

JNC TN5400 2004-001

**幌延深地層研究計画
平成15年度調査研究成果報告**

平成16年6月

**核燃料サイクル開発機構
幌延深地層研究センター**

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4-49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2004

目次

1. はじめに	1
2. 平成 15 年度の主な調査研究結果	1
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) 物理探査	4
(2) 地質調査	9
(3) 表層水理調査	12
(4) 試錐調査	14
3.1.2 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	24
(1) 地質構造モデル	24
(2) 地下水の水理モデル	26
(3) 地下水の地球化学モデル	27
(4) 岩盤力学モデル	28
3.1.3 調査技術・調査機器開発	32
(1) 試錐孔を用いた調査試験のための技術	32
(2) 試錐孔掘削のための技術	33
3.2 地質環境モニタリング技術の開発	34
3.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発	34
3.2.2 遠隔監視システムの開発	37
3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発	38
3.4 地質環境の長期安定性に関する研究	43
3.4.1 地震研究	43
3.4.2 天然現象の研究	47
(1) 地殻変動の変遷	47
(2) GPS 観測と電磁波探査機器による観測	49
4. 地層処分研究開発	53
4.1 処分技術の信頼性向上	53
4.1.1 人工バリア等の工学技術の検証	53
4.1.2 設計手法の適用性確認	56

4.2 安全評価手法の高度化	59
4.2.1 安全評価モデルの高度化	59
4.2.2 安全評価手法の適用性確認	62
5. 環境調査・地上施設	64
5.1 環境調査	64
5.2 地上施設	67
6. 開かれた研究	68
引用文献	69

参考資料

図リスト

- 図 1 研究所用地
- 図 2 測定点と比抵抗平面図（標高-100m）
- 図 3 二次元解析比抵抗断面図
- 図 4 残差重力異常図
- 図 5 既存地質構造モデルと計算された重力異常
- 図 6 重力異常を説明できる地質モデル例
- 図 7 地質調査ルート
- 図 8 声問層と勇知層の地層境界付近における岩相変化
- 図 9 北進地区の簡易ボーリング孔で観測されたメタン濃度
- 図 10 南沢で認められる油徴
- 図 11 気象観測所概念図
- 図 12 河川流量観測および気象観測結果（例）
- 図 13 森林からの蒸発散量の観測候補エリア
- 図 14 試錐調査実施地点とケーシングプログラム
- 図 15 地質柱状図および物理検層結果（HDB-6 孔）
- 図 16 地質柱状図および物理検層結果（HDB-7 孔）
- 図 17 地質柱状図および物理検層結果（HDB-8 孔）
- 図 18 室内物理試験・力学試験結果の一例
- 図 19a 水理試験結果（HDB-6 孔、HDB-7 孔）
- 図 19b 水理試験結果（HDB-8 孔）
- 図 20 原位置地下水の水質（ヘキサダイアグラム）
- 図 21 コアから抽出した間隙水の酸素・水素同位体比の深度分布
- 図 22 地下水の同位体分析結果
- 図 23 試錐孔近傍における割れ目帯の推定分布（HDB-1 孔の例）
- 図 24 反射法地震探査データと試錐データから比較的明瞭に把握できる
割れ目帯の分布推定図
- 図 25 原位置透水試験結果
- 図 26 室内透水試験結果
- 図 27 各試錐孔における物理検層・室内試験結果の相互比較
- 図 28 各試錐孔における初期応力測定結果の比較

- 図 29 更新した岩盤力学モデル
- 図 30 岩盤力学測定装置
- 図 31 コントロールボーリング適用試験現場
- 図 32 水圧観測区間・地下水採水区間
- 図 33 スタンドパイプ方式地下水の水圧・水質長期モニタリング装置概念図
- 図 34 地下水の水質（ヘキサダイアグラム）
- 図 35 遠隔監視システムの例
- 図 36 地下施設のイメージ
- 図 37 塑性領域および最大せん断ひずみ分布
- 図 38 標準支保パターンの例
- 図 39 火災時通気網解析（通気制御実施後）の例
- 図 40 幌延町付近に設置された地震計の位置
- 図 41 平成 14 年 12 月 24 日から平成 15 年 9 月 30 日の期間に幌延町内で発生した地震の震源分布
- 図 42 平成 15 年 3 月 17 日および平成 15 年 9 月 26 日に発生した地震の観測記録
- 図 43 北進地区における段丘面の分布とその堆積物
- 図 44 北海道北部地域の十勝沖地震前後における位置の変化
- 図 45 電気比抵抗値の変化（大きな変化が観測された記録）
- 図 46 粉体浸漬における HFSC の pH 低下挙動
- 図 47 固体浸漬における HFSC の pH 低下挙動
- 図 48 適用性確認の観点で見直した設計全体の流れ
- 図 49 割れ目を有しない泥岩の透水係数の深度依存性（声問層と稚内層の比較）
- 図 50 Cs の分配係数測定結果
- 図 51 逆解析による試錐孔沿いの水圧分布
- 図 52 環境調査位置図
- 図 53 造成計画平面図
- 図 54 地上施設のイメージ図

表リスト

- 表 1 代表的な深度における解析用物性値
- 表 2 地震記録の最大振幅比較
- 表 3 低アルカリ性セメントの配合条件
- 表 4 低アルカリ性セメント（HFSC424）のスランプフローの変動
- 表 5 環境調査の概要
- 表 6 確認された重要種
- 表 7 モニタリング調査項目と結果

1．はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構という）幌延深地層研究センターでは、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進めています。

サイクル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、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（平成6年6月）」（以下、原子力長計という）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。深地層の研究施設は、原子力長計（平成12年11月）においても、今後の地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けての研究開発を進めていく上での主要な施設であることや、国民の研究開発に対する理解を得ていく場としての意義を有していることが示されています。

また、「総合資源エネルギー調査会原子力部会-原子力の技術基盤の確保について-(平成13年6月)」の「高レベル放射性廃棄物処分のための研究開発」においては、サイクル機構の役割について、「深地層の研究施設、地層処分放射化学研究施設などを活用し、深地層の科学的研究、実測データの着実な蓄積とモデルの高度化による地層処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に向けて研究開発を着実に推進することが必要である」としています。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」として進めています。

本報告は、「幌延深地層研究計画平成15年度調査研究計画（平成15年4月）」⁽¹⁾に基づき実施した調査研究の成果をまとめたものです。

2．平成15年度の主な調査研究結果

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ます。

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の4課題を、地層処分研究開発としては、処分技術の信頼性向上、

安全評価手法の高度化の2課題を設定しています。

平成15年度は、地質環境調査技術開発として、地質環境データの取得のため、物理探査、地質調査、表層水理調査、試錐調査を実施し、これらの調査により得られたデータに基づいて地質環境のモデル化を行いました。

地質環境モニタリング技術の開発では、平成14年度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いました。

地質環境の長期安定性に関する研究では、平成14年に設置した地震計、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行いました。また、新たに地表に地震計を追加して設置し、観測を開始しました。

深地層における工学的技術の基礎の開発では、地下施設の基本設計を行いました。

地層処分研究開発では、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、人工バリアの定置などに関する室内実験、低アルカリ性コンクリート材料に関する室内試験などを実施しました。また、安全評価において扱うべき重要な地質環境データの項目や現象の整理を行いました。

施設計画については、研究管理棟、コア倉庫・ワークショップ棟などに係る基本・実施設計とPR施設および地下施設の基本設計を行うとともに、地下施設建設用地（図1）の造成工事に着手しました。また、地上施設建設用地の造成工事の実施設計、地下施設建設時に発生するズリ（掘削土）置場の基本・実施設計を行いました。このほか、平成15年度に掘削した試錐調査のコアを収納するための仮設コア倉庫を整備しました。

環境調査では、春季の環境調査を行い、造成工事による影響がないことを確認するとともに、平成14年度の調査結果と合わせて今後のモニタリング項目などの検討を行い、抽出された項目（騒音・振動・水質など）についてモニタリング調査を行いました。

開かれた研究については、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。

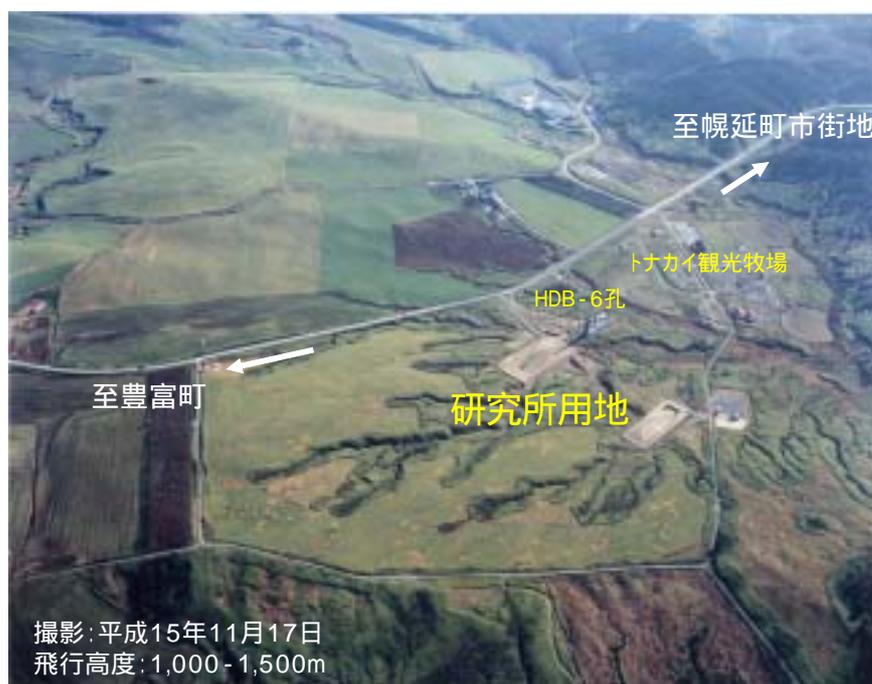


図 1 研究所用地

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

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、地層の水の通し易さや、地下水の水圧・水質、岩石の強度などのデータを取得しました。

(1) 物理探査

研究所設置地区（主たる調査研究の展開場所、2～3 km 四方程度）およびその周辺地区において、大曲断層などの地質構造を把握するために電磁探査を行いました。また、同様の目的で既存の重力データのコンパイル・解析を行いました。

ア) 電磁探査

平成 13 年度に実施した電磁探査の結果、比抵抗構造の変化が観測された測定点（平成 13 年度調査の測点 106 から 109）付近において、深度 1,000 m 程度を対象として電磁探査を実施しました。

平成 15 年度の調査では、大曲断層などの地質構造を把握するため、調査測線を大曲断層に直交する方向(N50°E)に合わせました。また、高い分解能の結果を得るために、平成 13 年度よりも狭い 100～400 m の間隔で測定しました（図 2）。

人工的なノイズによる影響を避けるために、夜間に測定を行った結果、測定データの品質は概ね良好であり、比抵抗値は 1～100 Ω・m の範囲でした。

解析結果である二次元比抵抗断面図に物理検層で得られた試錐孔の比抵抗分布を重ねてみると（図 3）、両者の比抵抗の分布が一致していることから、得られた結果は信頼性が高いことがわかります。また、この解析結果から、以下のようなことがわかりました。

- (1) 表層では 10～100 Ω・m で、深くなるにつれ比抵抗の値は小さくなり、深部では 2 Ω・m 以下となっています。
- (2) その変化の仕方は場所によって異なり、浅い所で 2 Ω・m となる地点もあります。
- (3) 水質分析の結果と比較すると、この比抵抗の低い部分は、地下水の塩分濃度の高い所と一致していると考えられます。

しかし、大曲断層の位置を推定できるような比抵抗の変化は捉えられませんでした。

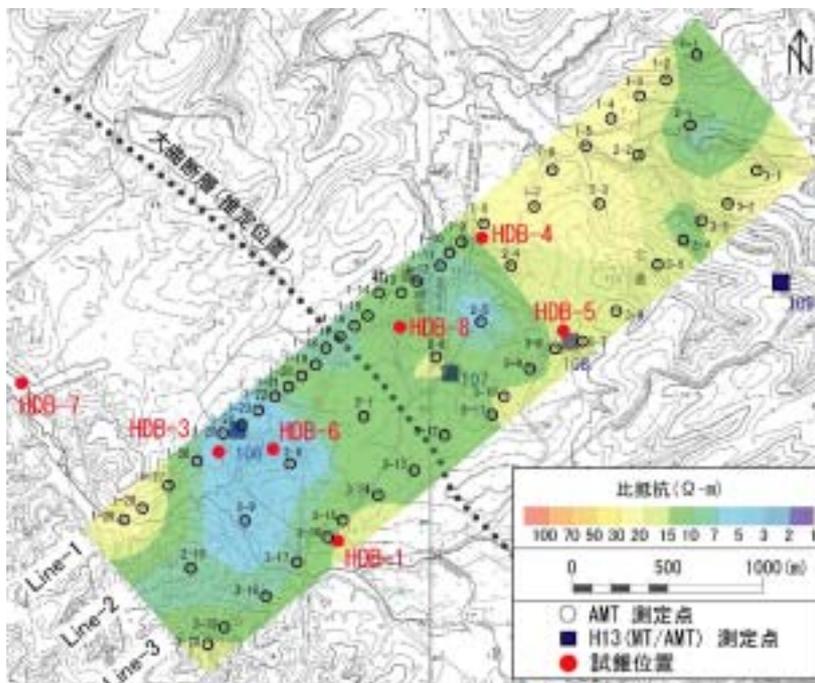


図 2 測定点と比抵抗平面図 (標高-100 m)

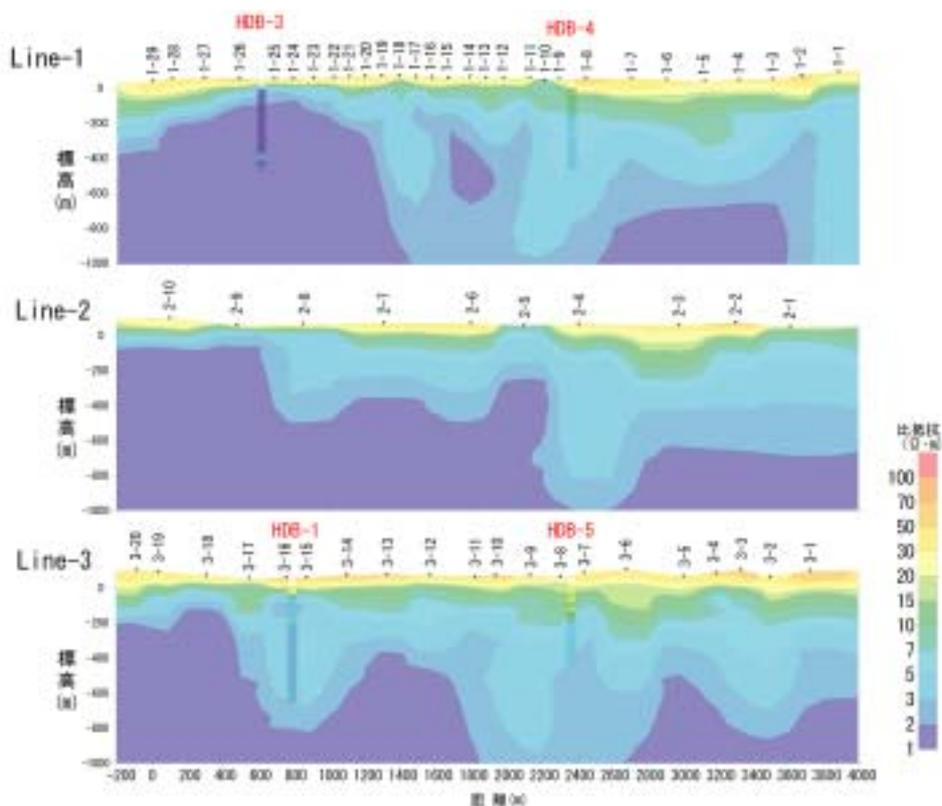


図 3 二次元解析比抵抗断面図

イ) 重力データの解析

重力データを解析することにより、地下の密度分布に関する情報が得られ、地質構造などを推測するための情報の1つとなります。平成15年度は、重力異常に現れる大曲断層の影響について検討することを目的として、既存データのコンパイルを行い、重力データの解析を行いました。

重力データから調査地域の緯度や標高、地形、解析を行いたい深度より深い部分の影響などを取り除き、地表から深さ3000~4000m程度までの地質構造を反映していると考えられる残差重力異常図(図4)を作成しました。この図からは、大曲断層推定位置の西側に北北西-南南東方向の低重力の異常帯(図4:青矢印部)が存在することがわかります。

さらに、これまでに得られている地質構造モデルや、試錐調査などから得られている岩石の密度を基にして、想定される重力値の変化を計算したところ、重力異常(既存データ)を十分には説明できないことがわかりました(図5)。そこで、重力異常を説明できるように条件を変え、大曲断層の西側にある褶曲の頂部付近で地層の密度が低下していると仮定して計算を行うと、この重力異常を良く説明できることがわかりました(図6)。

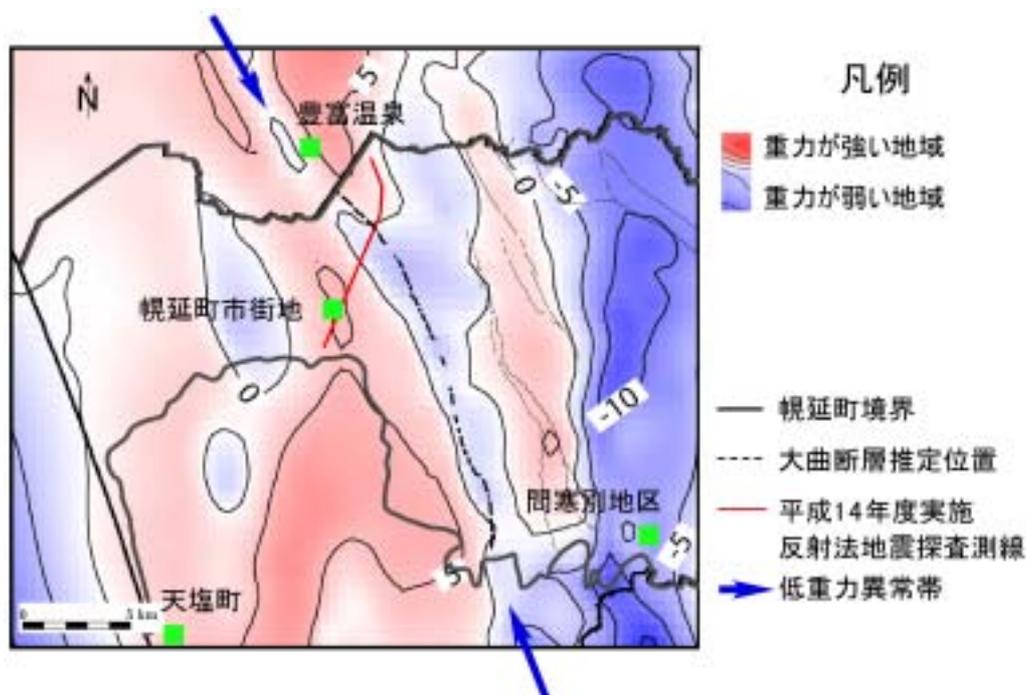


図4 残差重力異常図

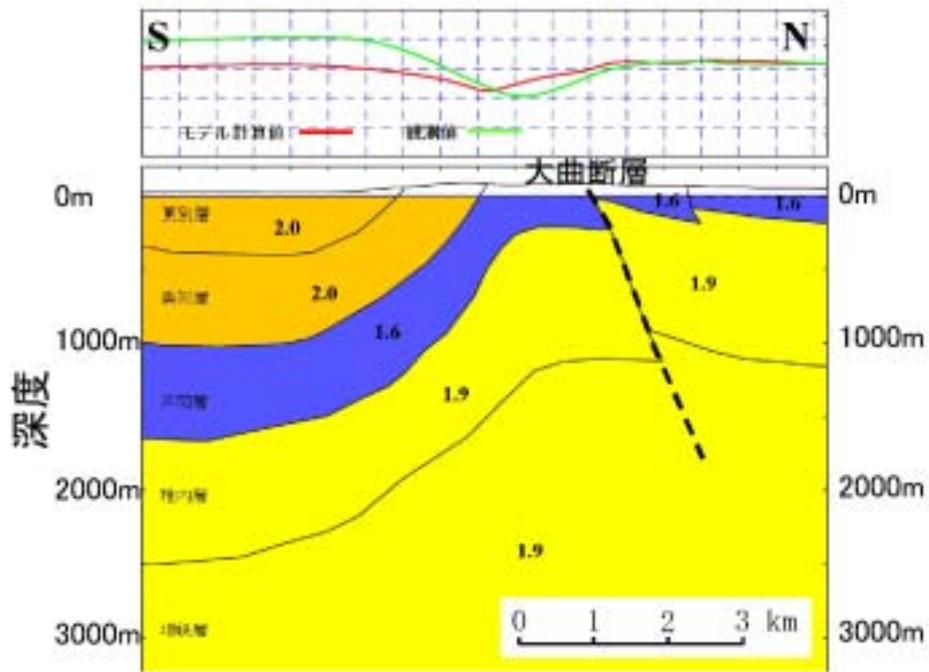


図 5 既存地質構造モデルと計算された重力異常
 (平成 14 年度に実施した反射法地震探査測線(図 4 の赤線)の地質モデルで計算した
 重力異常(赤線)と観測された重力異常(緑線)、図中の数字は密度 (g/cm^3))

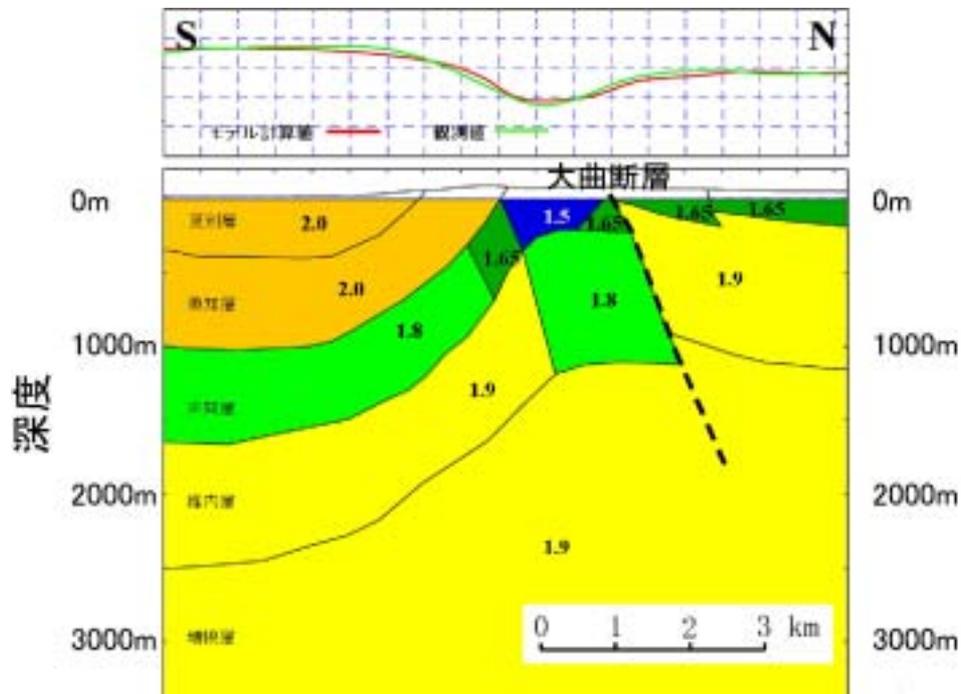


図 6 重力異常を説明できる地質モデル例
 (断面図位置は図 5 と同じ、図中の数字は密度 (g/cm^3))

ウ) 今後の計画

平成 16 年度には、大曲断層の位置・形状を捉えるため、高密度反射法地震探査^{*1} と HDB-6 孔を用いたマルチオフセット VSP (Vertical Seismic Profiling : 垂直地震断面法) 探査^{*2} を実施する予定です。また、高密度反射法の測線の一部を使用して、重力探査を行う予定です。

*1 : 平成 14 年度に実施した反射法地震探査では、広域の地質・地質構造を推定するために測点間隔を 25 m で配置しましたが、平成 16 年度に実施する探査では、大曲断層およびその周辺部の地質構造を詳細に把握するため測点間隔を数 m で配置します。

*2 : 反射法地震探査は地上に発信機および受信器を設置して測定するのに対して、地上に発信機を設置し、受信器を試錐孔内に配置して、試錐孔の深度方向と地上との間を測定し、地層の重なり方を推定する手法です。発信機が数十 m 間隔で移動して測定することからマルチオフセットと呼ばれています。

(2)地質調査

これまでの試錐調査で確認した地層が、研究所設置地区の地表部で確認される一連の地層（稚内層～勇知層）の中のどこに位置づけられるのかを地表部と地下深部の岩相対比などによって明確にすることや、大曲断層の地表位置を地表の地質情報から推定することは同地区の地質構造を把握する上で重要です。そこで、平成 15 年度は、同地区の地表部で確認される一連の地層（稚内層～勇知層）の岩相（岩石の色・粒度などの特徴）などの確認や、大曲断層推定位置付近の岩相状況および油徴・ガス徴の存在などの確認のために、地表踏査および簡易ボーリング調査を行ないました。図 7 に各調査ルートを示します。

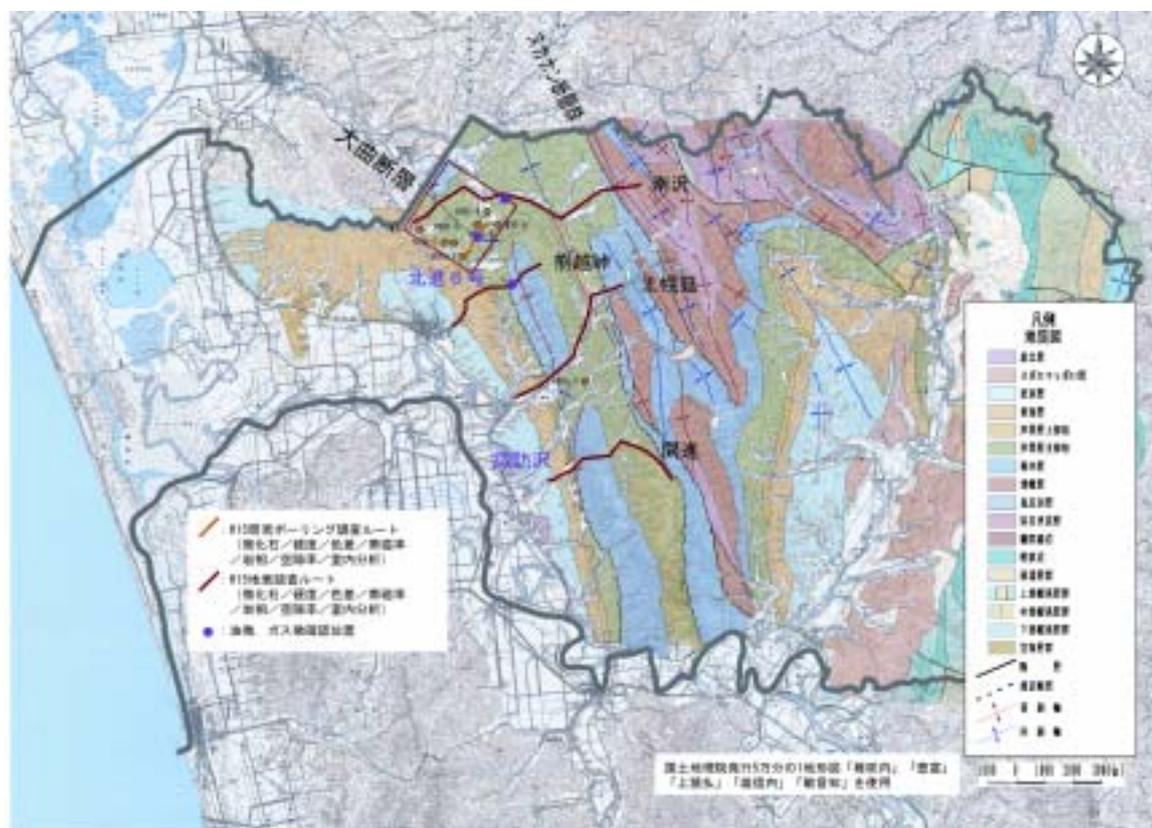
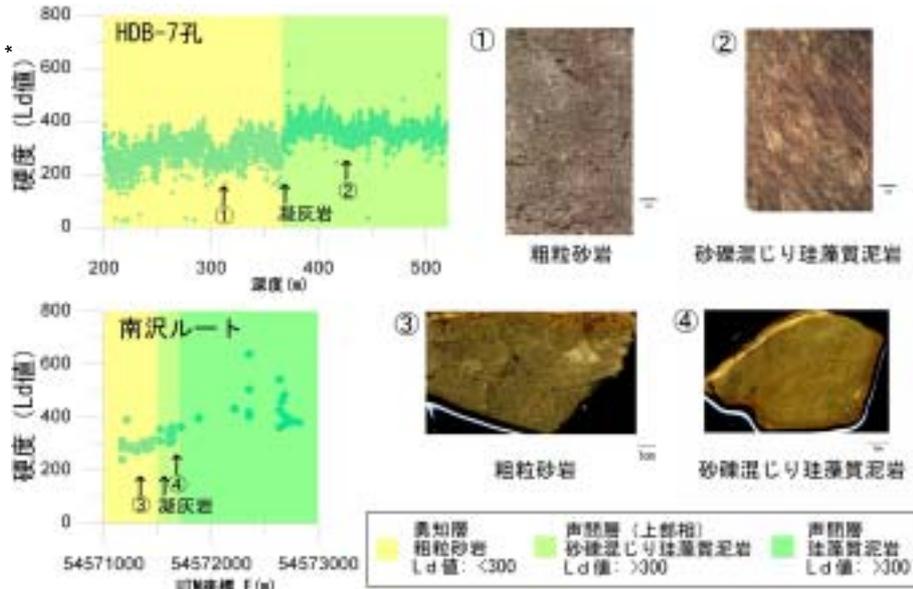


図 7 地質調査ルート

調査の結果、研究所設置地区北東部（図 7 の南沢ルート付近）で勇知層相当の岩相（粗粒砂岩）を新たに確認し、声問層と勇知層の地層境界付近の岩相変化（硬度変化や凝灰岩の挟在）が試錐孔で確認した変化と概ね調和的であることを確認することができました（図 8）。また、研究所設置地区の大曲断層推定位置付近においては、推定位置をまたいで岩相の急激的な変化な

どは確認できなかったものの、2箇所の簡易ボーリング孔での高濃度メタンガスの湧出（図 9）や沢沿いで油徴の存在（図10）を確認することができ、地下深部の地層中で生成されたメタンガスや石油が断層などの割れ目に沿って地表まで移動してきた可能性があること、つまり大曲断層推定位置付近において断層が存在する可能性が示唆されました。



*Ld 値：簡易反発硬度試験器を用いて計測した硬度

図 8 声間層と勇知層の地層境界付近における岩相変化



図 9 北進地区の簡易ボーリング孔で観測されたメタン濃度

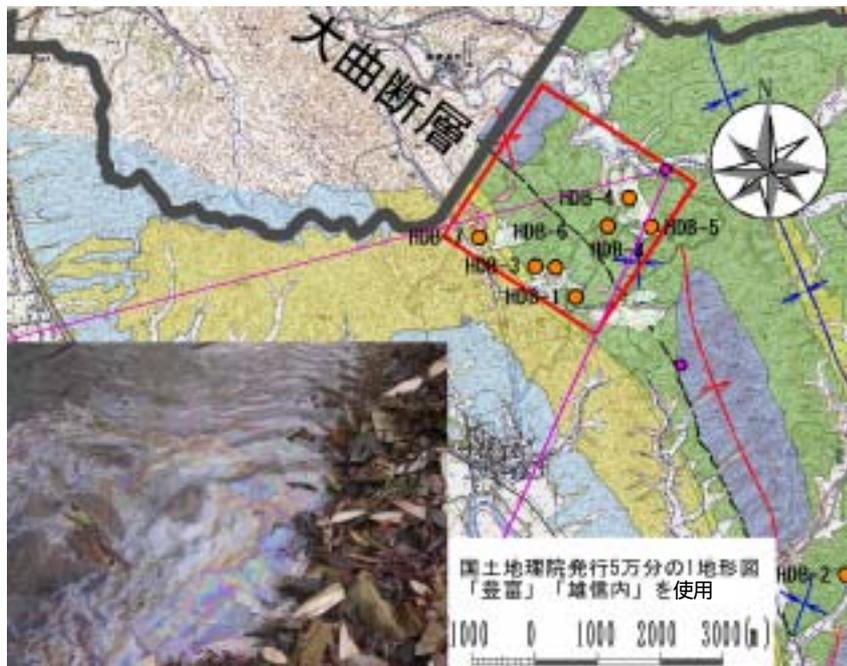


図10 南沢で認められる油徴

今後は、本調査により取得された地表部における稚内層～勇知層の岩相などの地質情報を用いて、地表部と地下深部の地層の層準対比を検討する予定です。また、研究所設置地区周辺の地表部において、ガス測定器を用いた濃度測定によりメタンガスの濃度分布の調査を行うとともに、化学分析によりガスや油の起源を明らかにするための調査を行う予定です。

(3) 表層水理調査

地下深部における地下水の流れを把握するためには、地表水と地下浅部の地下水の動きを把握しておくことも重要になります。特に、地下水の流れを解析するためには、降水が地下にしみ込む量（地下水涵養量）を推定する必要があります。そのため、平成15年度は研究所設置地区およびその周辺地区の3つの流域（P-1、2、3流域）での河川流量などの観測を継続しました。また、研究所設置地区のHDB-4孔敷地に気象観測所（図11）を設置して、

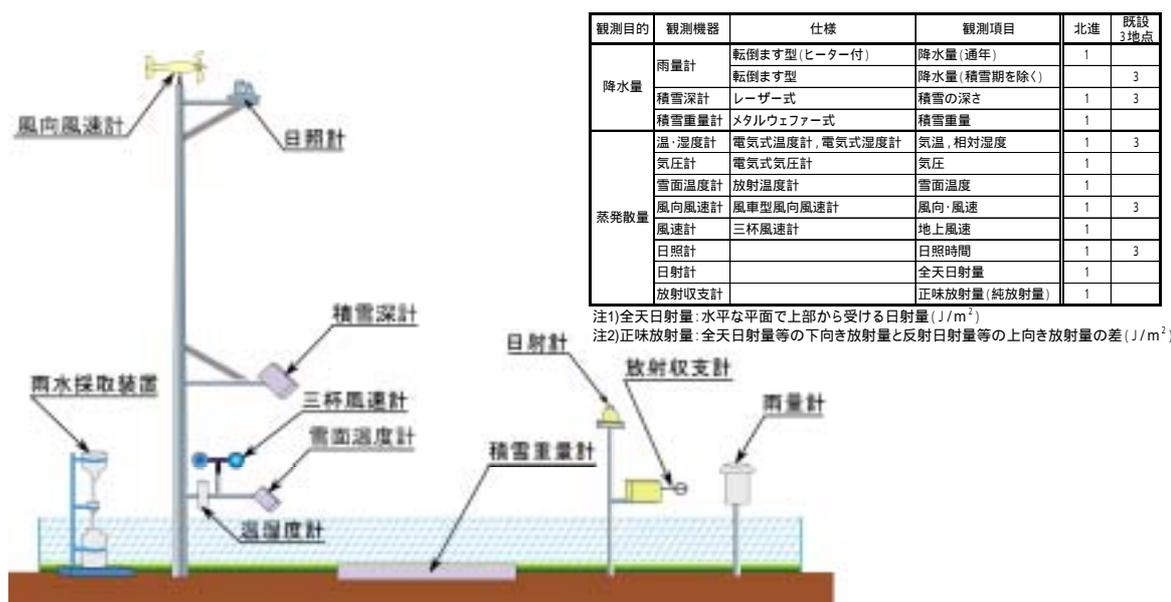


図11 気象観測所概念図

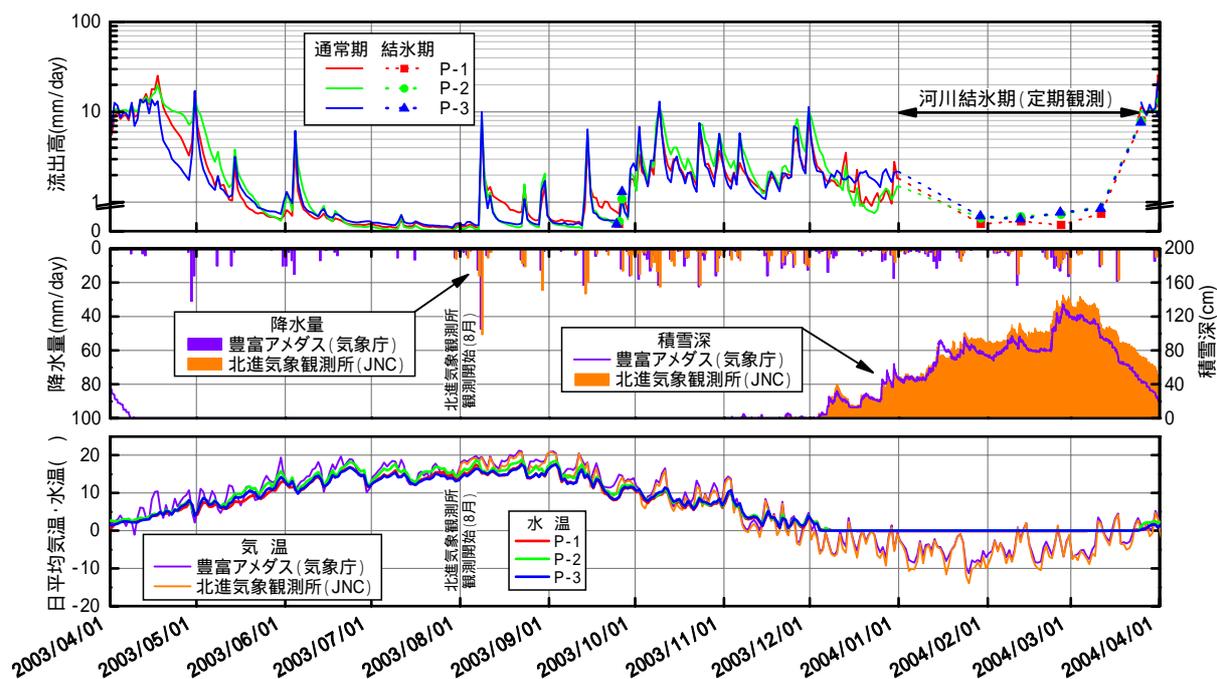


図12 河川流量観測および気象観測結果(例)

地下水涵養量を算定するために必要となる降水量や蒸発散量^{*3}に関するデータ取得を開始しました（図12）。

その結果、河川流量を流域面積で割った値（流出高）は3流域とも同様の傾向を示しており、河川水が流れ出す特性は各流域でほぼ等しいと考えられること、非積雪期には降雨後の約3～8時間後に河川の流量が最大となること、積雪期には降水（降雪）が流出高の大小に直接影響しないこと、雪解け時の流出高は年間を通して最大になること、渇水期や積雪期には約1ヶ月で流出高が0.5 mm/day程度まで小さくなることなどがわかりました。

また、研究所設置地区およびその周辺地区における植生による蒸発散量の相違を評価するために、森林からの蒸発散量（樹冠上蒸発散量）の観測候補エリアを選定しました（図13）。

今後は、降水量・蒸発散量の観測精度を向上させるための観測体制の整備を進めます。また、表層の地下水の動きを把握するために、深度数m～数十m程度の試錐孔内において地下水位計・土壌水分計を設置して、地下水位の分布やその変化、土壌中の水分の移動を直接観測する予定です。



図13 森林からの蒸発散量の観測候補エリア

*3：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。

(4) 試錐調査

研究所設置地区およびその周辺地区の地質環境の把握、地質環境のモデル化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把握を主な目的として、平成15年度は研究所設置地区内において3孔の試錐調査(HDB-6、7、8孔)を実施しました(図14)。各試錐調査の位置の選定にあたっては、地下施設設計のためのデータ取得(HDB-6孔)、大曲断層の位置の推定(HDB-8孔)および研究所設置地区内に分布しているもののこれまでデータを取得していない湧知層のデータ取得(HDB-7孔)を考慮しました。最終的な試錐調査の位置は、地形、現地へのアクセス、土地利用の許認可手続きの容易さおよび調査に必要な用地(約5000m²)が確保できることなどを考慮しました。試錐孔の深度は、各孔の調査目的と調査終了後のモニタリングに用いることを考え、HDB-6孔は620m、HDB-7孔は520m、HDB-8孔は470mまで掘削し、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。

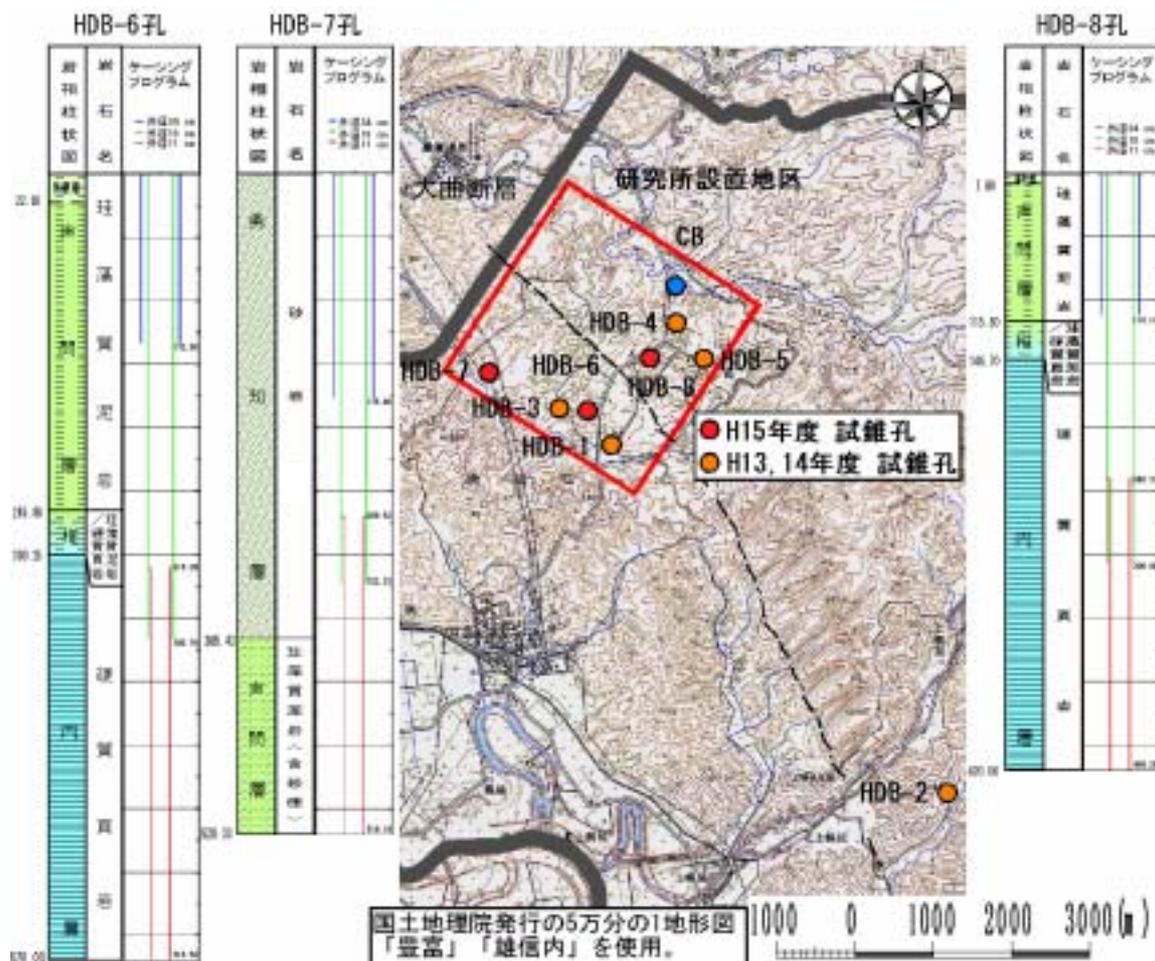


図14 試錐調査実施地点とケーシングプログラム

コアの観察結果から、HDB-6 孔では深さ 265.8 m まで、HDB-8 孔では深さ 115.5 m までが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へ変化しています。HDB-7 孔では、365.4 m までが勇知層と考えられる粗粒～細粒の砂岩で、それ以深は次第に泥質化し声問層と考えられる砂礫混じりの珪藻質泥岩へ変化します。図 15、16、17 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試錐孔を用いた試験のうち物理検層、流体検層の結果をまとめました。

HDB-6、8 孔のコアを用いた一軸圧縮試験の結果では、深さ約 500 m までの試料では強度が 5～20 MPa 程度であり(図 18)、これまで実施した HDB-1、3、4、5 孔の結果と大きな差がないことがわかりました。一方、勇知層の砂岩は、密度は珪藻質泥岩より大きく硬質頁岩とほぼ同等であり、空隙率は硬質頁岩より若干大きくなっています。また、珪藻質泥岩・硬質頁岩と比べ変形をしやすく強度が低い岩石であることがわかりました。

地層にかかる圧力(応力)を調べるための水圧破砕法^{*4}による応力測定の結果、最小主応力は、HDB-6 孔の深度 200～600 m の範囲で 2.5～10.0 MPa(速報値)程度であり、ほぼ深度に比例して増加すること、最大主応力は最小主応力のほぼ 1.5 倍の範囲内にあることがわかりました。

地層の水の通しやすさを調べるための試験(透水試験)の結果を図 19 に示します。透水係数として、HDB-6 孔で $10^{-10} \sim 10^{-6}$ m/s オーダー、HDB-7 孔で $10^{-10} \sim 10^{-9}$ m/s オーダー、HDB-8 孔で $10^{-10} \sim 10^{-6}$ m/s オーダーの値が得られました。地下水の水圧は、概ね深度相当分の圧力を有しています(図 19)。また、揚水試験中に地下水とともに地上に揚がってきたガスの量は、HDB-6 孔で水 1 ㍓の汲み上げに対し 0.2～1.1 ㍓、HDB-8 孔で水 1 ㍓の汲み上げに対し 0.0～1.0 ㍓でした。

透水試験の結果から、HDB-8 孔の深度 200 m 付近および HDB-6 孔の深度 300 m 付近と 400 m 付近において、HDB-4 孔や HDB-5 孔と同様に比較的水を通し易い区間が存在していることを確認しました。これらのことから、水の通しやすい区間は、大曲断層推定位置の両側に存在していることがわかりました。

各試錐孔から採水した地下水の水質を分析した結果、地下水中の塩分濃度は HDB-4 孔の深部を除いて HDB-4、5、8 孔より HDB-1、3、6 孔から採取した

*4: ボーリング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。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算定します。

地下水のほうが高いことがわかりました。その結果をヘキサダイアグラムにしたものが図 20 です。

これまでに得られているデータをまとめてみると、試錐孔から採水した地下水の水質と間隙水の水質はほぼ一致しており、深度が大きくなるにつれ塩分がほとんど含まれていない地下水から塩分が濃い地下水へと、徐々に変化していることがわかりました。このように、複数の手法を組合せることによって、水質の分布を詳細に把握できることがわかりました。

地下水の起源を推定するために、酸素・水素同位体比の分析を行いました。その結果、塩分濃度と同様に深度が大きくなるにつれ、間隙水の酸素・水素同位体比も徐々に大きくなっていることがわかりました（図 21）。また、間隙水および試錐孔から採水した地下水の酸素・水素同位体比を天水線と比較してみたところ、図 22 に示すような分布となりました。ここで、天水線付近または線上に示される酸素・水素同位体比の地下水は降水の性質を持つものと考えられます。一方、天水線からはずれた位置にプロットされる地下水は、地層が堆積した当時の海水の性質が強く反映されている地下水であると考えられます。従って、現在の地下水は、地下に浸透した降水と地層が堆積した当時の海水が混合しながら、岩石とも反応して現在の水質になっていると考えられます。

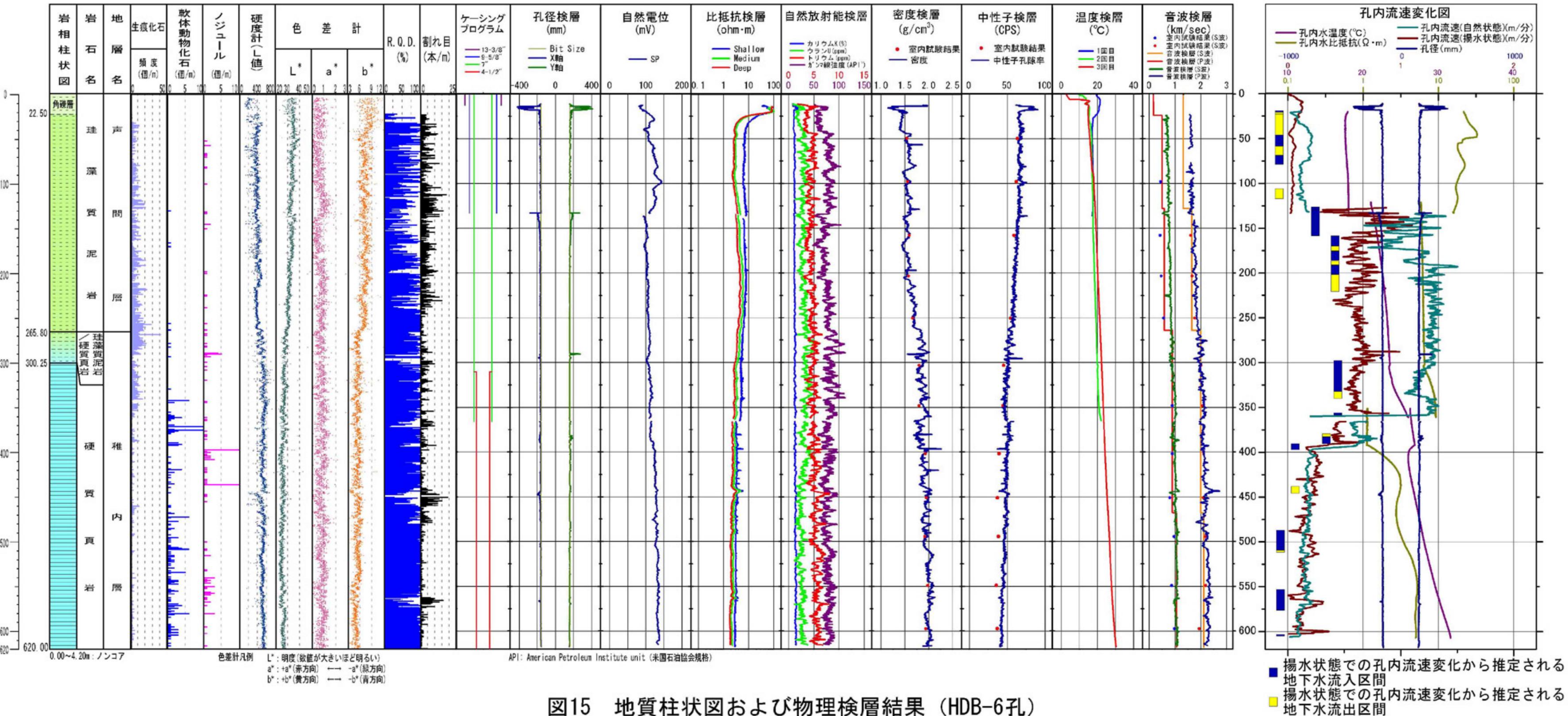
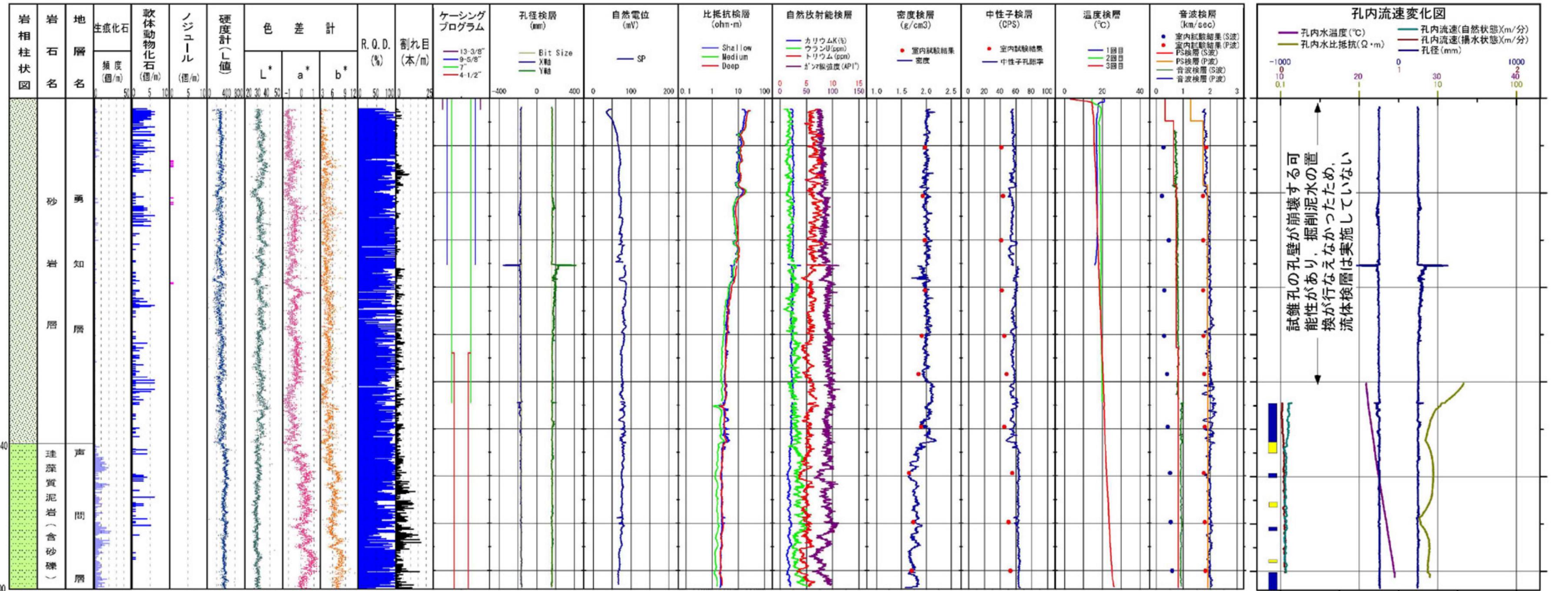


図15 地質柱状図および物理検層結果 (HDB-6孔)



試錐孔の孔壁が崩壊する可能性があるため、掘削泥水の置き換えが行えなかつたため、流体検層は実施していません

■ 揚水状態での孔内流速変化から推定される地下水流入区間
 ■ 揚水状態での孔内流速変化から推定される地下水流出区間

図16 地質柱状図および物理検層結果 (HDB-7孔)

HDB-8孔

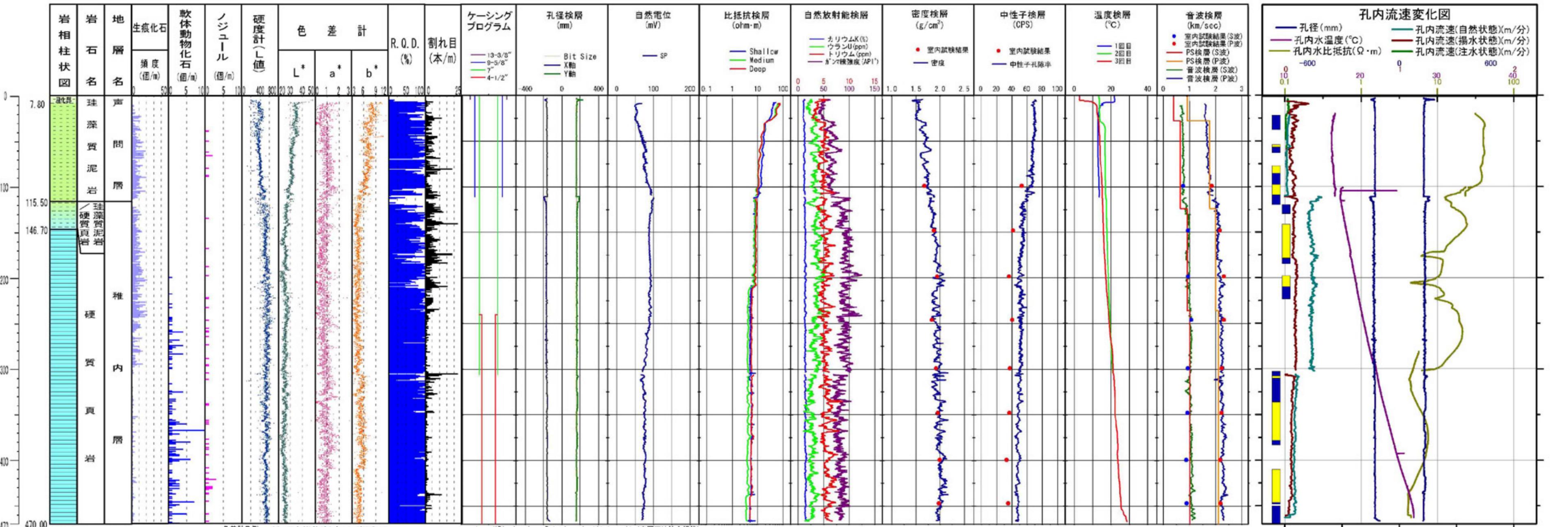


図17 地質柱状図および物理検層結果 (HDB-8孔)

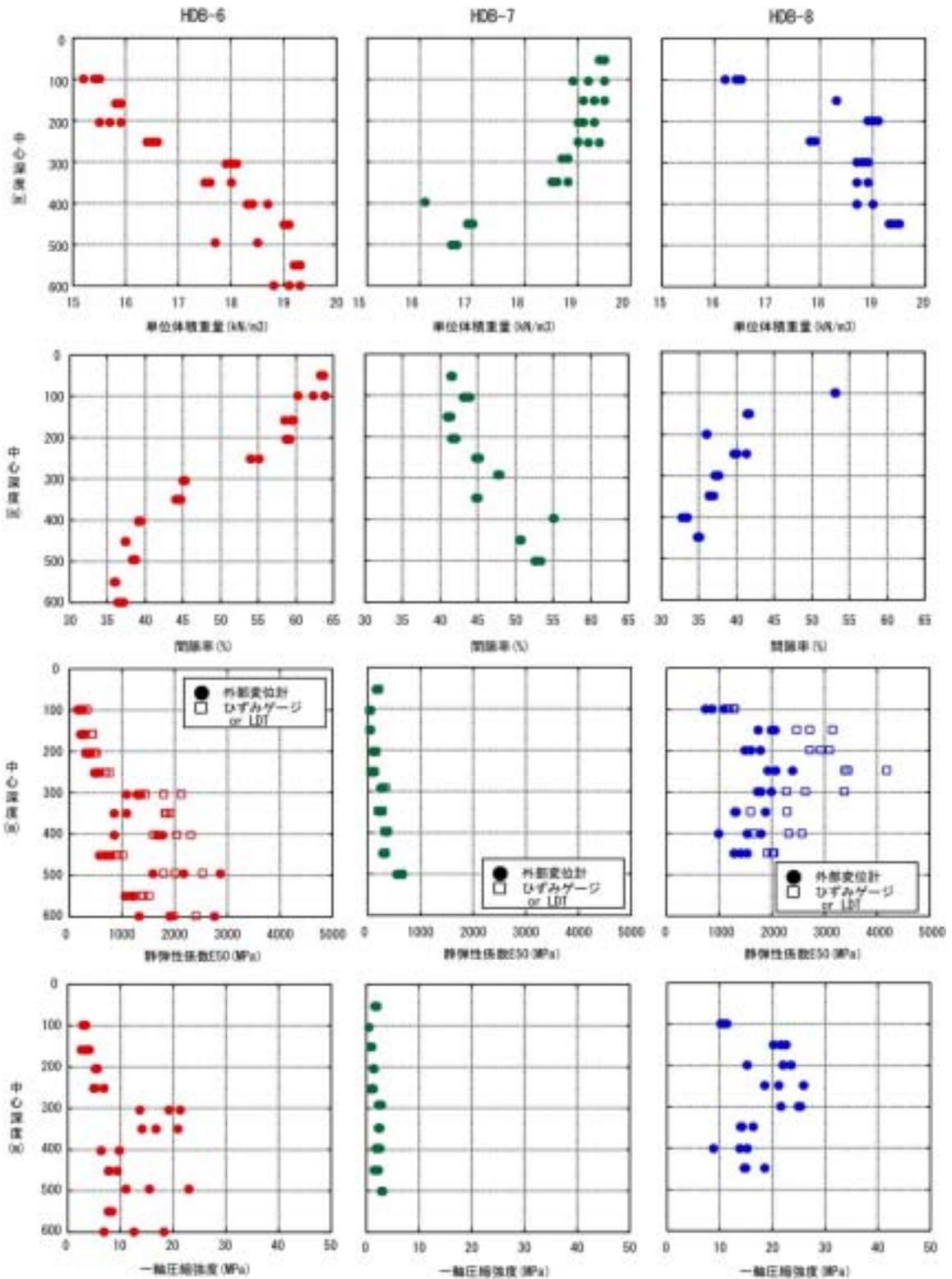
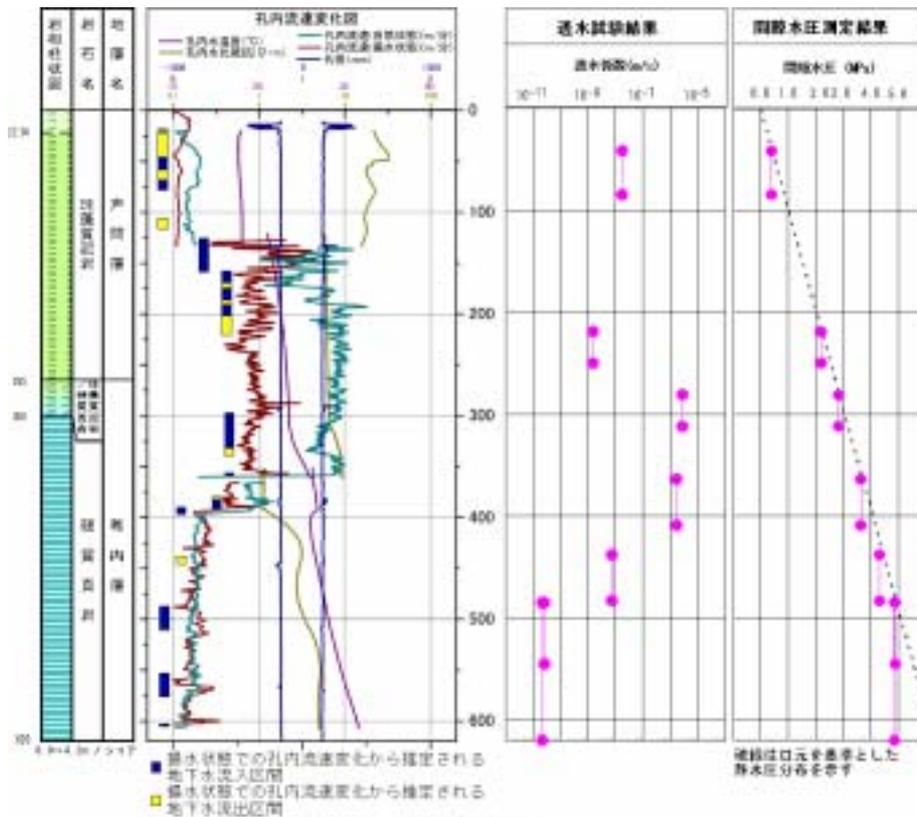
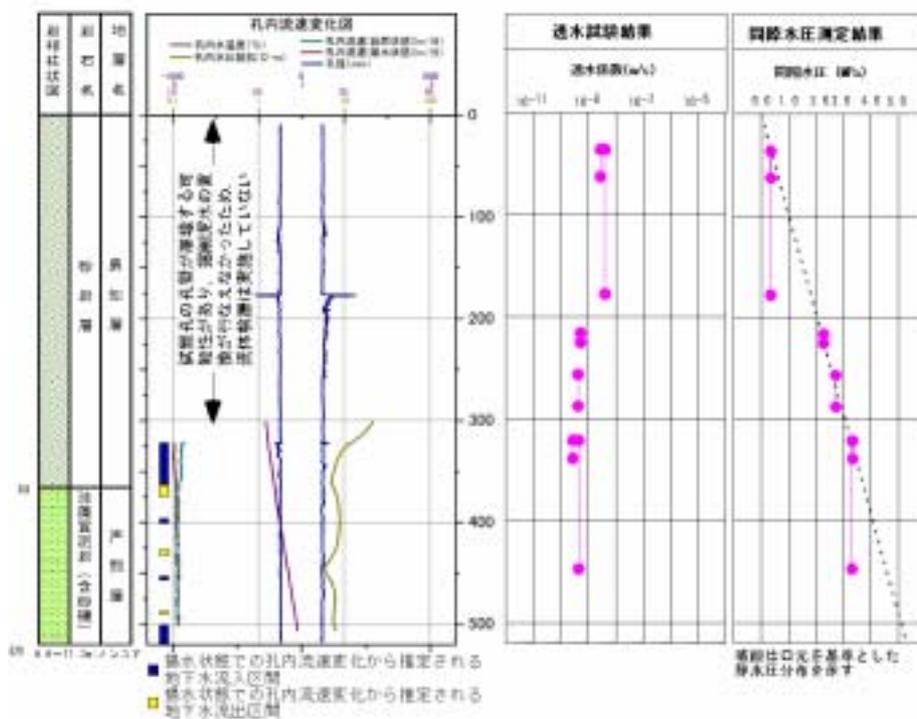


図 18 室内物理試験・力学試験結果の一例

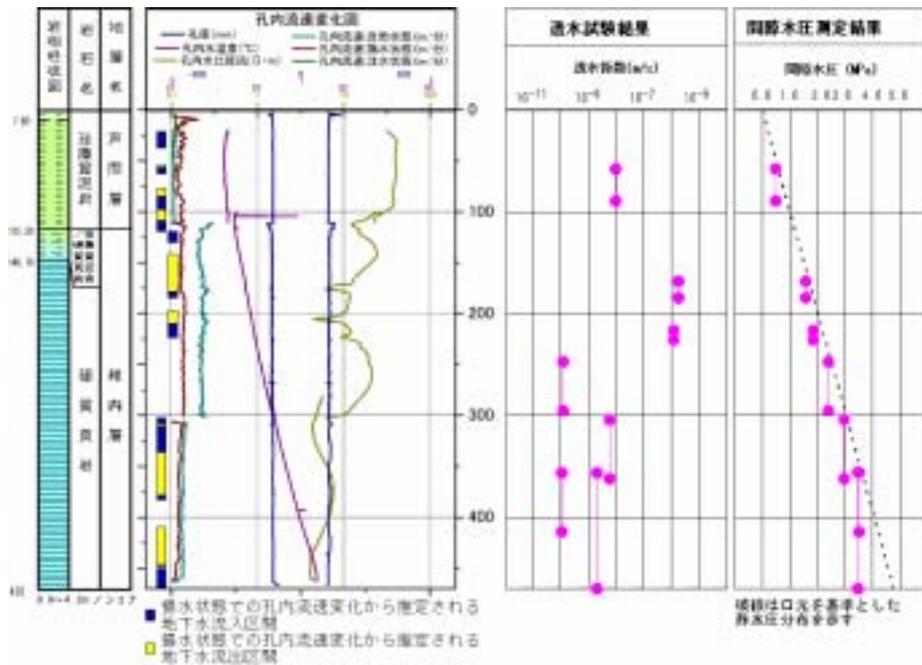


HDB-6孔



HDB-7孔

図 19a 水理試験結果 (HDB-6 孔, HDB-7 孔)



HDB-8孔

図 19b 水理試験結果 (HDB-8 孔)

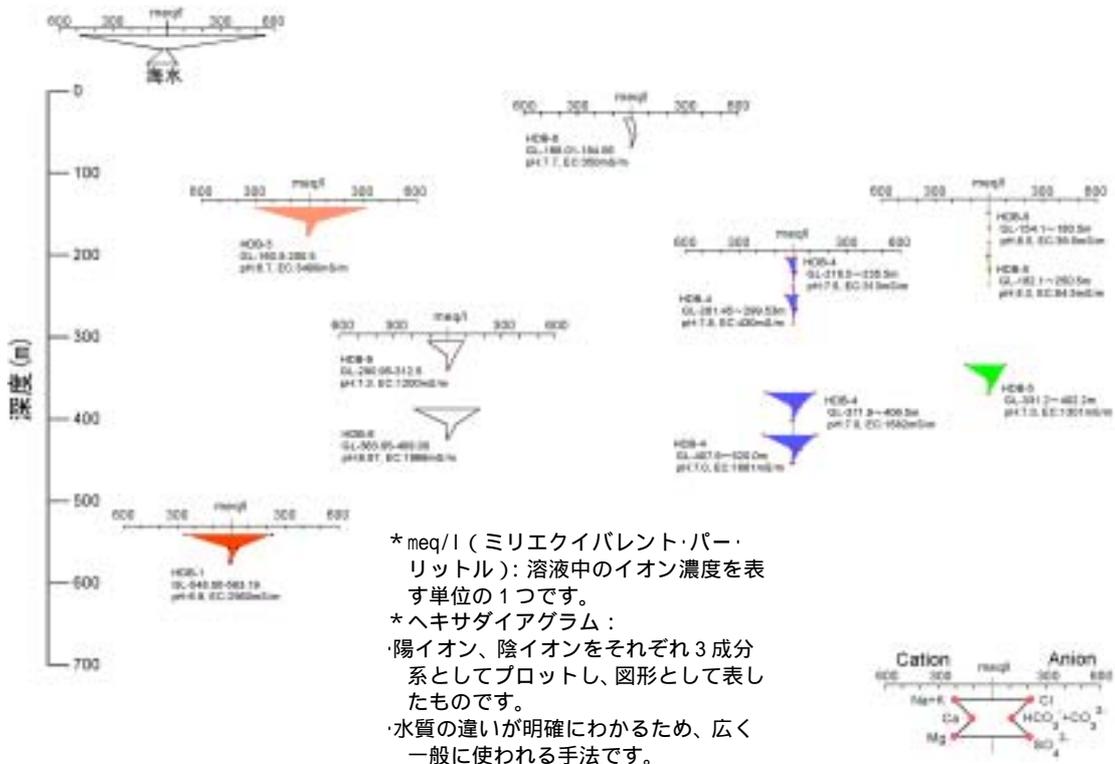


図 20 原位置地下水の水質 (ヘキサダイアグラム)

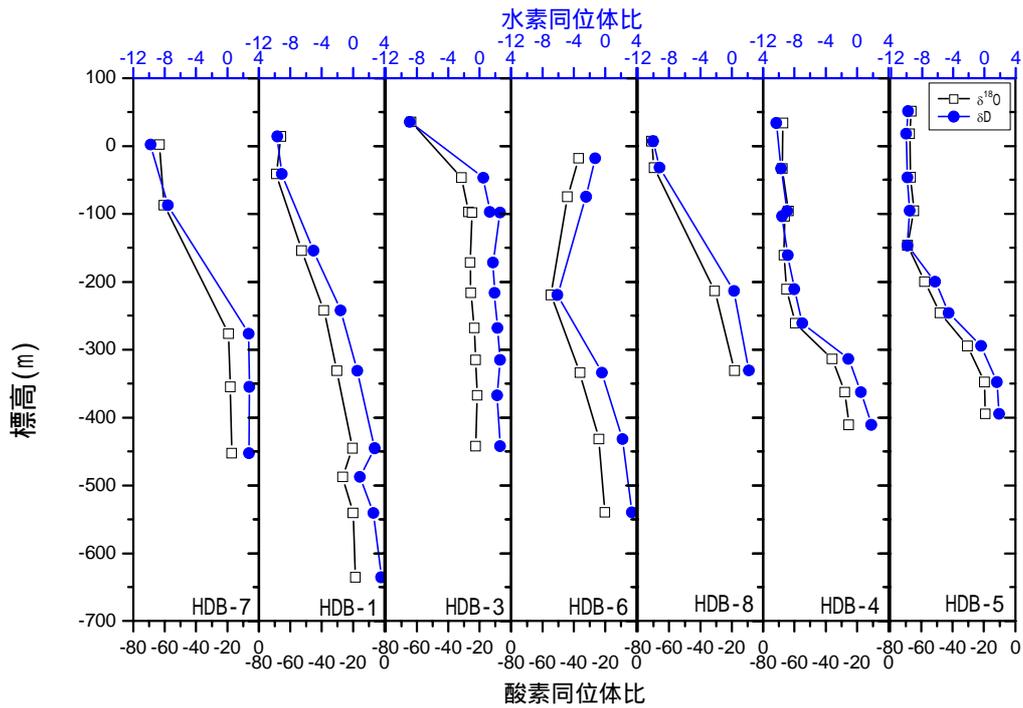
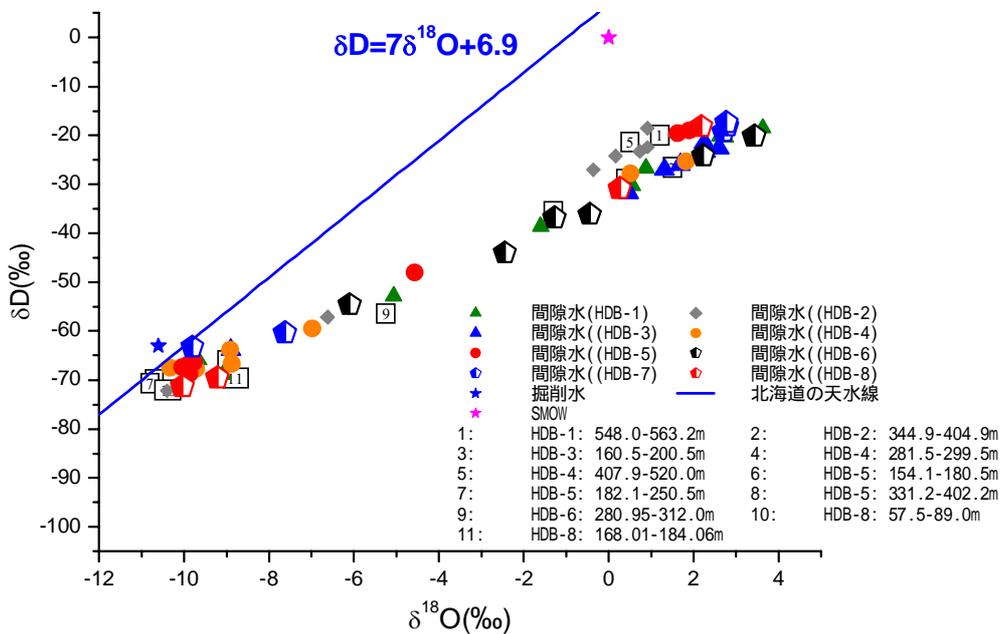


図 21 コアから抽出した間隙水の酸素・水素同位体比の深度分布



SMOW (Standard Mean Ocean Water):
 深度 500 ~ 2000m の外洋 (大西洋, 太平洋, インド洋) における酸素・水素同位体比の平均値
 天水線:
 北海道厚田村における雨水の酸素・水素同位体から求めたもの
 パーミル(‰):
 比率, 濃度などを表わす一種の単位。1/1000 を意味する記号。

図 22 地下水の同位体分析結果

3.1.2 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、試錐調査結果などを基に、平成 14 年度までに作成したモデルを更新しました。

また、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 15 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 15 年度は、試錐孔壁観察(EMI 検層)によって得られた割れ目の分布・方向のデータと岩芯観察によって得られた割れ目表面の特徴(鏡肌や条線の有無など)のデータを用いて、孔壁観察で認められる割れ目の分類・成因の検討を試みました。その結果、孔壁観察により、割れ目は層理面に平行なものと同層理面に高角に交わるものに分類でき、岩芯観察により、前者は褶曲に付随するもの、後者は大曲断層の変位によって形成されたものと推定することができました。また、後者の割れ目は密集し、割れ目帯を形成していることも分かりました。これらの検討結果を用いて推定された割れ目帯の推定分布図が図 23 です。

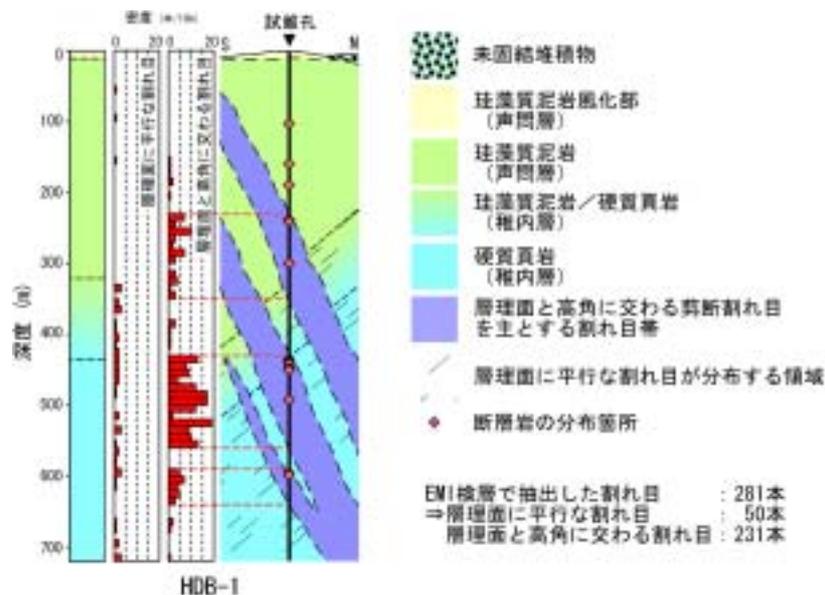


図 23 試錐孔近傍における割れ目帯の推定分布 (HDB-1 孔の例)

さらに平成 15 年度は、前述の割れ目の検討結果とこれまでに得られている反射法地震探査データの再解釈結果、ならびに平成 15 年度の試錐調査により新たに得られた地層境界深度を用いて、研究所設置地区における地質構造モデルを更新しました（図 24）。その結果、HDB-8 孔孔口付近（大曲断層推定位置付近）に割れ目帯が分布すると推定されました。この付近は地質調査によってガス徴を確認した位置（図 9）とほぼ一致しています。

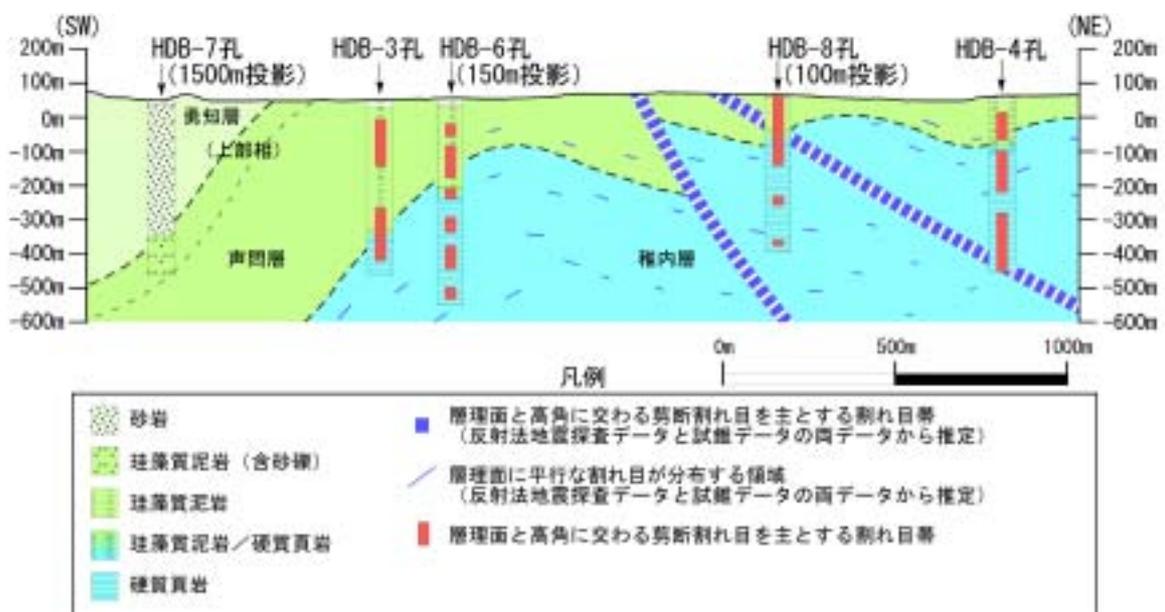


図 24 反射法地震探査データと試錐データから比較的明瞭に把握できる割れ目帯の分布推定図

(2) 地下水の水理モデル

試錐孔における水理試験や流体検層から、透水性の高い場所の多くは、稚内層の割れ目帯に位置していることがわかってきました。一方、稚内層の健岩部は透水性が低く、声問層では健岩部でも割れ目帯でも透水性に大きな差がないことが明らかになりつつあります。さらに、透水性は深くなるにつれて小さくなる傾向を有していることが確認されました(図 25)。一方、室内透水試験結果(図 26)からは、全体的にはばらつきがあるものの、孔ごとには深くなるにつれて透水性が小さくなる傾向があることがわかりました。

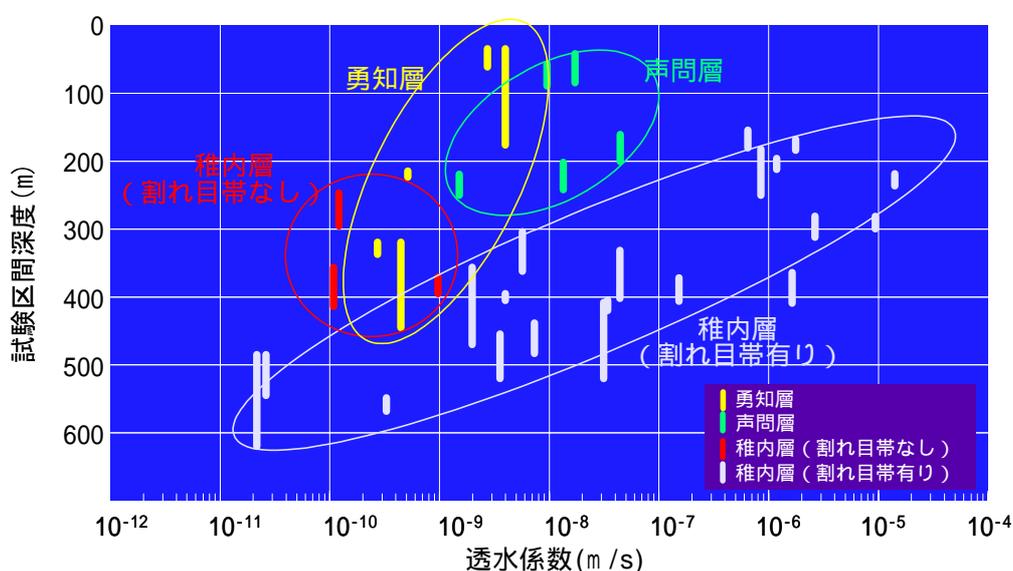


図 25 原位置透水試験結果

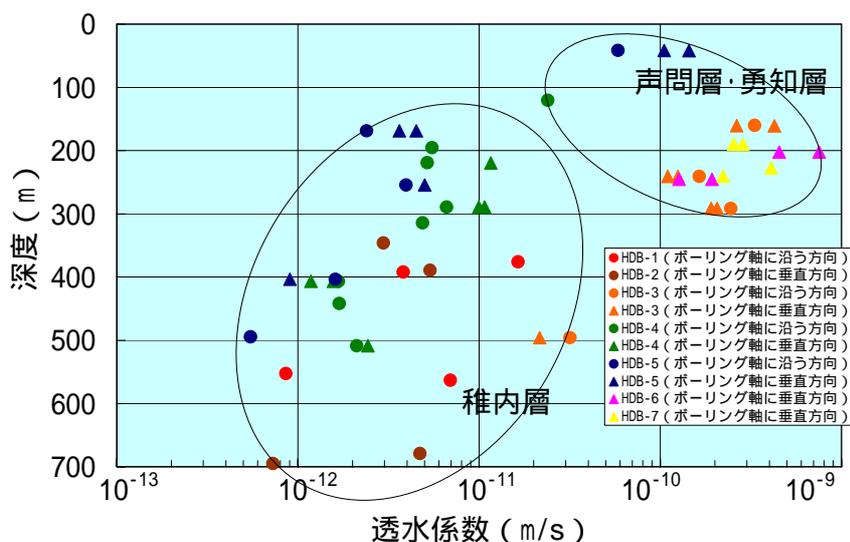


図 26 室内透水試験結果

(3)地下水の地球化学モデル

試錐孔を利用した地下水採水では、地下の状態（温度・圧力など）を保ったまま採水することは難しいため、地下水に溶けている二酸化炭素やメタンなどのガス成分が抜ける現象（脱ガス）を起こします。そのため、採取された地下水の水質は、地下深部にあるときの水質とは異なっていると考えられます。そこで、化学的な計算によって脱ガスした二酸化炭素の量を推定し、地下深部における水素イオン濃度（pH）を地球化学計算コードを用いて推定しました。その結果、実際にHDB-6孔（深度363.95～409.00 m）の水理試験中に地上で測定されたpHが6.9であるのに対して、計算によって推定されたpHは約6.4でした。

今後は、原位置での測定値を取得するとともに、これらの計算結果の妥当性を確認する予定です。

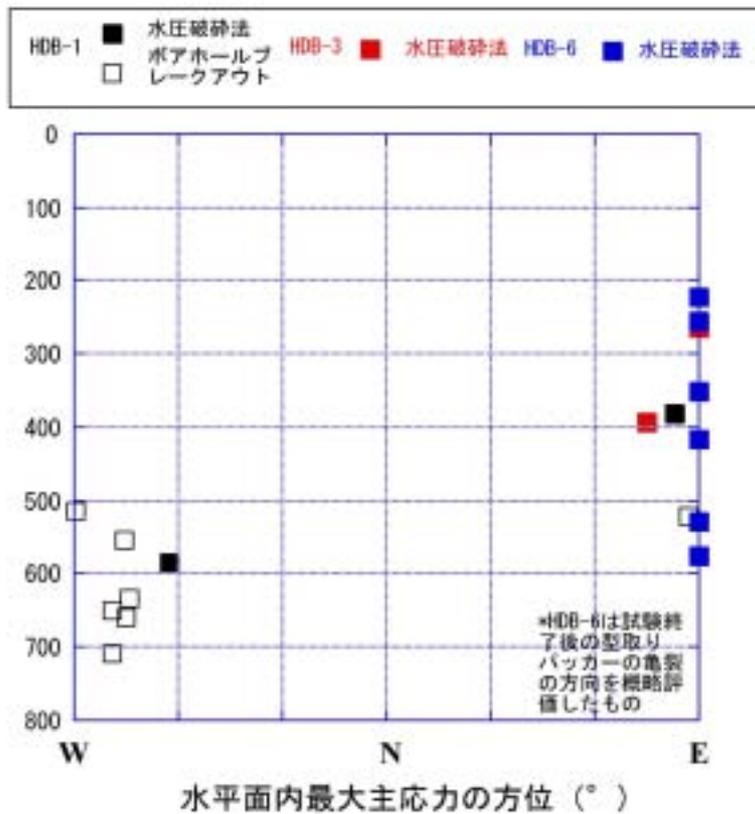
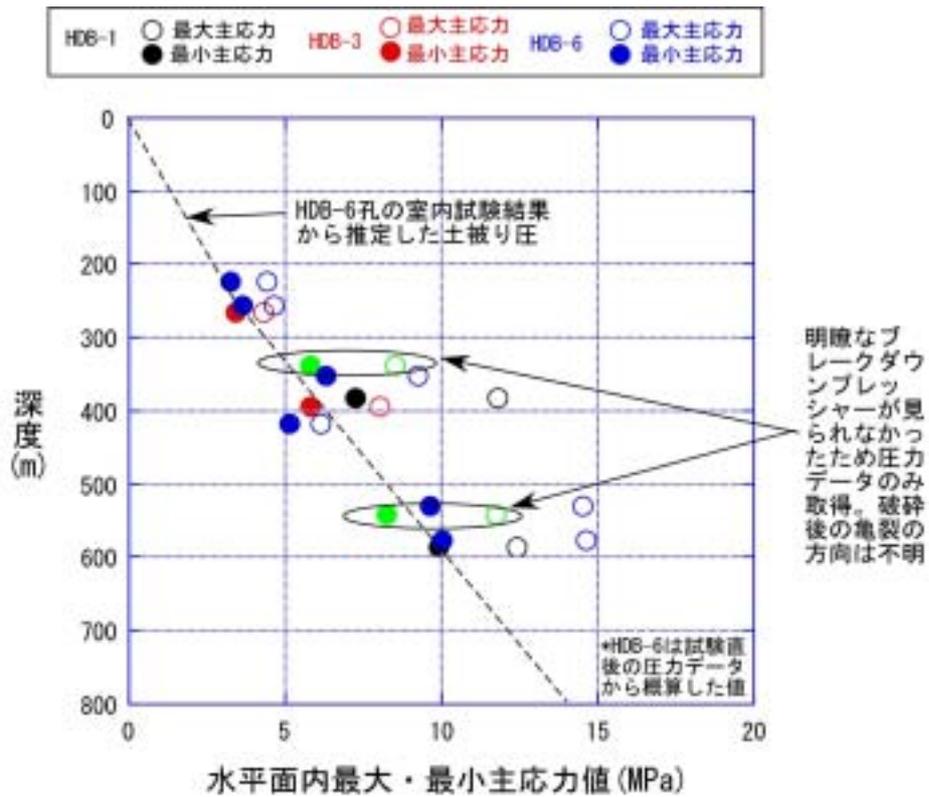
また、試錐調査中に採水した地下水やコアから抽出した間隙水の水質データやこれまでに行ってきた電磁探査のデータや断層の形状なども合せて、より総合的に研究所設置地区およびその周辺地区における地下水の水質の空間分布を推定していきます。

(4) 岩盤力学モデル

図 27 は、HDB-1、3、6 孔の物理検層結果と室内試験結果を比較したものです。地表から地下深部まで連続的に行われている物理検層の結果を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の傾向が良く似ていることがわかりました。また、室内試験結果も同じように深度方向にずらして比較すると非常に良く対応することもわかりました。同様の比較を HDB-1、4、5、8 孔でも実施した結果、大曲断層（推定）を含む鉛直断面内の岩盤力学的物性分布が概ね推定できました。図 28 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。この図から、平成 15 年度に実施した試錐孔(HDB-6 孔)の初期応力測定結果は、過去の調査結果(HDB-1、3 孔)とほぼ同様の傾向、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、最大主応力の方向は地表から地下 700 m 程度までほぼ東西方向であることがわかりました。この水平面内最大主応力方向は、地震の発震機構の解析から推定される最大水平圧縮力の方向⁽²⁾と概ね一致しています。

これらの特徴を考慮し、平成 14 年度に構築した岩盤力学概念モデルを更新したものが図 29 です。このモデルでは、物性値やその深度変化の傾向が異なるゾーンが大曲断層（推定）にほぼ平行な方向には大きく変わらないものと仮定しています。

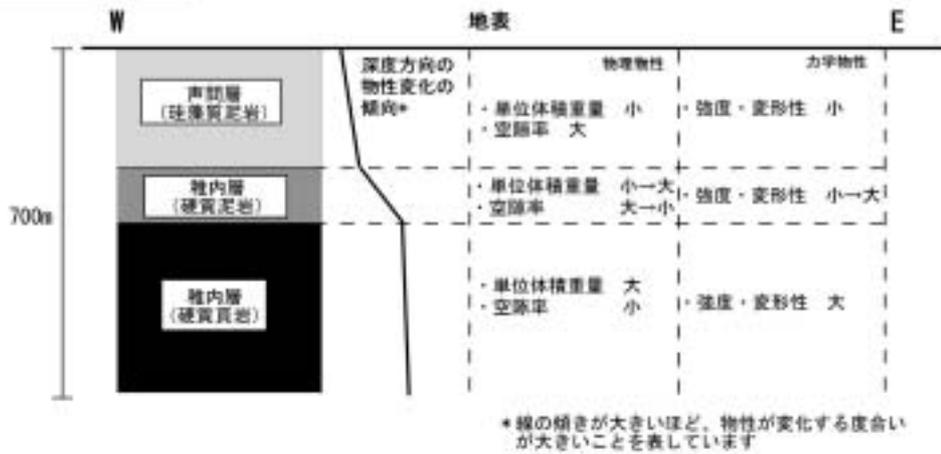
今後も、データの蓄積によりモデルを更新していきます。



*ポアホールブレイクアウト：試錐孔周辺の最大圧力と最小圧力に差がある場合、試錐掘削によって孔周辺に生じた高い圧力集中で、最小圧力がかかっている場所に破壊が生じ、それが孔軸方向に連続して生じる現象です。

図 28 各試錐孔における初期応力測定結果の比較

H14年度概念モデル



前年度と同一の点

- ・3つの層構造、各層中の物性変化の傾向 (研究所設置地区内、湧知層を除く)

更新した点

- ・地層区分との対比⇒岩石との対比
- ・大曲断層直交方向の断面の物性分布の追加

H15年度概念モデル



研究所設置地区およびその周辺における岩盤力学的物性分布概念モデル

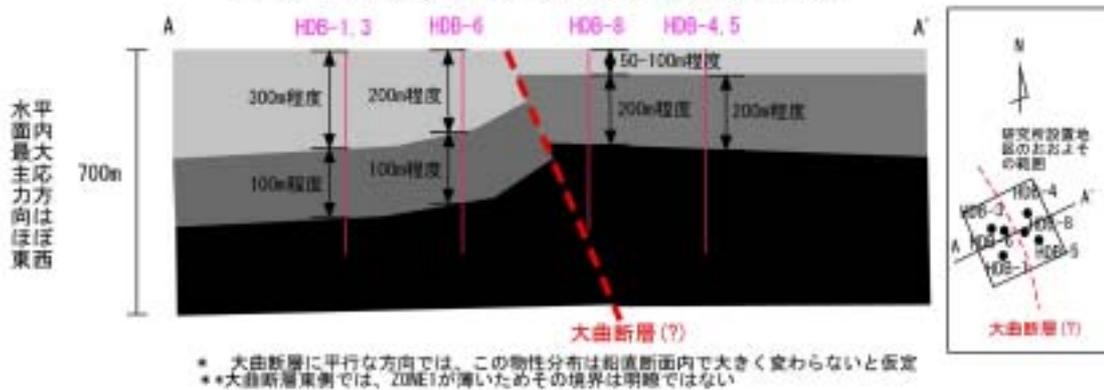


図 29 更新した岩盤力学モデル

3.1.3 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

人工バリアの設計や岩盤中での物質移行評価を行うためには、地下深部における水素イオン濃度 (pH) や酸化還元電位 (Eh) に関するデータが必要不可欠です。これまでの調査では、これらのデータを地下深部から揚水した地下水について、地上のモニタリング装置で測定を行ってきました。しかし、地上部の測定では、もともと地下水中に溶存しているガスの脱ガスによる pH の変化や大気の影響による溶存酸素濃度・Eh の変化により精度の良いデータを取得することが難しいという問題があります。

平成 15 年度は地下深部(原位置)において実際の pH や Eh のデータを取得するための装置の仕様を検討しました。その結果、既存の技術を改良することにより、現在使用している水理試験装置に原位置での pH、Eh、電気伝導度、温度を測定する機能および採水時の深度に相当する水圧環境を保持した状態で地下水を採水できる機能を追加できることがわかりました。

平成 13 年度から北海道大学との共同研究として、堆積軟岩を対象に開発を進めてきている岩盤力学測定装置^{*5}の改良を行い、HDB-3 孔敷地内に深度 50 m の試錐孔を掘削し、同装置の性能試験(図 30)を行いました。その結果、浅い鉛直試錐孔であれば、孔内水が存在する条件下でも応力解放法^{*6}により岩盤に作用している圧力の大きさなどを三次元で測定できることがわかりました。



図 30 岩盤力学測定装置

*5：岩盤に作用している圧力の大きさ、岩盤の微小な動き、岩盤中を振動が伝わる速度を計測する装置です。

*6：試錐孔底に 3 次元的にひずみゲージが配置された測定装置を接着し、測定装置周辺を再度掘削して、その場所に作用している圧力を解放します。その時に生じた変形をひずみゲージで測定しておき、元々作用していた圧力を逆算する方法です。

(2) 試錐孔掘削のための技術

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(コントロールボーリング)技術の適用試験を実施しました(図31)。平成15年度は、掘削長で290 mまで掘削を行いました。このうち、掘削長150 m付近から試錐孔底までコントロール掘削を行いました。本試験により、使用するコア回収装置の長さや試錐孔角度の増角率の関係性を把握することなど、平成16年度に実施する適用試験(掘削長700 mを予定)のための基礎情報を得ることができました。



図31 コントロールボーリング適用試験現場

3.2 地質環境モニタリング技術の開発

3.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発

試錐孔を用いたモニタリング技術開発では、周辺での試錐調査などの活動および地下施設の建設が地下水の水圧・水質に与える影響を系統的に観測する技術を構築することを目的としています。また、これらの影響や背景としての季節変動などの自然変動についても観測を行い、地下水の水理モデルや地球化学モデルの構築や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します。さらに、これらの観測を通して、既存の地下水の水圧・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）の適用性を確認するとともに、必要に応じて装置の開発・改良を行い、上述したモニタリング結果と合わせて地下水の水圧・水質長期モニタリング技術を体系的に取りまとめることとしています。

平成 15 年度は、HDB-1 孔での地下水水圧の連続観測を本格的に開始しました。また、新たに HDB-2、3、4 孔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 32）。

地下水水圧の長期観測については、既存の複数の長期観測装置の適用性を確認するために、平成 14 年度にカナダ Westbay 社製の Multi Piezometer system（以下、MP システム）を設置した HDB-1 孔において、平成 15 年 7 月末から本格的な地下水水圧の連続観測を開始しました。さらに、HDB-3 孔においても MP システムを設置し、地下水水圧観測を開始しました。一方、HDB-2 孔においては、HDB-1、3 孔と異なるスタンドパイプ方式を採用したスイス Solexperts 社製の Stand-Pipe Multi-Packer system（以下、SPMP システム（図 33））を設置し、地下水水圧の連続観測を開始しました。

地下水の水質観測については、HDB-4 孔に設置した長期モニタリング装置を用いて採水を行いました。長期モニタリング装置を用いて地下水を採水する方法では、試錐孔を保護するために設置しているケーシングパイプや、それを固定するセメントの成分が地下水の成分と反応して、採取した地下水の組成が実際の地下水の組成とは異なるものとなることが想定されます。そこで、試錐調査中に採水した地下水と長期モニタリング装置を用いて採水した地下水との比較から、長期モニタリング装置での地下水採水方法の信頼性について検討を行いました。

地下水の採水にあたっては、自然湧水およびポンプを用いた連続揚水を実施して採水対象区間の地下水を十分に排出した後、原位置の地下水採水を行っています。

試錐調査中に採水した地下水と長期モニタリング装置を用いて採水した地下水の分析結果を図34に示します。試錐調査中に採水した地下水のpHは7.0~7.5程度であるのに対し、長期モニタリング装置を用いて採水した地下水では8.2~8.6と高くなっていることがわかります。一方、試錐調査中に採水した地下水と長期モニタリング装置を用いて採水した地下水水質を比較すると、両者に大きな違いは認められませんが、 CO_3^{2-} （炭酸イオン）+ HCO_3^- （炭酸水素イオン）については、長期モニタリング装置を用いて採水した地下水の濃度が低くなっています。これらの違いは、ケーシングパイプやそれを固定するために用いたセメントなどとの反応の影響による可能性が考えられます。

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共に、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。また、他の試錐孔についても順次、地下水の水圧・水質モニタリング体制の整備を行います。

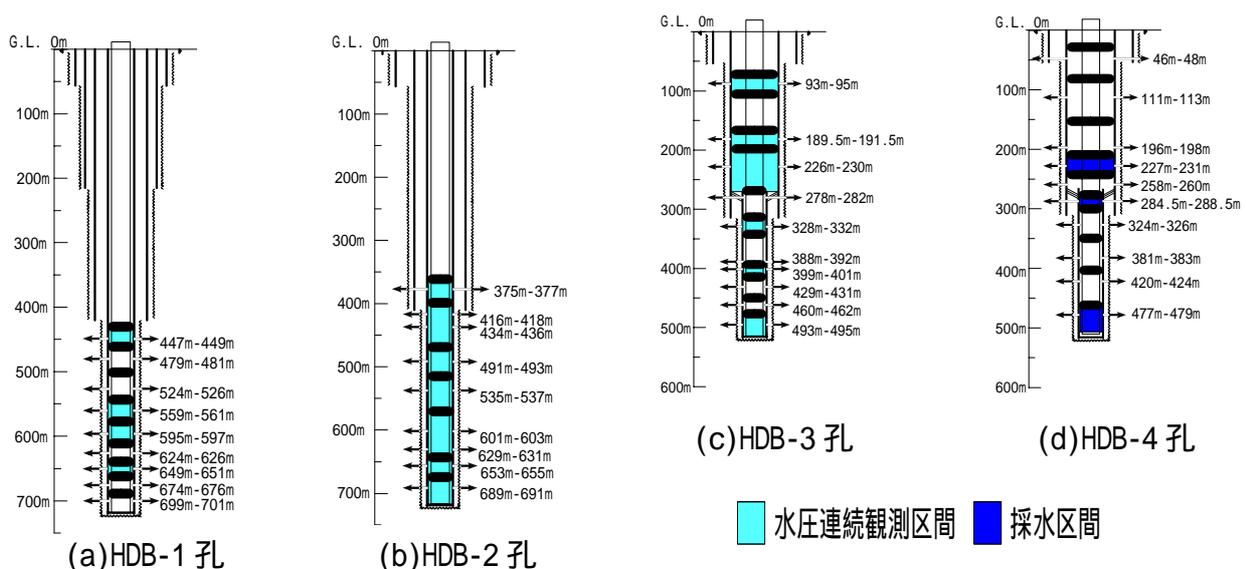


図32 水圧観測区間・地下水採水区間

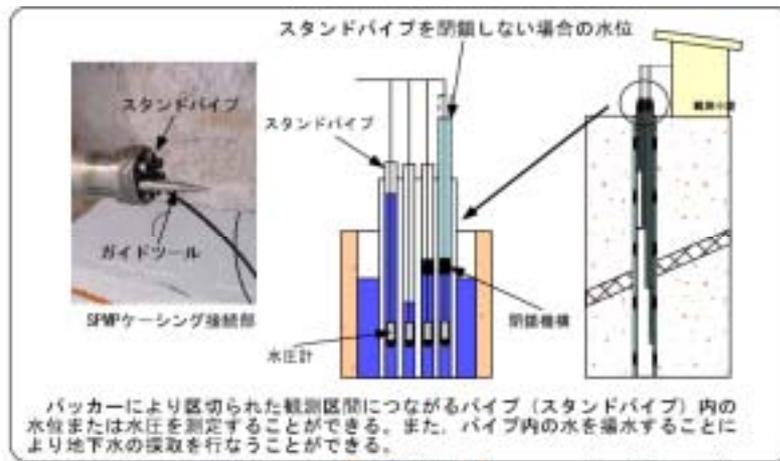


図 33 スタンドパイプ方式地下水の水圧・水質長期モニタリング装置概念図

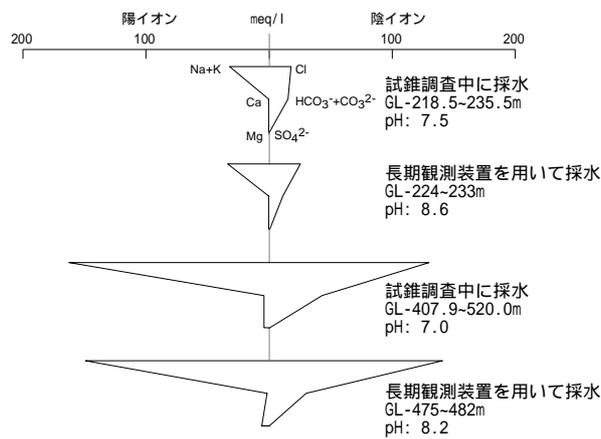


図 34 地下水の水質（ヘキサダイアグラム）

3.2.2 遠隔監視システムの開発

本システムは、アクロス^{*7}を応用した地下の地質構造やその物性変化を常時観測するためのシステムです。精密に制御した連続的に発信される弾性波と電磁波および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の手法より精度良く地下の構造や物性の変化を把握することができます。

平成 15 年度は、送信機から精度の高い信号を送信する技術の改良と、受信器が信号を精度良く受信できるように送信機との時間の同期方法などの改良を行いました。また、平成 14 年度に行った環境ノイズ^{*8}データの解析の結果をもとに、実際にアクロス信号を送信した場合に、どれだけの結果が得られるか、どのくらいの観測時間が必要なのかを検討しました。これらを基に、設置場所の検討を行い、電磁波アクロスの送受信装置の整備など、遠隔監視システム（図 35）を設置するための整備を行いました。

平成 16 年度には、遠隔監視システムの設置場所を選定し、弾性波アクロスの受振装置を設置する予定です。

また電磁波アクロスについては、送受信装置の設置を行い、試験観測を開始する予定です。

弾性波アクロスおよび電磁波アクロス観測装置の設置後は、システム全体の調整を行い、地下施設建設によるその周辺の構造や物性の変化に対する感度の確認など、システムの有効性の検証と改良を行う予定です。

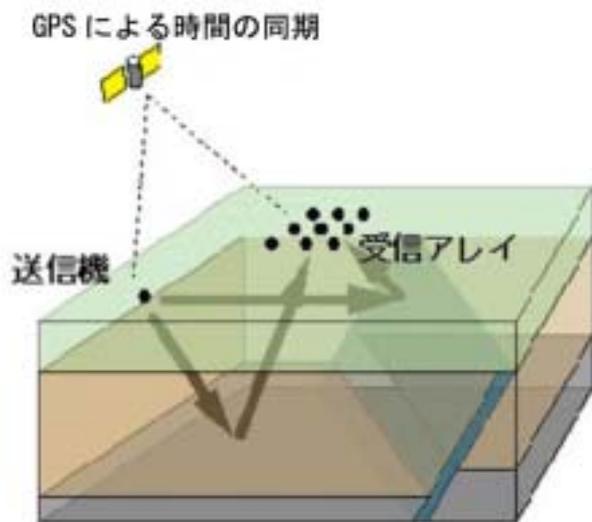


図 35 遠隔監視システムの例

*7：アクロス（ACROSS : Accurately Controlled Routinely Operated Signal System）⁽³⁾は、精密にコントロールされた定常（連続）波信号を使用するシステムであり、陸域変動による地質環境の変化を把握する技術として開発が進められている手法です。

*8：風などの自然現象や工場や鉄道などの人間の活動によって生じる、地面のわずかな揺れや電気・磁気的な変化です。

3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

平成 15 年度は地下施設の基本設計として、空洞のレイアウト、施工方法、岩盤分類、支保材料の強度・厚さ、可燃性ガス対策や通気等の防災面に関する検討を行いました。

地下施設の坑道配置については、試験研究に必要な領域を確保し、空洞を安全に建設・維持できることを考慮して検討を行っています(図 36)。今後、平成 15 年度に地下施設近傍で掘削した HDB-6 孔の試錐調査結果を反映するとともに、通気対策や排水処理の検討結果、地下施設建設中および完成後に実施する研究計画の詳細な検討により、坑道の設定深度や配置や工程などを具体化していきます。

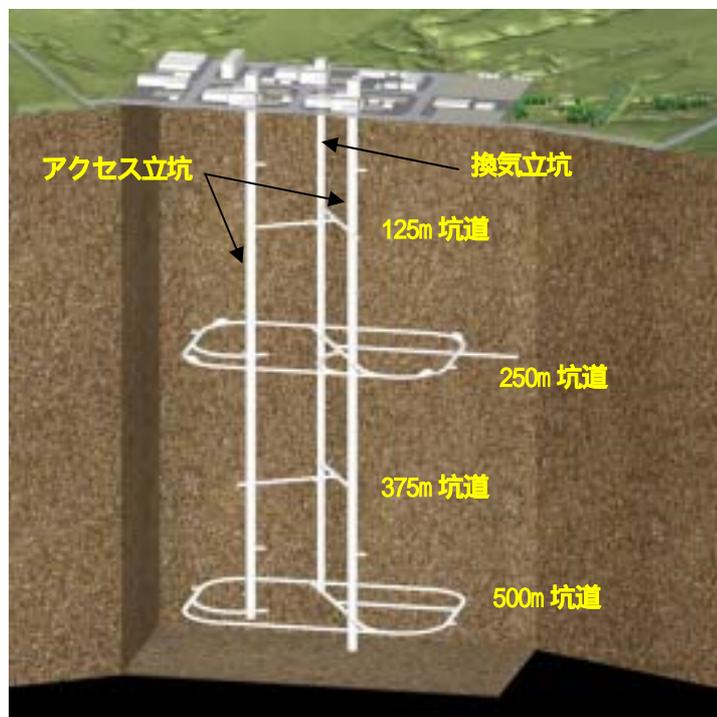


図 36 地下施設のイメージ

掘削工法については、立坑・水平坑道ともに全断面工法^{*9}を、掘削方式については、立坑で機械または発破、水平坑道では機械による掘削を計画しています。施工方法については、立坑ではショートステップ工法^{*10}、水平坑道では NATM^{*11}を計画しています。

* 9: トンネル全断面を分割せず一度に掘削していく工法。小断面のトンネルにおいて採用されることが多い掘削工法です。
* 10: 掘削・土砂搬出・コンクリート巻き立てを 1 回の施工サイクルとして、立坑を掘り下げていく工法のことです。
* 11: New Austrian Tunneling Method の略。吹付けコンクリートとロックボルトを主たる支保部材とし、地山のアーチ作用を積極的に活用しようとする工法で、山岳トンネル掘削における最も一般的な施工方法です。

地下施設を安全に建設・維持するためには、地下に掘削した空洞の安定性の評価が重要となります。平成 15 年度は、平成 13 年度と平成 14 年度に地下施設建設予定位置近傍で実施した試錐調査（HDB-1、3 孔）から得られた力学試験結果に基づいて、岩盤の強度・変形性などの条件を再整理し、声問層・稚内層の岩盤を 12 層に細区分しました。それぞれの区分に対して力学試験結果のばらつきを安全側に評価して設定した、代表的な深度での解析用物性値を表 1 に示します。

表 1 代表的な深度における解析用物性値

地層名	深度	単位体積重量 (kN/m ³)	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (°)	弾性係数 (MPa)	一軸圧縮強度 (MPa)
声問層	25m	14.8	0.1	24.1	8.3	0.2
	125m	14.9	0.9	8.1	337.3	2.1
	250m	15.4	1.3	19.6	626.0	3.7
稚内層	375m	16.8	1.1	16.0	845.6	2.9
	500m	18.0	1.7	19.5	1116.2	4.8

解析手法としては、二次元有限要素法を採用し、岩盤の他に主要な支保材料であるコンクリートおよび鋼製支保工^{*12}をモデル化しました。支保材料の強度については、一般的に用いられる強度（覆工コンクリートの圧縮強度で 18、24、30、40 MPa、吹付けコンクリートの圧縮強度では 18、36 MPa、鋼製支保工の引張強度では 400、590 N/mm²）に設定しました。

空洞周辺に発生する塑性領域^{*13}の拡がりや支保工に発生する応力を解析により予測し、許容応力度設計法^{*14}を用いてそれぞれの岩盤区分に対応した支保材料の強度・厚さを設定しました。

*12：トンネルの代表的な支保材料の一つで、曲げ加工した H 型鋼材をトンネル周縁に沿って内側から岩盤と接触するように設置し、トンネルの変形に対して鋼材の剛性で抵抗する支保材料です。

*13：岩盤の応力状態が破壊強度を超えることで、力学（強度、変形）特性が変化した領域のことです。

*14：解析によって算定される材料に発生する応力が、使用材料ごとに許容応力度以下であることを確かめることによって、構造物の安全性を検討する設計手法で、トンネルの支保設計で一般的に用いられています。ここで、許容応力度とは、構造物が破壊または有害な大変形を受けることなく安全に使用されるために設定される許容値を示し、解析の精度による誤差や構造物の重要性などを考慮して、材料の強度のみを適当な安全率で除して、経験的に設定されます。

図 37 に解析により得られた塑性領域の分布と最大せん断ひずみ^{*15}の分布の一例を示し、図 38 に当該箇所での支保仕様を反映した断面図を示します。解析結果から、空洞を掘削することによって発生する空洞壁面からの塑性領域の幅は、立坑で最大 2.5 m 程度、水平坑道のアーチ部で最大 1.3 m 程度と予想しています。

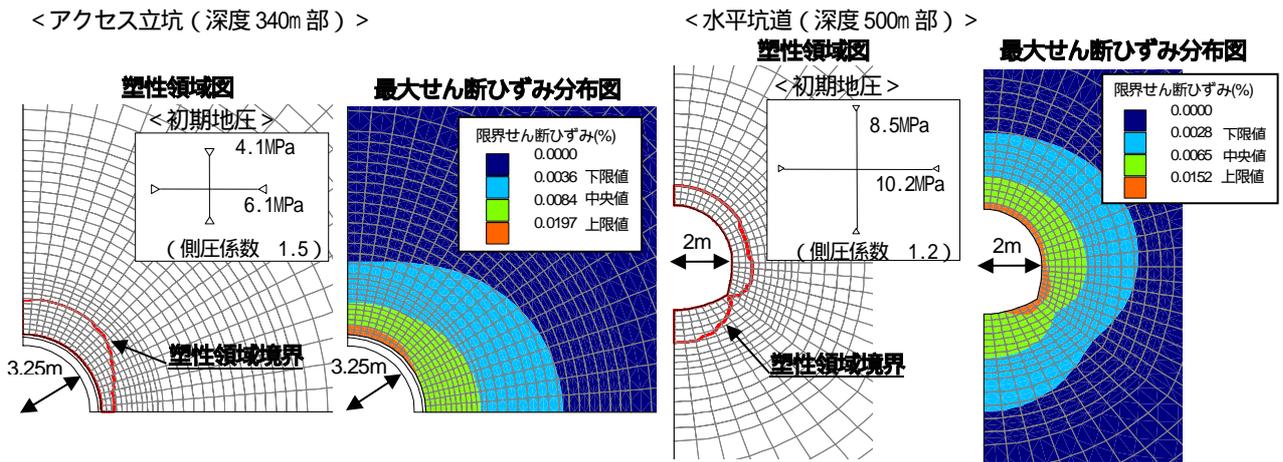


図 37 塑性領域および最大せん断ひずみ分布

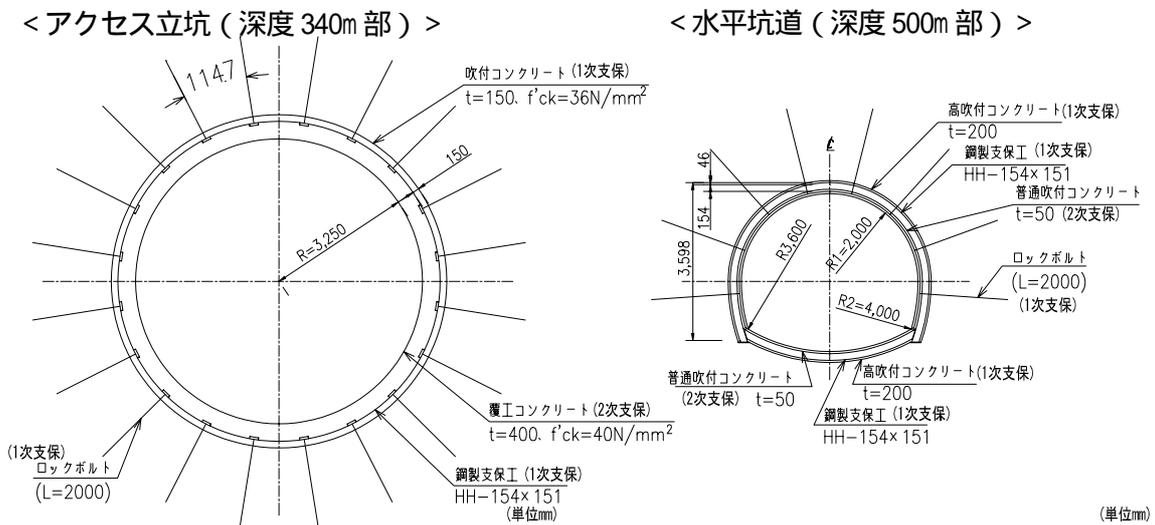


図 38 標準支保パターン例

*15：岩盤内に発生するせん断方向のひずみ量（変形の比率）で、別途調査して求められる限界ひずみ（許容されるひずみ量）と比較することで、変形量の観点から岩盤の破壊の判定を行うことができます。ここでは、予測解析において細分化した個々の領域に対して最大せん断ひずみ量を算定し、限界ひずみ値に対する等値線で表示しています。

可燃性ガスの発生が見込まれる坑内の研究・作業環境や入坑者の安全を確保するために、可燃性ガス対策、坑内作業環境対策、火災時対策などの検討を行いました。

坑内では可燃性ガスの濃度が爆発限界^{*16}に達しないように十分な換気を行うこととしています。また、可燃性ガスの濃度は特に掘削切羽付近で高くなると考えられることから、基本的に切羽から 30 m 程度以内で使用する電気機器および換気ファン、ガスセンサーなどの保安機器は防爆仕様^{*17}とすることを計画しています。

坑内作業環境を検討した結果、冬季は地表気温が氷点下となり、坑内の一部でも氷点下の気温になることが予測されることから、坑内の凍結防止および良好な作業環境維持を目的として、入気坑口に暖房装置を設置し、冬季の坑内温度を 0 以上に維持することとしました。

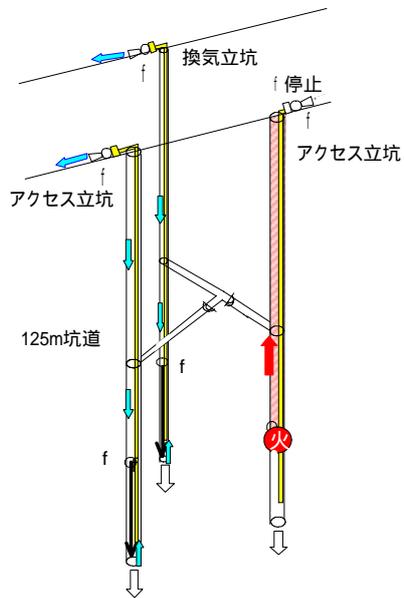
火災時の通気網解析^{*18}の結果、施工段階毎に想定される火災に対応した、換気ファンの運転・停止、風門の開閉などの適切な通気制御を行うことにより、一酸化炭素や二酸化炭素などの火災ガスが坑内に拡散する範囲を最小限に抑え、地上までの避難のための安全区域を確保できること、掘削中の坑道においても避難のための安全区域を確保できることを確認しました。図 39 に火災時の通気網解析の例を示します。

*16：可燃性ガスまたは蒸気は、酸素とある組成範囲で混合したときのみ爆発または燃焼します。ガスの濃度が大きすぎても、また逆に小さすぎても爆発や燃焼は起こりません。この爆発の危険性がある濃度範囲を爆発限界と言います。試錐調査の結果から、可燃性ガスはほとんどがメタンガスであることがわかっており、メタンガスの空気中での爆発限界濃度は 5～15 %です。

*17：可燃性ガスが存在または存在する恐れのある場所で電気設備を設置または使用する場合、電気設備が原因となって生ずる爆発や火災等を防止するために、火花などが発生してもガスに引火しないようになっている構造です。

*18：坑内の任意の箇所に火災発生源および火災温度などの火災条件を設定し、火災ガスなどの挙動を把握する解析手法です。

<坑道換気切替前>



<施設完成後>

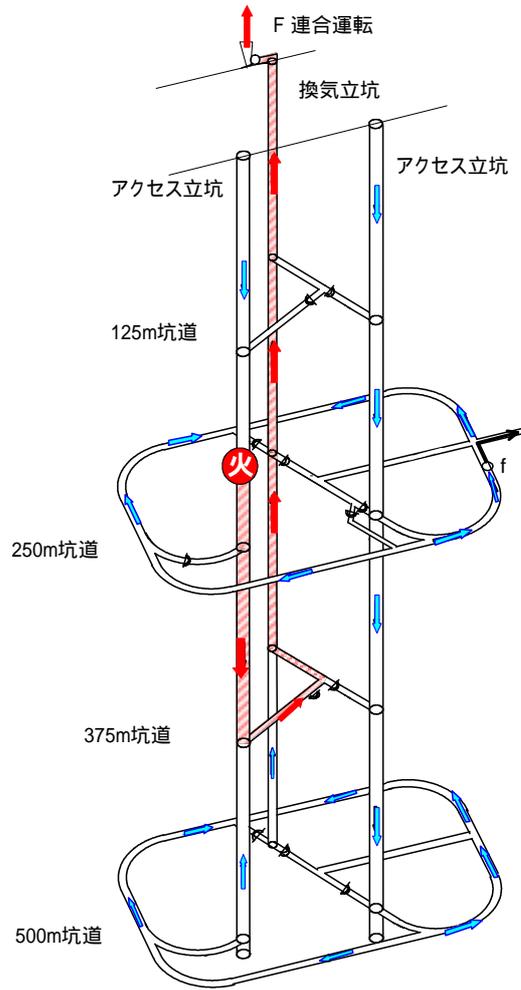


図 39 火災時通気網解析（通気制御実施後）の例

3.4 地質環境の長期安定性に関する研究

3.4.1 地震研究

北海道北部地域の地震活動の特徴を詳細に把握するため、平成 14 年度に設置した地震計(上幌延観測点：地表付近および地下 138 m に設置)に加えて、防災科学技術研究所^{*19}が幌延町付近に設置した地震計との位置関係も考慮して幌延町内に 1 辺約 10 km の地震観測網を形作るように、幌延町市街地の北西約 4km に位置する北星園(北星園観測点) HDB-5 孔敷地内(北進観測点)および中間寒小学校跡地(中間寒観測点)の地表付近に地震計を設置し(図 40)、平成 16 年 4 月から連続観測を開始しています。サイクル機構が設置した合計 4 点の地震観測点および防災科学技術研究所が幌延町付近に設置した 3 点の地震観測点(豊富、幌延および天塩)から形作られる地震観測網により、幌延町内の地下約 10 km 以浅で発生する地震を精度よく観測することができると考えています。また、上幌延観測点に設置した地震計では、連続観測を開始した平成 14 年 12 月 24 日から平成 15 年 9 月 30 日の期間までに、上幌延観測点を中心とする半径 18 km の円内(幌延町内をほぼ覆う地域)で発生した地震 103 件(防災科学技術研究所ウェブページ Hi-net 地震情報より)のうち、55 件の地震を観測することができました(図 41)。

図 42 は上幌延観測点で捉えた地震の観測記録の一例です。図 42 の上図は、平成 15 年 3 月 17 日に発生した、上幌延観測点から約 71.7 km 北の宗谷岬沖を震源とする浅い地震を捉えた地震記録です。また、図 42 の下図は、平成 15 年 9 月 26 日に発生した、観測点から約 428 km 離れた十勝沖地震の観測記録です(地震発生位置は図 42)。これらの観測記録について地表と地下での加速度振幅(地震による揺れの大きさ)を比較した結果、観測点から近い距離で発生した地震(近地地震)は地表の加速度振幅に比べて地下での加速度振幅が小さくなっていますが、観測点から遠い距離で発生した地震(遠地地震)は、加速度振幅があまり小さくなっていないことがわかりました(表 2)。

今後は、北海道北部地域の地震活動の特徴を把握するために、幌延町内での地震観測を継続するとともに、得られたデータについて防災科学技術研究所などが取得した地震観測データを統合して地震の震源分布の解析を行い、

^{*19}：国が設立した独立行政法人。地震、水災害、土砂災害、雪災害などの防災に関する基礎研究及び基盤的研究開発、それらに係る成果の普及および活用の促進等の業務を総合的に行っています。

幌延町付近および北海道北部地域に認められる広域的な地質構造（断層、褶曲および岩石分布）と震源分布との関連性について、検討を実施する予定です。また、地表と地下の加速度振幅を観測点から近い距離で発生した地震（近地地震）と観測点から遠い距離で発生した地震（遠地地震）とで比較した場合に違いが認められることについては、現在解析を実施しています。

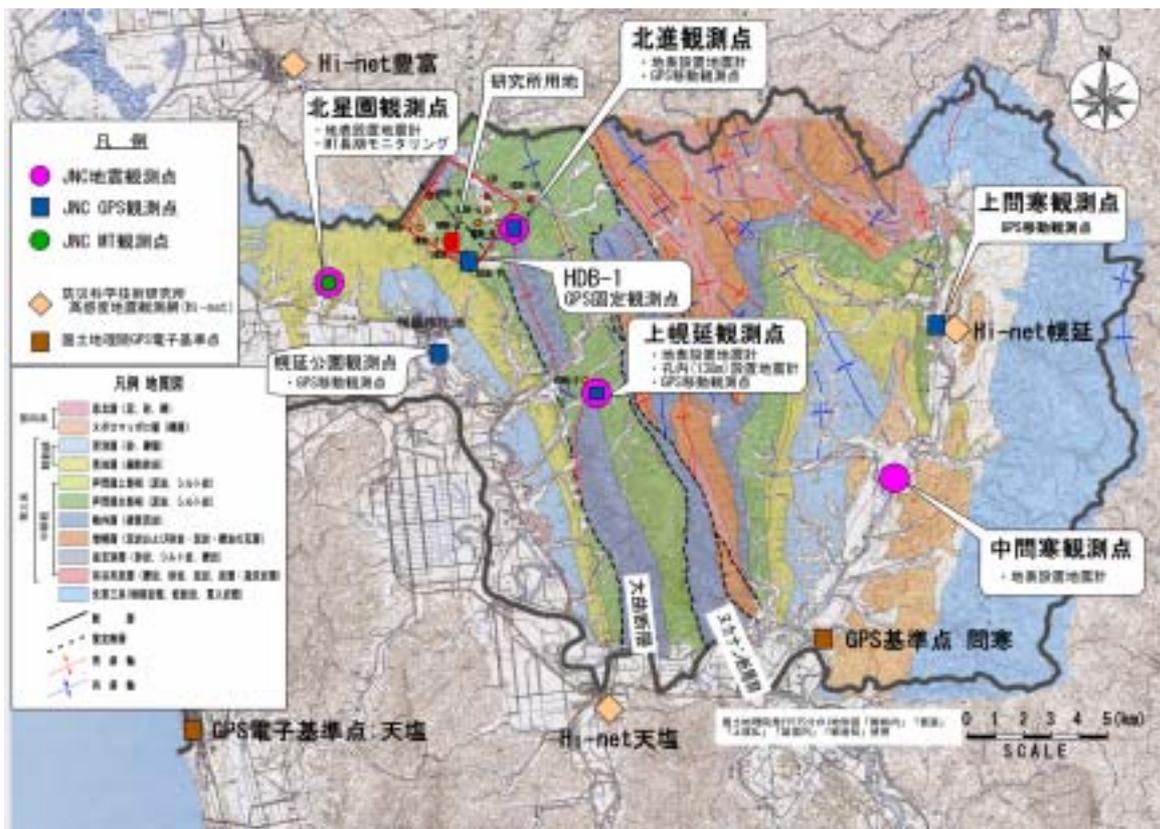


図 40 幌延町付近に設置された地震計の位置

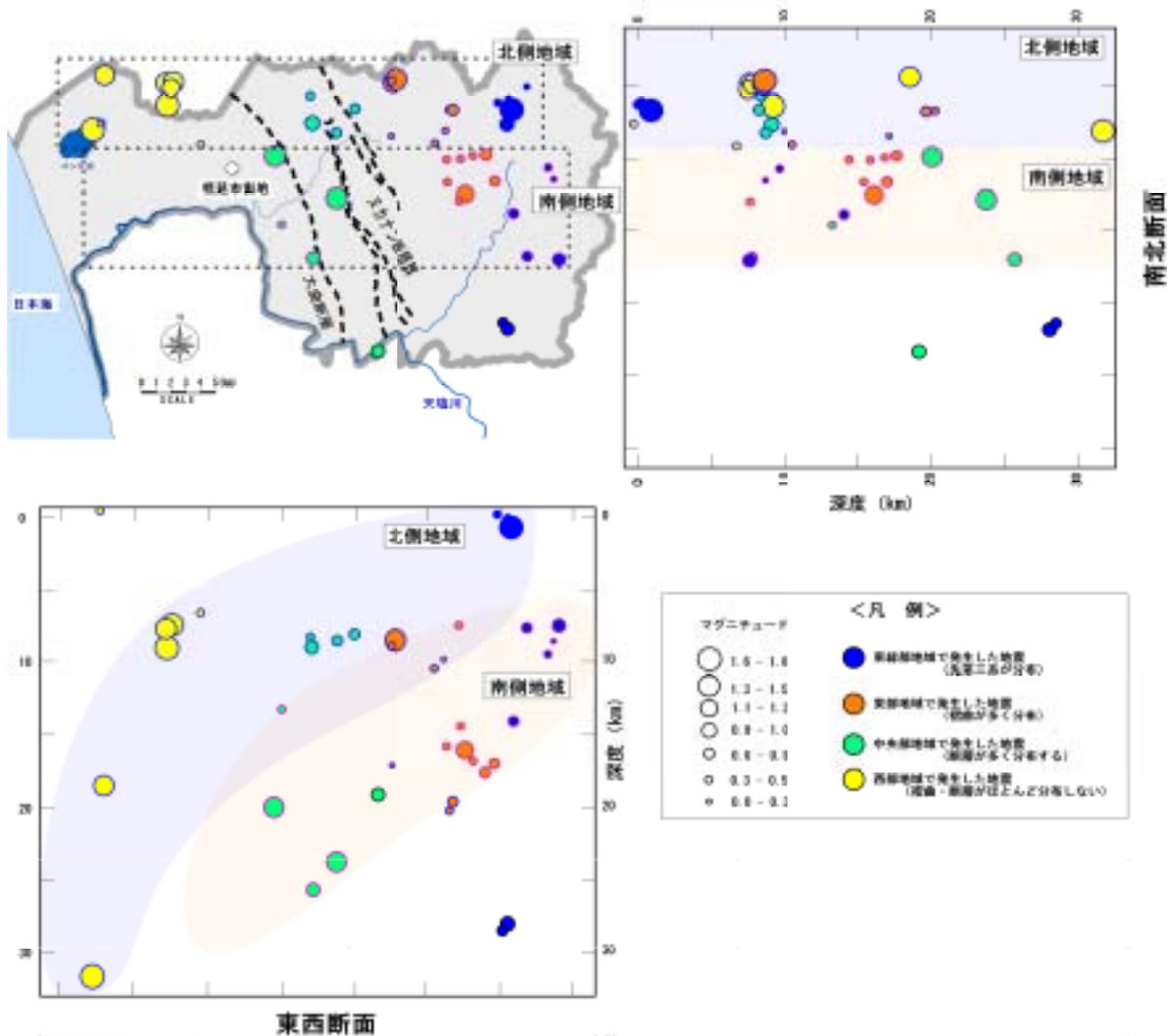


図 41 平成 14 年 12 月 24 日から平成 15 年 9 月 30 日の期間に梶延町内で発生した地震の震源分布

(防災科学技術研究所ウェブページ Hi-net 地震情報より)

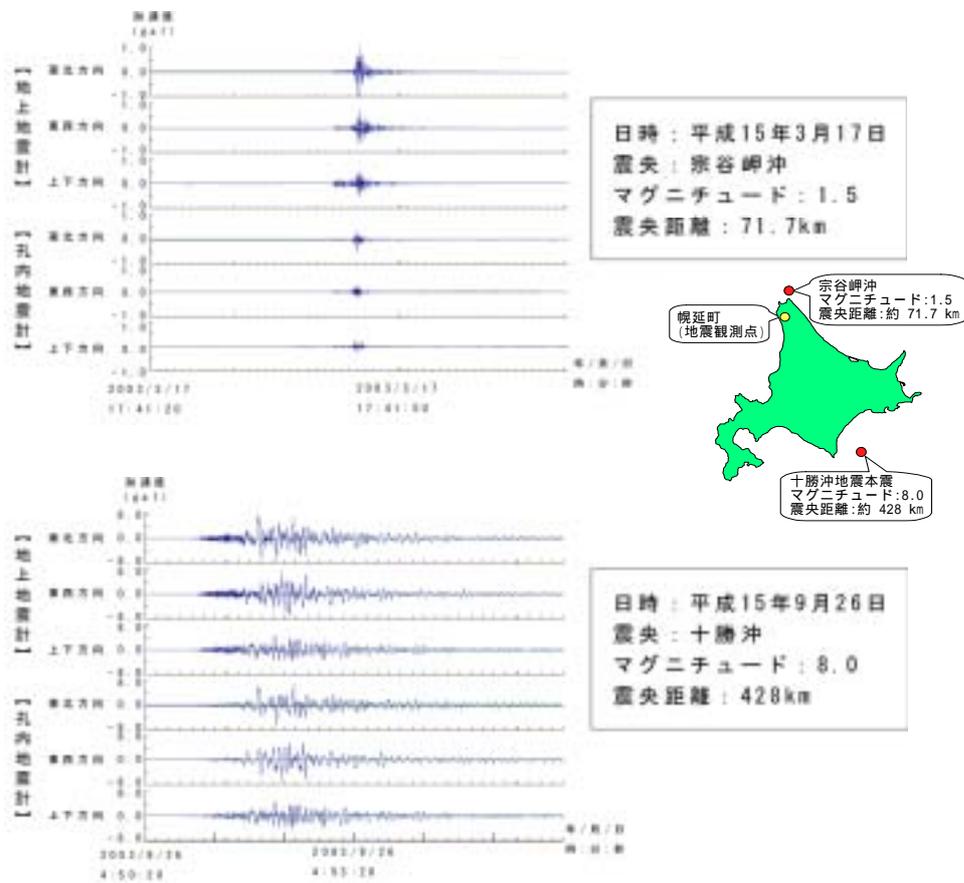


図 42 平成 15 年 3 月 17 日および平成 15 年 9 月 26 日に発生した地震の観測記録

表 2 地震記録の最大振幅比較

		宗谷岬沖 2003年3月17日		十勝沖地震 2003年9月26日	
地上最大振幅 (gal)	NSs(南北)	1.20	-1.84	7.88	-7.49
	Ews(東西)	0.74	-0.70	7.85	-7.20
	Vs(鉛直)	0.21	-0.16	1.92	-1.49
孔内最大振幅 (gal)	NSb(南北)	0.38	-0.53	6.77	-6.95
	Ewb(東西)	0.28	-0.22	5.55	-7.00
	Vb(鉛直)	0.08	-0.09	1.58	-1.16
振幅比 (孔内/地上)	NSb/NSs	0.31	0.29	0.86	0.93
	EWb/EWs	0.38	0.31	0.71	0.97
	Vb/Vs	0.36	0.55	0.82	0.78

(南北および東西方向はS波，鉛直方向はP波の読み)

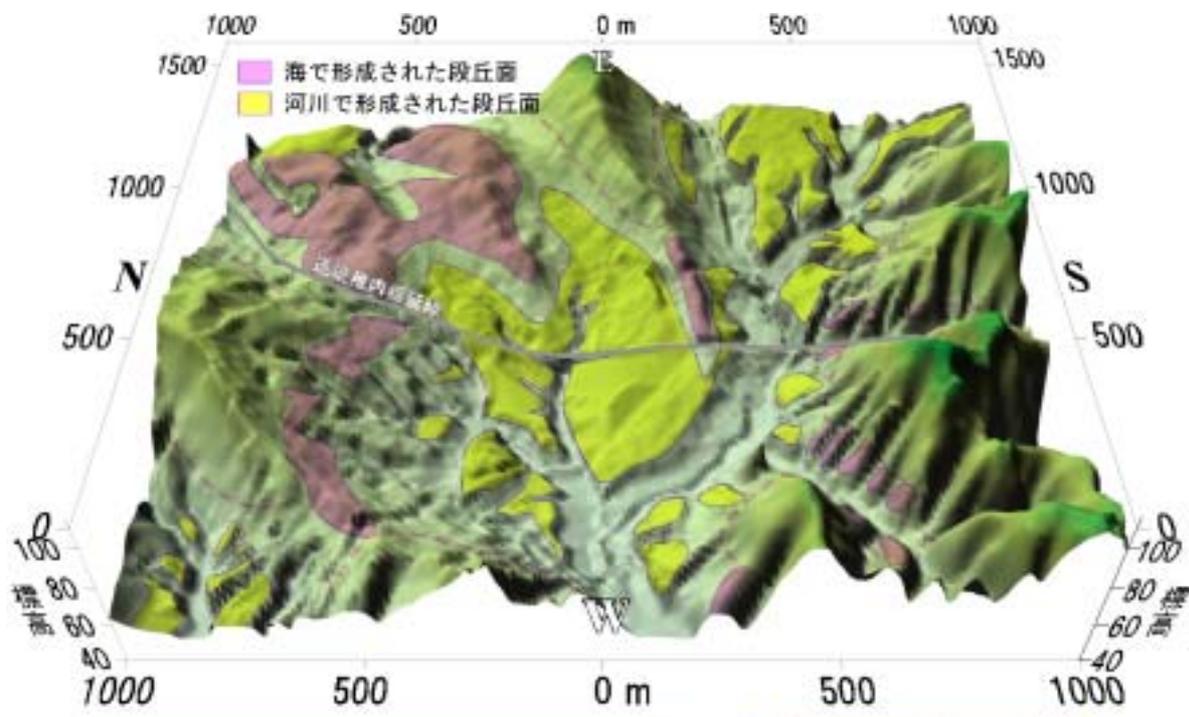
3.4.2 天然現象の研究

(1) 地殻変動の変遷

段丘面の標高と段丘面の形成時期などから隆起量・隆起速度を推測する手法⁽⁴⁾を用いて幌延町周辺地域の隆起量・隆起速度を把握するために、平成15年度は最初の取り組みとして、空中写真を用いた段丘面の分布調査や段丘面を作る堆積物の観察を行いました。その結果、北進地区には著しく侵食された段丘面があり、その段丘面を作る段丘堆積物は水平な砂層と泥層であることがわかりました(図43)。段丘面の侵食の程度、侵食される前の段丘面の分布、分布高度および堆積物の特徴から、数十万年前に海で形成された段丘面であることがわかりました。また、北進地区の河川沿いには連続性のよい段丘面があり、その段丘面を作る段丘堆積物は礫層であることがわかりました(図43)。段丘面の分布、礫層の特徴、礫層の直上に分布する植物片の¹⁴C年代値^{*20}から、約1万5千年前ごろに河川で形成された段丘面であることがわかりました。

今後は、段丘面の分布と形成年代の調査をより広い範囲で行い、隆起・沈降量の把握およびその変遷などを明らかにしていく予定です。

*20：木片などの試料に含まれる炭素の同位体を測定して、その試料の年代値を求めます。



海で形成された段丘面を作る水平な泥層・砂層



河川で形成された段丘面を作る礫層

図 43 北進地区における段丘面の分布とその堆積物

(2) GPS 観測と電磁探査機器による観測

地殻歪や地下深部の電磁気的な変化などの観測を行うため、平成 14 年度に GPS (Global Positioning System ; 汎地球測位システム) 観測装置と電磁探査機器を設置し、現在長期連続観測を実施しています。平成 15 年度は、得られたデータについて、地殻変動量や地下深部の電磁気的な性質の変化の解析を実施しました。

地殻変動量については、HDB-1 孔敷地内に設置した GPS 観測装置 (HDB-1 観測点) のデータと国土地理院が設置した GPS 連続観測システム (GEONET 観測点) のデータを使用して解析を行いました。

その結果、赤道上の点 (北緯 0 度、東経 141 度) を基準にして観測点の位置を測定すると、平成 15 年 9 月 26 日に発生した十勝沖地震の前後で、HDB-1 観測点は南東方向へ約 4 cm 移動しているという結果が得られました (図 44)。これは、稚内や猿払、天塩など北海道北部の GEONET 観測点の移動量や方向と調和的です。

今後、GPS 観測については、HDB-1 孔観測点に加えて、2004 年 3 月から観測を開始した HDB-5 孔および、町内の 3 ヶ所に臨時観測点を設置して定期的に観測を行い、現在の地殻変動についてより詳細なデータを取得する予定です。

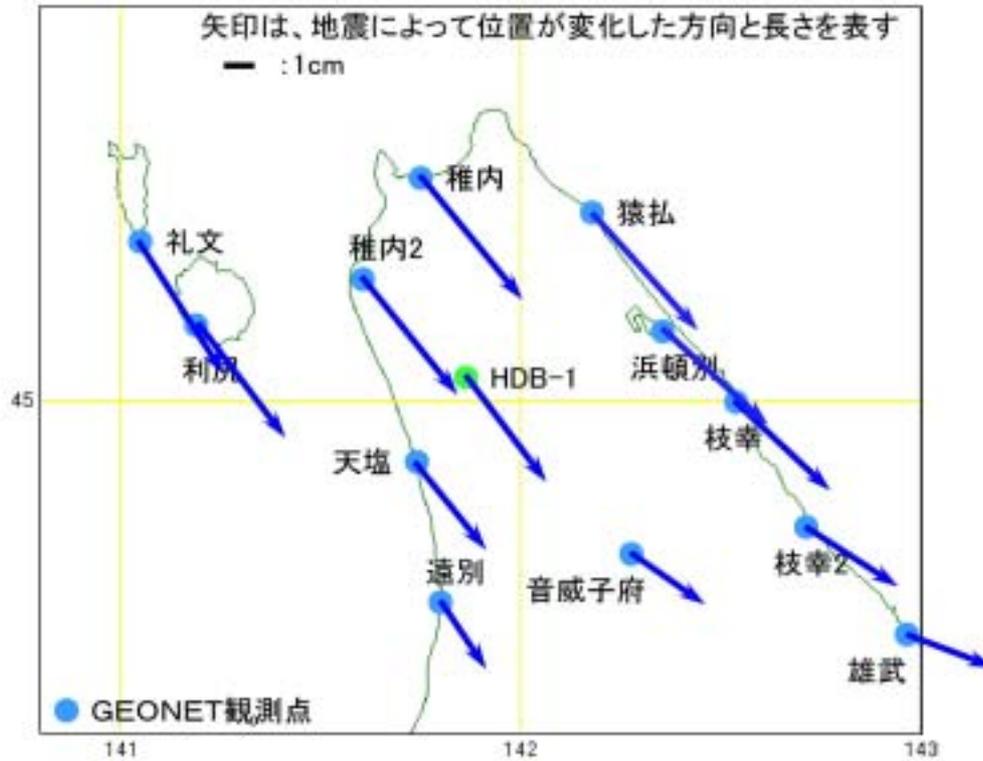


図 44 北海道北部地域の十勝沖地震前後における位置の変化

緑の点は幌延町内に設置した GPS 観測点 (HDB-1 観測点) 青い点は国土地理院が設置した GPS 観測点です。図中の矢印は、赤道上の点(北緯 0 度、東経 141 度)を基準にして位置を測定した場合、2003 年 9 月 26 日に発生した地震の前後で、各観測点がどの方向にどれだけ移動したかを表しています。

地震の活動と地下深部での水の動きには関係があると考えられています。この水の動きは地下深部の電磁気的な性質の変化に現れます。このため、電磁探査機器により、電場（地下を流れる微弱な電流）と磁場（地磁気）の変化を連続的に観測することにより、地震が発生するような地下深部の地下水の動きを把握することができます。電磁探査機器による観測については、平成14年11月より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実施しました。平成15年9月以降は、研究所敷地造成などに伴う人工ノイズの混入を避けるために、電磁探査機器を幌延町市街地の北西約4kmに位置する北星園に移設して連続観測を続けています。

電磁探査機器により取得される電磁気的な性質に関するデータは、地磁気の変動や天候などの影響を強く受けます。このため、通信総合研究所^{*21}が公表している地磁気の変動データ、幌延町内の気象観測所の降水量、気温および風速などの気象観測データに基づいて解析に使用するデータの選別を行った後に解析を行いました。

解析結果の一例を図45に示します。この図では、平成15年9月26日に発生した十勝沖地震の直前に電気比抵抗値の変化が認められました。しかし、磁場の変化が見られないことや、これ以外の記録ではそのような変化は観測されなかったことから、この変化は地震により生じた地下深部の電磁気的な性質の変化を示すものではないと考えられます。約10日という長期間にわたったこの変化は、磁場には変化が見られないことから電流ノイズではないかと推測されますが、その原因はわかりませんでした。これ以外の期間では比較的安定した観測データが得られていますが、数%程度の変化が観測されています。

今後は、地震発生時以外の期間で観測されている数%程度の電気比抵抗値の変化が季節変動などによるものかどうかを検討するとともに、地震が発生するような地下深部の地下水の動きを把握するために、連続観測を継続して実施する予定です。

*21：情報、通信、電波、オプティカルなどの分野で、基礎から応用、地上波から宇宙通信まで、幅広い研究を行っている情報通信分野における唯一の国立研究機関です。平成16年4月に放送機構と統合して独立行政法人情報通信研究機構となりました。

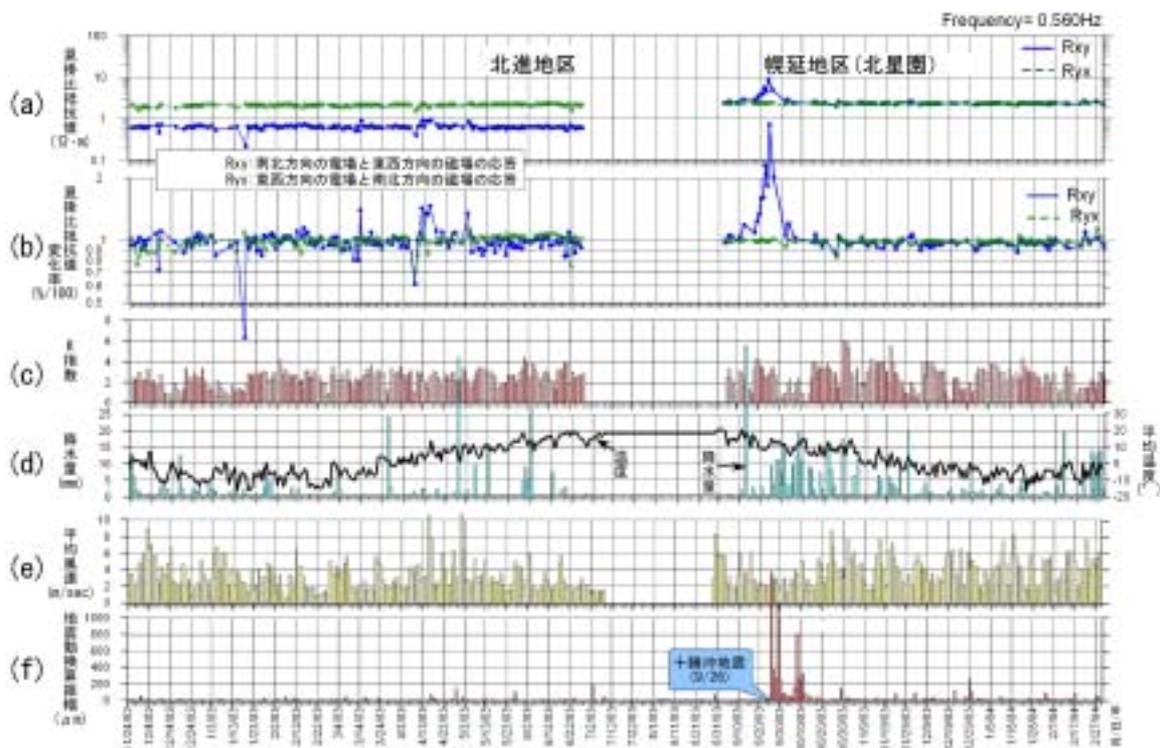


図 45 電気比抵抗値の変化（大きな変化が観測された記録）

(a) : 観測データから求められた電気比抵抗値

(b) : 電気比抵抗変化率

その時間の比抵抗値が、その地点の平均的な比抵抗値からどのくらい変化しているかを表現したものです。

(c) : K 指数

独立行政法人 通信総合研究所が発表している値で、どのくらい地磁気が活発に変化しているかを表すものです。

(d) : 幌延市街地および北進気象観測所の日降水量および平均温度

(e) : 幌延市街地および北進気象観測所の平均風速

(f) : 幌延町での 1 日ごとの地震動の強さ

気象庁一元化震源リストを用いて、北海道地方の深度 90 km 以浅の地震について、坪井式⁽⁵⁾のマグニチュード計算式を用いて、幌延の換算振幅(A)を計算し 1 日分を合計した値。

$$A = 10^{(M+0.83-1.73 \log R)}$$

A: 最大地動振幅(μm)、M: 地震のマグニチュード、R: 震央距離(Km)

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

人工バリア等の工学技術の検証では、低アルカリ性コンクリートの開発と人工バリアの搬送・定置に求められる精度に係わる検討を行いました。

地下施設を建設する際にコンクリートを使用することが考えられますが、通常のセメントを用いたコンクリートの場合、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。そこでそのような影響を緩和するため、セメントの組成を変えて、通常のセメントに比べて間隙水の pH が低いセメント (HFSC^{*22}) の開発を行っています。

幌延における地下施設建設の際に HFSC を用いたコンクリートの施工性確認試験を実施する予定ですが、HFSC は通常のセメントにシリカフューム、フライアッシュを加えているため、通常のセメントに比べて強度が低下する可能性があります。また、これまでに実際の工事で使用された実績がないため、施工性確認試験を実施するまでに、HFSC を用いたコンクリートが実際の工事での使用に耐えうる性能を持つことを確認しておく必要があります。

これまでに、HFSC を用いたコンクリートが吹付けコンクリート^{*23} および場所打ちコンクリート^{*24} として、施工に必要な基本的要件を有すること、適切な配合とすることで地下施設建設における要求強度を満たすこと、等を確認しました。平成 15 年度は pH の低下挙動について長期間の試験、フライアッシュの品質変動が HFSC の品質に及ぼす影響等について確認を行いました。

pH の低下挙動については、平成 13 年度に材齢^{*25}60 日までの試験を行いました。平成 15 年度にはより長期間の試験を行いました。また、pH の低下速度は水との接触条件、すなわち粉体浸漬(セメントを粉砕して浸漬した場合)と固体浸漬(円柱状のまま浸漬した場合)で異なることが予想されるので、両方の条件での試験を行いました。試験に用いた HFSC の配合条件を表 3 に示します。

*22 : Highly Fly-ash contained Silicafume Cement。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。

*23 : 硬化前のセメントを加圧してノズルから吹出して、設計位置に吹付けて施工したコンクリートです。

*24 : 現場で打設するコンクリートのことです。

*25 : コンクリートを打設してからの経過日数のことです。

表 3 低アルカリ性セメントの配合条件

	セメント 種類	普通ポルトランドセメント /wt%	シリカフェーム /wt%	フライアッシュ /wt%
粉体浸漬試験	HFSC424	40	20	40
固体浸漬試験	HFSC325	30	20	50
固体浸漬試験	HFSC226	20	20	60

粉体浸漬試験では、0.5 mm 以下に粉砕した供試体 20 g を蒸留水 40 g 中に浸漬して所定の期間ごとに浸漬溶液の水素イオン濃度 (pH) の測定を行いました。一方、固体浸漬では蒸留水中で養生した円柱供試体(直径10cm×高さ10cm)を所定の期間ごとに取り出し、0.5 mm 以下に粉砕した試料 20 g を蒸留水 40 g 中に浸漬して、pH の測定を行いました。測定結果を図 46 および図 47 に示します。

図 46 および図 47 から、pH の低下速度には HFSC の配合条件によって大きな違いはなく、蒸留水との接触面積の小さい固体浸漬の方が pH の低下速度が小さいことがわかります。粉体浸漬の場合(図 46)、pH11.5 付近(約 200 日)で低下速度が小さくなりました。この傾向が今後も続くとすると、およそ 10 年後に pH が目標である 11 以下となります。一方、固体浸漬の場合に(図 47)、この後も pH の低下速度が変化しないと仮定すると、約 5 年後に pH が 11 以下となりますが、粉体浸漬の場合と同様に pH11.5 付近で低下速度がさらに小さくなる可能性もあり、その場合には pH が 11 以下となるのにさらに日数を要する可能性が考えられます。

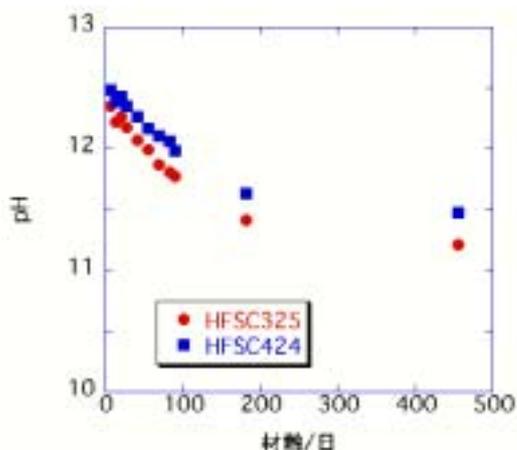


図 46 粉体浸漬における HFSC の pH 低下挙動

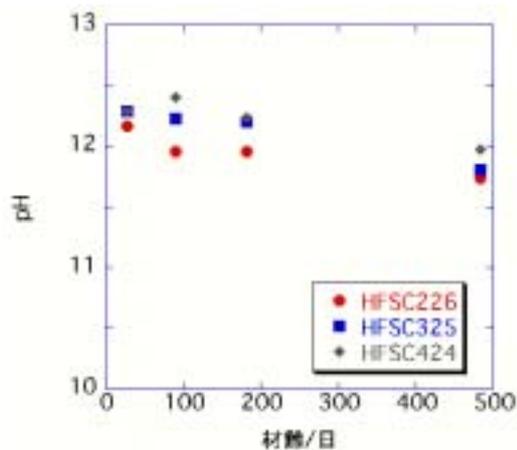


図 47 固体浸漬における HFSC の pH 低下挙動

また、平成 15 年度は HFSC の pH 低下挙動の把握のため、上記のような試験に加えて、セメントと水との化学反応のモデル化に着手しました。今後はそれらの結果を踏まえて、pH の低下挙動を検討していく予定です。

HFSC に加えるフライアッシュは主に石炭火力発電所からの産業副産物であるため、その品質は燃焼条件等によって大きく変化すると考えられます。そこで、品質変動の把握として、異なる時期に購入したフライアッシュを用いて、セメント硬化前の品質としてスランプフロー^{*26}、硬化後の品質として圧縮強度について試験を行いました。平成 14 年度は HFSC の配合を変化させましたが、平成 15 年度は、HFSC424 についてスランプフローおよび圧縮強度のばらつきを把握しました。スランプフローの変動を平成 14 年度の結果と併せて表 4 に示します。表から、目標とする管理範囲(65 cm ± 5 cm)から大きくばらつく結果となりました。このことから、HFSC 使用する場合にはフライアッシュの品質を考慮した施工管理を十分に行う必要のあることがわかりました。なお、圧縮強度の変動は、ほぼ平成 14 年度に確認した変動の範囲内にあり、圧縮強度に関しては品質管理上問題のないことがわかりました。

*26：硬化前のコンクリートの軟らかさの程度を示す指標の 1 つで、所定の試験器に硬化前のコンクリートを詰め、その試験器をはずした時の、試料の広がり(直径)で表します。

表 4 低アルカリ性セメント(HFSC424)のスランプフローの変動

	平成 14 年度実施				平成 15 年度実施			
ワイッシュカプ リング 番号	1	2	3	4	5	6	7	8
スランプフロー/cm	46.0	43.0	51.0	55.0	62.5	71.0	66.5	66.5

また、吹付けコンクリート (HFSC424) から採取した供試体の透水性を調べた結果、HFSC は通常のセメントと同等の透水性 (透水係数で 10^{-10} m/s 程度) を持つことを確認しました。

今後はグラウト施工性の確認、pH の低下挙動のモデル化、鉄筋腐食に関する耐久性評価を進め、地下施設において低アルカリ性セメントの適用性確認を行っていく予定です。

人工バリアの搬送・定置に求められる精度に係わる検討として、緩衝材定置後初期に存在する緩衝材と岩盤との隙間が、緩衝材の膨潤によって充填されていく現象について基礎的な室内試験を平成 14 年度から継続して行い、より長期間 (最長 650 日間) のデータを取得しました。

人工バリアの定置方式の 1 つである横置き方式について、およそ 1/60 のスケール (50 × 100 mm) で緩衝材の膨潤過程、オーバーパックの位置の変化を観察しました。その結果、横置き方式の場合には、緩衝材は均一に膨潤して隙間を埋めていくのではなく、緩衝材の上部および側部から膨潤が進行して、徐々に隙間を埋め、全体の密度が均一になっていくことがわかりました。

4.1.2 設計手法の適用性確認

幌延の地下施設で予定されている、緩衝材/岩盤クリープ試験や坑道閉鎖試験等の、原位置試験において使用する緩衝材の仕様 (有効粘土密度^{*27}、けい砂混合率等) を検討するために、HDB-6 孔から採取した地下水を用いて室内試験を実施しました。幌延の地下水環境 (塩水系地下水) での圧縮ベントナイト混合材料の力学特性についてデータを取得し、降水系地下水環境における力学特性との違いを概略的に把握しました。

さらに、「第 2 次取りまとめ」⁽⁶⁾ に示した設計の流れを見直し (図 48)、これに基づいて、オーバーパックおよび緩衝材の仕様を決定するためのフロー

*27 : 緩衝材や埋め戻し材中に含まれるけい砂の体積を除いた、ベントナイトのみの乾燥密度を計算したものです。

(手順)を検討しました。その結果、地質環境条件ばかりでなく、室内実験による緩衝材の膨潤特性、透水特性および力学特性など多くのデータが必要となることがわかりました。

また、人工バリアの設計フローの検討とともに、入力データとなる地質環境と設計の関係の整理を行いました。例えば、緩衝材の場合には地下水の塩分濃度の自己シール性^{*28}への影響、その影響への対応としての有効粘土密度等の仕様の変更が考えられます。このような地質環境と設計要件および設計での対応の関係を整理し、「第2次取りまとめ」における知見と併せて人工バリア設計に必要な地質環境データ項目を抽出しました。

今後は、室内試験などにより、力学特性、膨潤特性などについてのデータを拡充し、得られたデータを用いたオーバーパックスの沈下解析などを通して、緩衝材の仕様についての検討を行っていきます。

*28：人工バリアを定置した際に生じる、緩衝材とオーバーパックスや周辺岩盤との隙間が、地下水の浸入に伴う膨潤によって充填される性質のことです。

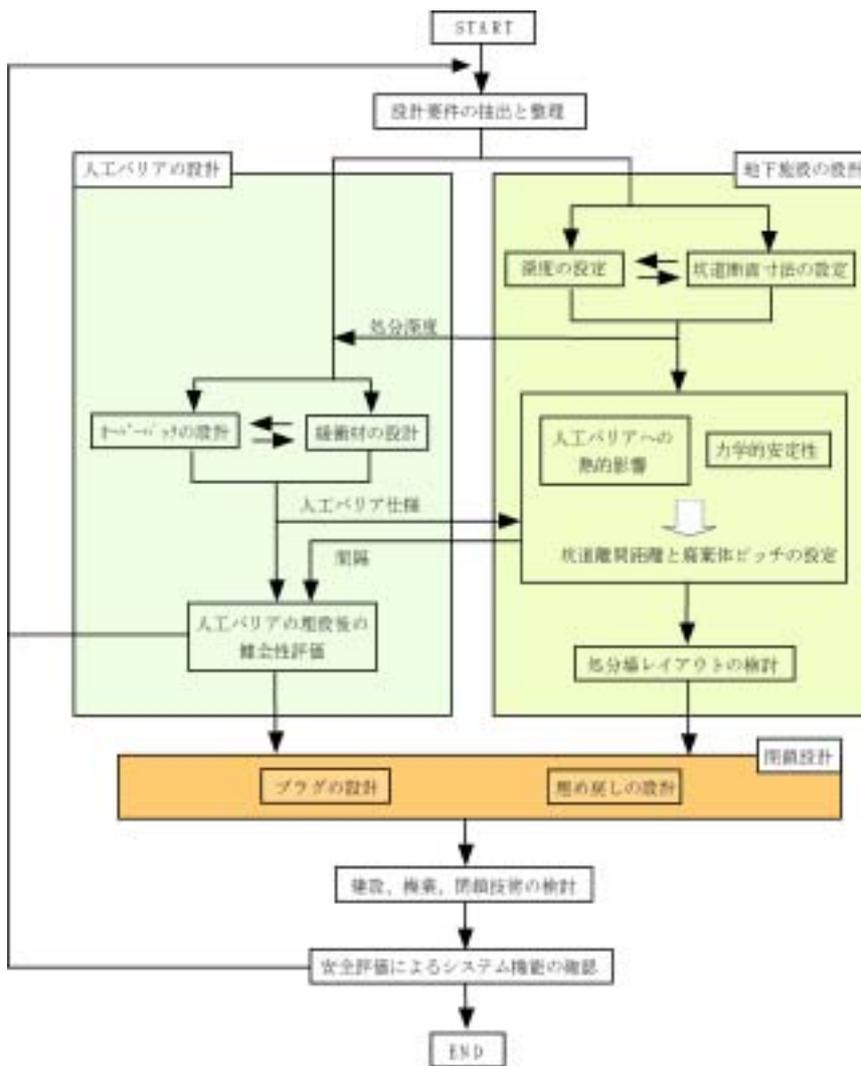


図 48 適用性確認の観点で見直した設計全体の流れ

4.2 安全評価手法の高度化

4.2.1 安全評価モデルの高度化

堆積岩中における地下水の流れや物質の移動の様子は、地層の形成過程において生じた地層の不均質性の程度に依存して異なります。このため、地層の不均質性を把握するとともに、地下水や物質が移動する経路を把握することが重要な課題となっています。この課題を解決するために、幌延の堆積岩を対象として、運搬、堆積、圧密、固結といった堆積岩の形成過程を考慮した不均質性評価モデルの開発に着手しました。

平成 15 年度はモデルを用いた解析に必要なデータの収集・整理とモデルの基本機能の開発を行いました。具体的には、地層の形成過程における古い年代の環境や堆積場の形態、地層の鉱物組成、圧密過程などについて、平成 15 年度までの試錐調査データ（コアの化学分析データ、物理検層データなど）、地震探査データなどを検討しました。また、堆積岩の堆積過程と圧密過程を再現できるモデルを試作しました。

これまでの調査結果から、岩盤中には割れ目が存在することが確認されており、割れ目が岩盤中における地下水の流れや物質の移動に果たす役割を把握する必要があります。そのため、割れ目を有する部分と割れ目を有しない健全な部分の両者についての調査が必要と考えられます。この観点から、まず割れ目を有するコアを用いて、地下水の流れと物質移動に関する性質を調べるための室内試験を実施しました。地下水の流れの特性を調べるための室内試験としては透水試験、物質移動の特性を調べるための室内試験としては拡散試験^{*29}とトレーサー試験^{*30}を実施しました

割れ目を有する試料と割れ目を有しない試料について透水係数を測定した結果、割れ目を有しない試料の透水係数については、稚内層（HDB-4 孔）について 10^{-12} m/s のオーダー、声問層（HDB-6、7 孔）について 10^{-10} m/s のオ

*29：本研究では、亀裂を有しない健全な部分の泥岩試料を用いて、透過拡散法により、拡散試験を行いました。透過拡散法とは、トレーサー濃度が一定に保たれたトレーサーセルと試験開始時にトレーサー濃度 0 の水が入った観測セルで岩石試料を挟み込み、試験開始後にトレーサーセルから岩石試料を通過して観測セルに移行してきたトレーサー濃度の時間変化を観測することにより拡散係数を求める方法です。

*30：本研究では、亀裂を含む泥岩試料に亀裂内で流れが生じるように一定濃度のトレーサーを注入し、岩石試料のトレーサー出口部でトレーサー濃度の時間変化を観測することにより、亀裂内の水理特性と物質移行特性を評価しています。

オーダーであり、双方の岩石の透水係数はともに非常に小さいものの、地層間で異なる傾向のあることがわかりました（図 49）。また、それぞれの地層において透水係数は深度依存性を示すこともわかりました。この結果は、3.1.2 章で述べた結果と整合的でした。

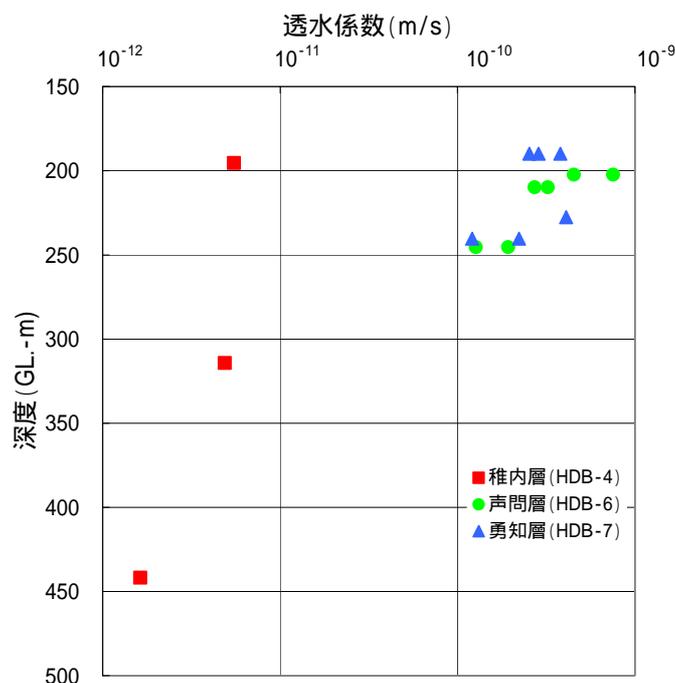


図 49 割れ目を有しない泥岩の透水係数の深度依存性
（声問層と稚内層の比較）

稚内層の割れ目を有する岩石については、透水係数は $10^{-9} \sim 10^{-8}$ m/s のオーダーであり、割れ目を有しない健全な岩石の透水係数よりも大きいことがわかりました。

拡散試験では、稚内層（HDB-4 孔）から採取した割れ目を有しない岩石について実効拡散係数^{*31}を取得し、間隙率との関係で整理したところ、幌延以外の堆積岩に対してこれまでに取得されている拡散係数⁽⁷⁾と整合的であることが確認できました。

*31：岩石内部の空隙構造（空隙率と屈曲率）の影響が含まれており、トレーサーの岩石への収着の影響が含まれていない、拡散係数のことです。空隙水中の拡散係数と空隙率の積で表されます。

トレーサー試験では、稚内層（HDB-4 孔）から採取した割れ目を有するコアを用いて試験を行い、トレーサーの移動に割れ目部分が寄与する実効的な開口幅^{*32}が 10^{-5} m のオーダーであることが確認でき、地下水の流れに寄与する実効的な開口幅^{*33} 10^{-6} m のオーダーに比べて、大きいことがわかりました。また、割れ目周辺に存在する割れ目を有しない健全な部分への拡散が、割れ目部分でのトレーサーの移動に大きな影響を与えることがわかりました。

コアを用いた物質の収着メカニズムを把握するための研究に着手しました。平成 15 年度は、平成 14 年度に掘削された試錐孔（HDB-3 孔）から 4 つのコア（声問層から 2 つ、稚内層から 2 つの合計 4 試料）および同試錐孔から地下水を採取し、サイクル機構東海事業所において、安全評価上重要な元素の 1 つであるセシウム（Cs）の分配係数をバッチ試験^{*34}により測定しました。この試験では脱イオン水、地下水およびこの地下水の組成に基づき合成した人工地下水の 3 種類の水を使用しました。

セシウムの濃度 $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-4}$ mol/L の範囲で得られた分配係数は、脱イオン水を用いた試験では $0.1 \sim 15$ m³/kg の範囲、人工地下水を用いた試験では $0.01 \sim 0.55$ m³/kg の範囲の値が取得されました。天然地下水については人工地下水を用いた試験の結果と有意な差が認められませんでした。また、人工地下水を用いた場合、脱イオン水を用いた場合に比べて分配係数が 1 桁小さくなることがわかりました（図 50）^{(8),(9)}。この原因の 1 つとしては、共存する化学成分による影響の可能性が考えられますが、今後検討を進めていく予定です。

*32：一般的に物質移動開口幅と呼ばれます。亀裂を有する岩石試料を用いたトレーサー試験で得られたトレーサー濃度の時間変化（破過曲線）に基づき算出されます。亀裂内の開口幅が大きく、流速が早い部分の影響を推察することができます。

*33：一般的に水理開口幅と呼ばれます。亀裂を有する岩石試料を用いた透水試験で得られた流量と水頭差を 3 乗則に代入することにより算出される亀裂部分の平均的な開口幅のことです。亀裂が滑らかな平行平板の場合、物質移行開口幅と水理開口幅は理論的には一致します。

*34：反応容器または反応装置に、反応にあずかる物質を一度に入れて反応させ、平衡または一定の反応率に達してから取り出すまでの一連の操作をいいます。

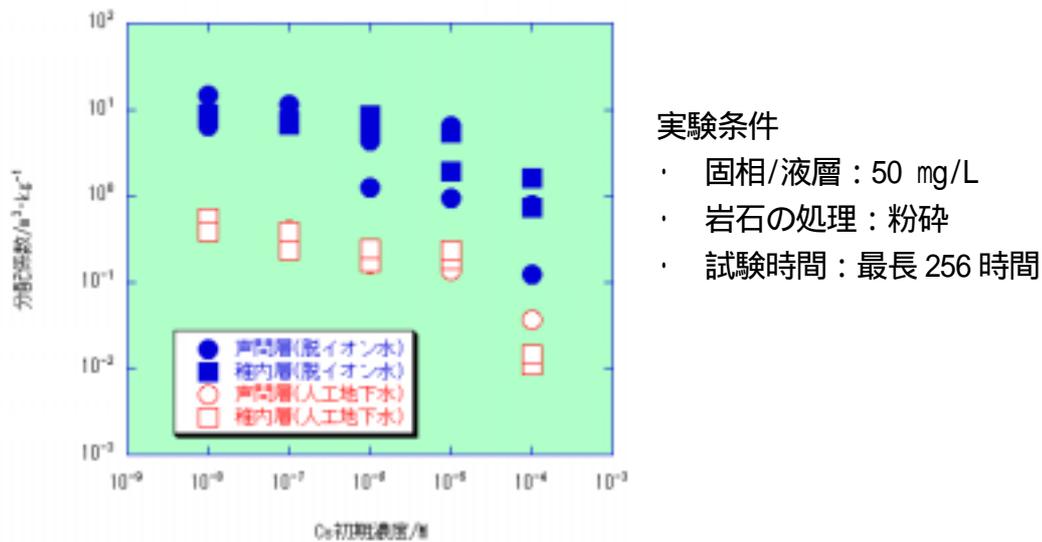


図 50 Cs の分配係数測定結果

4.2.2 安全評価手法の適用性確認

安全評価におけるモデル解析に必要な地質環境データの項目、量、精度の確認や課題の抽出を目的として、4.2.1 章で述べたコアを用いた室内試験や試錐調査などで取得されたデータに基づいて、物質移行に関わる可能性のある地質環境の特徴やプロセスを幅広く整理しました。また、試錐調査で取得したデータを分析・評価することにより、ガス発生、高い水圧、高塩分濃度などの特有の現象が核種移行に与える影響を評価するための研究に着手しました。

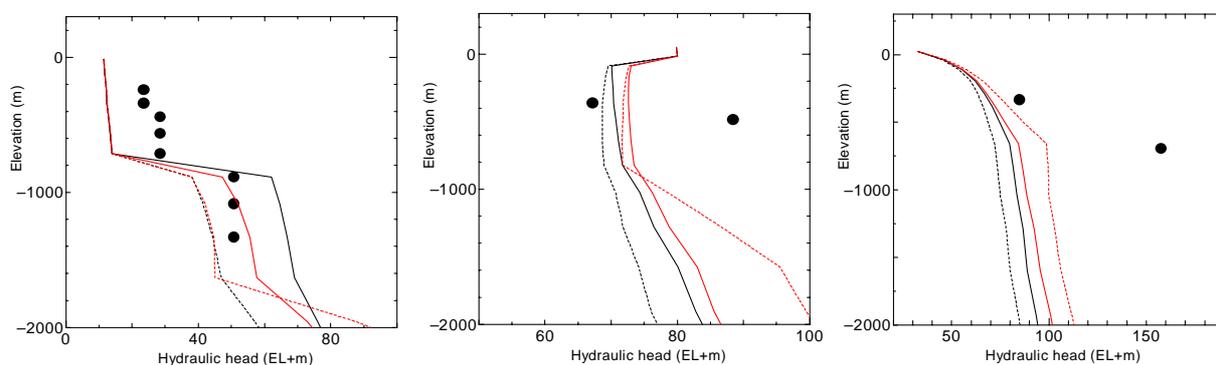
平成 15 年度は、試錐孔において観測された高い水圧を再現するために、キャップロック構造^{*35}と大曲断層の存在を仮定した解析モデルを構築し、キャップロック、大曲断層および稚内層の透水係数を同定パラメータとした逆解析法による再現解析を実施しました。解析においては、キャップロックの透水係数のみを未知数として大曲断層全体を低透水性としたケース、キャップロックと稚内層の透水係数を未知数として大曲断層全体を低透水性としたケース、キャップロックの透水係数のみを未知数として大曲断層の透水性についてサンドイッチ構造^{*36}を仮定したケース、キャップロックと稚内層の透水

*35：一般的には、石油鉱床学分野において、油層又はガス層の上部を覆って石油の上方への移動を阻止している不透水性岩盤の意味で使用されます。本報告書では、地下水の流れが生じている透水性岩盤の上部を覆って地下水の上方への移動を阻止している不透水性岩盤の意味で使用しています。

*36：断層のモデル化において、高透水側部 - 低透水コア部 - 高透水側部というサンドイッチ構造を考えました。

係数を未知数として大曲断層の透水性についてサンドイッチ構造を仮定したケース、の4ケースを行いました。その結果、解析結果が実測値に比較的良く一致しているもの、一致が良くないものがありました(図51)。

今後は、地質環境調査が進展するに従って取得される新しいデータを取り込みつつ、モデル解析による結果と実測データが一致しない理由について検討する予定です。



(a) D-1 孔⁽¹⁰⁾

(b) HDB-1 孔

(c) HDB-2 孔

図51 逆解析による試錐孔沿いの水圧分布

(: 実測値, 黒実線: キャップロックのみを未知数とした低透水断層モデル, 黒点線: キャップロックと稚内層を未知数とした低透水断層モデル, 赤実線: キャップロックのみを未知数としたサンドイッチ構造断層モデル, 赤点線: キャップロックと稚内層を未知数としたサンドイッチ構造断層モデル)

5. 環境調査・地上施設

5.1 環境調査

平成 15 年度は、平成 14 年度の夏季・秋季・冬季調査に引続き、研究所設置地区を対象とし、春季調査を実施しました。また、研究所用地を取得したことを受け、必要に応じて保全対策を検討、実施しました。さらに、これまでの調査結果を踏まえてモニタリングを開始しました。環境調査位置図を図 52 に示します。

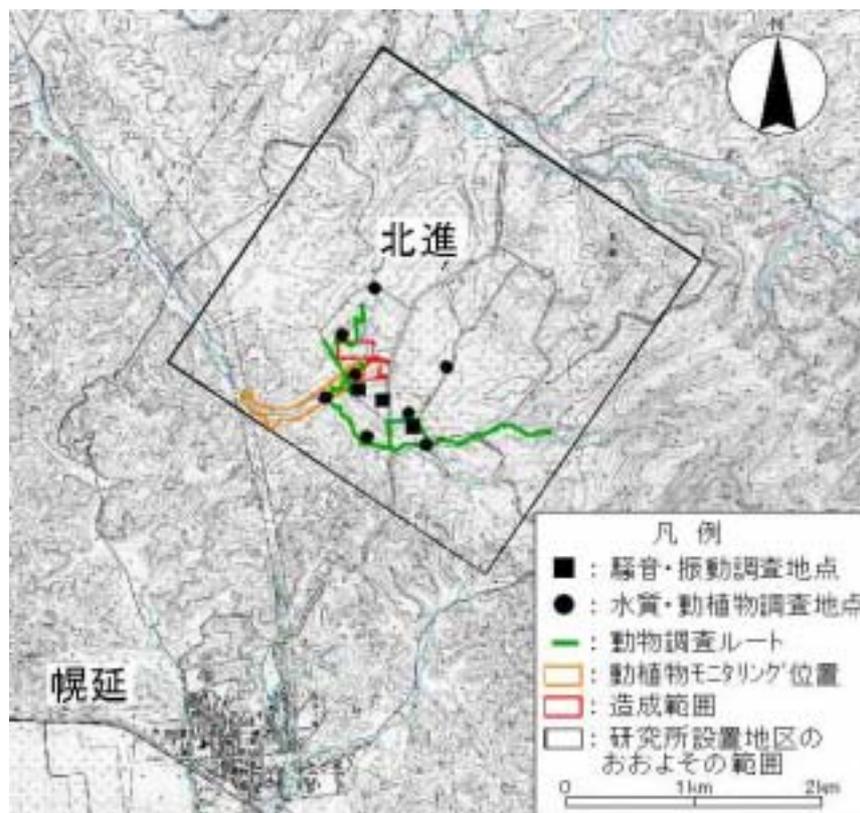


図 52 環境調査位置図

調査項目は、騒音・振動、水質、動植物とし、造成工事着手前の現状を把握しました。調査の実施時期・調査方法等の調査概要を表 5 に示します。動植物については、哺乳類 6 種、鳥類 33 種、両生・爬虫類 2 種、昆虫類 43 種、魚類 7 種、底生動物 27 種、植物 214 種が確認されました。このうち学術性または希少性の観点からの重要種は 19 種でした。

確認された主な重要種について、鳥類では、オジロワシ、オオタカなどの通過を確認するとともに、両生・爬虫類では、エゾサンショウウオ、魚類では、ヤマメ、エゾトミヨなど、底生動物では、カワシンジュガイ、昆虫類で

は、オオルリオサムシ、ミズスマシの生息が確認されました。植物では、ノダイオウ、ハイドジョウツナギなどが確認されました。確認された重要種を表 6 に示します。

このうち、エゾサンショウウオとハイドジョウツナギについては、研究所用地内で確認され、保全措置が必要と判断されました。エゾサンショウウオについては、5 月上旬に卵塊の状態にて採取し、他の自然産卵箇所へ移動しました。ハイドジョウツナギについては、休眠状態に入る 10 月下旬に、移植前の生育地と同様な環境を有する場所に移植しました。

表 5 環境調査の概要

調査項目	調査時期	調査方法
騒音	<夏季>*1 H15/8/19 ~ 20 <秋季>*1 H15/10/20 ~ 21	・「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」に準拠する方法
振動	<夏季>*1 H15/8/19 ~ 20 <秋季>*1 H15/10/20 ~ 21	・「特定建設作業の規制に関する基準」に準拠する方法
水質	<春季>H15/6/6 <夏季>*1 H15/8/26 <秋季>*1 H15/10/8	・「生活環境の保全に関する環境基準」に示す方法
動物	哺乳類	<春季>H15/5/20 ~ 22 ・捕獲調査 ・直接観察, フィールドサイン法 ^{*2}
	鳥類	<春季>H15/5/9, 6/3 ・ラインノギ法 ^{*3} ・定点観察法
	両生・爬虫類	<春季>H15/5/7, 5/20 ~ 21 <夏季>*1 H15/8/26 <秋季>*1 H15/10/8 ・直接観察法
	魚類	<春季>H15/5/21 <夏季>*1 H15/8/25 <秋季>*1 H15/10/7 ~ 8 ・直接観察 ・捕獲法
	昆虫類	<春季>H15/5/20 ~ 22 ・直接観察 ・採集法
	底生動物	<春季>H15/5/22 ・直接観察 ・採集法
	植物	植物相 植物群落

*1: モニタリング

*2: 調査範囲内を踏査し、目視、足跡、糞などのフィールドサインにより哺乳類相を把握する調査方法

*3: 調査ルートを時速 1.5 ~ 2.0 km 程度で歩きながら調査範囲内で確認した全ての個体について、種、個体数等を記録する調査方法

*4: 調査範囲内を代表する植物群落の箇所について調査区画を設定し、植物が地面を覆う度合い、個体数を区別するとともに、個体の配分状態を区分する調査方法

表 6 確認された重要種

区分	種名	選定基準*			
		EN	En		
鳥類	オジロワシ				
	オオタカ	VU	Vu		
	オオジシギ	NT	R		
両生類	エゾサンショウウオ		N		
昆虫類	オオルリオサムシ				
	ミズスマシ		R		
魚類	スナヤツメ	VU		希	
	ヤマメ		N	減	
	エゾホトケドジョウ	VU	En		
	エゾトミヨ	NT	R		
	ハナカジカ		N		
底生動物	カワシシユガイ	VU			
	コエゾトンボ				
植物	ノダイオウ	VU			
	エゾオオヤマハコベ				
	オオバタチツボスミレ	VU			
	エゾノカワヂシャ				
	ハイドジョウツナギ		R		
	タカネトンボ	VU			

*5: 重要種の選定基準

- : 「文化財保護法」(昭和25年 法律第214号)
- : 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)
- : 国内希少野生動植物種
- : 「改訂・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 - 1 哺乳類」(環境省 2002年)
- : 「改訂・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 - 2 鳥類」(環境省 2002年)
- : 「改訂・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 - 3 爬虫類・両生類」(環境省 2000年)
- : 「改訂・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)
- : 「改訂・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 - 8 植物 (維管束植物)」(環境省 2000年)
- : 「無脊椎動物(昆虫類、貝類、クモ類、甲殻類等)のレッドリストの見直しについて」(環境省 平成12年)
- : EN: 絶滅危惧種 B類 VU: 絶滅危惧種 類 NT: 準絶滅危惧種
- : EN: 絶滅危惧種 VU: 絶滅危惧種 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)」(社団法人 日本水産資源保護協会 1998年)
- : 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 - 」(環境省 昭和51年)
- : 主要野生動物 : 貴重植物 : すぐれた自然
- : 「第2回自然環境保全基礎調査報告書(緑の国勢調査)」(環境省 昭和57年)
- : 稀少種 : 調査対象種 : 特定昆虫

平成 14 年度の夏季・秋季・冬季調査結果、平成 15 年度の春季調査結果および有識者へのヒアリングの結果から、造成範囲周辺は既に人為的に改変された環境であること、造成範囲内でのみ生息可能な重要種は確認されておらず、周囲には同様の環境があることから、造成工事による環境への影響はほとんどないと考えられます。

造成工事中(夏季・秋季)に行った水質、騒音・振動、魚類、植物のモニタリングの結果、各項目とも工事着手前と比較して大きな変化はみられず、造成工事による影響は認められませんでした。モニタリング調査項目と結果を表 7 に示します。

表 7 モニタリング調査項目と結果

調査項目	調査結果	
騒音	等価騒音レベルでは夏季・秋季を通じて、昼間は 43 から 60 デシベル、夜間は 31 から 39 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	夏季・秋季を通じて、昼間は 30 未満から 36 デシベル、夜間は 30 デシベル未満でした。(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。	
動物	両生類	移植したエゾサンショウウオの卵塊は無事に孵化・成長し、保全措置が適切に行われたと判断されました。
	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(サクラマス)、エゾウグイ、エゾトミヨ、ハナカジカの5種を確認しました。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。
植物	季節変化による植物の生長、衰退を確認しました。造成工事着手以前と同様に植生環境が維持されていると判断されました。	

5.2 地上施設

地下施設と地上施設の建設用地造成工事の実施設計を行いました。また、地下施設建設時に発生するズリ（掘削土）置場の基本・実施設計を行いました。図 53 に造成計画平面図を示します。



図 53 造成計画平面図

地上施設については、研究管理棟、コア倉庫・ワークショップ棟などの基本・実施設計と PR 施設の基本設計などを行いました。図 54 に研究管理棟およびコア倉庫・ワークショップ棟のイメージを示します。



図 54 地上施設のイメージ図

6. 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。

- ・ 埼玉大学 ; 地下水の流れなどに関する研究
- ・ 電力中央研究所 ; 地質・地下水環境特性評価に関する研究（コントロールボーリング技術開発を含む）
- ・ 北海道大学 ; 岩盤力学測定装置の開発
- ・ 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
- ・ Nagra^{*37}（スイス）; 地下水調査技術開発など
- ・ SNL^{*38}（アメリカ）; 不確実性評価手法の開発など

また、サイクル機構の施設や研究フィールドは、幌延地圏環境研究所^{*39}をはじめとする国内外の研究機関が行う学術的な研究の場として広く開放していきます。

*37 : National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Nagra ; ナグラ) ; スイス放射性廃棄物管理共同組合

Nagra(ナグラ)は、スイスで発生する放射性廃棄物を対象とした地層処分を行っており、スイス国内の研究施設(グリムゼルなど)で実際の岩盤を対象とした試験研究も行っています。サイクル機構とは、地下水調査技術開発などに関して研究協力を行っています。

*38 : Sandia National Laboratories (SNL) ; サンディア国立研究所

サンディア国立研究所は、米国エネルギー省(DOE)傘下の研究所で、廃棄物隔離パイロットプラント(WIPP)やユッカマウンテンプロジェクトなどで地層処分に係わる多くの実績を有しています。サイクル機構とは、安全評価手法の高度化などに関して研究協力を行っています。

*39 : 財団法人 北海道科学技術総合振興センターによって平成15年に設置された研究所であり、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堆積岩・地下微生物・地下水を中心とする研究を実施します。

(引用文献)

*本文中引用順に記載

- (1) サイクル機構(2001): 幌延深地層研究計画平成15年度調査研究計画, サイクル機構技術資料, JNC TN 1410 2001-004.
- (2) 森谷武男(1999): 北海道とその周辺における地震のメカニズム解から推定される地殻内部応力場, 月刊 地震 Vol.21, No.9, pp.557-564.
- (3) 熊澤峰夫、武井康子(1994): 精密制御音波放射による能動的地下構造常時モニター手法の開発 その1 目的と原理, 日本地震学会講演要旨, Vol.2, p.158.
- (4) 小池一之、町田 洋(2001) 日本の海成段丘アトラス, 東京大学出版会, p.105.
- (5) 坪井忠二(1954): 地震動の最大振幅から地震の規模を定めることについて, 地震 2, 7, pp.185-193.
- (6) サイクル機構(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2 地層処分の工学技術, サイクル機構技術資料, JNC TN 1400 99-022.
- (7) サイクル機構(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3 地層処分の安全評価, サイクル機構技術資料, JNC TN 1400 99-023.
- (8) Xiaobin XIA, Masahiro SHIBATA, Akira KITAMURA, Gento KAMEI. (2004): Model Development on Radionuclide Sorption in a Sedimentary Rock/groundwater System (1): Effect Factor on Cesium Sorption onto a Sedimentary Rock under Saline Groundwater Condition, Oral presentation in 2004 Annual Meeting (Spring) of the Atomic Energy Society of Japan, March 29- 31, 2004, Okayama. H10.p.816.
- (9) 夏 暁彬(2004): 海水系地下水条件での堆積岩及びその岩盤亀裂充填鉱物に対する核種収着挙動とそのモデル構築, 博士研究員(H15)平成15年度研究概要報告書.
- (10) 動力炉・核燃料開発事業団(1987): 貯蔵工学センター立地環境調査 - 深層ボーリング報告書 -, 動燃事業団技術資料, JNC TJ1027 98-012.

參考資料

(平成15年度委託研究等成果報告書)

* 著者アルファベット順に記載

地層科学研究関連

- (1) 今井 久, 塩崎 功, 雨宮 清, 千々松正和(2004): 幌延深地層研究計画における地下水流動に関する研究, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 株式会社間組), JNC TJ5400 2003-009, 2004年2月.
- (2) 宮崎智哉, 小田川信哉, 村田正敏(2004): 表層水理調査における流域特性を考慮した蒸発散量・降水量の追加測定地点の選定, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; アジア航測株式会社), JNC TJ5400 2004-001, 2004年1月.
- (3) 高瀬博康, リチャード・メトカルフ, 稲垣 学(2004): 幌延深地層研究計画における地質環境モデルの体系化に関する検討(その2), サイクル機構技術資料(契約業務報告書; クインテッサジャパン), JNC TJ5400 2003-006, 2004年2月.
- (4) 戸井田 克, 須山泰宏, 塩釜幸弘, 渥美博行, 阿部泰典, 古市光昭(2003): 幌延深地層研究計画における地質環境モデルの体系化に関する検討, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 鹿島建設株式会社), JNC TJ5400 2003-003, 2003年2月.
- (5) 山本卓也, 青木智幸, 瀧 治雄, 城まゆみ(2003): 堆積軟岩の長期挙動に関する調査試験研究, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 大成建設株式会社), JNC TJ5400 2003-001, 2003年6月.
- (6) 山本卓也, 青木智幸, 瀧 治雄, 城まゆみ(2004): 堆積軟岩の長期挙動に関する調査試験研究(その2) 概要報告書, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 大成建設株式会社), JNC TJ5400 2003-004, 2004年2月.
- (7) 山本卓也, 青木智幸, 瀧 治雄, 城まゆみ(2004): 堆積軟岩の長期挙動に関する調査試験研究(その2), サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 大成建設株式会社), JNC TJ5400 2003-005, 2004年2月.
- (8) 上田重貴, 米田 豊, 中館史行, 伊藤尚久, 村上智子(2004): 幌延深地層研究計画に係る環境調査(平成15年度), サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 株式会社エコニクス), JNC TJ5420 2003-001, 2004年3月.
- (9) 上田重貴, 三木 昇, 米田 豊(2003): 幌延深地層研究計画に係る環境保全措置業務, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 株式会社エコニクス), JNC TJ5420 2003-002, 2004年3月.

地層処分研究開発関係

- (10) 入矢桂史郎, 三上哲司, 武田宣典, 秋好賢治(2003): 幌延深地層研究センターにおけるコンクリート材料の施工性に関する研究(), サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 株式会社大林組), JNC TJ5400 2003-002, 2003年2月.

- (11) 入矢桂史郎, 田島孝敏, 納多 勝(2004): 幌延深地層研究センターにおけるコンクリート材料の施工性に関する研究(), サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 株式会社大林組), JNC TJ5400 2003-008, 2004年2月.
- (12) 高治一彦, 重野喜正, 下河内隆文(2004): 幌延の地下水環境におけるベントナイト混合材料の力学特性に関する研究, サイクル機構技術資料(契約業務報告書; 株式会社竹中工務店), JNC TJ5400 2003-007, 2004年4月.