘削土(ズリ)置場の設計と、地下施設から発生する排水を処理したのち天塩川に放流するための排水管路の設計を行いました。また、換気立坑坑口部およびコンクリートプラントの基礎工事

の一環として鋼管杭（換気立坑坑口上部工：深さ約 25m、コンクリートプラント：深さ約 26m）を設置するとともに、換気立坑坑口部を 5m 程度掘削しました。さらに、地下施設における防災対策の信頼性向上を目指した立坑模型による通気実験を行いました。

環境調査では、研究所設置地区を対象に、環境モニタリング調査を継続しました。

また、幌延地圏環境研究所、北海道大学、電力中央研究所をはじめ、国内外の研究機関との研究協力を進めました。

## 4. 地層科学研究

### 4.1 地質環境調査技術開発

#### 4.1.1 地質環境データの取得

平成 16 年度までに構築した地質環境モデルの妥当性の確認および更新を主目的として、物理探査、地質調査、表層水理調査、試錐調査を行い、地層の分布や断層などの地質構造のデータ、河川流量・河川水の水質データ、透水係数（地層の水の通し易さを表す）や地下水の圧力・水質データ、地層の強度などのデータを取得しました。

##### (1) 物理探査

平成 15 年度に実施した電磁法探査<sup>\*5</sup>により、大曲断層推定位置の深度約 200m 以深に、高い比抵抗を示す部分が確認されました。平成 16 年度までの調査の結果から、地層の比抵抗分布は主に地下水の塩分濃度の違いを反映していると考えられるため、この部分は、降水が大曲断層に沿って、地下深部まで浸透した領域と解釈しました。一方、深度約 200m 以浅では、周囲より高い比抵抗を示す部分は認められませんでした。

そこで、平成 17 年度は、大曲断層推定位置の深度約 200m 以浅における比抵抗分布をより詳しく調べるため、高密度の電気探査を実施しました（図 2）。

探査の結果、大曲断層推定位置の深度約 200m 以浅において、周囲よりやや低い比抵抗を示す部分が認められました（図 3）。これは、深度約 200m 以深に認められた傾向と異なる特徴を示します。この原因については今後検討していく予定です。

---

\*5: 地上で地面を流れる微弱な電気や磁場の変動を観測し、その信号の強さや信号の遅れ方などから、地下の比抵抗値（電気の流れにくさ）を求める手法です。一般的に、地質の違いや水の量などが変わると、比抵抗値も変わることから、これから、地層の連続性を推定することができます。



図2 調査測線位置

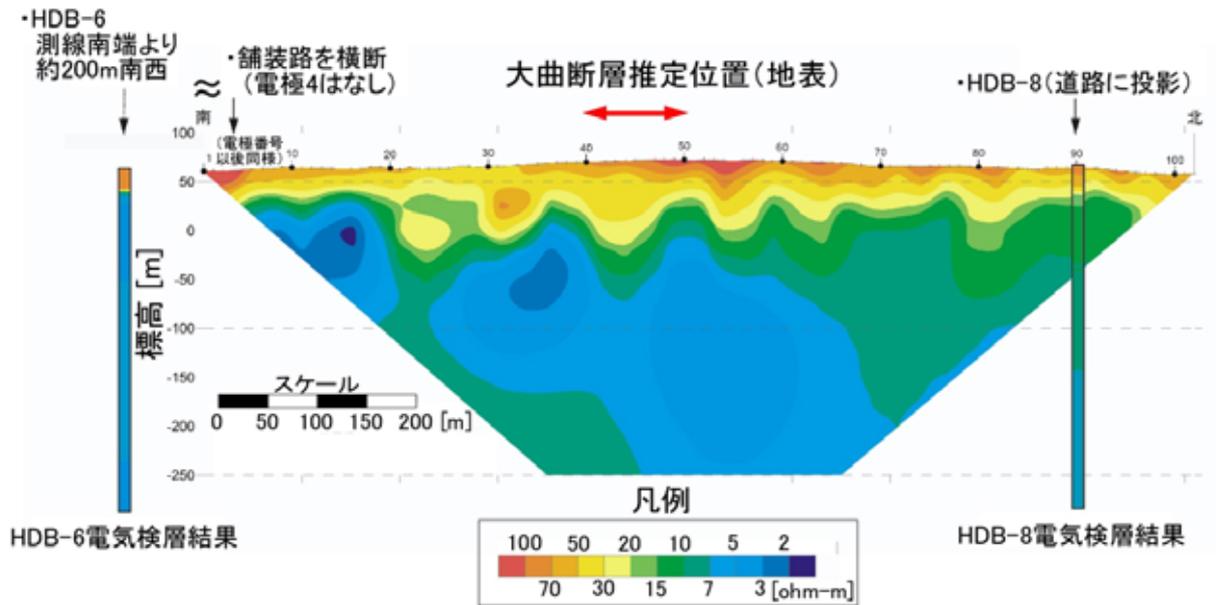


図3 電気探査結果

## (2) 地質調査

平成 16 年度までの試錐調査結果における岩石コア観察などから、岩盤中には小規模な断層が互いに密集した「小断層帯」が形成されていることが推定されました。平成 17 年度は、小断層帯の連続性や性状（断層面の走向・傾斜やずれの方向など）に関する情報を岩石コアよりも大きなスケールで観察するために、大曲断層の推定位置付近に地層が露出している上幌延地区において地質調査を実施しました。

また、平成 16 年度の地表ガス調査により、大曲断層推定位置付近においてガス徴(ガスの湧出)が認められました。そこで平成 17 年度は、ガス徴が長期間にわたり認められるかを確かめるため、平成 16 年度と同じ調査ルート上において継続的なガス測定を実施しました。具体的には、複数の浅層試錐孔内の二酸化炭素・メタンガスの濃度を測定しました。

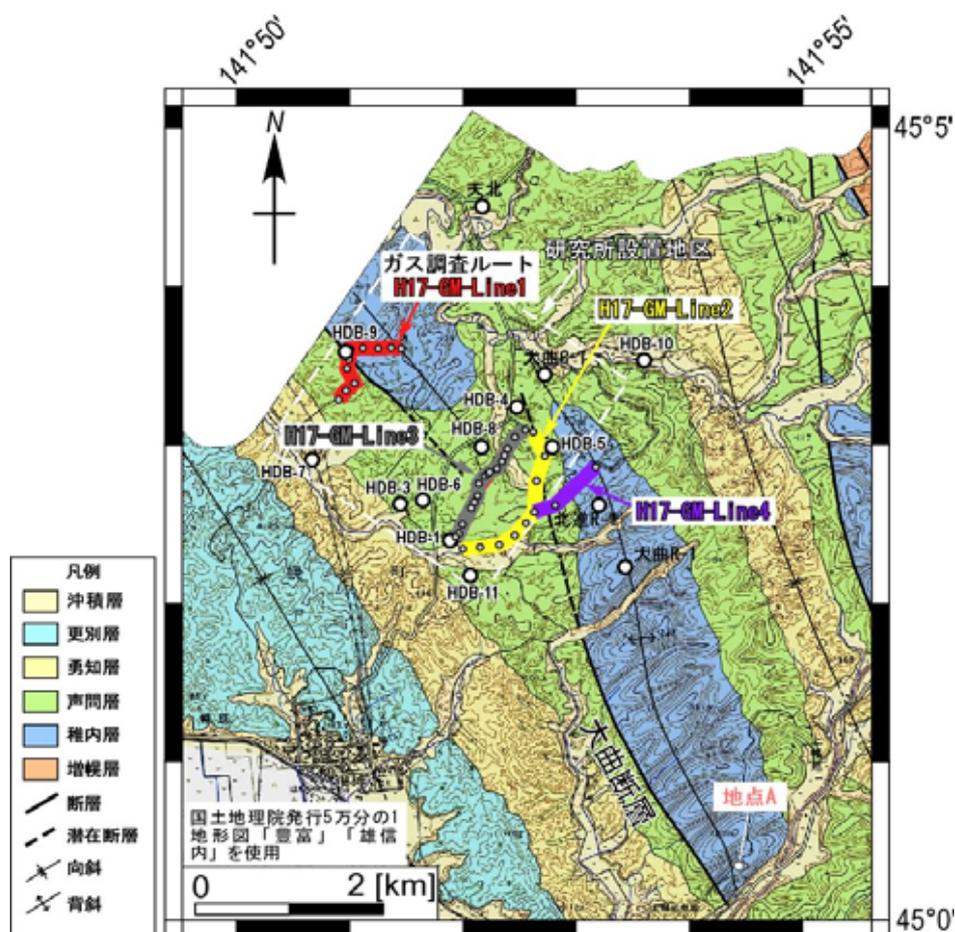


図 4 研究所設置地区周辺の地質図

地質調査の結果、図 4 に示す地点 A の露頭において小断層帯が数十 m 以上水平方向に連続して延びることを確認しました（図 5）。この露頭では、岩石コアの観察結果と同様に、多数の小規模な断層が互いに密集して分布することが観察できました。その中でも特に規模の大きなもの（図 5 の中央部の断層）は、地層をずらしていることが確認できます。これらの断層を詳細に観察することで、小断層帯の性状について多くの情報を得ることができました。今後は、地質調査および試錐調査から得られた小断層帯の性状について、坑道内における壁面観察などで確認していく予定です。

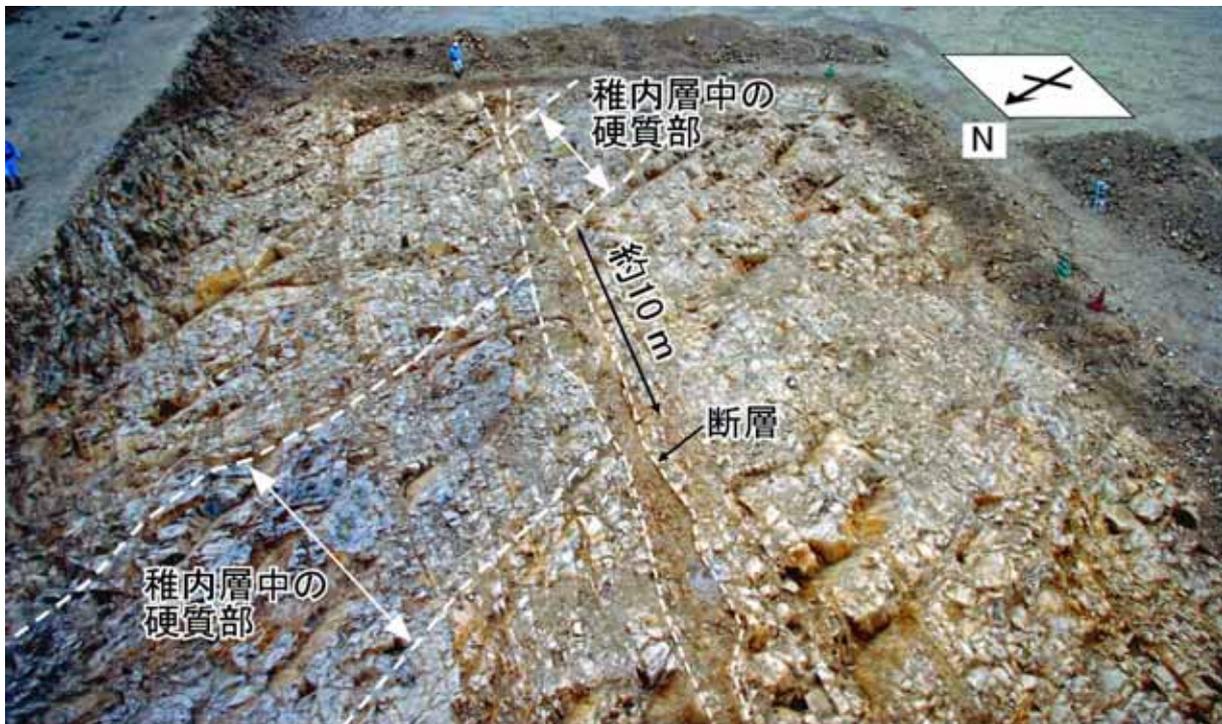


図 5 小断層帯を観察した剥ぎ取り露頭の写真

一方、平成 17 年度の継続的なガス調査の結果、大曲断層の推定位置付近で二酸化炭素濃度が高い傾向が認められました（図 6）。メタンガス濃度については、二酸化炭素濃度ほど、大曲断層推定位置との相関性は認められませんでした。調査ルート H17-GM-Line3 の大曲断層に挟まれる範囲（図 4）において、比較的高い濃度のメタンガスが継続的に検出されました。2 年間程度の観測期間中、ほぼ同じ場所でこのようなガス徴が認

められることから、大曲断層もしくはその近傍が、地下深部からのガスの移動経路として機能していることが推定されます。今後、浅層試錐孔を用いた二酸化炭素・メタンガスの濃度測定を継続するとともに、ガスの起源を特定するための同位体分析を行っていく予定です。

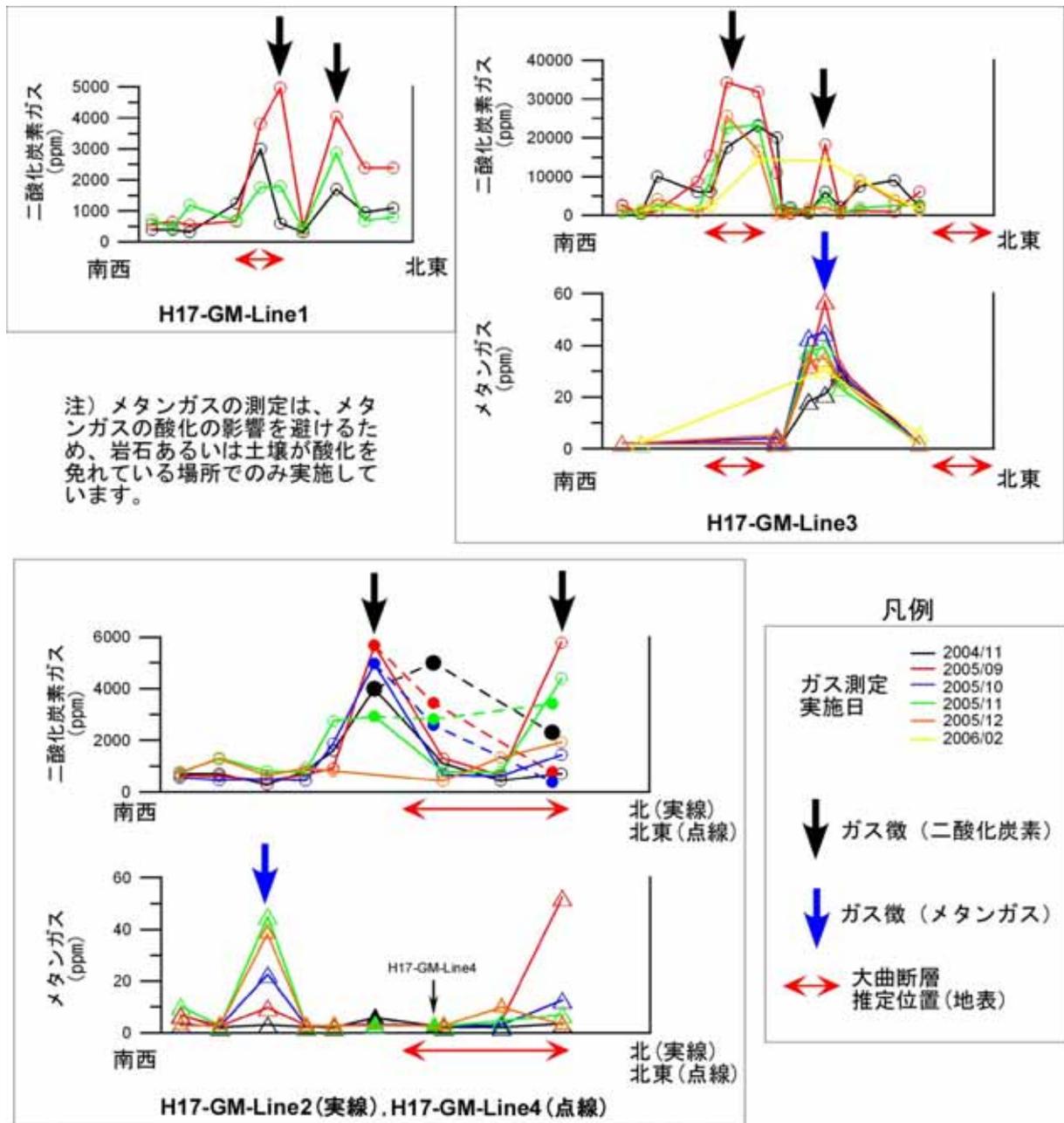


図6 ガス測定結果 (調査ルートは図4を参照)

### (3) 表層水理調査

表層(地表付近の地層)を通して降水が地下にしみ込む量(地下水涵養量)を推定するのに必要な手法を整備するため、平成16年度までに幌延町内4箇所での気象観測所、研究所設置地区とその周辺地区の3つの流域(P-3, 4, 5流域)での河川流量観測装置を整備しました。

平成17年度は、平成16年度までに整備した観測装置での観測を継続しました(図7)。各地区での降水量や積雪量、気温、河川流出高<sup>\*6</sup>の観測結果を図8に示します。

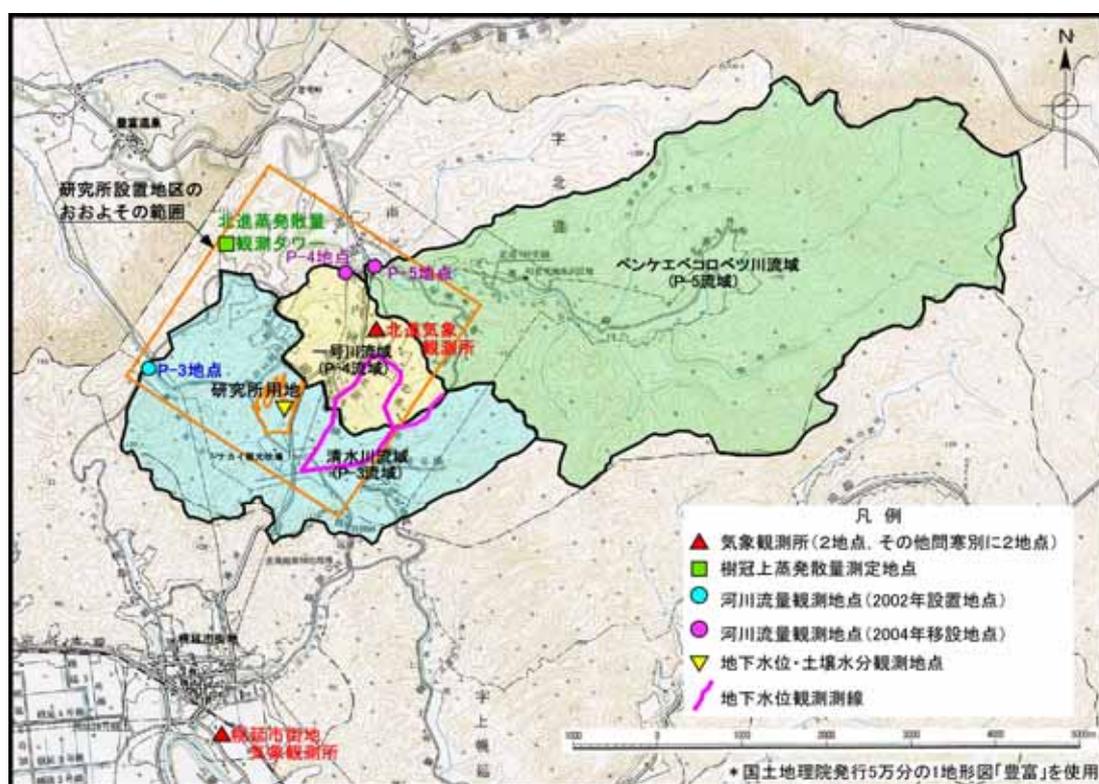


図7 表層水理調査位置図

\*6: 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。

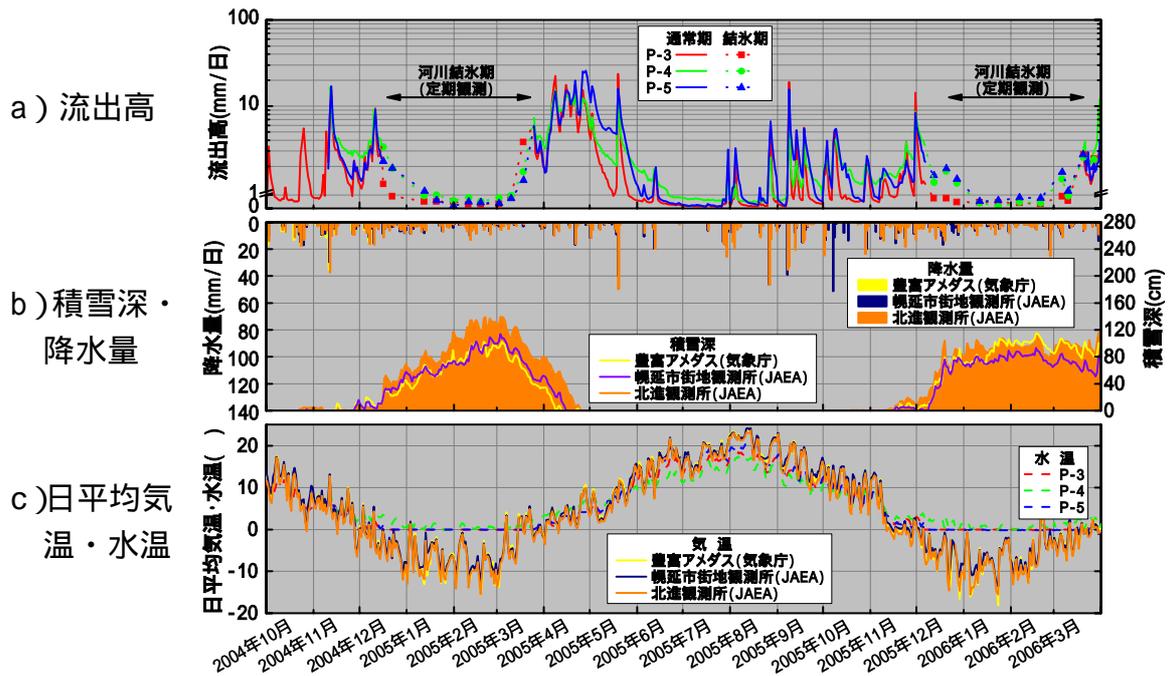


図 8 河川流量観測および気象観測結果

一方、涵養量を精度よく推定するために、河川流出高の他にそれぞれの流域における蒸発散量<sup>\*7</sup>を推定する必要があります。蒸発散量は牧草地や森林地あるいは積雪期と非積雪期でそれぞれ異なることから、条件に

応じた算出手法を用いる必要があります。このため、平成 16 年度より北進蒸発散量観測タワー(高さ約 30m)による観測(図 9)を開始して、牧草地とともに流域の大半を占める広葉樹林からの蒸発散量(樹冠上蒸発散量)を推定し、平成 17 年度までに得られた気温、風速、湿度などの観測結果を基に手法別に蒸発散量の比較を行いました(図 10)。

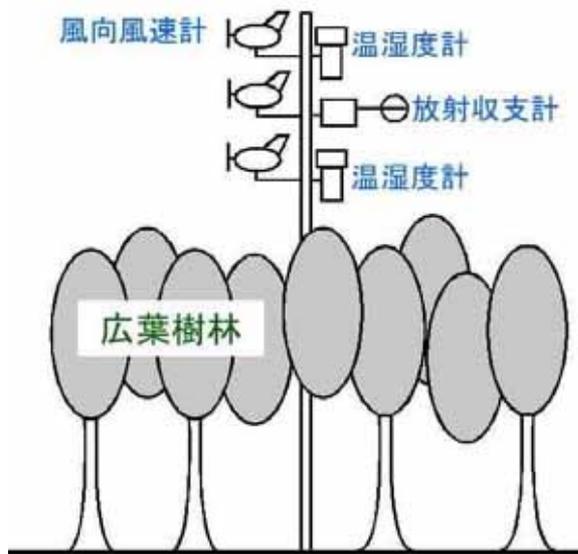


図 9 樹冠上蒸発散量観測概念図

\*7: 蒸発散は、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。

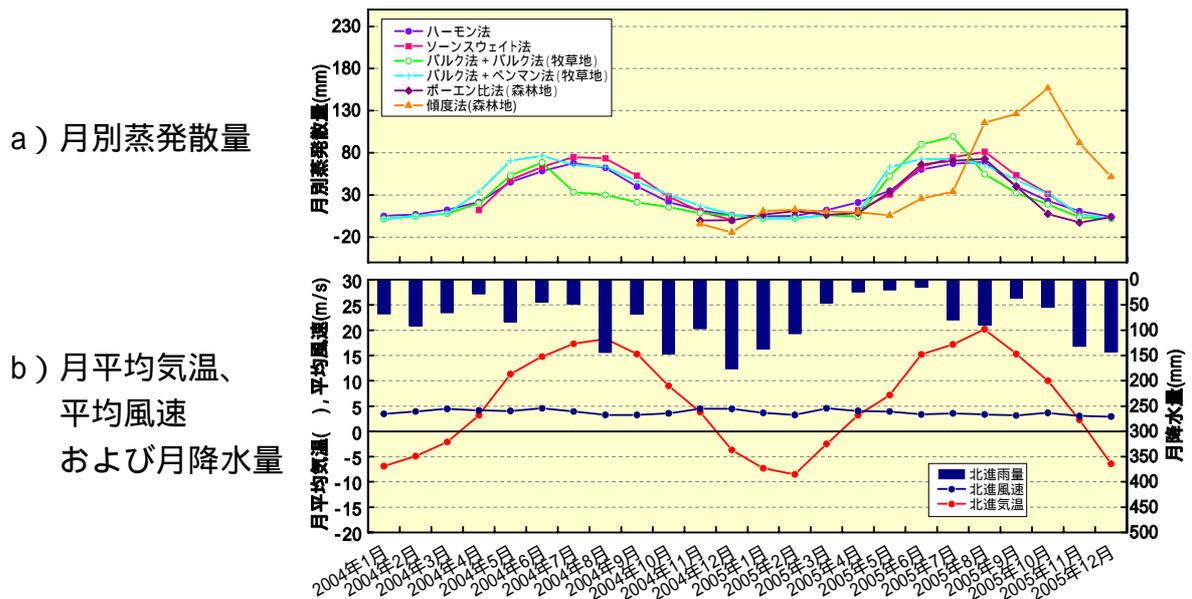


図 10 広葉樹林の手法別蒸発散量の比較(例)

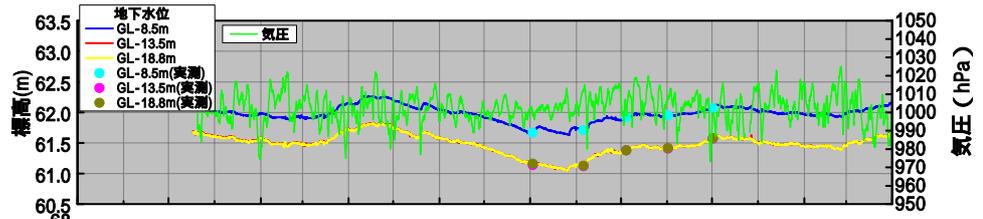
その結果、牧草地ではバルク法とペンマン法、森林地ではボーエン比熱収支法が蒸発散量の推定手法として適当と考えられることなどが分かりました。これらの手法を用いて 2004 年 12 月から 2005 年 11 月までの 1 年間の観測データより算出した地下水涵養量は 120mm/年でした。

その他、表層の地下水の動きを直接把握するために、研究所設置地区とその周辺地区に既に掘削している深度約 1～20mの浅層試錐孔を利用して、平成 16 年度より地下水位や土壌水分（体積含水率<sup>\*8</sup>）の変動についての観測を継続しています。図 7 の研究所用地内における地下水位や土壌水分、地温の変動を図 11 に示します。

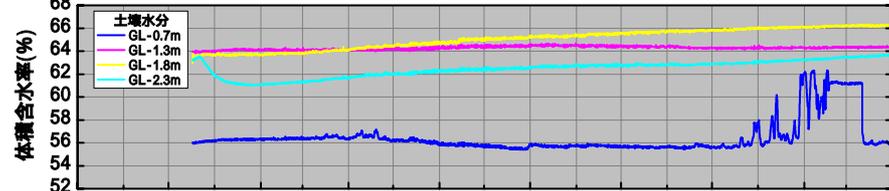
今後は、地下水涵養量の推定精度を向上させるため、各観測を継続してデータを蓄積するとともに、その推定方法の検討を継続する予定です。

\*8: 体積含水率とは土壌の見かけ体積に対する水分の体積の占める割合を 100 分率で表したものです。

a) 地下水位



b) 土壤水分



c) 地中温度、  
气温

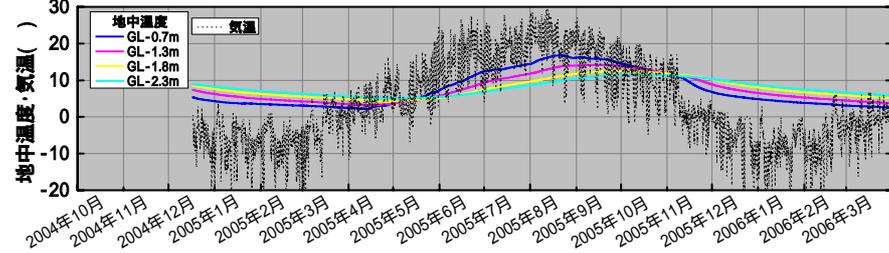


図 11 地下水位・土壤水分観測結果(例)

#### (4) 試錐調査

平成 16 年度までに、研究所設置地区とその周辺地区の地質環境の把握、既存の地質環境モデルの妥当性の確認や更新のために必要な情報の取得、および試錐孔やコアを用いた調査手法の適用性の確認を主な目的として、掘削深度が約 500～700m までの試錐孔(HDB 1,3,4,5,6,7,8,9,10,11 孔)を掘削し調査を行ってきました。

平成 17 年度は、平成 16 年度から開始した試錐調査(HDB-11 孔)を継続して実施しました(図 12)。掘削深度は 1,020m であり、従来の試錐調査と同様にコアや地下水を用いた室内試験や試錐孔を用いた試験を行いました。

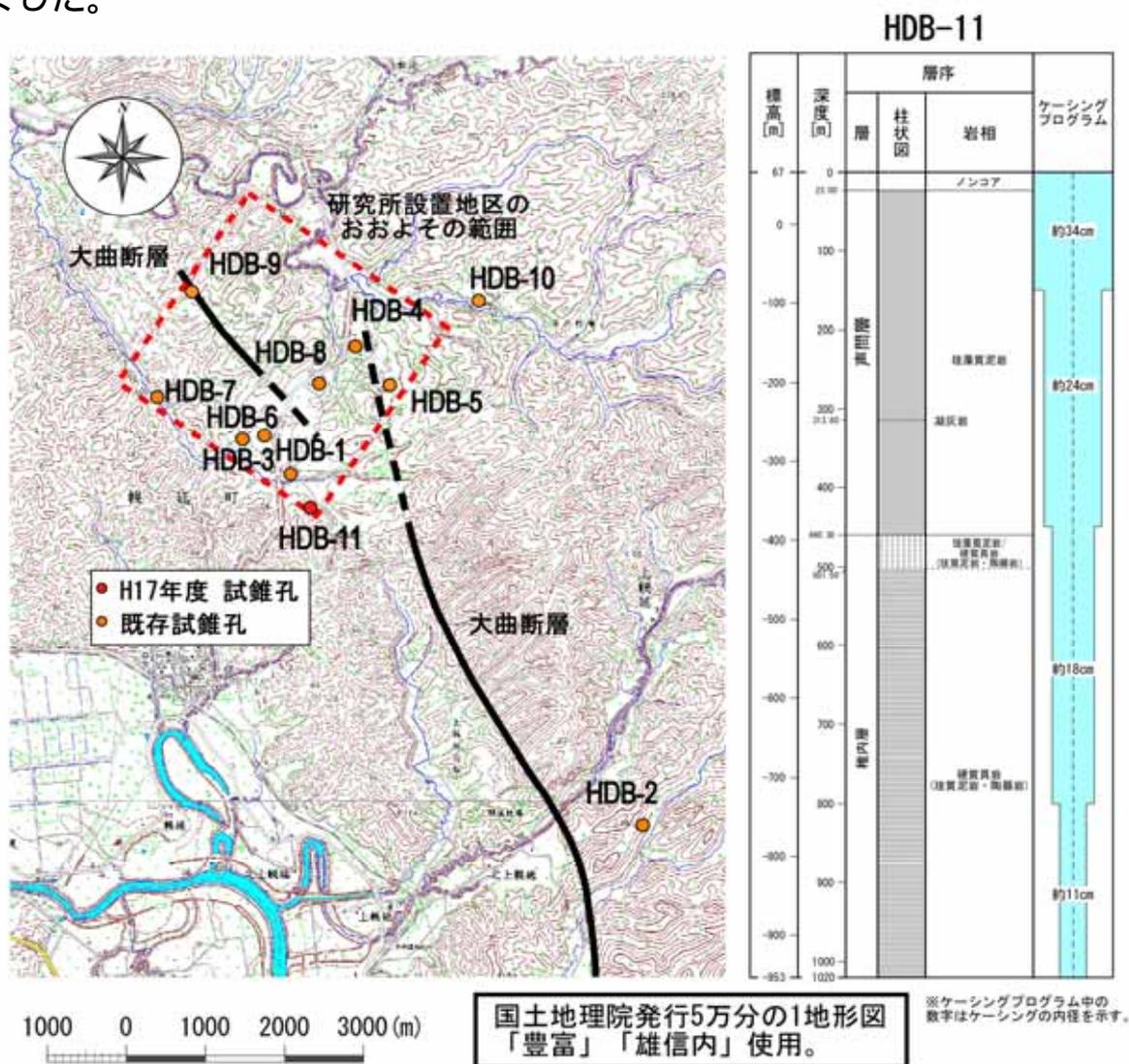
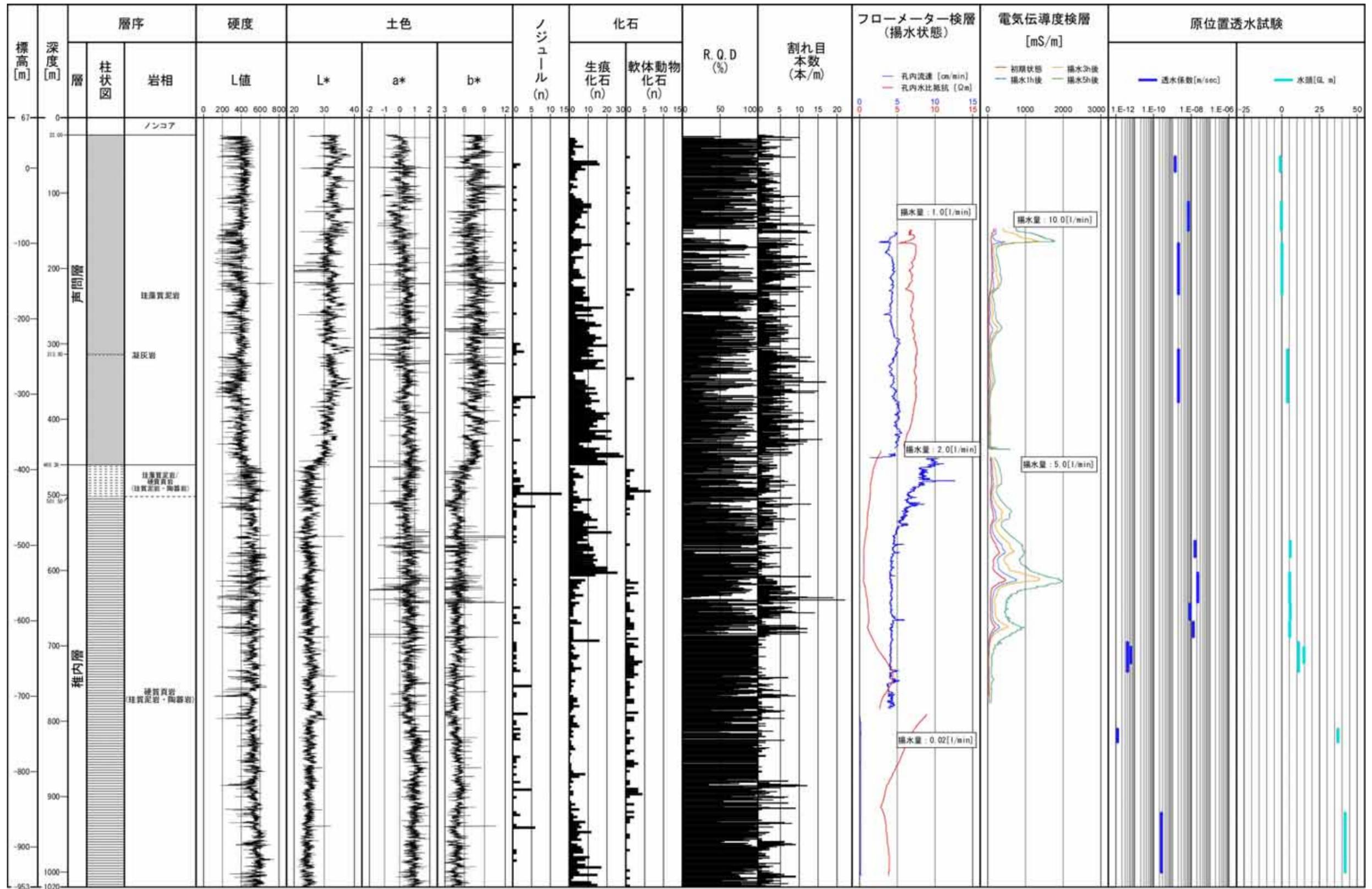


図 12 試錐調査実施位置とケーシングプログラム

HDB-11 孔の地質は、コア観察結果から、深さ 23m から 460m 付近まで声問層と考えられる珪藻質泥岩で、それ以深は次第に硬質化し、典型的な稚内層と考えられる硬質頁岩（珪質泥岩・陶器岩）<sup>\*9</sup> が深度 1,000m まで分布することが分かりました。図 13、14 に岩石の硬さや割れ目の分布状況、化石の産出状況などの地質情報と、物理検層、原位置透水試験の結果をまとめて示します。

---

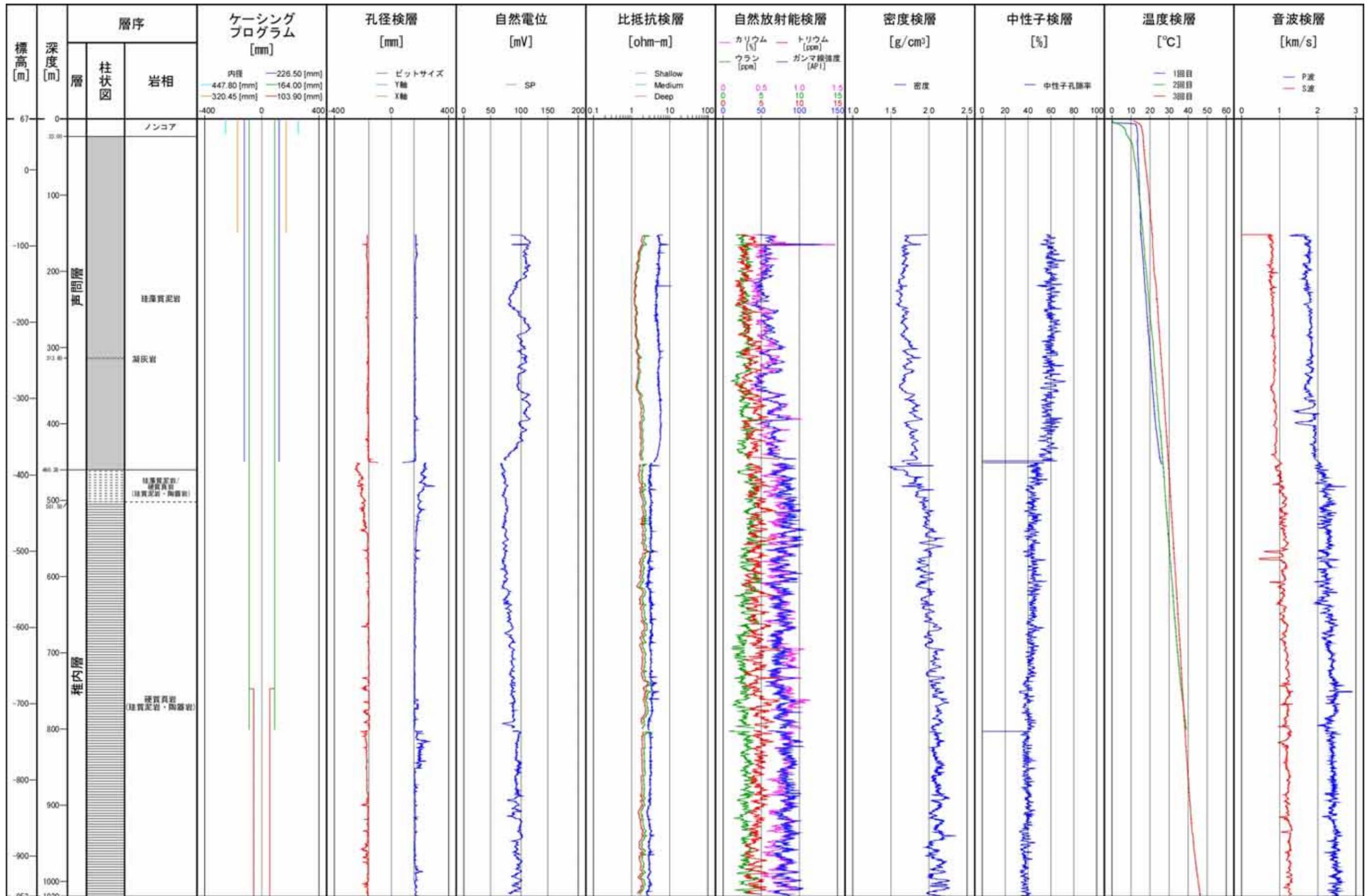
\*9: 稚内層を構成する岩石は、一般的に“硬質頁岩”と呼ばれます。この名称は、日本国内では広く使用されていますが、国外では使用されていません。この“硬質頁岩”は、シリカ鉱物と粘土の割合に着目すると、粘土を多く含む珪質泥岩やシリカ鉱物を多く含む陶器岩などに区分されます。



L値：岩石の硬さ (値が大きいほど硬い)  
 土色凡例 L\* 明度 (数値が大きいほど明るい)  
 a\* (赤方向) b\* (緑方向)  
 b\* (黄方向) a\* (青方向)

R.Q.D: Rock Quality Designation (岩質を表すために考えられた指数)

図 13 地質柱状図および流体検層結果 (HDB-11 孔)



API: American Petroleum Institute unit (米石油協会規格)

図 14 地質柱状図および物理検層結果 (HDB-11 孔)

図 15 は、コアを用いた室内試験結果で得られた一軸圧縮強度の深度分布です。強度は、深度 1,000m までの範囲で、深度が深くなると高くなり、最大で 20MPa 程度の値でした。この結果は、平成 16 年度までの試錐調査と同様の結果です。なお、一軸圧縮強度以外の物性値も平成 16 年度までの試錐調査と同じ結果を示しました。また、HDB-1～HDB-11 孔の調査で得られたコアの物性値は、「第 2 次取りまとめ」<sup>(3)</sup>で示された国内に分布する新第三紀堆積岩の物性値の分布の範囲内に含まれることが分かりました(図 16)。ただし、有効空隙率は、大きい値に分布しており、幌延地域に分布する岩石物性の特徴と言えます(図 16)。

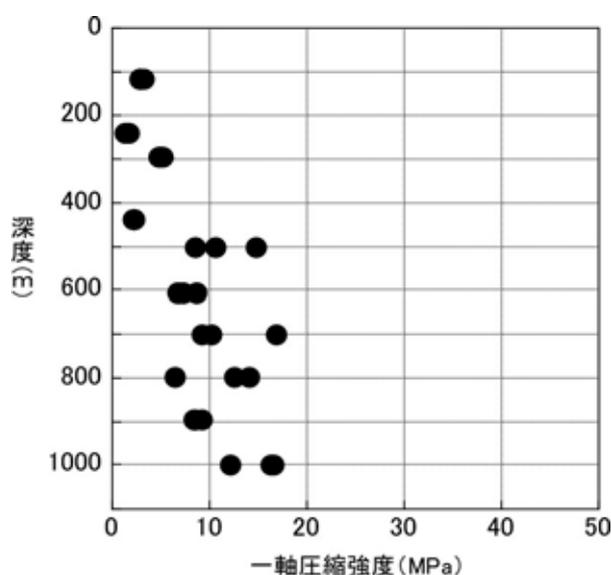


図 15 一軸圧縮強度の深度分布 (HDB-11 孔)

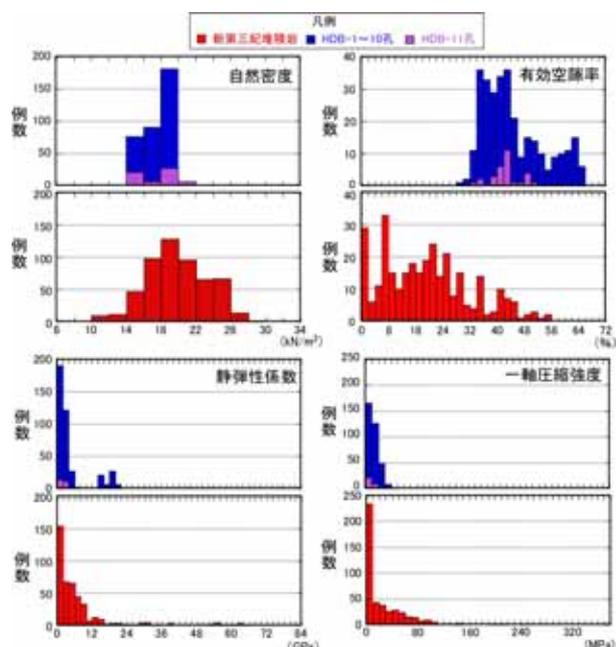


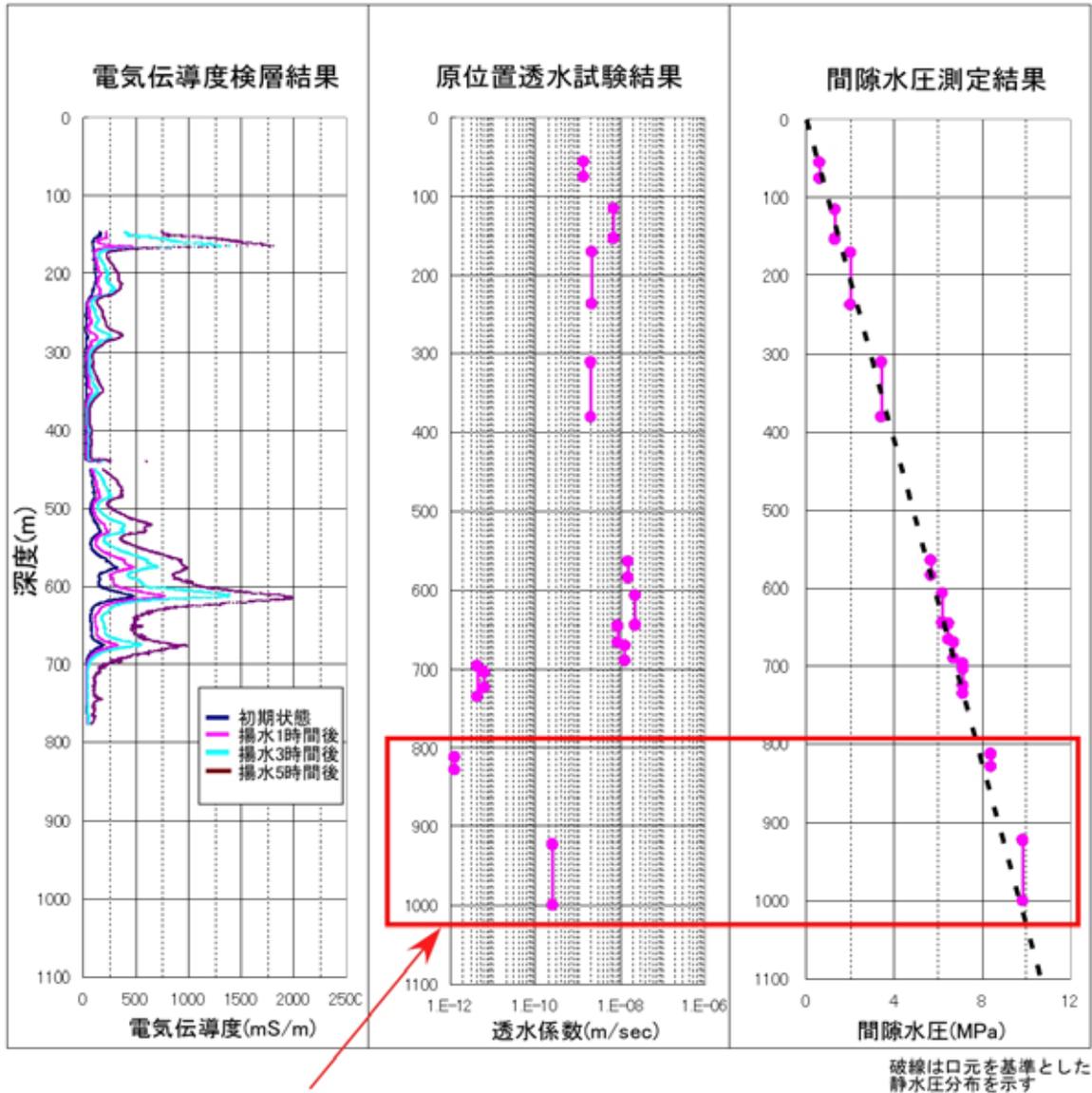
図 16 岩石物性の比較

水圧破碎法<sup>\*10</sup>による初期応力測定は、堆積岩において国内でも実施例が少ない深度 927m 地点を含む深度 500m 以深の 3 深度で実施しました。その結果、最大主応力方向がほぼ東西方向であることは平成 16 年度までの測定結果と同じですが、最小・最大主応力値や深度分の岩盤の重さ(土被り圧)との関係は、平成 16 年度までの調査結果と異なる傾向を示しました(4.1.2(4)にて詳細記述)。

原位置透水試験は、平成 17 年度に掘削した深度のうち、812～828.05m と 923～1,000.10m の 2 つの区間を対象として実施しました。これらの試

\*10: 試錐孔を用いて孔軸に直交する面内の初期地圧を測定する手法です。測定区間の上下を止水した状態で孔内の水圧を上昇させ、孔壁に亀裂が発生する圧力と亀裂の位置から、地圧の大きさと方向を推定します。

験結果を平成 16 年度に実施した原位置透水試験ならびに電気伝導度検層の結果とともに図 17 に示します。透水係数は、 $10^{-12} \sim 10^{-8} \text{m/s}$  オーダーの値が得られました。電気伝導度が変化している箇所、すなわち地下水が試錐孔に流出していると考えられる箇所は、概ね  $10^{-9} \text{m/s}$  オーダーで相対的に高い透水係数を示しています。地下水の圧力（間隙水圧）は、深度 800m 程度までは概ね深度相当分の圧力を示していますが、深度 800m 以深では深度相当分より大きな圧力を有していることが分かりました(図 17)。



平成17年度実施

図 17 水理調査結果(HDB-11 孔)

また、深度 450m ならびに深度 530m 付近から採取したコアを用いて室内透水試験を実施しました。前者は声問層と稚内層との境界深度

(460.38m)に近い声問層から、後者は同境界深度近くの稚内層からそれぞれ採取したものです(図13地質柱状図参照)。室内透水試験の結果、深度450m付近では $10^{-11} \sim 10^{-10} \text{m/s}$ オーダー、深度530m付近では $10^{-12} \sim 10^{-11} \text{m/s}$ オーダーの透水係数が得られました。この値は、平成16年度までの試錐調査において、声問層と稚内層の境界深度周辺を対象として実施した室内透水試験と概ね同様の結果でした。

地下水の地球化学特性調査として、地下水の水質分布を推定するため、酸素・水素同位体比の分析を行いました。その結果、間隙水の酸素・水素同位体比も、塩分濃度と同様に、深度が大きくなるにつれ徐々に大きくなる傾向が認められ、平成16年度までの調査と同様の結果が得られました。また、地上付近の地下水は降水に近い酸素・水素同位体比の特徴を有し、地下深部の地下水は降水とは異なる特徴を有していることが分かります。図18に認められるように、地下水の酸素・水素同位体比は、地上付近と地下深部の酸素・水素同位体比を結ぶ線上にあることから、これらの地下水が混合して地下水の水質を形成している可能性が考えられます。

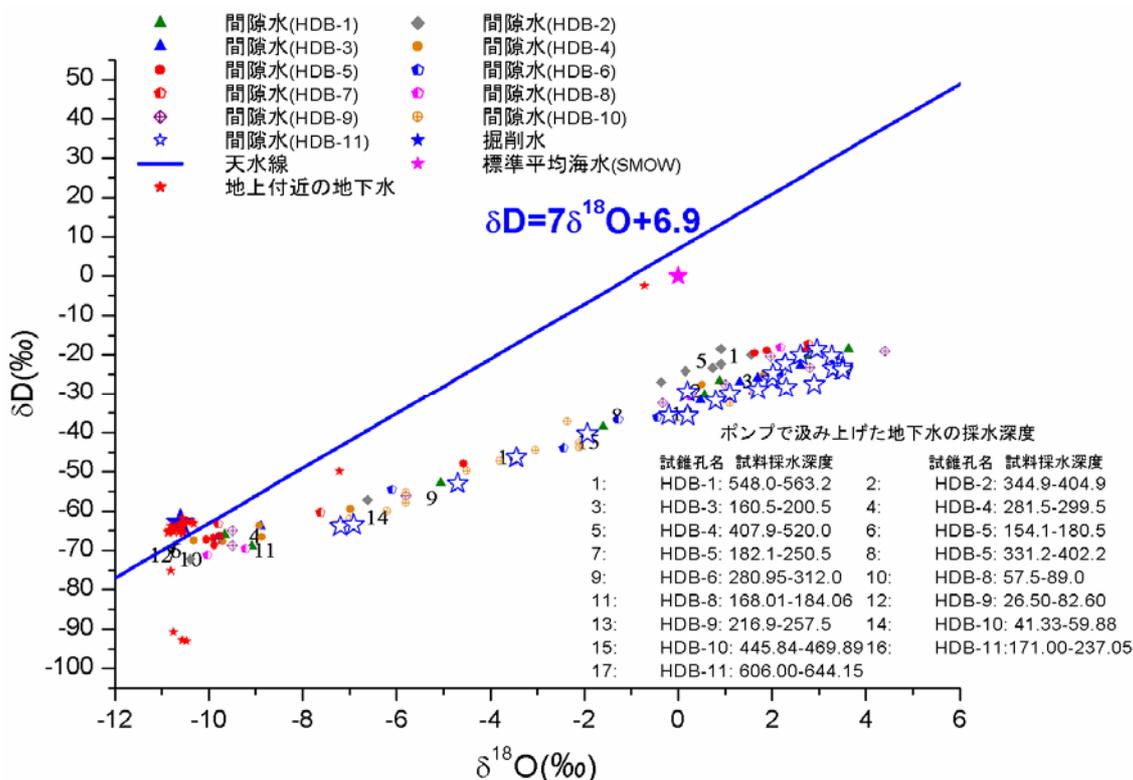


図18 地下水と間隙水の酸素・水素同位体比の特徴

天然の岩石中に含まれるウラン(U)やトリウム(Th)が壊変する際に放出されるヘリウム(He)は地下水に溶解し、地下水と岩石の接触時間が長くなるほど、地下水中の He 濃度が高くなっていきます。地下水中の He 濃度の増加量は時間に比例することから、ヘリウム(He)の濃度や同位体比を測定することによって、地下水の年代を推定することができます。

そこで、地下水の滞留時間を推定するために、地下水中のヘリウム濃度と同位体比 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) を測定しました。その結果、岩石中に生成する  $^4\text{He}$  が全て地下水に移行するなどの仮定をした場合、稚内層中の地下水の滞留時間は数百万年と推定されました<sup>(4)</sup>。

さらに、HDB-11 孔では、試錐孔内において直接地下水の水素イオン濃度 (pH)、電気伝導度 (EC)、酸化還元電位 (Eh)、温度などのデータを取得する調査を実施しました。測定装置を深度約 550m 付近まで挿入し、実際の地下深部における圧力や温度条件のもとでデータを取得しました。その結果、地下深部の環境下では、pH が 6.2 程度、EC が 3,000mS/m 程度、Eh が -100mV 程度の値が得られました。Eh が負の値を示すことから、地下深部は還元環境であることが推定されました。

さらに、地下の水圧を保持し、かつ大気に触れないように地下水を採取する装置の適用性の確認も行いました。その結果、従来の調査ではその存在を確認することが困難であった還元環境下で生息する微生物を検出することができ、原位置環境を保持した状態で地下水の採水を行えることが確認されました。

#### 4.1.2 地質環境のモデル化と地下施設建設に伴う地質環境の変化の予測

地質環境モデルについては、新たに追加された試錐調査結果などに基づいて、平成 16 年度までに作成したモデルを更新しました。また、第 1 段階の最終年度として、地下施設建設に伴う周辺の地質環境の変化を予測しました。

一方、調査により取得される各種の地質環境データを管理・運用するためのデータベースについては、基本となるデータベースシステムの構築・改良を平成 12 年度に開始しており、平成 17 年度はデータベースシステムへのデータの登録を継続して実施しました。

## (1) 地質構造モデル

平成 17 年度は、平成 16 年度までの試錐調査によって岩盤中に存在が推定されていた小断層帯について、地表地質調査においてもその連続性や性状を確認することができました。また、地表ガス調査によって、大曲断層あるいはその近傍が継続的にガスの移動経路として機能している可能性が推定されました。

これらの新たに得られた情報に基づき、平成 16 年度までに構築した地質構造の概念モデルを再検討しました。その結果、図 19 に示すように整理することができました。規模の小さな断層が密集することによって形成される小断層帯は、岩盤中の地下水の流れや物質の移動を考える上で重要と考えられます。

今後は、今回再検討した地質構造の概念モデルを、地下水の流れを把握するための水理地質構造モデルへと適切に反映させていく予定です。

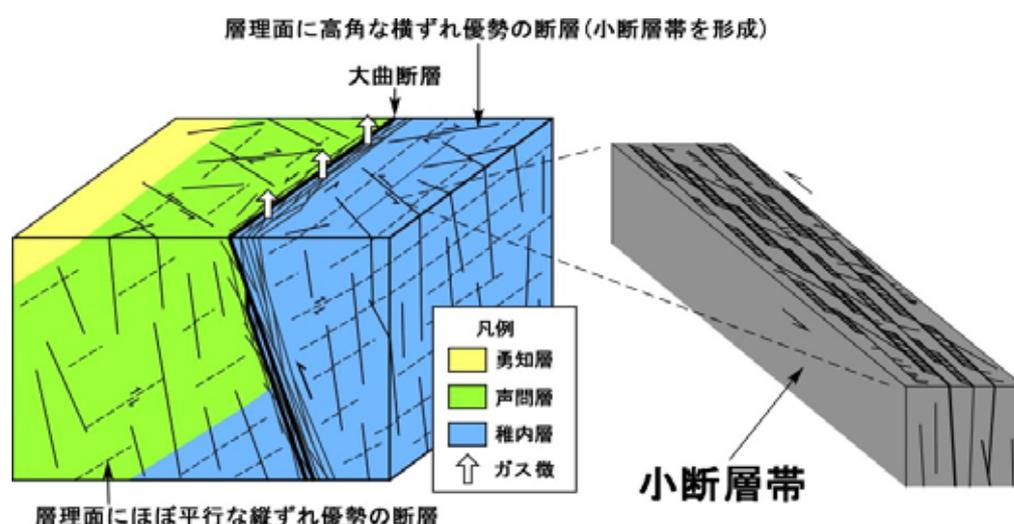


図 19 断層に関する地質構造の概念モデル

## (2) 岩盤の水理モデル

平成 16 年度までの試錐調査における水理試験や流体検層結果から、岩盤の透水係数は深くなるにつれて小さくなる傾向を有していること、さらに、透水係数の高い場所の多くは、稚内層中の小断層帯に位置していることなどが分かってきました。

このため、小断層帯の影響を岩盤の透水係数に反映できる解析手法の

一つである等価不均質連続体モデル<sup>\*11</sup>を適用した地下水流動解析を実施しました(図 20)。このモデルでは、小断層帯の影響を岩盤の透水係数に反映したため、図 20(b)に示されるように、同じ地層内でも透水係数の分布が不均質になります。

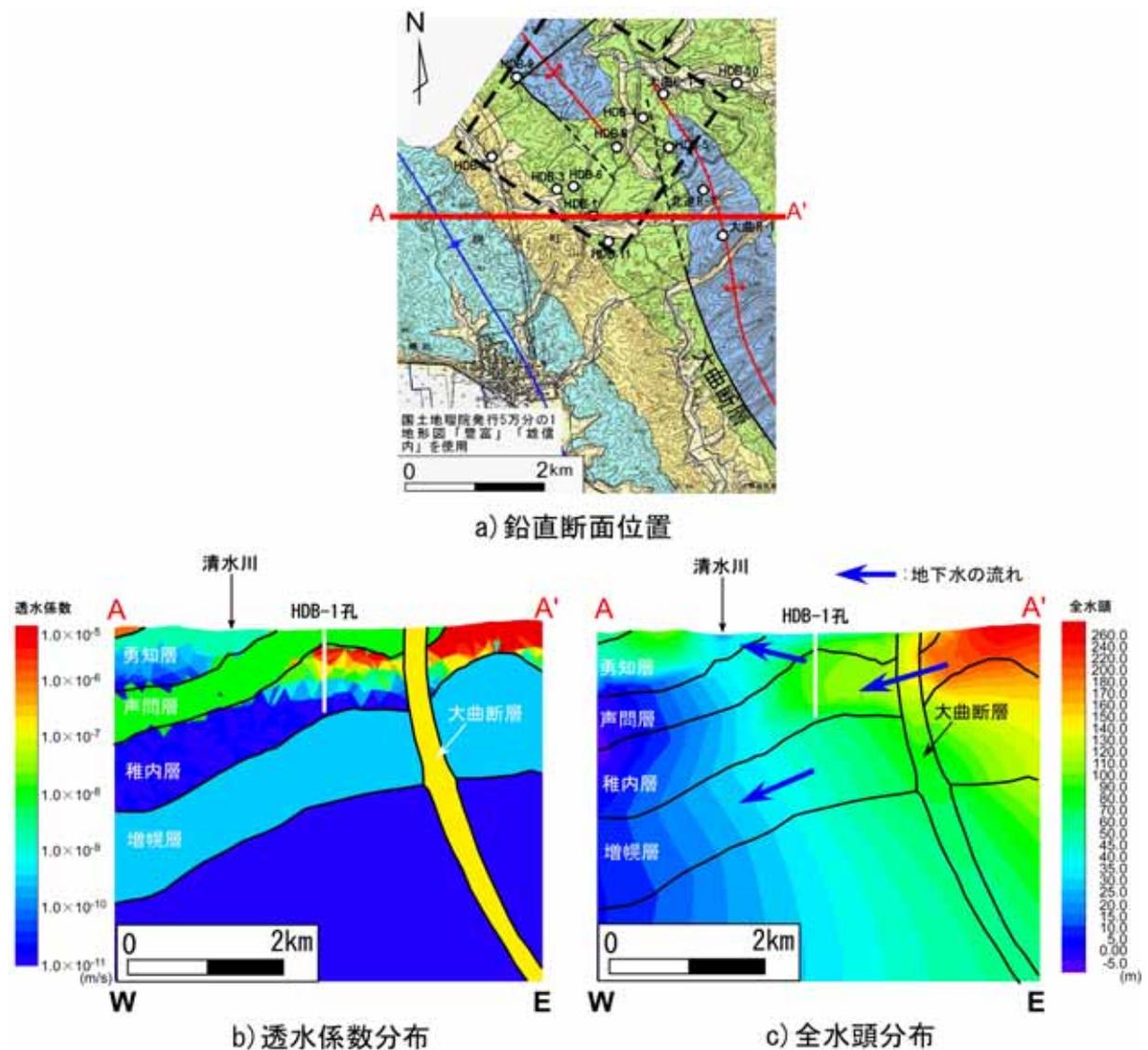


図 20 地下水流動解析結果の一例

解析の結果から得られた全水頭<sup>\*12</sup>や地下水涵養量と、水理試験時や地下水の水圧の長期モニタリングにより得られた水圧から算定した全水頭や、表層水理調査で得られた地下水涵養量を比較した結果、解析結果は

\*11: 複数の小断層帯を含むブロックを考え、ブロックの平均的な透水係数を計算するための手法の一つです。

\*12: ある地点の水圧を水柱の高さで表したものです。ここでいう全水頭とは、圧力水頭と位置水頭の和です。

実測値を概ね再現していることが確認できました。また、地下水の流れる方向や速度、地下施設を建設した場合の地下施設への地下水の湧出量は、小断層帯の分布やその透水性に支配されていることが分かってきました。

### (3) 地下水の地球化学モデル

これまでに得られた地下水や間隙水の水質分析結果より、以下のことが分かってきました<sup>(5),(6),(7)</sup>。

- ・表層付近には溶存成分が少ない淡水系の地下水が分布し、深度が深くなるにつれて溶存成分が多い塩水系の地下水が分布している(図 21)。この地下水水質分布は岩盤中の小断層帯(割れ目帯)の分布と関係している。
- ・上記の 2 種類の地下水が混合し、現在の地下水水質が形成されている。
- ・地下水中にはメタンを主体とする溶存ガスが認められる。

これらの知見を活用し、地下施設建設に伴う地下水水質分布の変化を予測しました。この予測には、地下水と岩石の反応などの地球化学解析と地下水の流れの解析を組み合わせることができる手法<sup>(8)</sup>を用いています。

地下施設建設に伴う地下水の pH の変化を推定した例を図 22 に示します。この例では、坑道周辺の地下水水圧分布や地下水の pH 値を仮定しています。坑道掘削に伴い、坑道周辺の地下水の水圧が低下し、地下水中に溶存している二酸化炭素が脱ガス(気体となって放出される)することにより、地下水の pH が高くなります。また、掘削後 10 年程度の期間では、坑道周辺に pH の変化する範囲が広がることが分かります。

今後は、試錐調査などで実際に取得したデータ(地下水の水圧や水質データなど)を用い、地下施設建設に伴う地下水水質の変化を予測します。さらに、地下施設建設中に取得する地下水水質、岩石の分析結果などの実測値との比較を行い、モデルの妥当性を確認していきます。

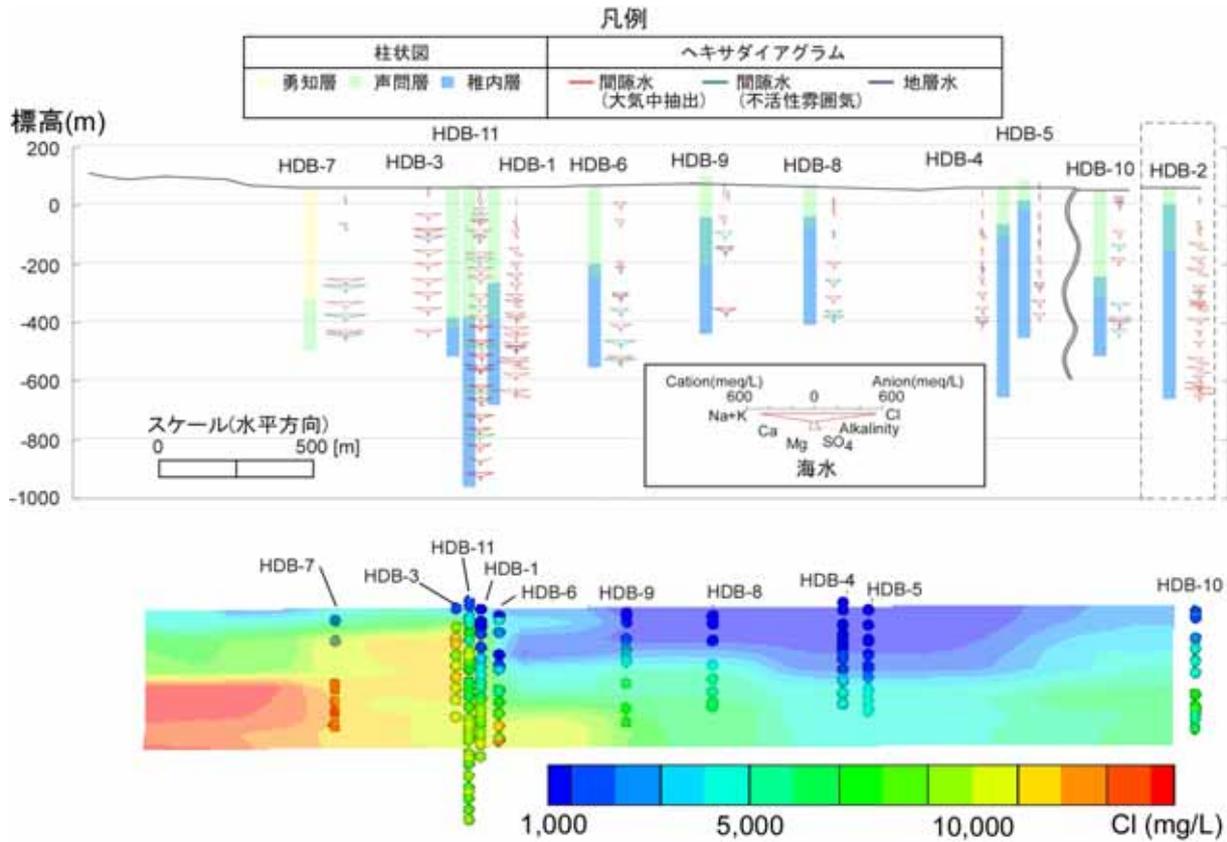


図21 これまでに取得された分析結果より推定した地下水水質分布

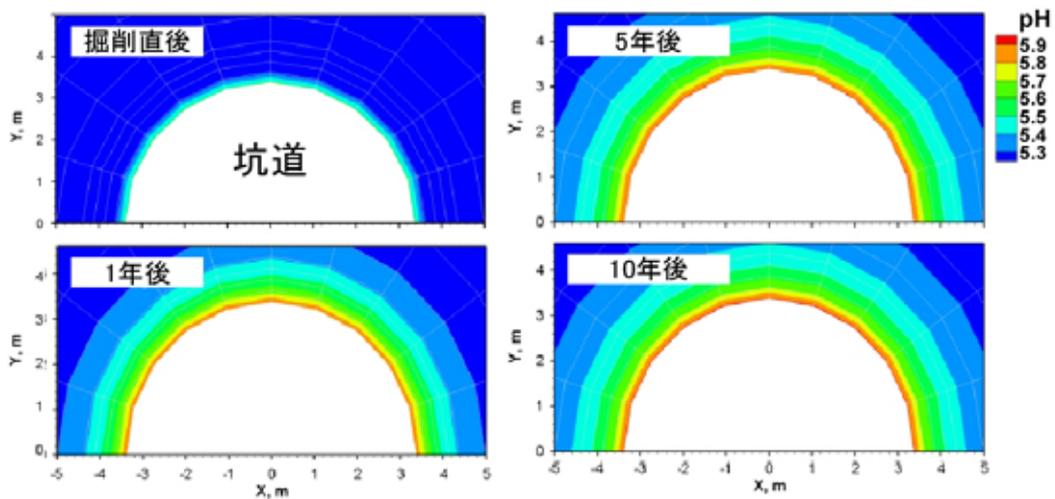


図22 坑道周辺における地下水の地球化学的变化のイメージ(pHの変化)

#### (4) 岩盤力学モデル

平成 16 年度までに、声問層、稚内層を対象とした室内試験および原位置初期応力測定を実施し、研究所設置地区とその周辺地区を対象とした岩盤力学概念モデルを構築しました。平成 17 年度は、HDB-11 孔にて取得したデータに基づき、既存のモデルの確認・更新を行いました。

図 23 は、地下施設建設予定地点がある大曲断層の西側で掘削した HDB-1, 3, 6, 9, 11 孔の地表から地下深部まで連続的に行われた物理検層結果と室内試験結果を比較したものです。HDB-1, 3, 6, 11 孔は、物理検層の結果を、各孔について深度方向にずらして比較すると、各試錐孔での密度や弾性波速度の深度分布がほぼ重なり、その傾向も良く一致します。また、室内試験結果も同様の傾向を示しており、これらは、平成 16 年度までの結果と同じ特徴です。なお、HDB-9 孔は、例えば密度は、深度 150m 程度まで増加したあと一旦減少するような傾向を示しました。これは、HDB-2 孔と類似しており、研究所設置地区内の岩盤の力学的物性分布とは異なる可能性があります。

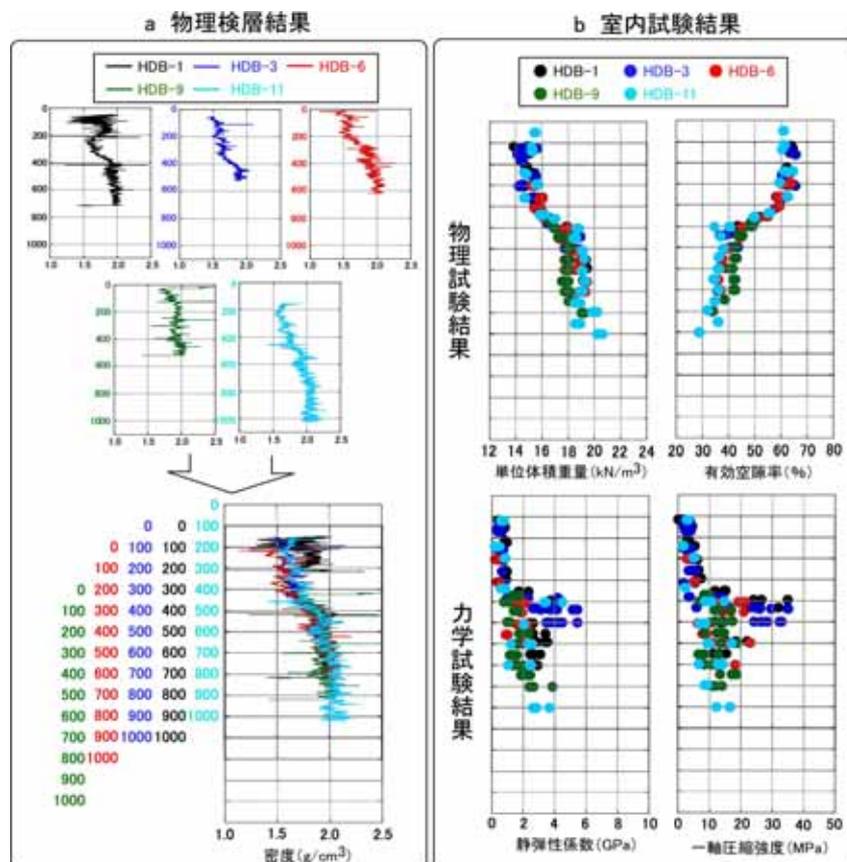


図 23 各試錐孔における物理検層・室内試験結果の相互比較

図 24 は、各試錐孔で実施した初期応力測定結果を比較したものです。平成 16、17 年度に実施した試錐孔(HDB-9 および 11 孔)の初期応力測定結果は、過去の調査結果(HDB-1,3,6 孔)とほぼ同様の傾向、すなわち最大主応力の方向は地表から地下 700m 程度までほぼ東西方向であることが分かりました。一方、HDB-11 孔の深度 500m より深い部分での最大・最小主応力値は、両者ともその深度分の岩盤の重さに比べ小さい値を示しており、この傾向は平成 16 年度までの調査で見られた特徴、すなわち水平面内の最小主応力はその深度分の岩盤の重さにほぼ一致すること、最大主応力は最大その 1.5 倍程度の大きさであることと異なると考えられます。HDB-11 孔で見られたこれまでと異なる傾向の原因については、今後検討していく予定です。

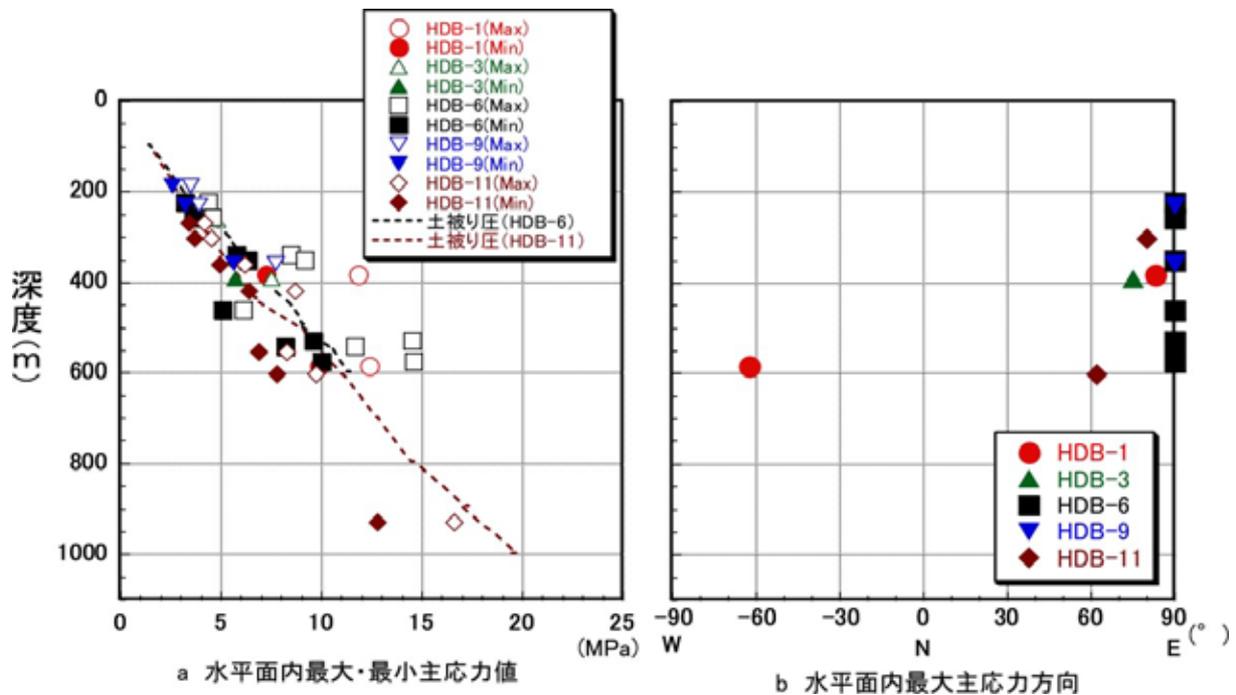
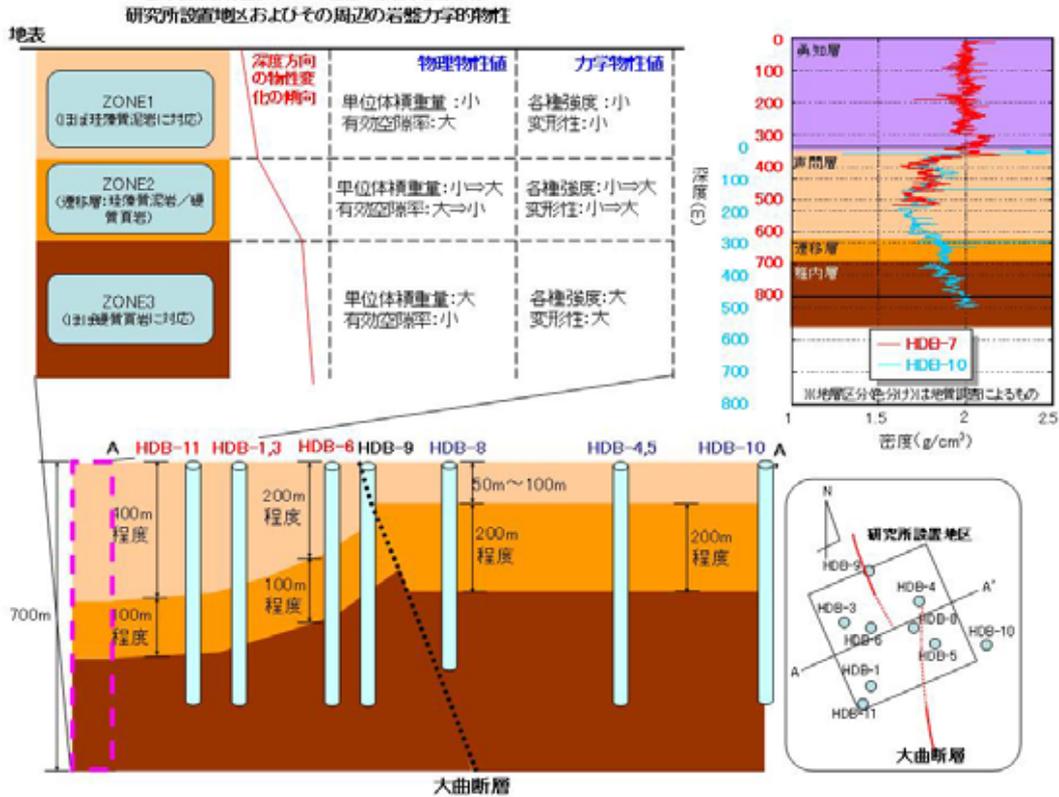


図 24 各試錐孔における初期応力測定結果の比較

これらの結果を考慮した岩盤力学概念モデルが図 25 です。平成 17 年度に取得した HDB-11 孔の力学物性は、概ね平成 16 年度までの結果とほぼ同様の傾向を示すことから、大きな変更は行いませんでした。この概念モデルに基づき、地下施設建設に伴う力学的影響に関する予測解析を行いました。図 26 に予測解析の考え方を、表 1 に設定した解析用物性値を、図 27 に作成した三次元解析モデルを示します。力学的影響の範囲が

狭い（坑道の掘削径の 3 倍程度）ことと、概念モデルに示すように現在の地下施設の展開範囲内で岩盤物性の変化がほとんどないと予測されているため、今回の予測解析では、掘削を予定している 3 本の立坑（主立坑 2 本、換気立坑 1 本）のうち、掘削の進行が最も早い換気立坑を対象としました。今回の解析では、三つの物性ゾーンをそれぞれ別々にモデル化し、ある解析対象断面位置に対し予測を行うこととしました。さらに、地下施設設計で検討した施工方法や支保工をできるだけ忠実にモデルに考慮しました。



- 本解析における掘削影響予測の考え方**
- 室内試験結果などに基づき、岩盤の力学挙動を精度良く表現するモデルとしてひずみ軟化モデルを採用する。
  - 坑道掘削の進行の影響を考慮するため、各ゾーン内で評価対象深度を設定し、その断面位置の坑道掘削の進行に伴う塑性領域の進展状態を表現する。  
対象深度は、平成16年度に実施した二次元での解析結果なども考慮して決定する。
  - 力学物性分布および初期応力は、ゾーン内で同一とし、深度方向の変化は考慮しない（ゾーン1、ゾーン3では深度方向の物性変化の度合いが小さいため）  
ゾーン2はその領域内で物性変化が大きいため、安全側の評価として、最小値（ゾーン1と同一）と中間値（ゾーン1とゾーン3の中間値）を与えたモデルを作成し解析を実施する。

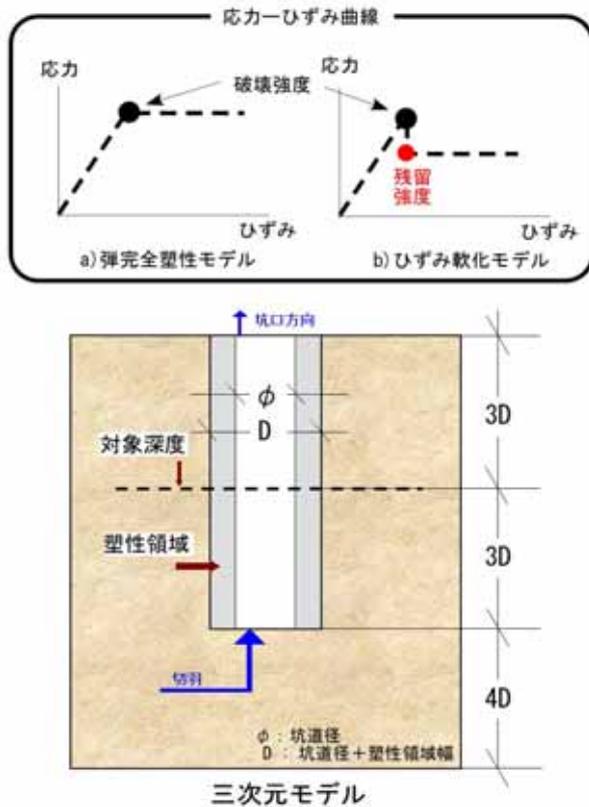


図 26 地下施設建設時の掘削影響予測解析の考え方

表 1 解析用物性値(三次元モデル)

深度 (m)	ゾーン	破壊時		残留強度時		$\psi$ ( $^{\circ}$ )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	鉛直応力 $\sigma_v$ (MPa)	水平面内主応力		弾性係数 E (GPa)	ポアソン比 $\nu$ (GPa)
		粘着力 C (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ ( $^{\circ}$ )	粘着力 C <sub>r</sub> (MPa)	内部摩擦角 $\phi_r$ ( $^{\circ}$ )				最大 $\sigma_H$ (MPa)	最小 $\sigma_h$ (MPa)		
140	1	1.50	17.0	0.81	16.4	4.0	15.50	2.13	2.77	1.92	0.30	0.15
220		2.00	12.0	1.08	11.6	4.0	15.70	3.39	4.40	3.05	0.40	0.13
280		2.44	17.5	1.32	16.9	4.0	16.30	4.48	5.82	4.03	0.50	0.08
355	2	1.70 4.10	15.0 25.0	0.80 1.30	17.0 25.0	3.0	15.80 17.10	6.02	7.82	5.42	0.50 0.96	0.10 0.22
400	3	3.56	27.5	0.68	31.2	3.0	18.50	7.26	9.44	6.53	1.25	0.26
450		4.00	27.5	0.76	31.2	3.0	18.70	8.25	10.73	7.43	1.30	0.26

\*  $\psi$  : ダイラタンシー角 (ひずみ軟化解析に必要なパラメータ)  
 \*\* ゾーン 1, 2, 3 の区分は、岩盤力学概念モデルに従って設定  
 \*\*\* 初期応力条件は、各解析対象断面位置における水平面内主応力値として以下のように設定  
 ゾーン 1 :  $\sigma_H=4.40$  MPa,  $\sigma_h=3.05$  MPa  
 ゾーン 2 :  $\sigma_H=7.82$  MPa,  $\sigma_h=5.42$  MPa  
 ゾーン 3 :  $\sigma_H=9.44$  MPa,  $\sigma_h=6.53$  MPa

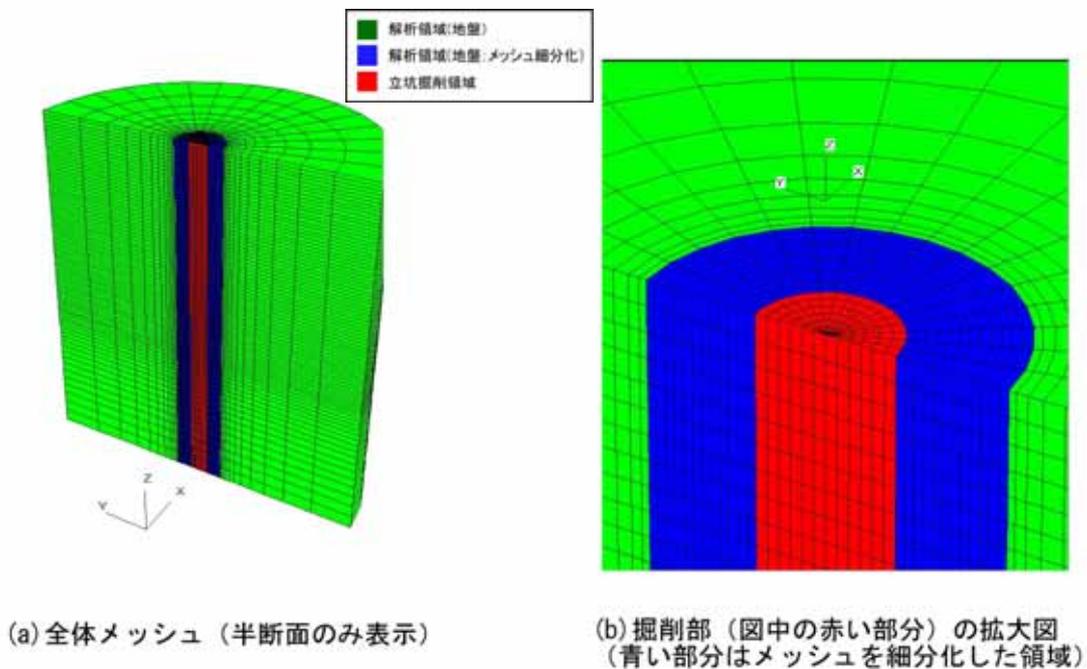


図 27 解析モデル(三次元解析)

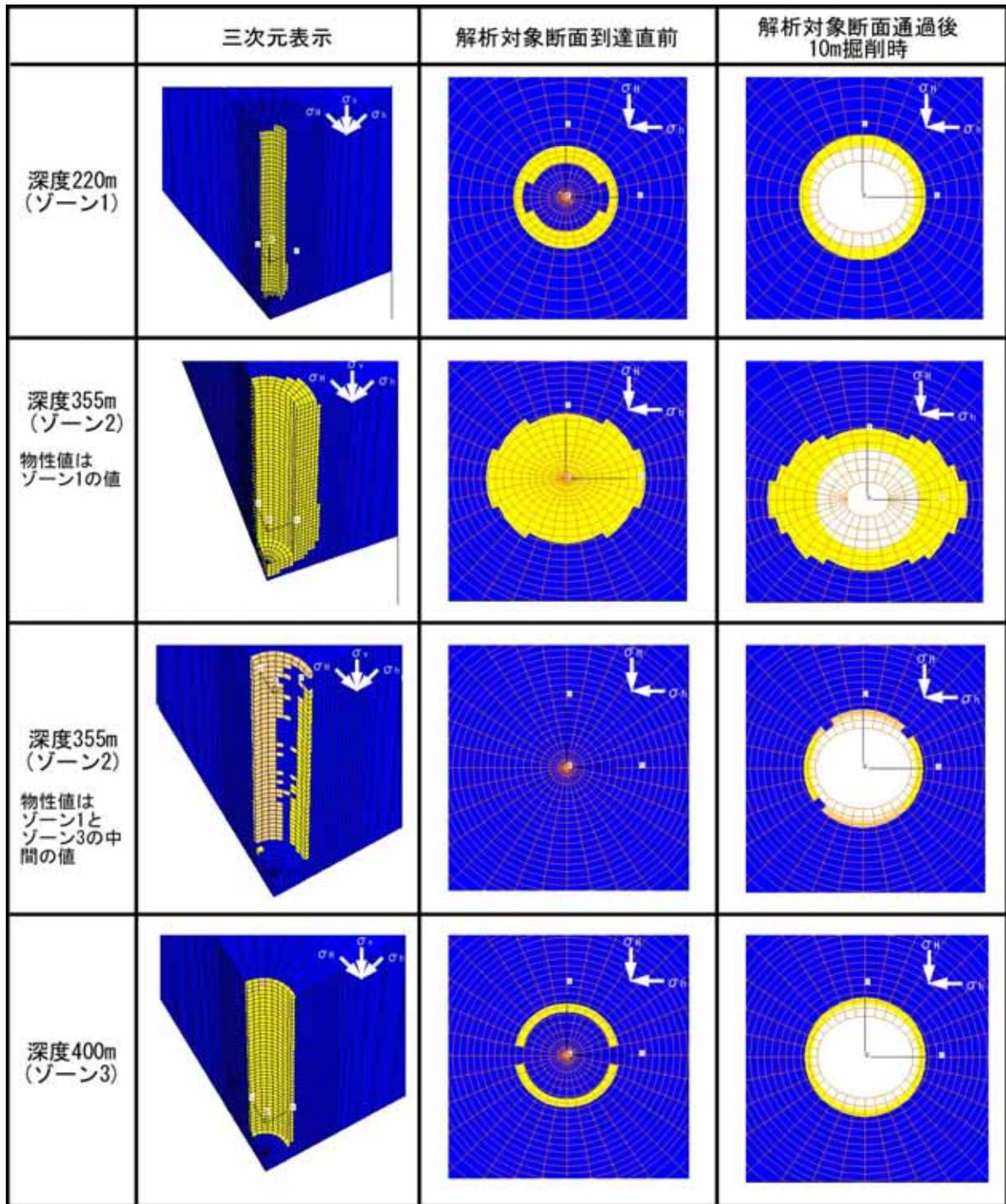
立坑部の三次元解析により求められた立坑周辺岩盤中の塑性<sup>\*13</sup>領域の分布と変形図を図 28 に示します。これらの結果から、坑道の切羽面が対象深度に到達する前から徐々に塑性領域が形成されていくこと、ゾーン 1 とゾーン 3 においては発生する塑性領域の範囲は、40～60cm 程度ですが、ゾーン 1 とゾーン 2 の境界深度に近い領域で数 m の塑性領域が発生する可能性があることが分かりました。なお、発生した塑性領域内の強度・変形性などの力学物性は評価できていますが、透水係数などの水理物性はその評価方法を現在検討しています。

また、平成 16 年度に実施した二次元解析結果と今回の解析結果を比較したところ、得られた塑性領域の範囲などに大きな違いはないことが分かりました。なお、地下施設の事前設計で検討された支保工については、今回の解析においても安定であるという結果が得られました。

今回の予測解析により、力学物性の違いが解析結果に及ぼす影響が大きかったため、今後は物性値の深度変化をより現実に近い形で考慮したモデルを用いた解析を行う予定です。

---

\*13: 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。



\* 黄色・オレンジ色の部分は塑性領域（オレンジ色は引張破壊領域）を示し、変形前のメッシュに表現  
 \*\* オレンジ色のラインは解析メッシュの変位図（変位は25倍に拡大）

図 28 解析で得られた塑性領域分布および立坑掘削時の変形  
 (三次元解析)

### 4.1.3 調査技術・調査機器開発

#### (1) 試錐孔を用いた調査試験のための技術

##### ア) 「超音波反射・追尾方式 地下水流向・流速計測装置」の開発

地下深部における岩盤中の地下水の流れる方向や速さ(地下水の流向・流速)は、岩盤中の地下水流動や物質の移動を解析するために重要なデータの一つです。岩盤中の地下水の流向・流速を計測するための従来の調査手法は、流速の測定限界が  $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{m/s}$  程度であるといわれており、 $10^{-8} \text{m/s}$  以下の極低流速には対応できないという問題がありました。

平成 17 年度は、岡山大学ほかとの共同研究「地下水の流向・流速の計測方法に関する研究」として、HDB-10 孔(掘削長約 550m)において岡山大学ほかが近年開発を進めてきた極低流速を対象とした「超音波反射・追尾方式 地下水流向・流速計測装置」の原位置適用性確認試験を実施しました。試験は、図 29, 30 に示す試作機を用いて、HDB-10 孔の約 30m、490m、506m の 3 深度で行いました。

その結果、本試作機は  $10^{-10} \sim 10^{-5} \text{m/s}$  の範囲の地下水の流速を計測できる性能を有していること(表 2)を確認しました。

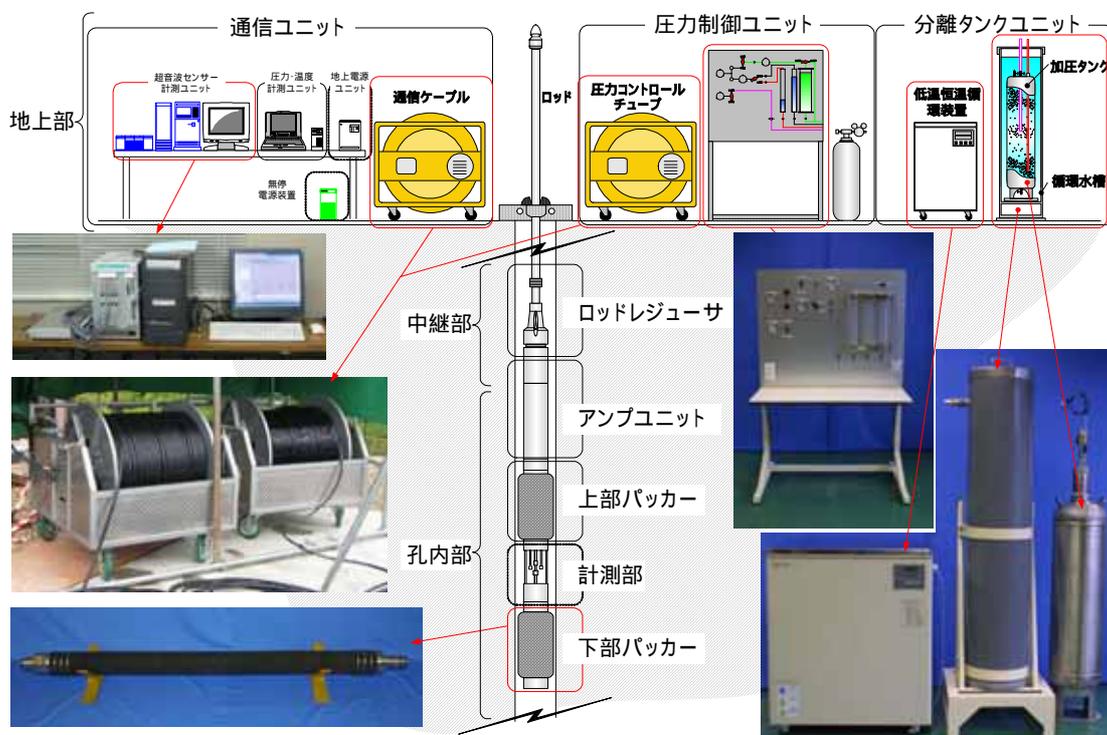


図 29 地下水流向・流速計測装置の試作機概念図

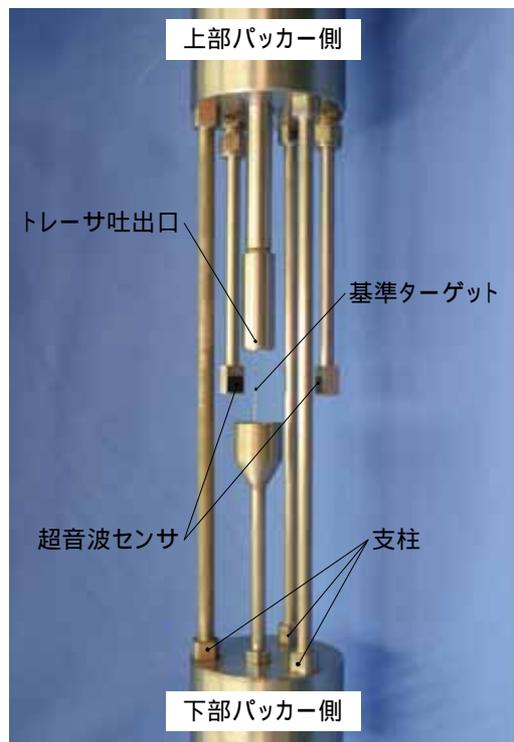


図 30 地下水流向・流速計装置の計測部

表 2 地下水流向・流速測定結果

計測部 深度(GL-m)	パッカー設置状況	孔壁状況	目的	計測結果		
				全流速 (m/s)	水平流向	鉛直流向
30	ダブルパッカー	ケーシング 内	試計測			
490	ダブルパッカー (60cm 区間)	ケーシング 内	低流速データ 取得	$10^{-10} \sim 10^{-8}$	北北東から 南南西	鉛直上向きが 卓越
506	シングルパッカー (約 50m 区間)	裸孔部	岩盤部への 適用性確認	$10^{-6}$	西から東	鉛直下向きが 卓越
506	ダブルパッカー (60cm 区間)	裸孔部	岩盤中流速 データ取得	$10^{-6} \sim 10^{-5}$	北東から 南西	鉛直下向きが 卓越

## イ) コアを用いた間隙水の化学分析技術

コア試料を利用した地下水の地球化学特性の調査手法について検討を行いました。具体的には、コアから間隙水を抽出する際にかかる圧力と抽出された間隙水の水質との関係を調査しました<sup>(9)</sup>。その結果、圧力を高くすると、徐々に間隙水中のNa, Clイオン濃度が減少する傾向が認められました(図31)。また、抽出処理前に認められた間隙が、抽出後には認められませんでした(図32)。抽出圧力の増加に伴う間隙水中のNa, Clイオン濃度の低下は、高い圧力条件下において、岩石を構成する鉱物に吸着している水や鉱物の層間の水(いずれも塩分濃度が低い水)が抽出されたことが原因と考えられます。なお、本調査は経済産業省からの受託研究「地下水年代測定技術調査」として電力中央研究所が原子力機構との共同研究として実施した研究成果の一部です。

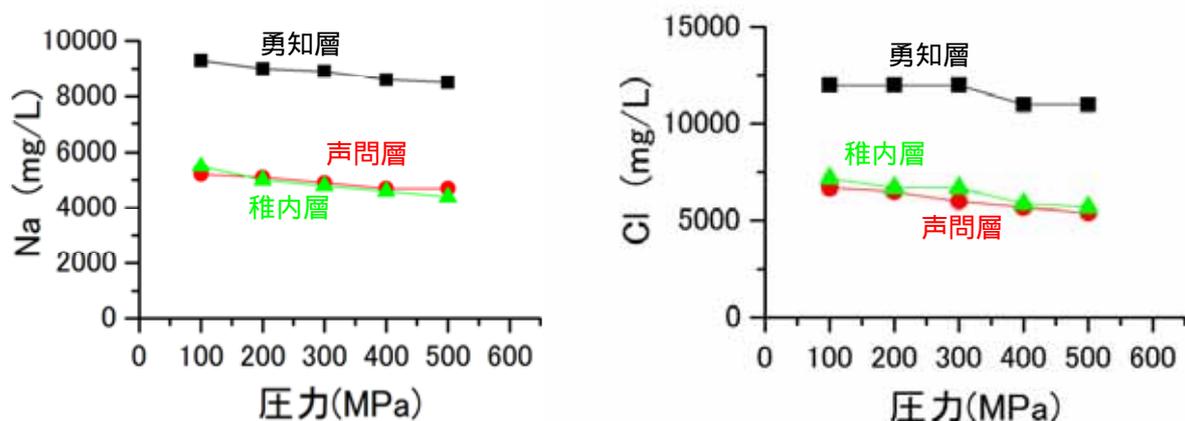
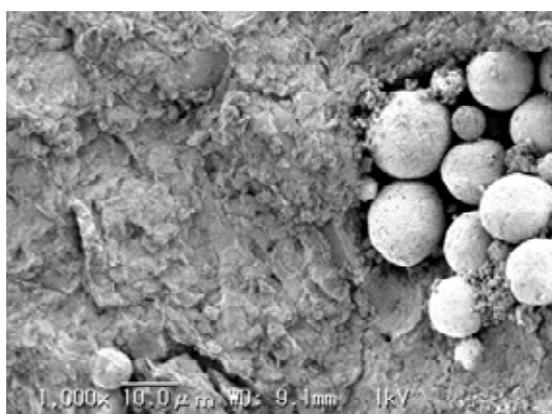
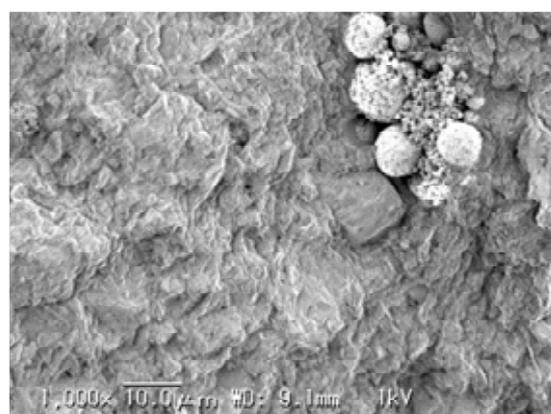


図31 間隙水の抽出圧力と水質の関係



(a)抽出に使用したものと同一深度で採取した岩石の写真



(b)抽出後に撮影した写真

図32 間隙水抽出前後での岩石組織の電子顕微鏡写真(声問層)

### ウ) 地下深部における地下水の物理化学パラメータ計測技術の確立

地下水の水素イオン濃度 (pH) や酸化還元電位 (Eh) に関するデータは、岩盤中における物質の移動を解析するために、必要不可欠なデータの一つです。平成 16 年度までの調査では、地下水を地上に揚水して測定を行っていました。しかし、地上での測定では、圧力が解放されたことにより、本来地下水中に溶存しているガスの脱ガスが生じるとともに、大気との接触により二酸化炭素が溶解して pH などが変化するため、精度の良いデータを取得することが難しいという課題がありました。

そこで HDB-11 孔において、地下深部における pH や Eh などのデータを取得できるオーシャンセブン 303 (OS303: イタリア Idronaut 社製) と呼ばれる装置を使用しました。また、従来の計測方法と比較するために地下水を地上に揚水して測定する方法も実施しました。その結果、脱ガスや大気の影響を受けない電気伝導度 (EC) は、原位置と地表での計測でほぼ同じ値を示しました。一方、pH は溶存ガスである二酸化炭素の脱ガスと考えられる変化、Eh は大気中の酸素の影響と考えられる変化が認められました (図 33)。

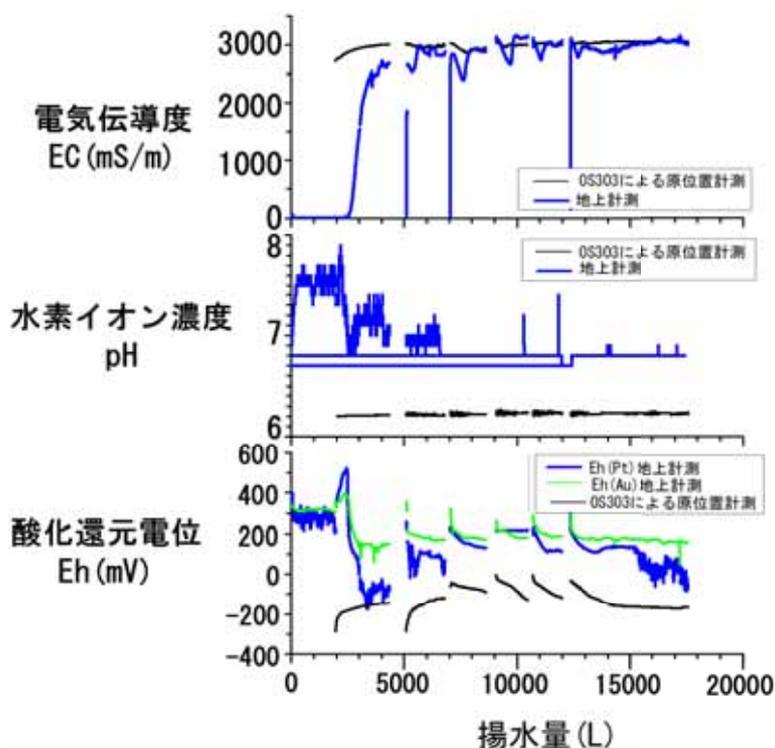


図 33 地下深部と地上での計測結果の比較

## (2) 試錐孔掘削のための技術

平成 16 年度までに、電力中央研究所との共同研究として、試錐孔の方位や傾斜を制御しつつ試錐掘削を行う技術（コントロールボーリング）の適用試験を継続して実施してきました。平成 17 年度は、平成 16 年度に引き続き、掘削長 547m から 706m までの区間でコントロール掘削を行いました。その結果、これまで開発してきたコントロール掘削技術やコントロールボーリング孔での調査技術が、幌延の堆積岩において適用可能であることを確認しました。また、平成 16 年度の課題となっていたボーリング掘削中の逸水は、セメンチングなどによりある程度抑えられることが確認できました。しかし、より効率的に逸水を抑えるためには、より低い送水圧力で掘削ができるように機器を改良するとともに、効率的な止水方法の検討が必要であることが分かりました。

平成 18 年度からは、新たに断層破碎帯を対象としたコントロール掘削技術ならびに調査技術の適用試験を予定しています。試錐地点については、平成 17 年度に実施した露頭調査や反射法地震探査結果に基づいて、幌延町上幌延地区内に決定しました。

## 4.2 地質環境モニタリング技術の開発

### 4.2.1 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を整備すること、岩盤の水理モデルや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、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を取得することを目的として、平成16年度までに、HDB-1,2,3,6,7,8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そのもの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・分析を継続実施しました。

平成17年度は、HDB-1,2,3,6,7,8孔での地下水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-9,10孔へ、図34に示した深度と区間を対象に長期モニタリング装置を設置し、観測を開始しました。

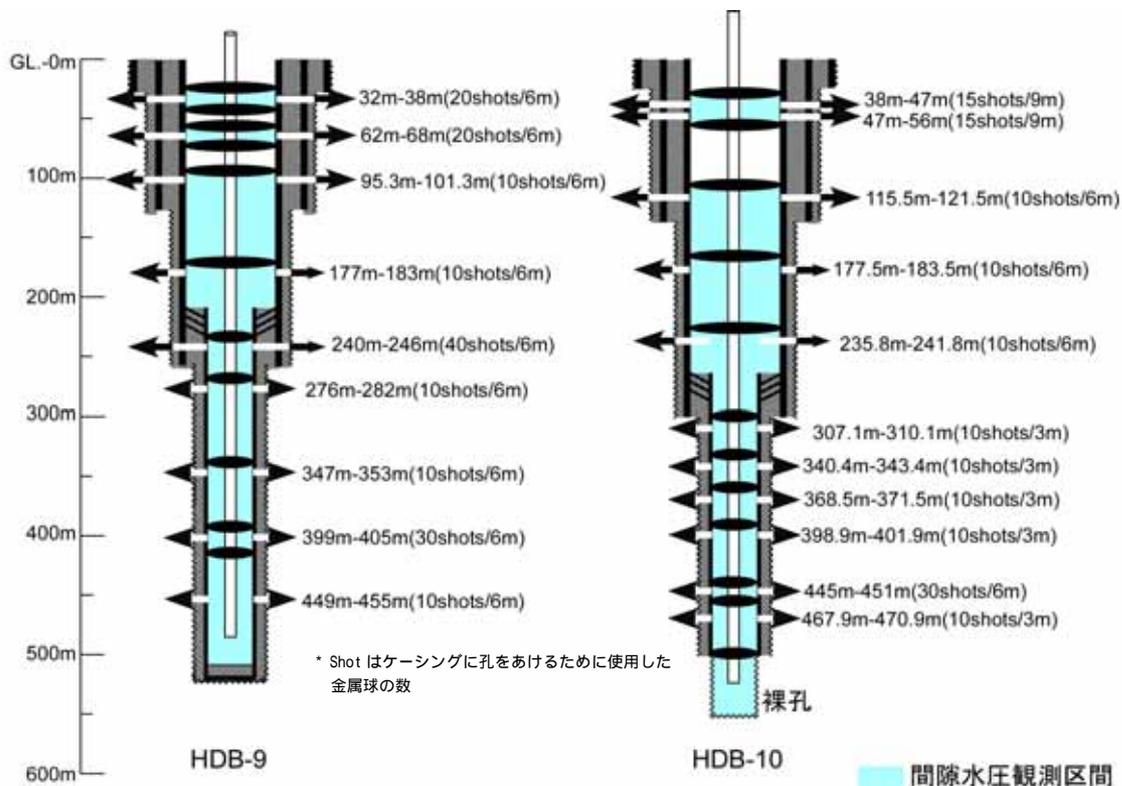


図34 HDB-9,10孔における間隙水圧観測区間  
黒の楕円はパッカーを表す

図 35 に地下施設近傍に位置する HDB-6 孔（孔口標高 60.212m）の地下水水圧のモニタリング結果を示します。上記試錐孔でのモニタリング結果、地下施設設置地区周辺の地下水の水圧分布は、概ね安定した状態にある結果が得られています。また、深度が大きくなるにつれて水頭が高くなる傾向が認められ、HDB-6 孔の深度 500m 付近では孔口より 10m 程度高い水頭を有しています。

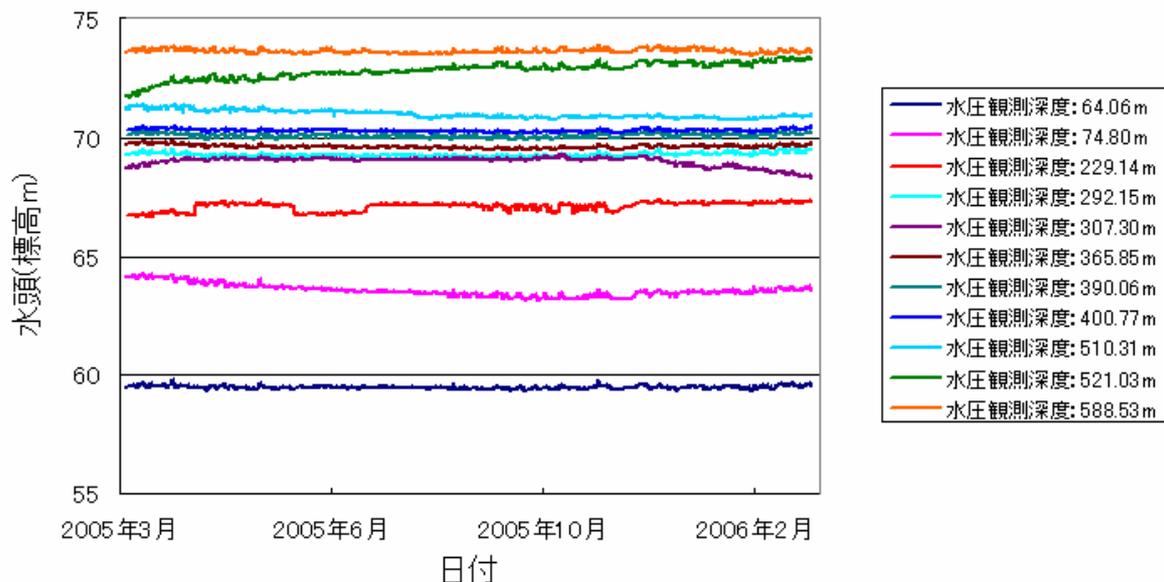


図 35 HDB-6 孔における地下水の間隙水圧の測定例

HDB-4 孔における地下水水質観測については、地下水の採水および化学分析を平成 16 年度に引き続き実施しました。平成 17 年度は、6 月、8 月、10 月に地下水の採水を実施しました（図 36）。その結果、試錐調査中、平成 15 年度、平成 16 年度にかけて採水した地下水は、pH が高くなり、水質の特徴も変化していることから、試錐孔内のケーシングそのものやそれを固定するためのセメントの溶解による影響を受けていると考えられます。一方、平成 17 年度に採取した地下水はどれもほぼ同じ水質の特徴を示し、かつ、平成 16 年度に得られた水質の特徴とほぼ同じ結果が得られました。このことから、現在の地下水水質は、試錐孔内のケーシングパイプそのものやそれを固定するためのセメントの溶解による影響を受けているものの、ほぼ安定した状態にあると考えられます。

今後は、これまでに設置した長期モニタリング装置を用いた地下水の水圧の長期観測や定期的な採水を継続し、それぞれの装置の適用性の確

認を行うとともに、水圧観測や地下水の採水方法の有効性を確認していきます。さらに、地下施設の建設に伴う変化などについても確認を行う予定です。

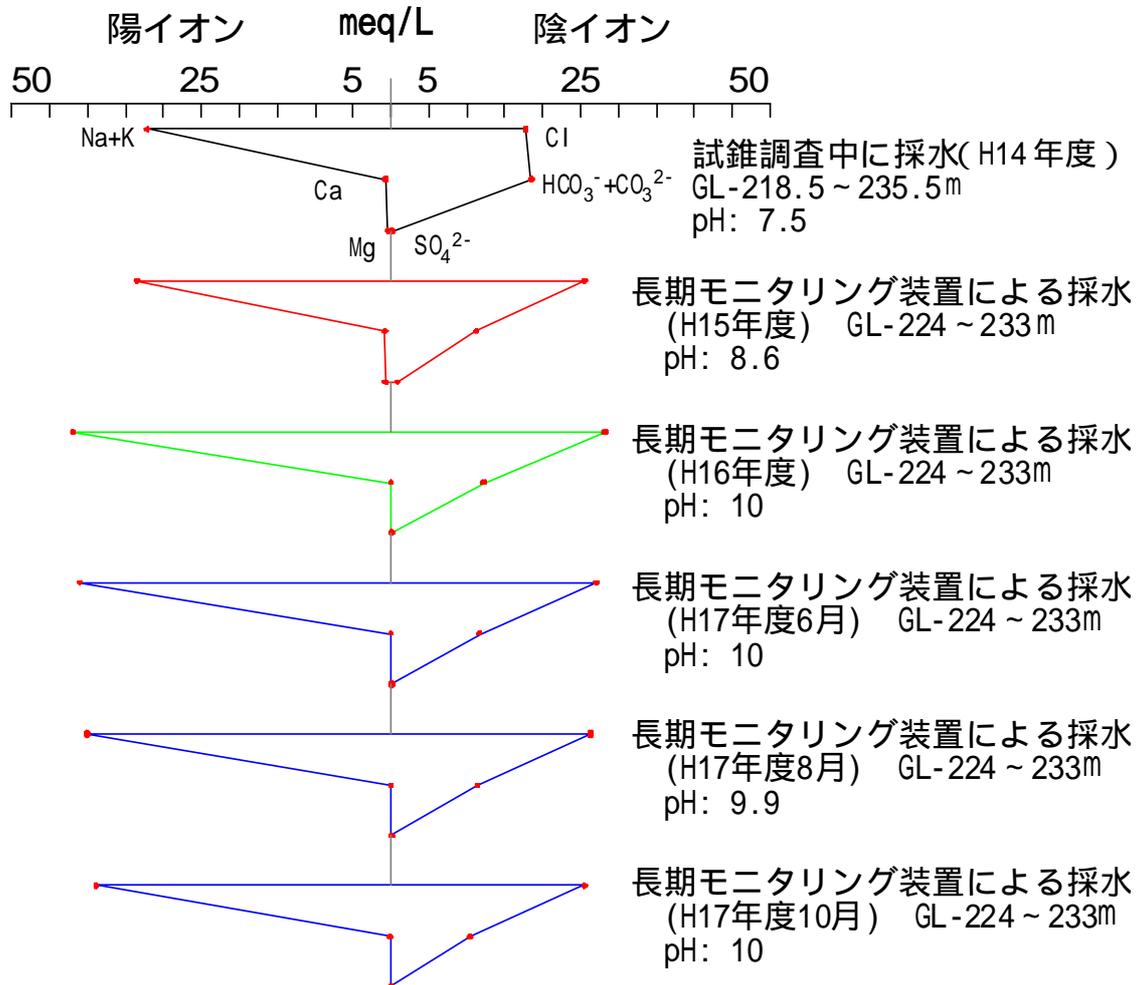


図 36 採水した地下水水質の経時変化の例 (HDB-4 孔)  
線の色は、実施年度の違いを示す。

#### 4.2.2 遠隔監視システムの開発

幌延深地層研究計画の遠隔監視システムは、アクロス<sup>\*14</sup>を応用し地下研究施設の建設に伴う地質環境の変化(立坑周辺の地下水位の変動や地盤の変化など)を観測することを目標にしています。アクロスでは、精密に制御した弾性波と電磁波を連続的に発信し、独自の解析手法を用いることによって、例えば、反射法地震探査などの従来手法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できます。

平成16年度までに、電磁アクロスから構成される遠隔監視システムを設置しました。平成17年度は、弾性波アクロスの送受信機器を設置するとともに、電磁アクロスの試験観測を継続しました。

遠隔監視システムの観測機器の配置を図37に示します。電磁・弾性波アクロスともに、送信機器は、地下施設の研究所用地付近に配置しています。弾性波アクロスの受信点は、研究所用地から北東の向きに、三角形をなすように配置しています。弾性波アクロスの概念図を図38に示します。



図37 遠隔監視システムの観測機器配置図

\*14: 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。

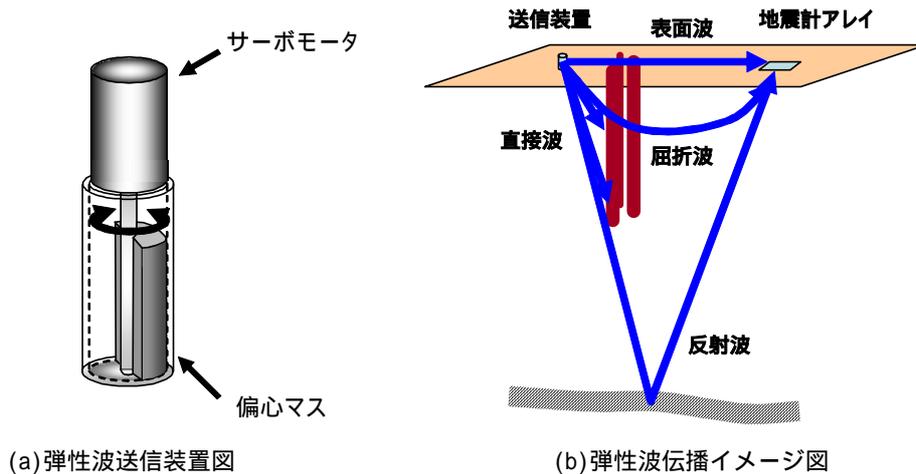


図 38 弾性波アクロスの概念図

現在、電磁・弾性波アクロスともに試験観測を行っています。観測記録の例として、電磁アクロスで取得したデータを解析処理した結果を図 39 に示します。これは、磁場と電場の観測記録から周波数の特徴を求めて、1 日分を足し合せて整理したものです。図の 50Hz, 100Hz にあるピークは、商用電源のノイズですが、その他に で囲んだ大きさの信号を受信していることが分かります。送信点から約 2km 離れた Z 地点でも、この程度の振幅を示す信号が受信できることを確認しました。このように、電磁波や弾性波の伝播特性を解析しその挙動を観察することで、地質環境の変化をモニタリングすることを目指しています。

今後は、既設機器の整備やシステム全体の調整を行うとともに、電磁波や弾性波の伝播特性と地下施設建設による地下の構造や物性の変化との関連について、検討を進めていく予定です。

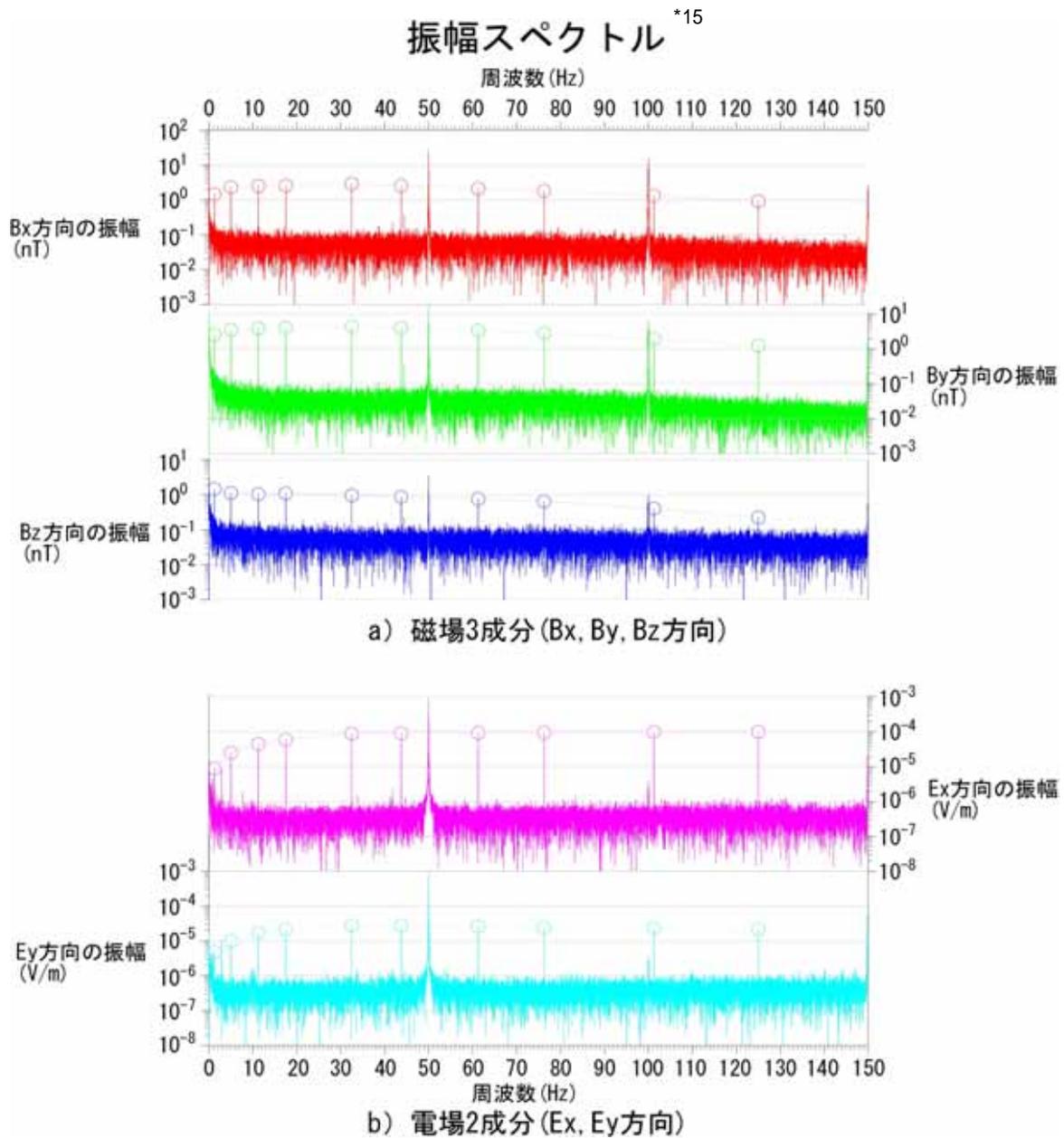


図 39 電磁アクロスの観測記録の例 (Z 地点:2006/3/25)

\*15: 時系列データの周波数成分毎の強度の2乗であらわされるパラメータです。

## 4.3 地質環境の長期安定性に関する研究

### 4.3.1 地震研究

#### ア) 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活動の特徴を把握するため、原子力機構では平成 14 年度から平成 15 年度にかけて幌延町内に合計 4 箇所の地震観測点を設置し、連続観測を実施しています(図 40)。平成 16 年度までの成果により、地震の分布は地層境界や活断層の分布と調和的であり、深さ 15~30km 付近において地震が多く発生していることが明らかになってきました。

平成 17 年度は、平成 14 年 12 月 20 日から平成 17 年 9 月 30 日において幌延地域で発生した地震について、地下に分布する割れ目の構造を高精度に推定することを目的として開発されたマルチプレット・クラスタリング解析<sup>(10)</sup>を適用し、震源分布の解析を行いました。解析では、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ました。

上記の期間において上幌延観測点を中心とする半径約 100km の円内で発生した地震は 4,217 件<sup>(11)</sup>、<sup>(12)</sup>であり、平成 16 年 12 月 14 日の留萌支庁南部地震(マグニチュード 6.1)<sup>(13)</sup>を除く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(図 41)。このうち原子力機構が設置した地震計で観測できた地震は 221 件であり、震源分布の解析にはこれらの地震観測データを利用しました。



図 40 幌延町周辺に設置されている地震計の位置

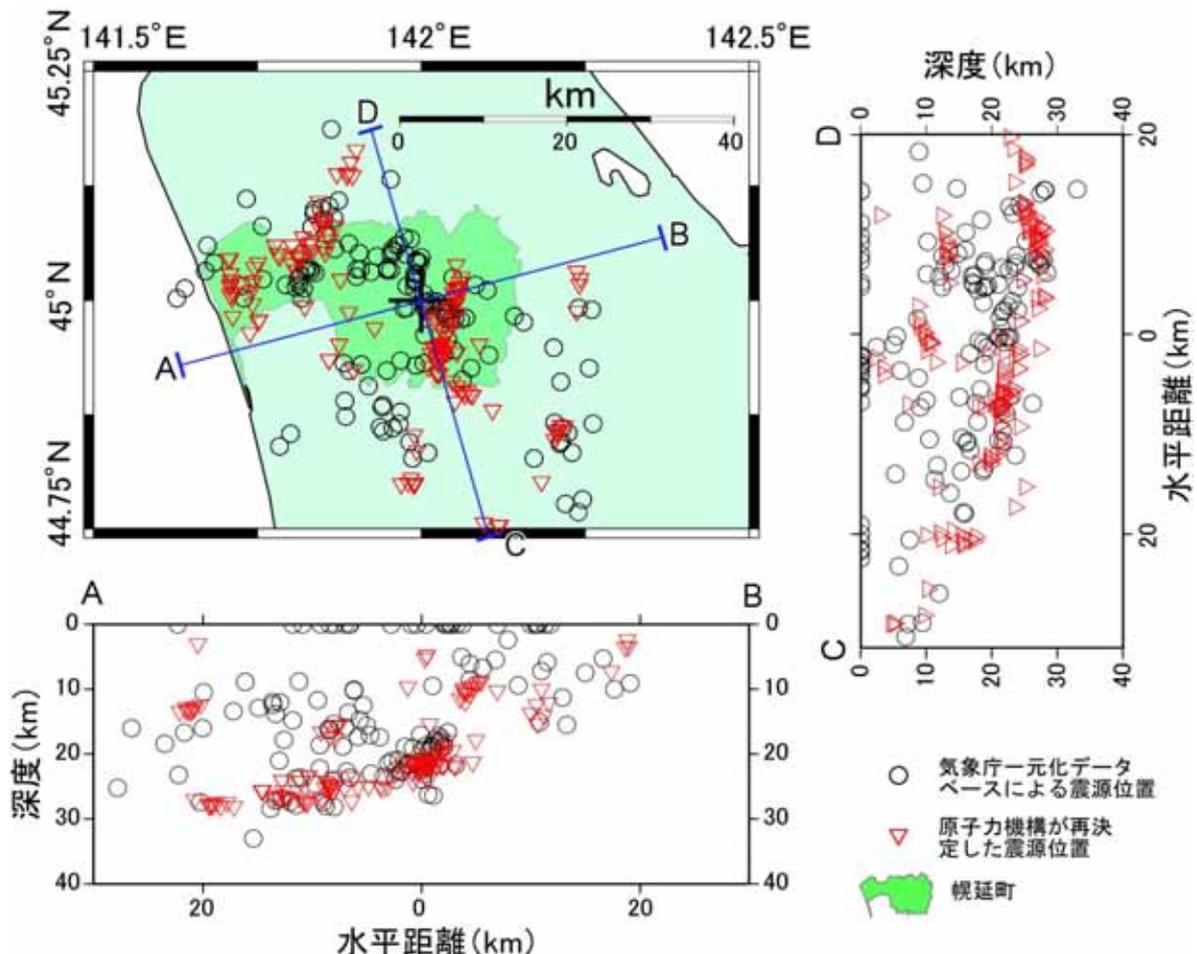


図 41 幌延地域における地震の震源分布 ( 期間: 平成 14 年 12 月 20 日 ~ 平成 17 年 9 月 30 日 )

原子力機構が設置した地震計により観測された地震のみプロット。GMT<sup>(14)</sup>により作図。

解析の結果、地震の分布は幌延町北西部の天塩平野および東部の問寒別川沿いに偏在しており、北北東 - 南南西方向に延びた分布をしていることが分かりました。それらの地域には活断層や活褶曲の分布が知られており<sup>(15)</sup>、幌延地域で観測される地震との関連性が推測されます。また、地下 10km 前後および地下 20 ~ 30km 前後に見られる震源の集中している箇所は、地層境界や断層など何らかの地下構造を示している可能性が考えられます。

今後は、これまでに蓄積した地震観測データを用いて、幌延町を含む北海道北部地域を対象とした地下 30km 程度までの地下構造を把握し、地下構造と震源分布との関連性などを検討していく予定です。

## イ) 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、将来の地震活動を推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 17 年度は、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、寺社に保管されている文献史料などを対象とした文献調査を行いました。平成 15 年十勝沖地震（マグニチュード 8.0）の発生前後には、幌延町からの震央距離が 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>(16)</sup>。このため、文献調査に際しては、北海道とその周辺で発生した地震を対象としました。

文献調査の結果、被害地震の記録は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分かりました（図 42）。この結果は、現在太平洋沿岸地域で被害地震が多く発生していることとも調和的です。しかし、地震に関する記録が少ない地域は、過去に地震や津波に襲われた周期が長かったことや、文献史料が残されていなかった可能性なども考えられます。

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文献調査も行い、過去から現在に至る地震活動の周期などを検討していく予定です。

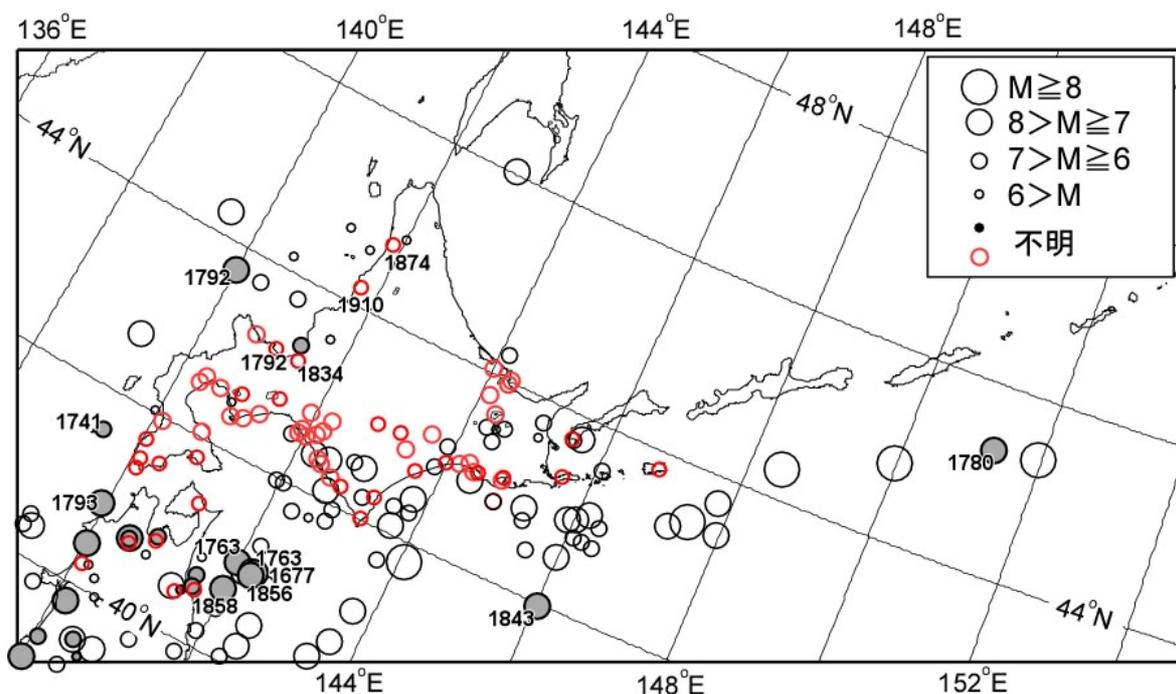


図 42 北海道とその周辺で発生した被害地震の分布

グレー丸および白丸プロットは、それぞれ 1872 年（明治 5 年）以前および 1873 年（明治 6 年）以降に発生した被害地震を示す（宇佐美、2003<sup>(17)</sup>）。赤丸プロットは、原子力機構による文献調査で明らかになった被害地震の発生に関する文献史料のある場所を示す。グレー丸に添えた 4 桁の数字は、各々の被害地震が発生した年代を示す。

#### 4.3.2 天然現象の研究

##### ア) 古地理の変遷

平成 16 年度までに、文献調査、空中写真判読、および現地調査を実施して幌延町内における段丘面の分布と形成時期を把握し、そのデータに基づいて過去数十万年間の海の進入と後退による海岸線位置の変遷を明らかにしました。

平成 17 年度は、幌延地域における地殻変動の変遷を明らかにするため、文献調査、空中写真判読、現地調査、および試錐調査の結果を統合して、過去数百万年間ににおける幌延地域の古地理の変遷を検討しました。

古地理を明らかにするためには、過去の海と陸の分布を把握する必要があります。過去の海の分布は、海岸付近に形成される段丘や海で堆積した堆積物の分布から把握することができます。過去の陸の分布は、堆積物が運ばれてきた方向や運ばれた礫の種類などから推定することができます。堆積物が堆積した時期は、堆積物に含まれる火山灰層や化石か

ら推定することができます。

図 43 は、これらの調査結果に基づいて作成した過去約 300 万年間の古地理の変遷です。これらの図から、幌延地域は、かつて海であった場所に東方から陸が拡大してきたことによって、現在のような海や陸の分布になったことが分かります。

今後は、地質構造や現在進行している地殻変動に関するデータを加えて、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を予測する方法について検討する予定です。

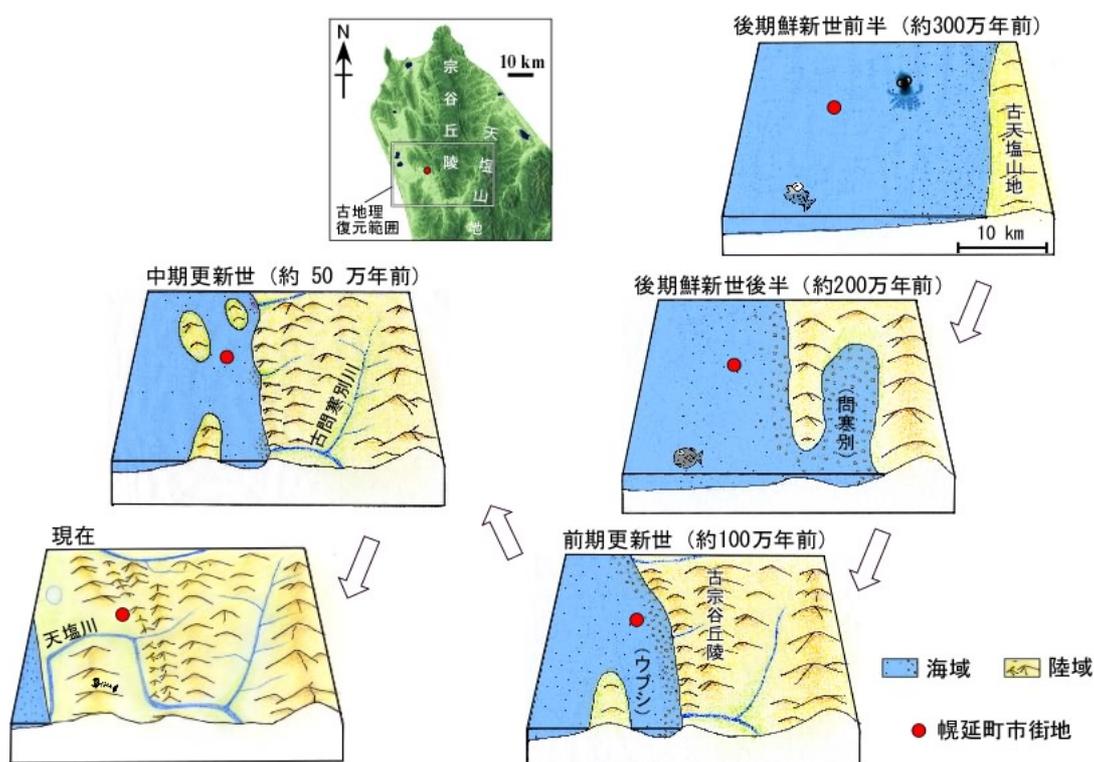


図 43 過去約 300 万年間の古地理の変遷

地形陰影図(図左上)は、国土地理院刊行の数値地図(標高)<sup>(19)</sup>を使用し作成。

## イ) 断層活動の調査

過去数万年間の断層活動を明らかにするためには、断層の詳しい位置、地形面の変形、地下浅部に分布する新しい堆積物中の地質構造、堆積物の年代などを把握する必要があります。

大曲断層の活動を明らかにする取り組みとして、まず初めに断層の詳しい位置を把握するための調査を平成 17 年度に行いました。具体的には、開進地区と北進地区において大曲断層が推定されている付近を調査範囲として(図 44)、地形面の変形を把握するための地形測量、地表付近における堆積物や断層の分布を把握するための露頭調査、地下数 m ~ 数十 m の地質構造を把握するための地中レーダ探査を行いました。調査範囲の選定には、平成 16 年度までの空中写真判読と現地調査から大曲断層の位置が推定しやすく、数万年前以降の新しい堆積物が分布し、探査の障害になる人工物などが少ないことを考慮しました。

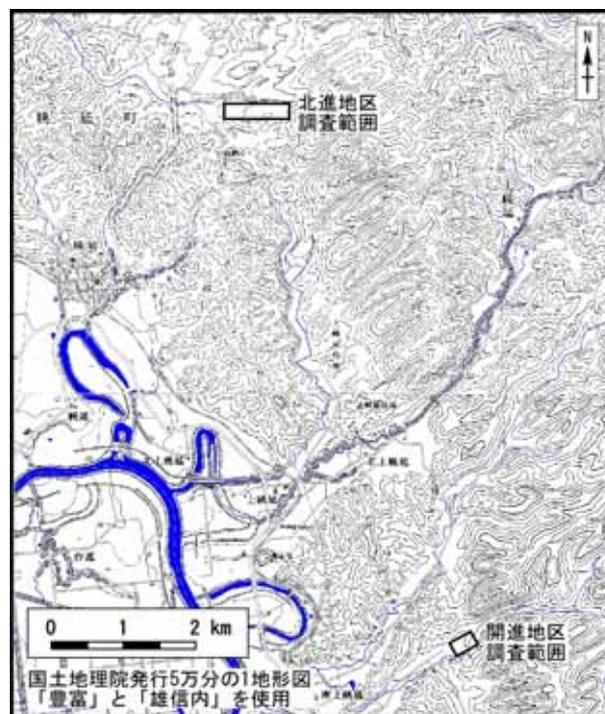


図 44 調査範囲位置図

地形測量では、測量機器を使って川沿いに分布する平坦面を数 m ~ 数十 m 間隔で測量し、詳細な地形図を作成しました。詳細な地形図では、地表面に分布する微小な凹凸を把握することができましたが、断層の詳しい位置や断層活動を示す明瞭な変形は認められませんでした。露頭調査と地中レーダ探査では、実際の地層分布と探査断面とを比較して、数千年前に堆積した新しい堆積物と数百万年前に堆積した古い堆積物の分布を把握することができました(図 45)。また、探査断面の一部では、反

射面の不連続が認められたほか、埋設管や盛土と考えられる人工的な地層の改変を把握することができました（図 45）。

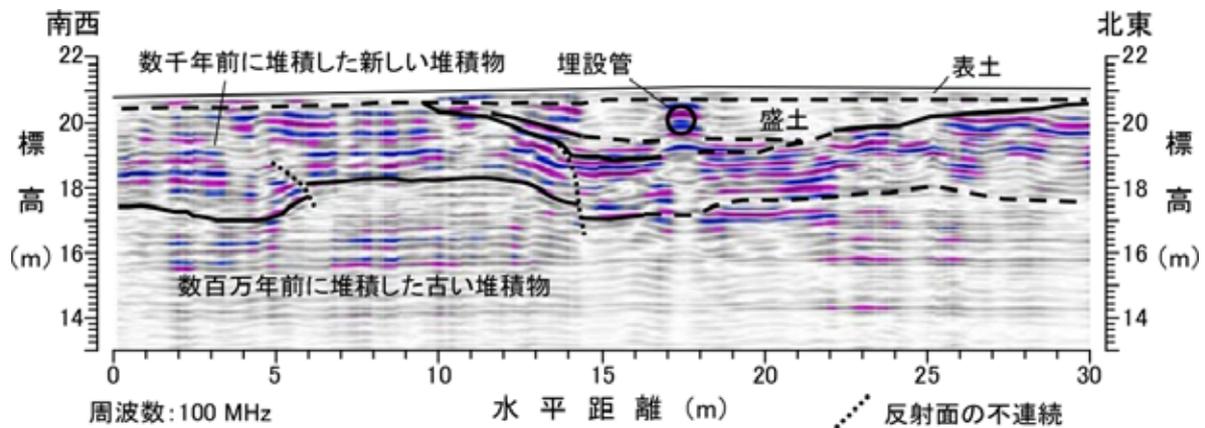


図 45 地中レーダ探査の解析断面（開進地区）

今後は、堆積物の詳細な年代を明らかにするとともに、既存データと合わせて大曲断層の位置および活動について検討する予定です。また、これらの成果を地表から地下浅部を対象にした断層活動の調査手法としてまとめます。

#### ウ) GPS 観測

平成 15 年度までに、幌延町内の HDB-1 孔敷地内に GPS (Global Positioning System: 汎地球測位システム) 観測装置 (HDB-1 観測点) を設置して連続観測を行うとともに、GPS 観測データの解析システムを構築し、平成 15 年十勝沖地震が発生した際の地殻変動量を解析しました。

平成 17 年度は、これまで取得した約 3 年間分のデータを用い、幌延地域における変位 (地殻変動) の傾向を把握するための解析を実施しました。解析には、HDB-1 孔敷地内に設置した GPS 観測装置 (HDB-1 観測点) のデータ、国土地理院が日本全国に設置した GPS 連続観測システム (GEONET 観測点) のうち 12 点のデータ、および IGS (International GPS Service: 国際 GPS 事業) のグローバル観測網に属する 4 点を加えた合計 17 点の観測データを用いました (図 46)。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。

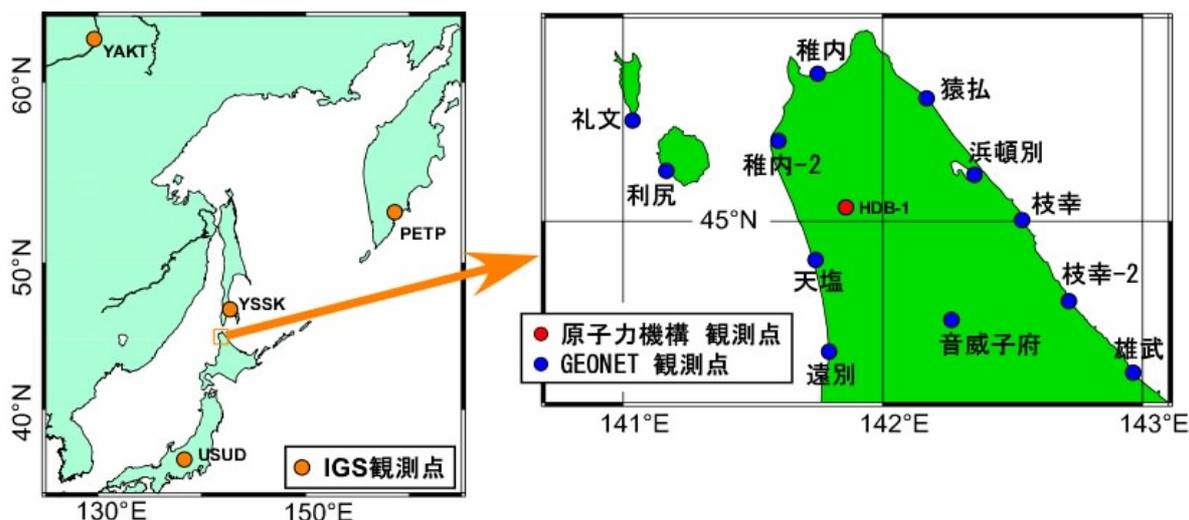


図 46 解析に使用した GPS 観測点  
GMT<sup>(14)</sup>により作図

図 47 は、HDB-1 観測点と各 GEONET 観測点との基線長（HDB-1 観測点との距離）の変化を解析した結果です。また図 48 は、平成 15 年十勝沖地震（平成 15 年 9 月 26 日）発生前後における各 GEONET 観測点の変位の傾向を、基線長の変化に基づいて模式的に示した図です。これらの図では、地震の発生前後において変位の傾向が変化した観測点が多く認められます。

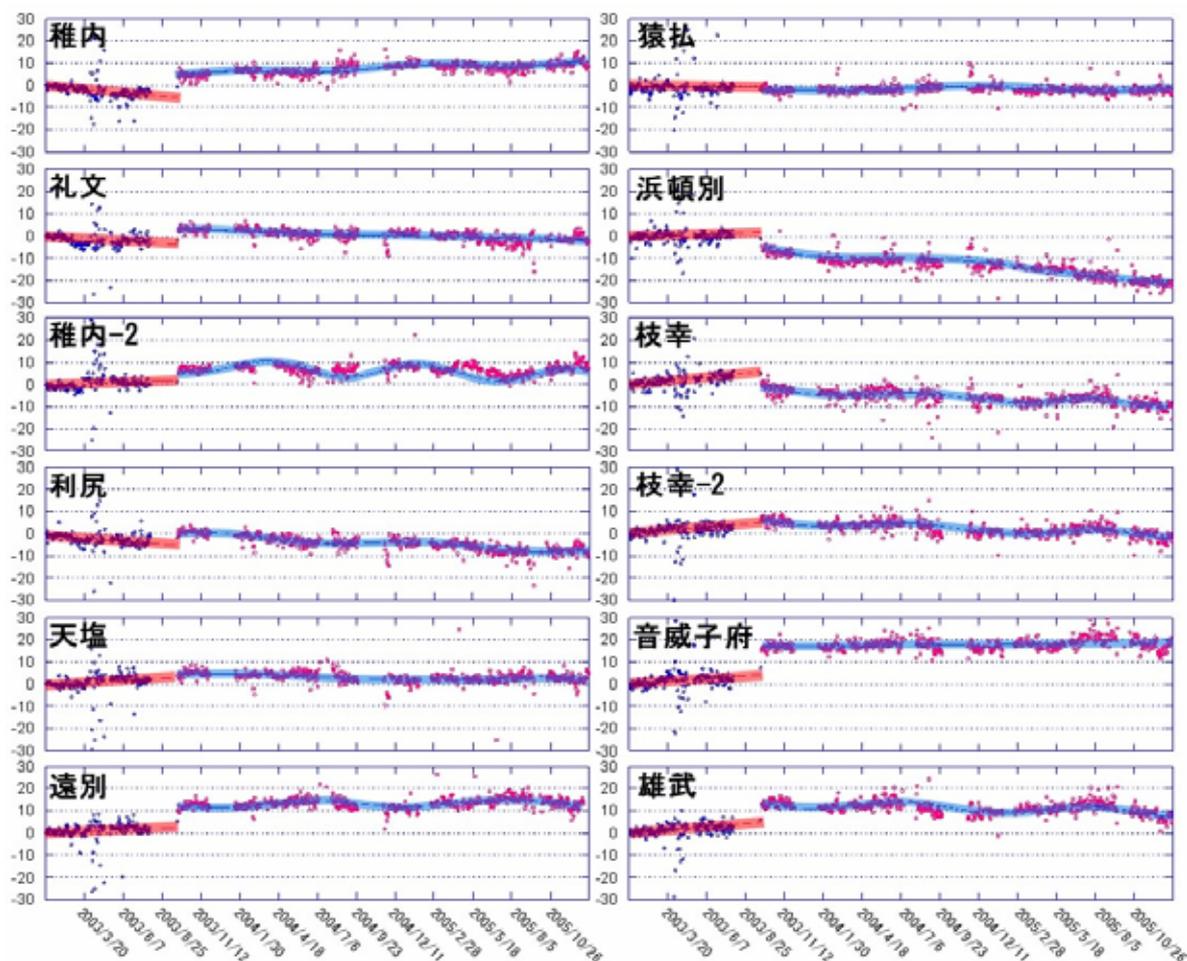


図 47 HDB-1 観測点と各 GEONET 観測点との基線長の変化

(期間: 平成 15 年 1 月 1 日 ~ 平成 18 年 1 月 13 日)

HDB-1 観測点の東側に位置する GEONET 観測点を右列に、西側に位置する GEONET 観測点を左列に並べてある。

- ・縦軸: 平成 15 年 1 月 1 日の基線長を基準とした場合の距離の変化(単位: mm)
- ・横軸: 日付
- ・青丸印: 平成 15 年十勝沖地震(平成 15 年 9 月 26 日)より前の基線長変化
- ・ピンク丸印: 平成 15 年十勝沖地震より後の基線長変化
- ・赤および青曲線: 基線長変化の傾向を示す曲線(右上がりは伸長、右下がりは短縮を示す)

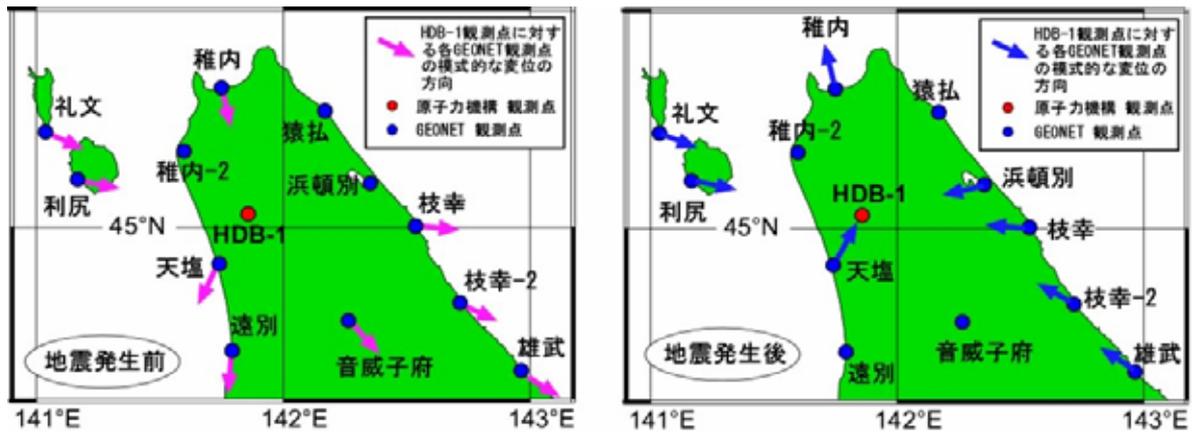


図 48 平成 15 年十勝沖地震発生前後における各 GEONET 観測点の模式的な変位方向

解析を行った範囲内（図 46 の範囲内）を見渡した場合、地震発生前において HDB-1 観測点より北側（稚内、利尻、礼文観測点）は短縮傾向、南側（天塩、遠別、枝幸、枝幸-2、音威子府、雄武観測点）は伸長傾向であるのに対して、地震発生後では HDB-1 観測点より北側の稚内観測点で伸長傾向、それ以外では、ほぼすべて短縮傾向になっています。

以上のことから、現在の GPS 観測データが示す地殻変動の傾向は平成 15 年十勝沖地震の影響を受けており、長期にわたる地殻変動の傾向を示していない可能性があります。また、この結果は、平成 16 年度までの地殻変動の傾向と同じです。このため、北海道北部地域では、現在でも平成 15 年十勝沖地震による地殻変動が継続していると考えられます。

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、得られた解析結果を活断層の変位に関するデータや地質構造から推定される地殻変動量と比較することで、万年オーダーを対象とした地殻変動量やその傾向を把握する手法の検討を進めていく予定です。

## 工) 電磁探査機器による観測

地震が発生する場の電気比抵抗特性や地震発生時の電気比抵抗変化を把握するため、平成 14 年 11 月から HDB-1 孔に隣接する地点に電磁探査機器を設置して連続観測を行いました。平成 15 年 9 月からは、研究所用地造成など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行っています。これまでの連続観測で捉えられた地震発生に伴う地下の比抵抗値の変化は、地震発生後も同様に継続することはありませんでした。

平成 17 年度は、昨年度に引き続き連続観測を実施するとともに、地震の発生と電気比抵抗変化の関連性について検討を行いました。

観測期間中に、幌延町でも地震波が観測されるほどの大きな地震が北海道北西沖を震源として 1 つ発生<sup>(12)</sup>し、地震発生前後の比抵抗値の変化を調べることができました。その地震の震央位置を図 49 に示します。

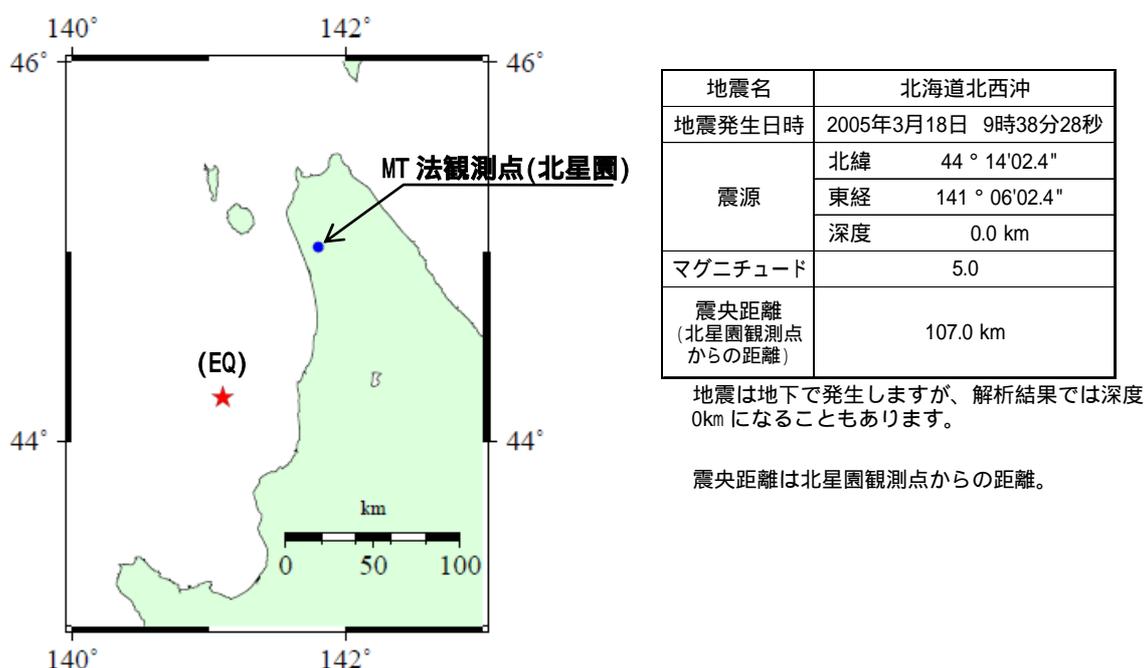


図 49 平成 17 年に北海道で発生した大きな地震  
GMT<sup>(14)</sup>により作図

図 50 に平成 17 年 2 月から平成 17 年 4 月までの地下深部比抵抗の変化と幌延町での気象および地震活動を示します。平成 17 年 3 月 18 日に発生した北海道北西沖における地震の前後には比抵抗値の変化が認められませんが、地震発生以外の時期において比抵抗値の変化が観測されました。

比抵抗値はその周波数が低いほど、より地下深部までの情報を含んでいます。例えば北星園観測点の場合には、周波数 0.56Hz, 0.0176Hz および 0.00293Hz は、それぞれ深度 0.8km, 4km および 13km までの情報を含

んでいます。このため、周波数ごとの比抵抗値の変動は、様々な深度における地下の比抵抗値に変化が生じたことを示します。

平成 15 年 9 月から平成 17 年 4 月までの幌延町北星園における比抵抗の長期観測では、地震発生に伴う地下深部比抵抗値の変化が継続することはありませんでした。

今後は、これまでに取得したデータに基づいて、地震発生と地下深部比抵抗値の変動の関連性についてまとめる予定です。

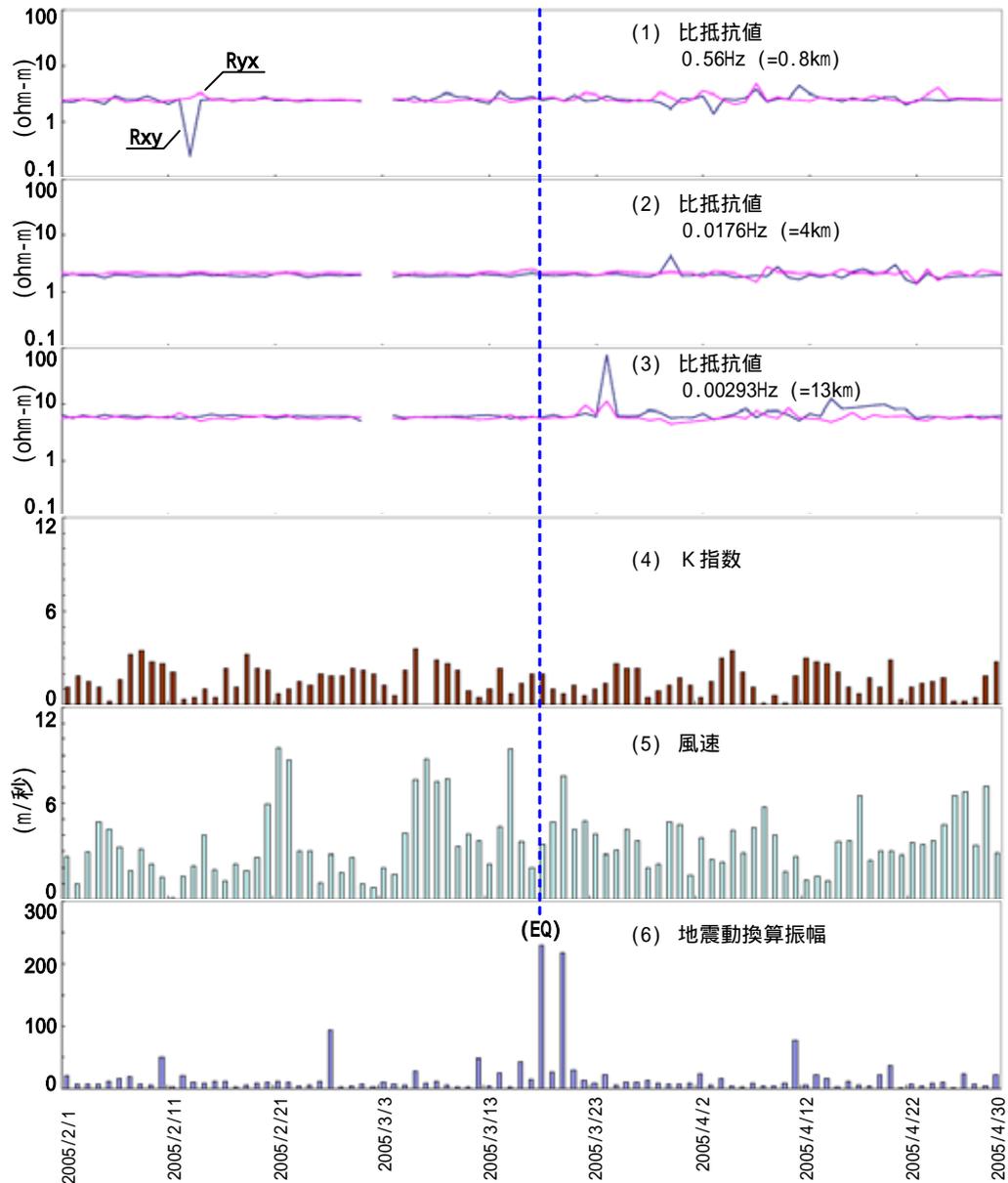


図 50 地下深部の比抵抗値の変化

- (1) : 観測データから求められた電気比抵抗値(0.56Hz 信号、深度 約 0.8km に対応する)
- (2) : 観測データから求められた電気比抵抗値(0.0176Hz 信号、深度 約 4km に対応する)
- (3) : 観測データから求められた電気比抵抗値(0.00293Hz 信号、深度 約 13km に対応する)
- (4) : 独立行政法人 通信総合研究所の地磁気変動係数 K 値
- (5) : 幌延気象観測所の平均風速
- (6) : 幌延町での「地震動の強さ」

(EQ)は図 49 の地震に対応

幌延町での地震動の強さ：気象庁一元化震源リストを用いて、北海道地方の地震について、下記の坪井式<sup>(18)</sup>のマグニチュード計算式から、震央と幌延の換算振幅(A)を計算し1日分を合計した値。

$$M = \log A + 1.73 \log \Delta - 0.83$$

A: 最大地動振幅(μm)、Δ: 震央距離(Km)

## 5. 地層処分研究開発

### 5.1 処分技術の信頼性向上

#### 5.1.1 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コンクリートを使用する場合、セメントの間隙水が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 が低いセメント(HFSC<sup>\*16</sup>)の開発を平成 13 年度から継続して行っています。平成 16 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、施工に必要な基本的要件を有することなどを確認しました。

平成 17 年度は、開発してきた低アルカリ性セメントを、第 2 段階で計画している地下施設における施工試験に使用する上で必要な検討を行いました。具体的には、現在地下施設の設計において検討されている吹付けコンクリートや覆工に使用予定のコンクリート材料と同程度の性能を確保するために必要な HFSC の配合の検討およびその結果に基づく実規模の模擬空洞を用いた吹付け試験を行いました。

地下施設の施工で使用予定のコンクリートの設計基準強度は、 $36\text{N}/\text{mm}^2$  (材齢 28 日)であるため、本研究では材料や吹付け施工に伴う強度発現の不確実性を考慮し、30%割り増しした  $46.8\text{N}/\text{mm}^2$  を目標強度として設定しました。HFSC の配合の検討では、HFSC の 3 種類の配合(HFSC424N, HFSC523N, HFSC424H: N と H はそれぞれ普通ポルトランドセメント、早強セメントを指す) それぞれに、水セメント比を 35%, 40%, 45%とした計 9 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。結果の一例を図 51 に示します。その結果、9 ケースのうち 7 ケースで目標値を上回る結果が得られました。この結果に基づき、これまでの研究データが豊富な HFSC424N と HFSC424H を吹付け試験のためのコンクリートとして用いることとしました。

---

\*16: 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 の割合で混合して作製したセメントを意味します。

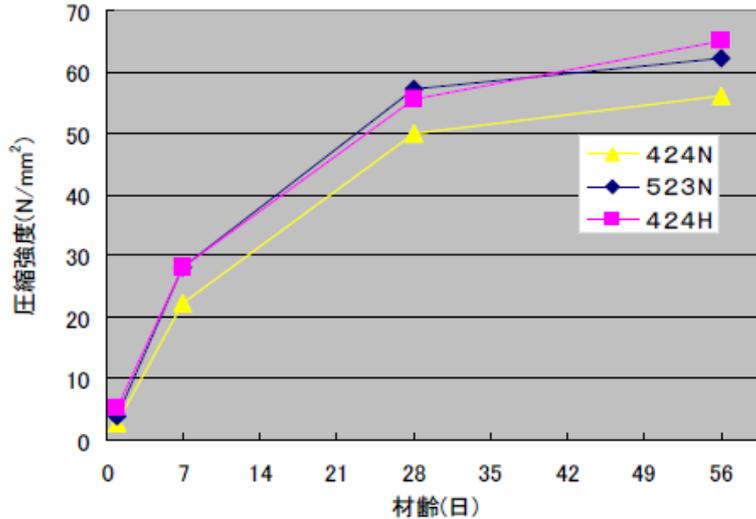


図 51 水セメント比 40%のベースコンクリートの一軸圧縮強度の推移

吹付け試験は、HFSC424N（水セメント比 40%）と HFSC424H（水セメント比 45%）の 2 種類を用い、ベースコンクリート強度試験、吹付け時の施工性確認試験および吹付けコンクリートから採取したコアの強度試験を行いました。新潟県系魚川の民間セメント工場内に構築した模擬トンネルを用いて実施した吹付け試験の様子を図 52 に示します。



図 52 吹付け試験の様子（HFSC424N）

この吹付け試験の結果、両コンクリートとも施工性に問題がないこと、吹付けコンクリートのコア強度は目標値を上回っており、実際の地下施設で使用するコンクリートと同等以上の性能が期待できることが分かりました。

今後は、これまでの研究成果に基づき、最も研究データの多い HFSC424N を主として用いる地下施設内での原位置施工試験計画を検討していく予定です。

#### 5.1.2 設計手法の適用性確認

幌延の地下施設で行うことが予定されている、緩衝材/岩盤クリープ試験や坑道閉鎖試験などの原位置試験においては、緩衝材は塩水系地下水の影響を受け、降水系地下水の場合と異なる挙動を示すことが考えられます。このため、平成 16 年度までに塩水系地下水環境下での緩衝材などの挙動に関するデータ取得のための室内試験を実施しました。平成 17 年度は、平成 16 年度までに実施した室内試験結果などに基づき、そのような環境を対象とした場合の、「第 2 次取りまとめ」<sup>(21)</sup>で示した人工バリアなどの設計手法の適用性を検討しました(図 53)。

具体的には、第 2 次取りまとめで示された全体設計フロー(図 54)の考え方をベースとして仮想的に設計作業を行い、その過程で得られた問題点などを反映して設計フローなどを更新(図 55)するとともに、人工バリアシステムを構成する個別の要素(緩衝材、オーバーパックなど)について詳細な設計フローを作成しました(図 56)。

塩水系地下水環境における緩衝材の特性については、まだデータ数が不足していることから、今後も継続してデータの取得を行っていくとともに、図 55 に示した設計フローの適用性評価のため、これらの成果に基づく第 2 段階以降の原位置試験の仕様の検討を行っていく予定です。

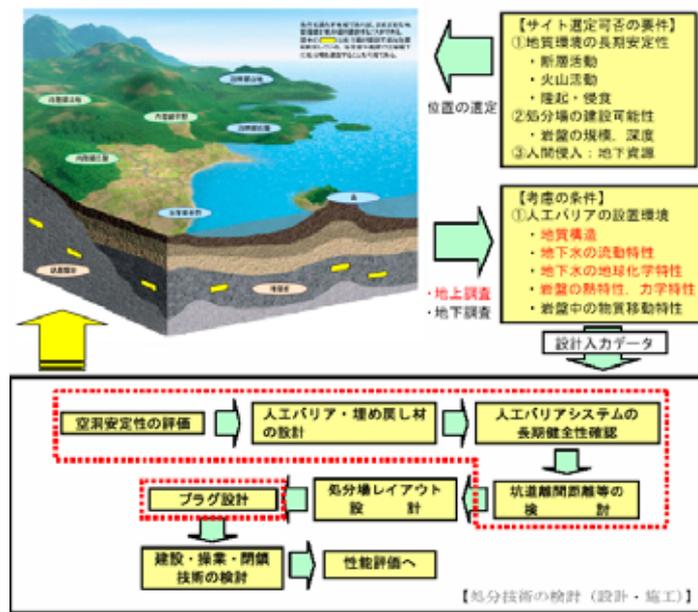


図53 サイト選定から処分場建設地選定までの概略的な流れと平成17年度の検討範囲（赤破線内）<sup>(20)</sup>

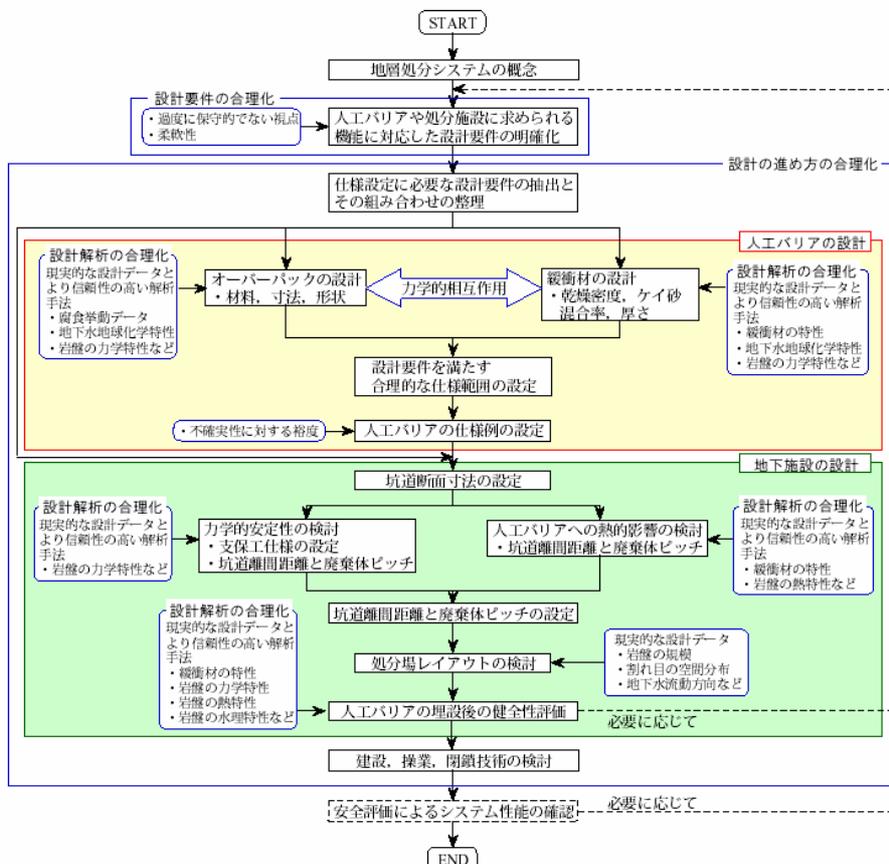


図54 第2次取りまとめで示した処分場設計の基本的な流れ<sup>(21)</sup>



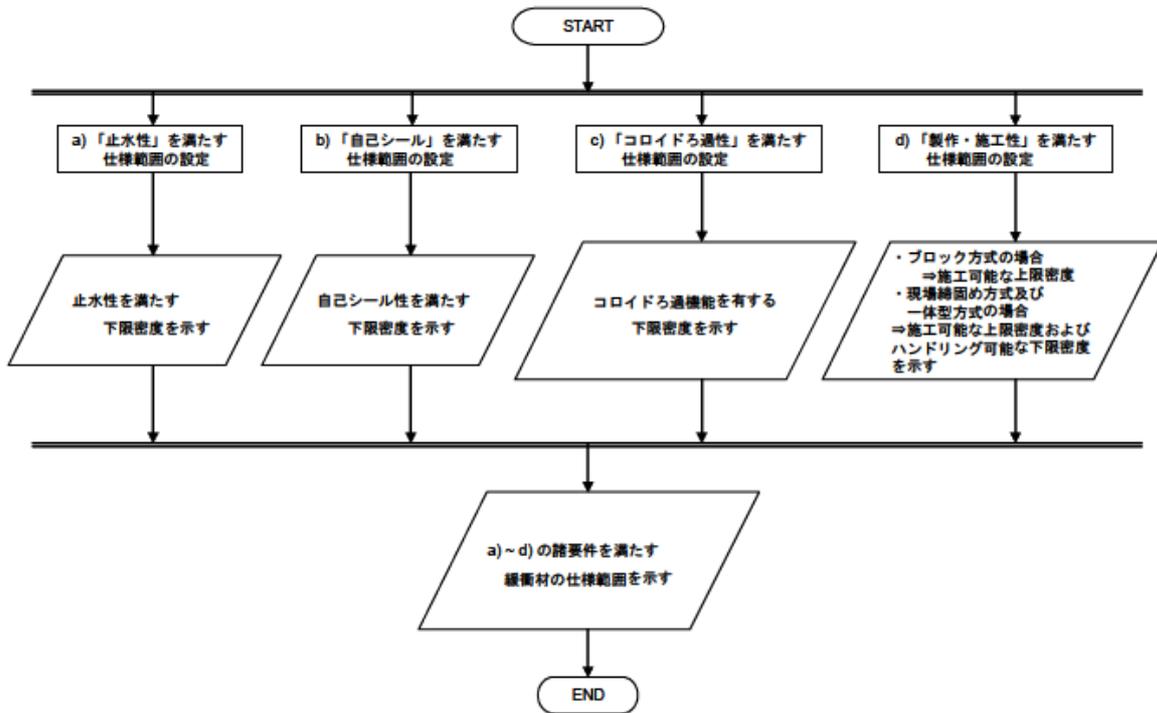


図 56 更新した全体設計フローに対する緩衝材仕様の検討フロー<sup>(20)</sup>

## 5.2 安全評価手法の高度化

### 5.2.1 安全評価手法の適用性確認

#### (1) 安全評価モデルの高度化

岩石への物質の収着メカニズムの検討を目的として、平成 15 年度より試錐孔 (HDB-3 孔) から深度毎にサンプリングした 4 つのコア試料 (声問層および稚内層からそれぞれ 2 試料) と、試錐孔から採取した地下水を用いて室内実験を行ってきました<sup>(22)</sup>。平成 17 年度は、これまでに取得したデータを基に、岩石への物質 (セシウム、セレンなどの元素) の収着メカニズムを検討しました<sup>(23)</sup>。なお、この実験は核燃料サイクル工学研究所 (旧東海事業所) の実験施設で行いました。

その結果、セシウムは岩石中の粘土鉱物 (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が分かりました。一方、セレンは地下水中の有機物や岩石中の鉄鉱物 (黄鉄鉱) による酸化還元反応により、岩石に収着すると推定されました。

#### (2) 安全評価手法の適用性確認

第 1 段階の調査研究で取得した地質環境データを利用して、これまでに整備してきた安全評価手法の適用性を確認しました。具体的には、実際の地層処分候補地において実施が想定される地質環境中での物質移動についての解析を、幌延の地質環境を事例として試行しました<sup>(24)</sup>。この検討の主な目的は、安全評価手法が適用できるか否かを確認することですが、安全評価に必要なデータについて、過不足なく取得されているか、解析に必要な精度が確保されているか、などについて確認することも重要な目的となります。すなわち、今回の検討を行うことにより、安全評価に必要なパラメータを取得する手法が整備されているかどうかを確認することもできます。

安全評価を行うために必要となるパラメータには、現場の調査から取得できるもの (例えば、岩盤の透水係数や間隙率) 室内実験から取得できるもの (例えば、物質の収着分配係数) 解析により求めるもの (例えば、地下水の流速や移行距離) 文献値に基づいて設定するもの (例えば、緩衝材中の間隙水水質のような人工バリアに関するデータ) があります。

これらのパラメータについて、それぞれの手法を用い不確実性の大きさも考慮しつつ設定し、物質移動解析を試行しました。

その結果、地質環境の調査からデータの解釈、モデル化を経て物質移動解析にいたるデータの流れを整理することができ、物質移動解析結果への影響が大きいパラメータを確認することができました。

第 2 段階の調査研究においては、第 1 段階の調査研究において取得できていないパラメータの取得や、データの精度の向上、異なるスケールでの物質移動解析などを通じて、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。

## 6. 第2段階の調査研究計画

平成17年度は、第1段階で構築した地質環境モデルに基づき、概括的な第2段階の計画を作成しました。なお、第2段階の調査研究計画は、「幌延深地層研究計画 坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第2段階）計画<sup>(25)</sup>」として既に平成17年6月に公表していますので、以下にその概要を述べます。

### 6.1 第2段階の調査研究の目標

第2段階における調査研究として以下の4つの目標を設定し調査研究を進めていきます。

坑道の掘削（地下施設の建設）に伴う一連の深部地質環境の調査解析・評価技術の整備

深地層における工学技術の基盤の整備

地層処分技術に関する工学技術の有効性の確認

安全評価手法の適用性の確認

これらの目標を達成するため、第1段階における調査研究と同様、地層科学研究、地層処分研究開発の2つの分野を対象とした研究開発を進めていきます。また、第2段階で得られる調査研究成果に基づき、第3段階の調査研究計画を策定します。

### 6.2 調査研究の概要

#### 6.2.1 地層科学研究

##### (1) 地質環境調査技術開発

###### 地質環境データの取得

深度500m程度までに展開される立坑と水平坑道の掘削時に、坑道壁面の地質観察、坑道への湧水量測定、湧水の水質分析などを行います。坑道から掘削する試錐孔を利用して地質や地下水水圧・水質、岩盤の力学物性などのデータを取得します。また、採取した岩石・地下水試料を利用した室内試験も行います。

地上では、第1段階において掘削した試錐孔において、坑道掘削に伴う地下水水圧や水質の変化の有無を観測します。また、降水量、河川流

量観測、気象観測などの表層水理調査を行います。なお、坑道掘削により取得する地質環境データを使用した地質環境モデル更新結果によっては、物理探査や試錐調査などの地上からの調査を実施する可能性もあります。

#### 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

第1段階で構築した施設スケール(研究所用地を含む数km四方のスケール)の地質環境モデルのうち、主として地質構造モデルの妥当性を確認するとともに、必要に応じてモデルを更新します。

具体的には、第1段階で実施した地下施設建設に伴う地下水水圧・水質などの地質環境の変化の予測結果と、上記の で取得したデータを比較することにより、予測結果および地上からの調査・予測・解析手法の妥当性を確認します。

坑道掘削に伴い取得する地質環境情報に基づき、坑道スケール(数十m~数m四方のスケール)の地質環境モデルを構築し、坑道を利用した調査研究段階において展開する水平坑道周辺の地質環境を推定します。このモデルは、第3段階で実施する調査試験研究計画を策定するための基礎情報となります。

#### 調査技術・調査機器開発

坑道内で調査を行う場合には、その固有の環境(高湿度など)や調査に使用できる空間が限られていることなどに対処するため、調査機器の改良・開発が必要と考えられます。

これまでに原子力機構が実施してきた坑道内での調査研究(東濃鉱山における試験研究など)を通じて開発した水理試験装置などの調査技術・調査機器を適用し、その有効性を確認します。また、必要に応じて調査技術・調査機器の開発を行います。

また、坑道内における各種計測データを一元的に管理するためのシステムを構築します。

## (2) 地質環境モニタリング技術の開発

#### 試錐孔を用いたモニタリング技術開発

地表から掘削した試錐孔における地下水水圧・水質モニタリングシステムの有効性を検討します。また、モニタリングデータ管理システムの

構築、モニタリングデータの解析手法の構築を行います。

#### 遠隔監視システムの開発

アクロスシステムを応用した遠隔監視システムの開発を行います。これまでに、弾性波アクロスと電磁アクロスの送受信機器の設置および試験観測を実施しており、第 2 段階では立坑掘削中における地下の状態に関する観測データ取得します。これを立坑掘削前の状態と比較することにより、地下の構造や状態の変化を把握する技術としての有効性を検討します。

また、岩盤の比抵抗変化を長期的に観測する手法の適用性確認などを行う予定です。

#### (3) 深地層における工学的技術の基礎の開発

坑道の掘削により、第 1 段階において適用した詳細設計や施工計画策定などの手法ならびに適用した工学技術の有効性を評価し、その評価結果を適切に詳細設計や施工計画策定などに反映させる技術体系を整備します。

また、実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合、想定外の事象に遭遇した場合、あるいは、坑道の掘削により地質環境を著しく乱す事象が生じた場合などにおいて、柔軟に設計変更ができること、さらに現状の対策工が適切に対応し得ることを示すことにより、設計・施工技術の有効性を確認します。さらに、地質環境の変化の事前予測や対策工実施後の品質保証のための工学技術の検討を行います。一方、安全衛生面からの坑道内の研究環境の維持・管理や安全確保のための技術開発を実施します。

#### (4) 地質環境の長期安定性に関する研究

この研究では、幌延地域での観測や調査が可能な天然現象である、地震・断層活動、隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動を対象としています。

第 1 段階では、幌延地域における天然現象の変遷を把握してきました。第 2 段階では、天然現象が地質環境へ及ぼす影響を明らかにし、その結果を基に地質環境の長期的変化を考慮した地質環境モデルの構築を行います。

断層活動や隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動などの過去の天然現象が地質環境へ及ぼした影響については、地表踏査や坑道壁面調査、採取した試料の室内試験などにより影響の範囲や程度を把握します。地震などの現在も起こっている天然現象が地質環境へ及ぼす影響については、第 1 段階で設置した観測機器を用いて、地殻変動量や地下水水位・水圧の観測を行い、それらの変化と地震活動の特徴の関連性について検討します。

地質環境の長期的変化を考慮した地質環境モデルの構築にあたっては、過去から現在に至る上記の天然現象および地質環境の変遷に係わる情報の収集と解析を行い、天然現象が地質環境へ及ぼす影響の因子や影響のプロセスおよび影響のメカニズムなどを系統的に整理した上で実施します。なお、モデル作成過程において生じる不足データについては、適宜現地調査や室内試験などを実施し、得られたデータに基づいてモデルを適宜更新していきます。

### 6.2.2 地層処分研究開発

地層処分にに関する技術のうち、人工バリア性能などに関わる工学要素技術の信頼性向上を図るための室内試験や原位置試験を行います。また、安全評価手法の実際の地質環境への適用性を確認するために、第 1 段階および第 2 段階で取得するデータを利用して、地下施設周辺での物質移動の解析を試行します。

#### (1) 処分技術の信頼性向上

##### 人工バリア等の工学技術の検証

処分技術の信頼性向上に関する研究課題のうち、坑道内の原位置において行うことが重要な試験として、低アルカリ性コンクリートの施工性を確認する試験およびガス移行挙動試験を行います。

低アルカリ性コンクリートに関する試験においては、坑道支保工としての基本的施工性の確認および適用範囲の把握、プラグ・グラウトなど閉鎖工としての施工性の確認、鉄筋腐食など施工後の品質の確認を行います。

ガス移行挙動試験は、人工バリアシステム全体の機能の評価とオーバ

ーパック材料の腐食に伴い発生するガスの移行評価モデルの検証を行うことを目的として実施します。この試験では、試験用坑道に掘削するピットを利用し、坑道およびピット周辺岩盤、緩衝材および埋戻し材中のガスなどの挙動を、第2段階から第3段階にかけて連続的に観測します。また、人工バリアおよび周辺岩盤の熱・水理・応力・化学連成挙動評価試験や人工バリアの定置精度確認試験など、第3段階に行う原位置試験の詳細設計を行います。

#### 設計手法の適用性確認

空洞の力学的安定性や支保工の性能を確認し、支保工が緩衝材や岩盤に与える影響などについて、実際の施工と各種の観測により得られる知見を集約・整理します。また、地下施設建設の各段階での地質環境情報を参考として、地層処分において特徴的な設計手法の実際の地質環境に対する適用性を概略的に評価します。

#### (2) 安全評価手法の高度化

幌延を一つの事例として、地下施設周辺での物質移動解析を試行します。第1段階から第2段階へと段階的に取得される地質環境データを利用して、データの質と量に応じた安全評価手法の検討を行うことにより、安全評価の観点から地質環境の調査における留意点などを整理し、調査計画に反映させていきます。

また、地下水や岩石を利用した室内試験により、物質移動の解析に必要なデータ（収着分配係数、拡散係数、空隙率など）を取得します。

## 7. 地上施設・地下施設・環境調査

### 7.1 地上施設

地上施設については、研究管理棟および試験棟がほぼ完成し、平成 18 年 2 月下旬に新事務所へ移転しました。研究管理棟および試験棟は、平成 18 年 5 月末の竣工です。図 57 に研究管理棟および試験棟の外観を示します。



図 57 研究管理棟および試験棟の外観

また、PR 施設は平成 17 年 11 月に工事を開始し、主に杭打工事および施設展示物の実施設計を行いました。建屋工事は平成 19 年 5 月の竣工予定です。図 58 に PR 施設の完成イメージ図を示します。



図 58 PR 施設のイメージ

## 7.2 地下施設

平成 16 年度に実施した地下施設の実施設計に基づき、地下施設工事(第 期)に着工しました。第 期工事は、平成 21 年 3 月の竣工予定です。

地下施設工事(第 期)では、換気立坑および東立坑の掘削を行う予定です。平成 17 年度は、工事工程の詳細な検討や、効率的な工事の進捗を図るための仮設備の配置および施工計画の検討を行いました。掘削工法は、実施設計での計画どおり、立坑・水平坑道ともに全断面工法を採用し、掘削方式については、換気立坑は機械方式を、東立坑は発破方式を採用しています。なお、換気立坑の掘削においては、従来バックホウによる掘削土(ズリ)の積込を計画していましたが、これに変わる掘削土(ズリ)積込機を自由断面掘削機と併設し、バックホウの昇降作業を省略することで、より効率的な工事進捗を図ることが可能な掘削手順としました(図 59)。また、仮設備の配置についても、追加した脱窒素(アンモニア)設備も含めた排水処理設備の増設を考慮したレイアウトとしました(図 60)。

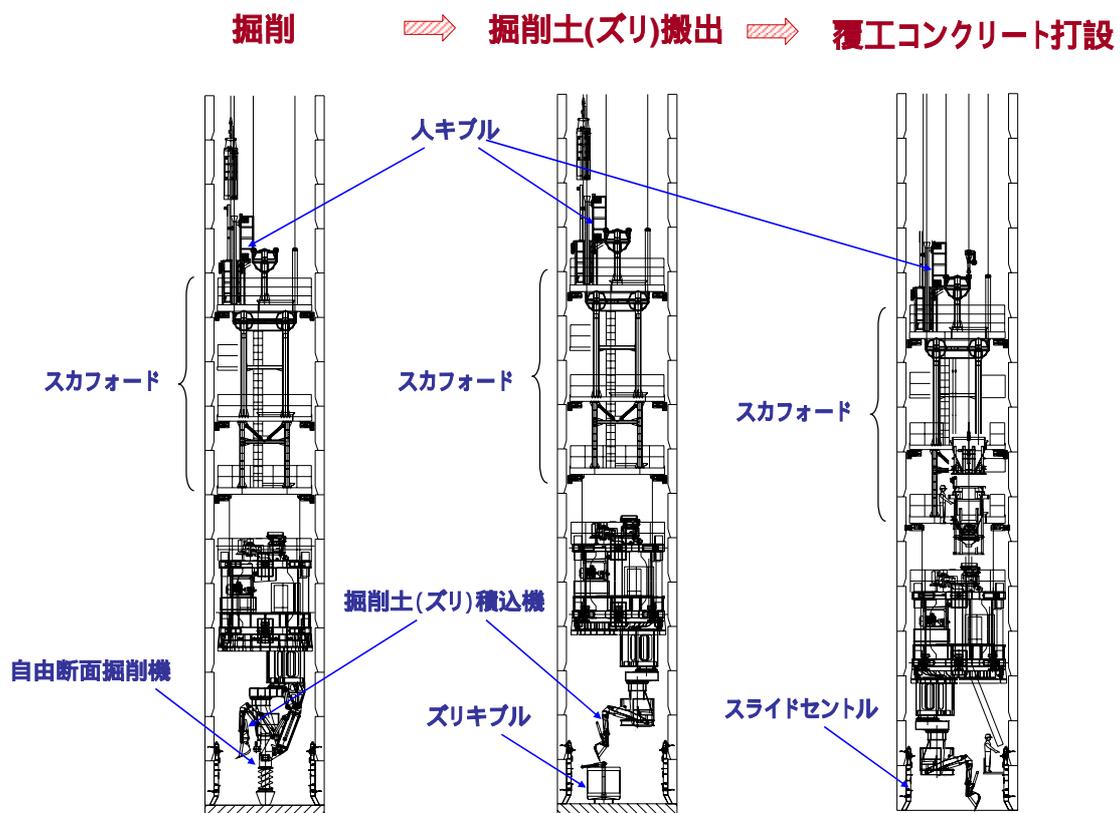


図 59 立坑掘削手順(換気立坑の例)

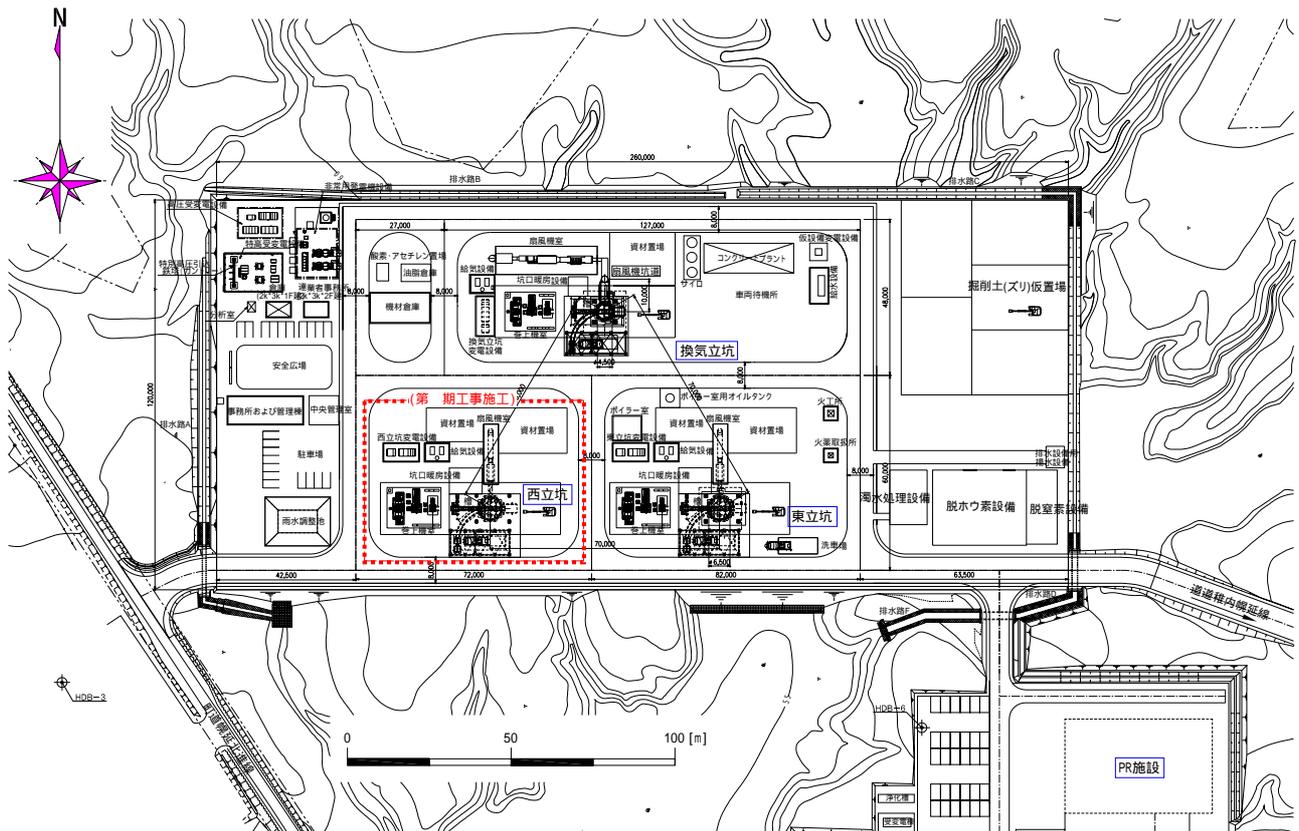


図 60 地下施設仮設備の配置

地下施設工事のうち、それに係る周辺仮設備については、仮設備機器の動力用として使用する受変電設備の設置（立坑掘削で必要とする電力以外の仮設備に電力を供給する設備）、排水処理設備および給水設備の基礎の構築、アスファルト含浸シートにて遮水性を確保した掘削土（ズリ）仮置場の整備を行いました。

さらに、コンクリート製造設備の基礎用の鋼管杭（換気立坑坑口上部工：深さ約 25m、コンクリートプラント：深さ約 26m）を打設しました。換気立坑については、坑口上部工の基礎となる鋼管杭を打設後、地表から 5m までの掘削を完了しました。

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、坑内火災時の複雑な通気挙動を把握するために立坑の模型を用いた実験を行い、火災時発生ガスや煙の挙動および坑道内の温度変化などの基礎的なデータを取得しました（図 61）。今後も引き続き模型を用いた実験による通気挙動の検討を進めていく予定です。

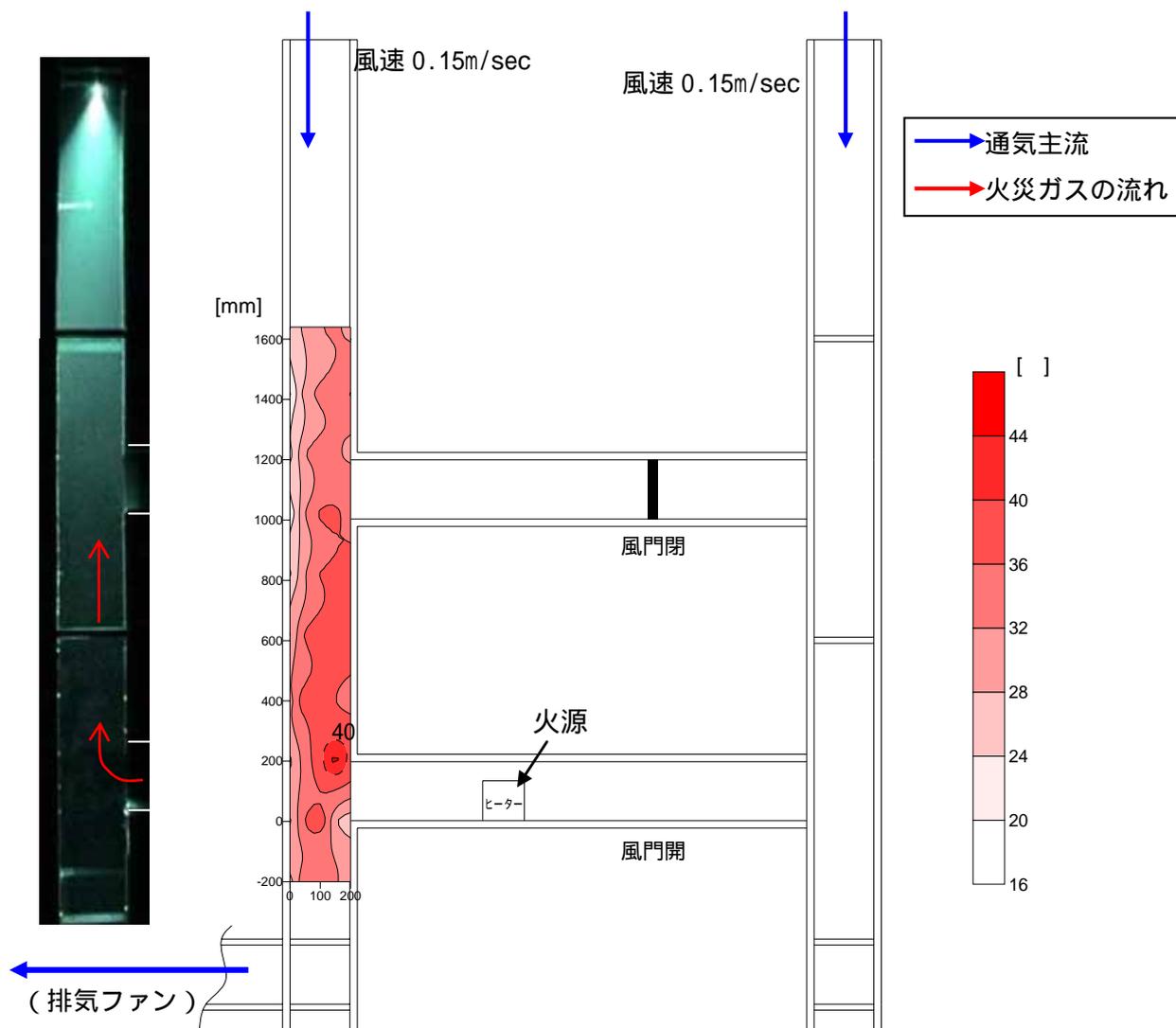


図 61 立坑模型実験  
通気主流逆転の一例：レーザーによる視認結果と等温線図

地下施設建設時に発生する掘削土（ズリ）を保管する掘削土（ズリ）置場については、平成 16 年度に実施した調整設計を基本とし、地下施設の建設に伴い発生する掘削土（ズリ）量に応じた、適切な容量の掘削土（ズリ）置場の設計を行いました。なお、掘削土（ズリ）置場は、土壤汚染対策法の遮水工封じ込め型に準じた二重遮水シート構造としました。

また、地下施設から発生する排水を天塩川まで導水するために必要な排水管路の設計を行いました。排水管路のうち天塩川に設置する吐き口部は、塩水の遡上が確認されている天塩川深層部へ放流する水中放流方式を採用し、天塩川の河川環境に配慮した設計としました。

### 7.3 環境調査

平成 17 年度は、平成 16 年度のモニタリング調査に引き続き、研究所設置地区を対象とし、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図を図 62 に示します。

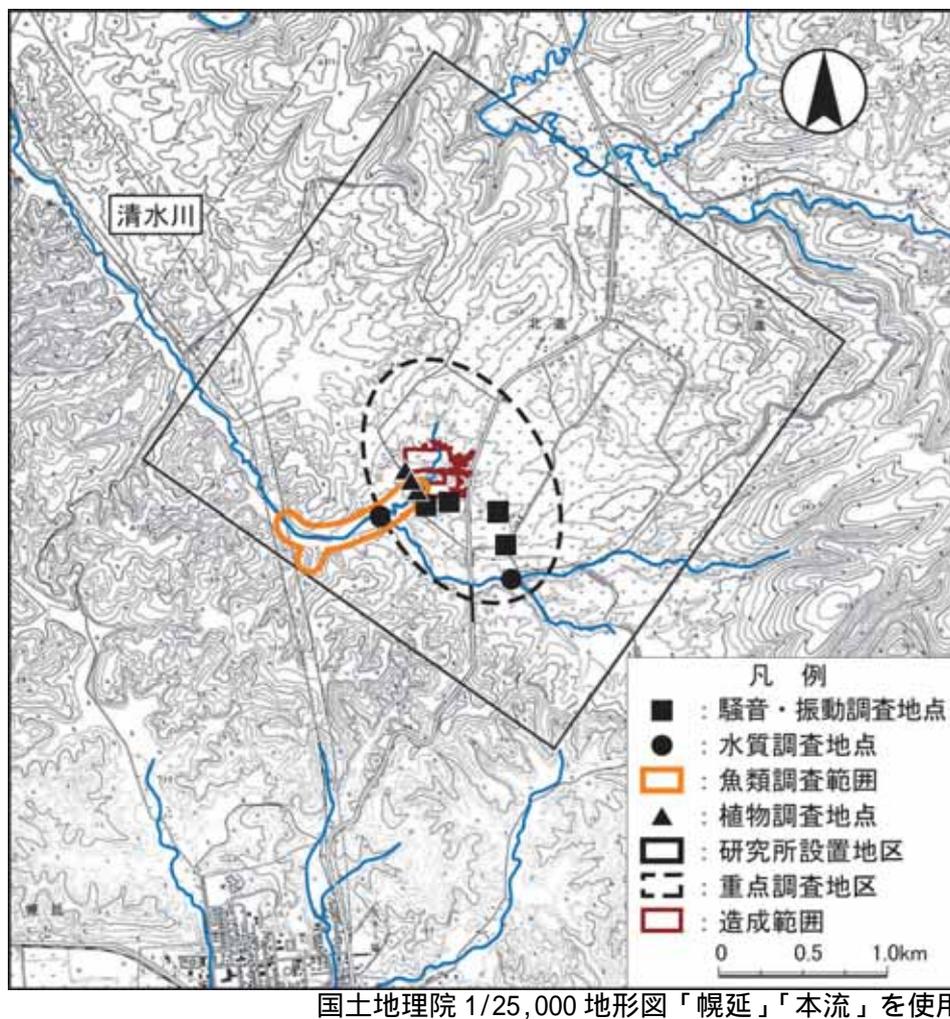


図 62 環境モニタリング調査位置図

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 3 に示します。

表3 環境モニタリング調査実施内容(平成17年度)

調査項目	調査実施期日	調査方法
騒音	春季：平成17年 6月 7日～ 8日 夏季：平成17年 8月31日～ 9月 1日 秋季：平成17年10月 6日～ 7日 冬季：平成17年12月14日～ 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17年 6月 7日～ 8日 夏季：平成17年 8月31日～ 9月 1日 秋季：平成17年10月 6日～ 7日 冬季：平成17年12月14日～ 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17年 5月27日 夏季：平成17年 8月30日 秋季：平成17年10月 4日 冬季：平成17年12月13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17年 5月26日 夏季：平成17年 8月30日 秋季：平成17年10月 5日	目視観察・採捕調査
ハイドジョウツナギ	春季：平成17年 5月26日 夏季：平成17年 8月31日	目視観察
植物群落	春季：平成17年 5月26日 夏季：平成17年 8月31日 秋季：平成17年10月 4日	コドラート調査

騒音・振動については、いずれも造成工事などの着手前と比較して変化が認められませんでした。

水質についても、造成工事などの着手前と比較して変化が認められませんでした。

魚類に関するモニタリング調査の結果、5目6科8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4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、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5にまとめて示します。

表4 確認された重要種（魚類）

目	科	種	選定根拠 <sup>*1</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>*2</sup>	減 <sup>*3</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			

\*1: 重要種の選定根拠

- : 「文化財保護法」(昭和25年 法律第214号)に基づく天然記念物および特別天然記念物
- : 「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」(平成4年 法律第75号)に基づく野生動植物種
- : 「改定・日本の絶滅のおそれのある野生生物 - レッドデータブック - 4 汽水・淡水魚類」(環境省 2003年)の記載種
- 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

\*2: ヤマメが対象

\*3: サクラマスが対象

表5 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 37 から 58 デシベル、夜間は 35 から 53 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 8 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 of 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。

## 8. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、以下に示す研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、そのほかにも広く関連する国内外の研究機関や専門家の参加を得て進めています。平成 17 年度の主な調査や解析の結果は以下のとおりです。

### 北海道大学

「地下水中の有機物に関する研究」のテーマで研究協力を行いました。地下水中の有機物を分析する手法を検討し、幌延で採取した地下水中の有機物を分析しました。その結果、浅部の地下水と深部の地下水では、溶存する有機物の分子量が異なる可能性のあることがわかりました。

### 幌延地圏環境研究所<sup>\*17</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いました。

### 山口大学

「溶存メタンセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究」のテーマで共同研究を行いました。平成 17 年度は、開発した溶存メタンセンサーを用いて室内実験と HDB-5 孔を使用して原位置での適用試験を実施しました。その結果、センサー表面に水流を与える機能を付加することによってセンサーの反応性が向上することがわかりました。

### 岡山大学ほか

「地下水の流向・流速の計測方法に関する研究」のテーマで岡山大学ほかとの共同研究を行いました。HDB-10 孔において微流向・流速計の原位置での適用試験を実施し、本装置が設計通りの性能を有していることを確認しました（詳細は 4.3.1(1)を参照）。

---

\*17: 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。

## 京都大学

「ボーリングコアを用いた堆積軟岩の AE<sup>\*18</sup> 特性の分析および原位置測定手法に関する研究」のテーマで共同研究を行いました。試錐調査で採取したコアを用いた室内試験と室内試験時に測定した AE の分析を行い、堆積軟岩を対象とした場合に岩盤の破壊過程を把握する上で有効なパラメータを抽出しました。

## 静岡大学

「遺伝子プローブを用いた微生物群集構造の解析とその定量的評価」のテーマで共同研究を行いました。地下水中の微生物について分析した結果、地層の違いにより、そこに含まれる地下水中の微生物の活性が異なることがわかりました。

## (財)産業創造研究所<sup>\*19</sup>

「地下水の水質・水理モデルの信頼性向上に関する研究」のテーマで共同研究を行いました。幌延で取得された地質環境データを利用して、地下水の水質形成機構の検討や地質環境の長期的変遷を考慮した地下水流動解析を開始しました。

また、深さ 50m 程度の試錐孔を掘削して地下水や岩石コアを採取し、地下水や岩石コア中の微生物の解析、および地下水や間隙水の化学分析などを実施しました。

## (財)電力中央研究所<sup>\*20</sup>

「地質・地下水環境特性評価に関する研究」のテーマで共同研究を継続して実施しました。平成 16 年度に引き続き北進地区におけるコントロールボーリング孔の掘削を実施し、コントロール掘削技術とコントロールリング孔を利用した調査技術の適用性を確認しました。なお、北進地区での掘削は、平成 17 年 11 月に終了しました（掘削長：706.0m）。

---

\*18: 岩盤の内部で微小破壊が生じる際に出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。AE とは、Acoustic Emission の略です。

\*19: 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ました。現在、核燃料サイクル分野などの研究開発を実施しています。

\*20: 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。

(財)原子力環境整備促進・資金管理センター<sup>\*21</sup>

「地質環境調査技術の適用検討に関する研究」のテーマで共同研究契約を更新しました。平成 17 年度は北進地区（探査範囲：約 3×2km）で 3 次元電磁法探査を行うとともに、地下施設周辺地区（解析範囲：7.5×5km）の地下水流動解析を実施しました。

Nagra<sup>\*22</sup>（スイス）

Nagra とは、幌延深地層研究計画について、第 1 段階における調査研究成果の統合と取りまとめに関する技術検討会議（平成 17 年度は 1 回）を行い、その結果を研究成果報告書や研究計画書の品質向上のために活用しました。

---

\*21: 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。

\*22: 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ます。

## (引用文献)

\*本文中引用した順に記載

- (1) 核燃料サイクル開発機構 (2003): “幌延深地層研究計画 平成 17 年度調査研究計画”, サイクル機構技術資料 JNC TN5400 2004-007.
- (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」”, サイクル機構技術資料 JNC TN1440 2005-002, 参考資料 4, pp.18-23.
- (3) 核燃料サイクル開発機構 (1999): “わが国における高レベル放射性廃棄物 地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次とりまとめ - 分冊1 わが国の地質環境”, サイクル機構技術資料 JNC TN1400 99-021, pp. -109~ -114.
- (4) 長谷川琢磨, 中田弘太郎, 東原知弘, 大山隆弘, 木方建造, 濱克宏, 國丸貴紀 (2005): “幌延サイトでの水質調査結果による地下水年代の推定”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会 講演要旨集, pp.214-217.
- (5) 核燃料サイクル開発機構 (2005): “高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築 - 平成 17 年取りまとめ -, 分冊 1 深地層の科学的研究”, サイクル機構技術資料 JNC TN1400 2005-014.
- (6) 濱克宏, 國丸貴紀, 嶋田純 (2005): “堆積岩中の地下水の地球化学特性調査手法について - 幌延の新第三紀堆積岩を例として -”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨, pp.106-109.
- (7) 操上広志, 竹内竜史, 瀬尾昭治, 今井久, 塩崎功, 下茂道人, 熊本創 (2005): “幌延堆積岩中の割れ目帯を考慮した地下水流動解析”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨, pp.100-105.
- (8) Xu, T., Sonnenthal, E., Spycher, N. and Pruess, K. (2004): “TOUGHREACT User's Guide, A Simulation Program for Non-isothermal Multiphase Reactive Geochemical Transport in Variably Saturated Geologic Media”, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-55460.
- (9) 大山隆弘, 中田弘太郎, 東原知弘, 長谷川琢磨, 馬原保典, 橘川貴史 (2005): “堆積岩間隙水の圧縮抽水における抽水圧力に伴う水質変化の検討”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会講演要旨, pp.194-199.
- (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)「マルチプレート・クラスタリング解析について」にあり)
- (11) 防災科学技術研究所ウェブ・ページ (<http://www.hinet.bosai.go.jp/>) 地震のページ 全国高感度地震観測 Hi-net【防災科学研究所】.
- (12) 気象庁 (2005): “地震年報 平成 15 年” .
- (13) 気象庁ウェブ・ページ (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>) 被害地震のページ
- (14) Wessel, P. & W.H.F. Smith (1991): Free software helps map and display data. EOS Trans. Amer. Geophys. U. 72, 441, 445-446.
- (15) 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 .
- (16) 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 -”, サイクル機構技術資料 JNC TN1400 2004-007 .
- (17) 宇佐美龍夫 (2003): “最新版日本被害地震総覧[416]-2001”, 東京大学出版会, 東京 .
- (18) 坪井忠二 (1954): “地震動の最大振幅から地震の規模を求めることについて”, 地震 2, 7, 185-193 .
- (19) 国土地理院 (2001): “数値地図50mメッシュ(標高)日本 - ” (CD-ROM), 国土地理院.
- (20) 核燃料サイクル開発機構 (2005): “高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築 - 平成17年取りまとめ -, 分冊2 工学技術の開発”, サイクル機構技術資料 JNC TN1400 2005-015, pp.5-1~5-60.
- (21) 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次とりまとめ - 分冊2 地層処分の工学技術”, サイクル機構技術資料 JNC TN1400 99-022, p. -2.
- (22) 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”, サイクル機構技術資料 JNC TN5400 2005-001.
- (23) 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.
- (24) 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”, サイクル機構技術資料 JNC TN1400 2005-021.
- (25) 核燃料サイクル開発機構 (2005): “幌延深地層研究計画 坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階(第2段階)計画”, サイクル機構技術資料 JNC TN5400 2005-002.

# 參考資料

## (平成 17 年度外部発表資料)

\*著者アルファベット順に記載

- 江原昌彦, 五月女敦, 松本匡司, 松井裕哉 (2006): “光ファイバ振動センサによる堆積軟岩の AE 計測”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム 講演論文集, pp.353-358 (CD-ROM), 2006 年 1 月.
- 舟木泰智, 石井英一, 松井裕哉, 丹生屋純夫 (2005): “北海道幌延町に分布する珪質岩の続成作用と岩盤物性に関する研究”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター G016-P005, 2005 年 5 月.
- 舟木泰智, 石井英一, 安江健一, 高橋一晴 (2005): “データ追跡性を考慮した地質構造モデルの構築および各種地質環境調査技術の適用性確認”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター G018-P022, 2005 年 5 月.
- 舟木泰智, 松井裕哉, 濱克宏, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志 (2005): “Horonobe Underground Research Laboratory Project -The Present Understanding of Geological Environment-”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Report, pp.125-127, 2005 年 9 月.
- 濱克宏, 國丸貴紀, 加藤憲二, 永翁一代 (2005): “幌延深地層研究計画 -新第三紀堆積岩中の地下水の地球化学特性について(1)-”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター G018-P006, 2005 年 5 月.
- 濱克宏, 國丸貴紀, R. Metcalfe, A.J. Martin (2005): “The hydrogeochemistry of argillaceous rock formations at the Horonobe URL site, Japan”, TOURS 2nd international meeting -Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement- Abstracts, pp.399-400 (P/GM/14), 2005 年 8 月.
- 濱克宏, 國丸貴紀, 嶋田純 (2005): “堆積岩中の地下水の地球化学特性調査手法について -幌延の新第三紀堆積岩を例として-”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会 講演要旨集, pp.106-109, 2005 年 10 月.
- 濱克宏, 國丸貴紀, 夏曉彬, 長尾誠也 (2006): “地下水中の有機物に関する研究の現状”, 日本原子力学会 2006 年春の年会 予稿集, p.40, 2006 年 3 月.
- 長谷川琢磨, 中田弘太郎, 東原知弘, 大山隆弘, 木方建造, 濱克宏, 國丸貴紀 (2005): “幌延サイトでの水質調査結果による地下水年代の推定”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会 講演要旨集, pp.214-217.
- Koichiro HATANAKA (2005): “Progress of the surface-based investigation phase and plan for the next investigation phase in Horonobe URL project”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Abstract, pp.1-2, 2005 年 8 月.
- Koichiro HATANAKA (2005): “Progress of the surface-based investigation phase and plan for the next investigation phase in Horonobe URL project”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Report, pp.1-6, 2005 年 10 月.
- 穂刈利之, 石井卓, 松井裕哉 (2006): “孔径検層を用いた地下施設の安定性評価の可能性について”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム 講演論文集, pp.209-212 (CD-ROM), 2006 年 1 月.
- 本多眞, 桜井秀行, 岩佐健悟, 鈴木誠, 松井裕哉 (2005): “Geostatistical Modeling of Hydrogeological Environment Using Resistivity Distribution Measured by Various Method”, IAMG 2005 Proceedings of IAMG '05: GIS and Spatial Analysis, Vol.1, pp.393-398, 2005 年 8 月.
- 兵動正幸, 大賀光太郎, 國丸貴紀, 佐々木勝司, 山本陽一 (2005): “溶存メタンセンサーによる原位メタン量測定法に関する研究 -センサー基本性能確認のための室内試験-”, 日本応用地質学会平成 17 年度研究発表会, 2005 年 10 月.

- 入矢桂史郎, 納田勝, 中山雅, 三原守弘, 油井三和 (2005): “ボゾランを高含有した低アルカリ性コンクリートの開発”, 第 21 回バックエンド夏期セミナー資料集, ポスター.21-1, 2005 年 7 月.
- 石井英一, 安江健一 (2005): “Study of paleohydrogeology in the Horonobe Underground Research Laboratory project”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Report, pp.129-131, 2005 年 8 月.
- 石井英一, 安江健一, 舟木泰智, 高橋一晴, 新里忠史 (2005): “北海道北部, 幌延地域の新第三紀珪質岩中の断層記載 -断層の地質学的特徴と形成史-”, 日本地質学会 112 年学術大会講演要旨, p.269, 2005 年 9 月.
- 石井英一, 安江健一, 古澤明, 大平寛人, 中川光弘 (2005): “北海道北部, 幌延地域における鮮新世~更新世のテフラ層序と FT 年代”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター-G017-P008, 2005 年 5 月.
- 石井英一, 安江健一, 田中竹延, 津久井朗太, 松尾公一, 濱克宏, 高橋一晴 (2005): “幌延深地層研究計画-電磁探査を用いた断層帯調査-”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター.G015-P012, 2005 年 5 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, 2006 年 (印刷中).
- 石井英一, 安江健一, 津久井朗太, 濱克宏, 高橋一晴 (2005): “Structure of the Omagari Fault in northern Hokkaido, Japan”, AOGS 予稿集 CD-ROM, ポスター.58-SE-A0916, 2005 年 6 月.
- 木山保, 松井裕哉, Jean Claude ROEGERS, 熊倉聡, 小玉齊明, 石島洋二 (2006): “間隙弾性論に基づく幌延の珪質岩を用いた室内試験”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム 講演論文集, pp.297-302 (CD-ROM), 2006 年 1 月.
- 國丸貴紀 (2005): “原位置地下水の物理化学パラメータモニタリング装置および封圧採水の結果について”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会 講演要旨集, pp.118-121, 2005 年 10 月.
- 國丸貴紀, 濱克宏, 山本肇, 小野誠 (2005): “幌延深地層研究計画 -新第三紀堆積岩中の地下水の地球化学特性について(2)-”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター.G018-P007, 2005 年 5 月.
- 國丸貴紀, 中山雅 (2005): “H17 取りまとめ分冊 1: 堆積岩を対象とした調査研究および工学技術の基礎の開発”, 第 21 回バックエンド夏期セミナー資料集, ポスター.3-1, 2005 年 7 月.
- 國丸貴紀, 山本肇 (2005): “地下水の地球化学的解析およびモデル化に関する研究~幌延深地層研究計画を例として~”, 日本地球化学会年会, pp.208, 2005 年 9 月.
- 操上広志, 今井久, 塩崎功, 竹内竜史, 瀬尾昭治 (2005): “幌延の堆積岩中の地下水流動解析に関する解析的検討”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, H071-016, 2005 年 5 月.
- 操上広志, 竹内竜史, 瀬尾昭治 (2005): “幌延地域の新第三紀~第四紀堆積岩の水理特性”, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, pp.609-610, 2005 年 9 月.
- 操上広志, 竹内竜史, 瀬尾昭治, 今井久, 塩崎功 (2005): “堆積岩中の塩水系地下水のモデルの構築”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.1235-1236, 2005 年 7 月.
- 操上広志, 竹内竜史, 瀬尾昭治, 今井久, 塩崎功, 下茂道人, 熊本創 (2005): “幌延堆積岩中の割れ目帯を考慮した地下水流動解析”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会 講演要旨集, pp.100-105, 2005 年 10 月.
- 森岡宏之, 尾留川剛, 村川史朗, 菅原健太郎, 小林隆志(2006): “幌延深地層研究計画における地下研究坑道の支保設計”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム 講演論文集 CD-ROM, pp.69-74, 2006 年 1 月.
- 長尾誠也, 岩月輝希, 濱克宏 (2005): “Characterization of groundwater humic substances by high-performance size exclusion chromatography with fluorescence detection”, International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005): Abstract, pp.3-4, 2005 年 8 月.

- 永翁一代, 濱克宏, 國丸貴紀, 中山雅, 青木和弘, 加藤憲二 (2005): “新第三紀堆積岩における地下水中の細菌群集-北海道幌延地域を対象とした研究 (第二報) クローニングによる系統解析-”, 第 21 回日本微生物生態学会 講演要旨集, p.138, 2005 年 10 月.
- 中田英二, 田中姿郎, 石井英一, 高橋一晴 (2005): “幌延地域に分布する球状シリカに充填された珪質頁岩”, 日本地質学会 112 年学術大会講演要旨, p.68, 2005 年 9 月.
- 中山雅 (2005): “幌延深地層研究計画の現状”, サイクル機構技報, pp.1-8, 2005 年 9 月.
- 中山雅, 入矢桂史郎, 藤島敦, 三原守弘, 畑中耕一郎, 栗原雄二, 油井三和 (2005): “Development of low alkaline cement pozzolanic reaction for support system in HLW Repository construction”, Program & Abstracts MRS2005 29th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management September 12-16, 2005 Ghent, Belgium, p.103, 2005 年 9 月.
- 中山雅, 入矢桂史郎, 藤島敦, 三原守弘, 畑中耕一郎, 栗原雄二, 油井三和 (2005): “Development of low alkalinity cement considering pozzolanic reaction for support system in URL construction”, MRS2005, 2005 年 9 月 (印刷中).
- 新里忠史, 安江健一 (2005): “幌延地域における水平方向の地殻歪速度の推定”, 日本地質学会第 112 年学術大会講演要旨, p.211, ポスター.P7, 2005 年 9 月.
- 新里忠史, 安江健一, 高橋一晴 (2005): “幌延地域における地質環境の長期安定性研究-地殻変動の特徴-”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター.G018-P009, 2005 年 5 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, 第 21 号, pp.121-136, 2006 年 (印刷中).
- 丹生屋純夫, 松井裕哉 (2005): “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 35 回岩盤力学に関するシンポジウム 講演論文集, pp.177-182 (CD-ROM), 2006 年 1 月.
- 丹生屋純夫, 松井裕哉, 山本卓也, 杉山和稔 (2005): “孔内載荷試験による深部堆積岩の変形特性評価”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.559-560, 2005 年 7 月.
- 丹生屋純夫, 松井裕哉, 山本卓也, 星野敦司, 杉山和稔 (2005): “新第三紀珪質岩の変形特性に関する原位置及び室内試験結果の比較”, 土木学会年次学術講演会, pp.677-678, 2005 年 9 月.
- 丹生屋純夫, 水戸義忠, 青木謙治, 松井裕哉 (2005): “新第三紀珪質岩における原位置 AE 計測に関する基礎的検討”, 第 15 回トンネル工学研究発表会, pp.411-416, 2005 年 12 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, 茂田直孝, 熊澤峰夫 (2005): “幌延深地層研究計画 -遠隔監視システム (アクロス) の概要-”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター.S080-P001, 2005 年 5 月.
- 坂井哲郎, 畠山信也, 布施正人, 里優 (2005): “幌延深地層研究計画におけるガス湧出量の予測 (第 1 報)”, 平成 17 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会 資源・素材 2005(室蘭)企画発表・一般発表(A)(B)講演資料, B7-5, pp.275-276, 2005 年 9 月.
- 瀬尾昭治, 久保田敬二, 小林利章 (2005): “北海道北部における積雪期の蒸発散量の観測”, 2005 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.4, 2005 年 9 月.
- 瀬尾昭治, 久保田敬二, 小林利章 (2005): “北海道北部における積雪重量計を用いた積雪相当水量の観測”, 2005 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p.5, 2005 年 9 月.
- 瀬尾昭治, 竹内竜史, 操上広志 (2005): “幌延深地層研究計画における地下水涵養量推定のための調査の現状”, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, pp.607-608, 2005 年 9 月.
- 高橋一晴, 新里忠史, 安江健一, 舟木泰智, 石井英一, 福島龍朗, 鈴木徳行, 天羽美紀 (2005): “北海道幌延町新第三紀珪質岩の地球化学的特徴から見た侵食量及び隆起時期”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター.G018-P008, 2005 年 5 月.
- 高橋一晴, 新里忠史, 石井英一, 安江健一, 舟木泰智, 福島龍朗, 天羽美紀, 鈴木徳行 (2005): “北海道北部幌延地域の地球化学的特徴による侵食量の推定”, 第 23 回有機地球化学シンポジウム 講演要旨集, p.36, ポスター.P-13, 2005 年 7 月.

- 高治一彦, 重野喜政, 下河内隆文, 中山雅(2005): “幌延の地下水環境下におけるベントナイト混合材料の力学特性”, 土木学会第 60 回年次学術講演会 講演概要集, pp.189-190, 2005 年 9 月.
- 山本卓也, 松井裕哉, 田子義章, 富永英治 (2005): “珪質岩に対する AE 法による初期地圧測定の実用性に関する検討”, 土木学会第 60 回年次学術講演会 講演概要集, pp.675-676, 2005 年 9 月.
- 山本肇, 下茂道人, 藤原靖, 國丸貴紀, Tianfu XU, Marcus LAAKSOHARJU (2006): “幌延深地層研究所設置地区周辺の地下水水質形成シミュレーション”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム 講演論文集, pp.237-242, 2006 年 1 月.
- 山本肇, 國丸貴紀, 下茂道人, 藤原靖, 小野誠, Tianfu XU, Markus LAAKSOHARJU (2005): “Reactive Chemical Transport Simulations for Evaluation of Ambient Chemical Conditions at Horonobe URL Site, Hokkaido, Japan”, The 2nd Japan-Korea Joint Workshop on Radioactive Waste Disposal 2005, pp.159-172, 2005 年 10 月.
- 山崎眞一, 福島龍朗, 青木和弘 (2005): “PRELIMINARY RESULTS OF SURFACE-BASED INVESTIGATION AT THE HORONOBE URL SITE, JAPAN”, TOURS 2nd international meeting -Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement- Abstracts, pp.59-60, 2005 年 8 月.
- 安江健一, 秋葉文雄, 石井英一 (2005): “珪藻化石種を用いた堆積物の後背地解析の試み: 北海道北部, 幌延地域を例として”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, G016-003, 2005 年 5 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ュン・トラック年代”, 地質学雑誌, 2006 年 (印刷中).
- 安江健一, 新里忠史, 石井英一, 高橋一晴, 舟木泰智 (2005): “北海道北部, 幌延地域における鮮新世後半以降の地殻変動場の移動”, 地球惑星科学合同大会 2005 年合同大会予稿集 CD-ROM, ポスター.G018-P010, 2005 年 5 月.
- 安江健一, 新里忠史, 津久井朗太 (2005): “北海道北部における GPS 観測と基線長解析”, 日本地震学会講演予稿集 2005 年度秋季大会, p.169, 2005 年 10 月.
- 安江健一, 石井英一 (2005): “北海道北部, 幌延町における大曲-豊富断層の正確な位置の特定”, 活断層研究, No.25, pp.39-46, 2005 年 6 月.
- 安江健一, 石井英一, 古澤明 (2005): “北海道北部, サロベツ背斜周辺における海成段丘の形成時期”, 日本地質学会 112 年学術大会講演要旨, p.326, 2005 年 9 月.